

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰى مُحَمَّدٍ وَّآلِ مُحَمَّدٍ وَّعَجِّلْ فَرَجَهُمْ



ساخت بردهای الکترونیکی

رشته الکترونیک

گروه برق و رایانه

شاخه فنی و حرفه‌ای

پایه یازدهم دوره دوم متوسطه





وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

- نام کتاب: ساخت بردهای الکترونیکی - ۲۱۱۲۷۵
- پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
- مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش
- شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: شهرام نصیری سوادکوهی، محمود شبانی، احمد توکلی و شهرام خدادادی (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
- مدیریت آماده‌سازی هنری: شهرام نصیری سوادکوهی، محمود شبانی و احمد توکلی (اعضای گروه تألیف) - محمود شبانی و شهرام خدادادی (ویراستار فنی)
- شناسه افزوده آماده‌سازی: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
- نشانی سازمان: احمد رضا امینی (مدیر امور فنی و چاپ) - جواد صفری (مدیر هنری) - شهرزاد قنبری (صفحه‌آرا) - مریم کیوان (طراح جلد) - فاطمه رئیس‌یان فیروزآباد (رسم) - فاطمه سادات مهدوی مقدم، فاطمه صغری ذوالفقاری، کمند مهری، نیلوفر حکیم جواد و سیما لطفی (امور آماده‌سازی)
- ناشر: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)
- تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱، ۸۸۳۰۹۲۶۶، ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
- وبسایت: www.irtextbook.ir، www.chap.sch.ir
- شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱
- ناشر: (دارو پخش) تلفن: ۵ - ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰
- سندوق پستی: ۳۷۵۱۵ - ۱۳۹
- چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
- سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ اول ۱۴۰۵

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.



ملت شریف ما اگر در این انقلاب بخواهد پیروز شود باید دست از آستین
برآرد و به کار بپردازد. از متن دانشگاه‌ها تا بازارها و کارخانه‌ها و مزارع و
باغستان‌ها تا آنجا که خودکفا شود و روی پای خود بایستد.

امام خمینی «قُدَسَ سِرُّهُ»

۱	پودمان اول : ساخت تقویت کننده
۲	واحد یادگیری ۱: راه اندازی تقویت کننده سیگنال با ترانزیستور BJT
۳۱	واحد یادگیری ۲: راه اندازی تقویت کننده سیگنال با ترانزیستور FET
۵۱	پودمان دوم : ساخت پروژه های آنالوگ
۵۲	واحد یادگیری ۱: تقویت کننده های چند طبقه
۷۵	واحد یادگیری ۲: ساخت مدارهای تقویت کننده عملیاتی
۹۵	پودمان سوم : ساخت پروژه مخابراتی
۹۶	واحد یادگیری ۱: آماده سازی سیگنال پیام و حامل
۱۲۷	واحد یادگیری ۲: راه اندازی مدارهای فرستنده و گیرنده
۱۴۹	پودمان چهارم: ساخت مدارهای الکترونیکی با ابزار دقیق
۱۵۰	واحد یادگیری ۱: تبدیل کمیت های فیزیکی به الکتریکی
۱۸۱	واحد یادگیری ۲: راه اندازی مدار کنترل کمیت های فیزیکی با حسگرها
۲۱۳	پودمان پنجم : ساخت پروژه الکترونیک صنعتی
۲۱۴	واحد یادگیری ۱: تست عملکرد قطعات الکترونیک صنعتی
۲۴۰	واحد یادگیری ۲: اجرای پروژه الکترونیک صنعتی
۲۵۳	منابع

سخنی با هنرجویان عزیز

شرایط در حال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعه فناوری‌ها و تحقق توسعه پایدار، ما را بر آن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های درسی را در ادامه تغییرات پایه‌های قبلی براساس نیاز کشور و مطابق با رویکرد سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران در نظام جدید آموزشی بازطراحی و تألیف کنیم. مهم‌ترین تغییر در کتاب‌ها، آموزش و ارزشیابی مبتنی بر شایستگی است. شایستگی، توانایی انجام کار واقعی به‌طور استاندارد و درست تعریف شده است. توانایی شامل دانش، مهارت و نگرش می‌شود. در رشته تحصیلی حرفه‌ای شما، چهار دسته شایستگی در نظر گرفته شده است:

- ۱ شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند تسلط بر ساخت و پیاده‌سازی مدارهای دیجیتال و سامانه‌های مبتنی بر میکروکنترلر
- ۲ شایستگی‌های غیرفنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند نوآوری و مصرف بهینه
- ۳ شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم‌افزارها
- ۴ شایستگی‌های مربوط به یادگیری مادام‌العمر مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر

بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی و حرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخه فنی و حرفه‌ای را تدوین نموده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف کتاب‌های درسی هر رشته است.

این درس، دروس پایه شایستگی‌های فنی و کارگاهی است که ویژه رشته الکترونیک تألیف شده است. کسب شایستگی‌های این کتاب برای موفقیت آینده شغلی و حرفه‌ای شما بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی نمایید؛ تمام شایستگی‌های آموزش داده شده در این کتاب را کسب و در فرایند ارزشیابی به اثبات رسانید.

کتاب درسی ساخت بردهای الکترونیکی شامل پنج پودمان است و هر پودمان دارای دو واحد یادگیری است و هر واحد یادگیری از چند مرحله کاری تشکیل شده است. شما هنرجویان عزیز پس از یادگیری هر پودمان می‌توانید شایستگی‌های مربوط به آن را کسب نمایید. شرط لازم برای کسب شایستگی در هر پودمان، کسب شایستگی در هر دو واحد یادگیری آن پودمان است. در صورت احراز نشدن شایستگی در هر یک از واحدهای یادگیری پس ارزشیابی اول، فرصت جبران و ارزشیابی دوباره تا پایان سال تحصیلی وجود دارد. ارزشیابی هر واحد یادگیری نیز از دو بخش نمره مستمر و نمره شایستگی فنی تشکیل شده است و شرط لازم برای محاسبه این دو بخش، کسب شایستگی در بخش شایستگی‌های غیرفنی است.

همچنین علاوه بر کتاب درسی شما امکان استفاده از سایر اجزای بسته آموزشی که برای شما طراحی و تألیف شده است، وجود دارد. یکی از این اجزای بسته آموزشی کتاب همراه هنرجو می‌باشد که برای انجام فعالیت‌های موجود در کتاب درسی باید استفاده نمایید. کتاب همراه خود را می‌توانید هنگام آزمون و فرایند ارزشیابی نیز همراه داشته باشید. سایر اجزای بسته آموزشی دیگری نیز برای شما در نظر گرفته شده است که با مراجعه به وبگاه رشته خود با نشانی www.oerp.ir می‌توانید از عناوین آن مطلع شوید.

فعالیت‌های یادگیری در ارتباط با شایستگی‌های غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط زیست و شایستگی‌های یادگیری مادام‌العمر و فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با شایستگی‌های فنی طراحی و در کتاب درسی و بسته آموزشی ارائه شده است. شما هنرجویان عزیز کوشش نمایید این شایستگی‌ها را در کنار شایستگی‌های فنی آموزش ببینید، تجربه کنید و آنها را در انجام فعالیت‌های یادگیری به کار گیرید. رعایت نکات ایمنی، بهداشتی و حفاظتی از اصول انجام کار است؛ لذا توصیه‌های هنرآموز محترمتان در خصوص رعایت مواردی که در کتاب آمده است، در انجام کارها جدی بگیرید.

امیدواریم با تلاش و کوشش شما هنرجویان عزیز و هدایت هنرآموزان گرامی، گام‌های مؤثری در جهت سربلندی و استقلال کشور و پیشرفت اجتماعی و اقتصادی و تربیت مؤثر و شایسته جوانان برومند میهن اسلامی برداشته شود.

دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران و نیازهای متغیر دنیای کار و مشاغل، برنامه درسی رشته الکترونیک طراحی و براساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف گردید. کتاب حاضر از مجموعه کتاب‌های کارگاهی می‌باشد که برای سال یازدهم تدوین و تألیف گردیده است. این کتاب دارای پنج پودمان است و شرط لازم برای کسب شایستگی در هر پودمان کسب شایستگی در هر دو واحد یادگیری آن پودمان است. در صورت احراز نشدن شایستگی در هر یک از واحدهای یادگیری پس ارزشیابی اول، فرصت جبران و ارزشیابی دوباره تا پایان سال تحصیلی وجود دارد. ارزشیابی هر واحد یادگیری نیز از دو بخش نمره مستمر و نمره شایستگی فنی تشکیل شده است و شرط لازم برای محاسبه این دو بخش، کسب شایستگی در بخش شایستگی‌های غیرفنی است. از ویژگی‌های دیگر این کتاب طراحی فعالیت‌های یادگیری ساخت‌یافته در ارتباط با شایستگی‌های فنی و غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای و مباحث زیست‌محیطی است. این کتاب جزئی از بسته آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است که لازم است از سایر اجزای بسته آموزشی مانند کتاب همراه هنرجو، نرم‌افزار و فیلم آموزشی در فرایند یادگیری استفاده شود. کتاب همراه هنرجو در هنگام یادگیری، ارزشیابی و انجام کار واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شما می‌توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته یادگیری، روش‌های تدریس کتاب، شیوه ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه‌بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، آموزش ایمنی و بهداشت و دریافت راهنما و پاسخ فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها به کتاب راهنمای هنرآموز این درس مراجعه کنید. رعایت ایمنی و بهداشت، شایستگی‌های غیرفنی و مراحل کلیدی براساس استاندارد از ملزومات کسب شایستگی می‌باشند.

کتاب شامل پودمان‌های ذیل است:

پودمان اول (ساخت تقویت‌کننده): در این پودمان، هنرجویان ضمن تحلیل تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری، با بستن مدارهای عملی BJT و FET مهارت‌های اندازه‌گیری و ارزیابی مشخصات واقعی تقویت‌کننده‌ها را کسب خواهند کرد.

پودمان دوم (ساخت پروژه‌های آنالوگ): در این پودمان، هنرجویان با تقویت‌کننده‌های قدرت و تقویت‌کننده‌های عملیاتی آشنا می‌شوند. هدف این پودمان، به‌کارگیری این آموخته‌ها در طراحی و ساخت پروژه‌های آنالوگ است تا مهارت عملی هنرجویان در تحلیل و اجرای مدارهای الکترونیکی افزایش یابد.

پودمان سوم (ساخت پروژه مخابراتی): در این پودمان، هنرجویان با اصول پایه مخابرات آشنا می‌شوند. در این بخش، ضمن شناخت سیگنال‌های پیام و حامل، کار با مدارهای آماده‌سازی سیگنال برای ارسال را می‌آموزند. هدف نهایی این پودمان، راه‌اندازی مدارهای فرستنده و گیرنده است تا هنرجویان بتوانند ارسال و دریافت سیگنال‌ها را به‌صورت عملی تجربه کنند.

پودمان چهارم (ساخت مدارهای الکترونیکی با ابزار دقیق): در این پودمان، هنرجویان با مبانی ابزار دقیق آشنا می‌شوند و می‌آموزند چگونه به کمک حسگرها کمیت‌های فیزیکی (مانند دما، فشار و نور...) را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل کنند. هدف این پودمان، راه‌اندازی مدارهای الکترونیکی حسگرها است که بتوان، سامانه‌های صنعتی را کنترل کرد.

پودمان پنجم (ساخت پروژه الکترونیک صنعتی): در این پودمان، هنرجویان با مفاهیم و قطعات الکترونیک صنعتی آشنا می‌شوند. در این بخش، آنها ابتدا مهارت تست و راه‌اندازی قطعات الکترونیک صنعتی را می‌آموزند و سپس با اجرای یک پروژه کامل توانایی خود را طراحی، پیاده‌سازی و ارزیابی عملکرد مدارهای صنعتی را به‌صورت عملی به اثبات می‌رسانند.

امید است که با تلاش و کوشش شما همکاران گرامی اهداف پیش‌بینی شده برای این درس محقق گردد.

دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش



نظرسنجی کتاب درسی



پودمان اول

ساخت تقویت کننده



ترانزیستور یک قطعه نیمه‌هادی سه‌پایه‌ای و فعال است که در اکثر دستگاه‌های الکترونیکی استفاده می‌شود. ما می‌توانیم از ترانزیستور به عنوان سوئیچ و با تقویت کننده استفاده کنیم. این ویژگی در کاربردهایی مانند تجهیزات صوتی و ارسال رادیویی اهمیت دارد.

این قطعه می‌تواند با سایر عناصر مدار ترکیب شود و جریان و ولتاژ را تقویت کند. ترانزیستورها را می‌توان به دو نوع اصلی دسته‌بندی کرد، ترانزیستور دو قطبی (Bipolar) و ترانزیستور اثر میدان (FET).

BJT یک قطعه سه‌پایه است که دارای دو پیوند PN می‌باشد. اگر جریان کوچکی به پایه بیس اعمال شود جریان بزرگ‌تری در کلکتور آن برقرار می‌شود. FET (ترانزیستور اثر میدان) یکی از قطعات بسیار مهم در دستگاه‌های الکترونیکی امروزی است.

FET نوعی قطعه است که هنگامی که ولتاژ کوچکی به پایه گیت آن اعمال شود، جریان سورس و درین آن کنترل می‌شود.

به دلیل آن که ترانزیستور جریان بزرگ‌تر را براساس ورودی کوچک کنترل می‌کند می‌تواند سیگنال‌های ضعیف را تقویت نماید. این اصل، پایه عملکرد طیف گسترده‌ای از فناوری‌ها است؛ از تقویت صدای هدفون‌ها گرفته تا افزایش دامنه سیگنال فرکانس رادیویی در دستگاه‌های ارتباطی راه دور.

واحد یادگیری ۱: راه اندازی تقویت کننده سیگنال با ترانزیستور BJT

آیا تا به حال فکر کرده اید

- چرا تحلیل تقویت کننده های ترانزیستوری امیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک اهمیت دارند؟
- آیا ترانزیستورهای پایه در دنیای امروز کاربرد عملی دارند یا فقط در آی سی ها (IC) استفاده می شوند؟
- تقویت کننده های ترانزیستوری چه نقشی در آی سی های (IC) مدرن دارند؟
- چرا دانش بایاس ترانزیستورها برای تعمیر کاران دستگاه های الکترونیکی و تکنسین ها ضروری است؟
- آیا تقویت کننده های ترانزیستوری پایه منسوخ شده اند یا همچنان کاربرد دارند؟

هنگامی که از ترانزیستور به عنوان تقویت کننده استفاده می شود، اعمال یک سیگنال ورودی کوچک در پایه بیس باعث ایجاد یک سیگنال خروجی بزرگ تر متناسب بین کلکتور و امیتر می گردد. تقویت کننده های ترانزیستوری امیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک، ستون فقرات تقویت کننده های آنالوگ هستند.

این مدارها کمک می کنند تا سیگنال های الکتریکی ضعیف به شکل کنترل شده تقویت شوند و بهره ولتاژ و جریان تقویت کننده ها بهینه شود. حتی با پیشرفت آی سی ها (IC)، در مدارهای خاص، حسگرها و پیش تقویت کننده ها، استفاده از ترانزیستورهای جداگانه ضروری است. درک نحوه بایاس و عملکرد این سه آرایش ترانزیستور، پایه تحلیل، طراحی و تعمیر سامانه های الکترونیکی است. بنابراین، تسلط بر عملکرد تقویت کننده های CE، CB و CC مهارت عملی و دانش فنی مهندسین و تکنسین ها را تقویت می کند.

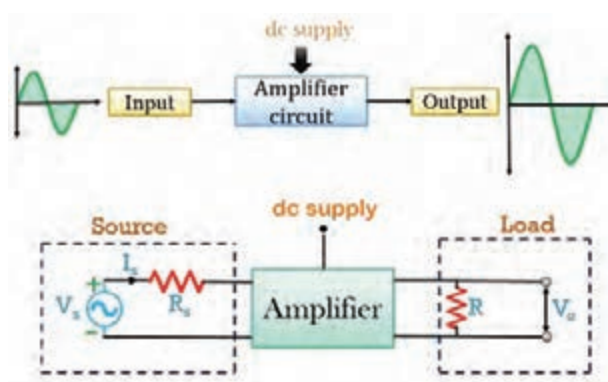
یادآوری می شود که برای تحلیل، بررسی و اجرای عملی یک مدار کاربردی، باید در تمام مراحل، نکات ایمنی و بهداشتی و توجه به مهارت های غیرفنی مانند کار گروهی، مسئولیت پذیری، پایبندی به نظم و ترتیب که از اهمیت ویژه ای برخوردار است، رعایت شود.

استاندارد عملکرد

شبیه سازی و بستن مدارهای عملی تقویت کننده های تک ترانزیستوری، اندازه گیری پارامترهای مهم AC (بهره ولتاژ، بهره جریان، مقاومت ورودی و خروجی و اختلاف فاز) در سه آرایش تقویت کننده های BJT، مقایسه نتایج با جدول استاندارد، بررسی عملکرد مدارهای تقویت کننده.

تقویت دامنه سیگنال های الکتریکی

امروزه در سامانه های الکترونیکی، تقویت کننده های ترانزیستوری مانند امیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک هم چنان از اهمیت بسیار بالایی برخوردارند. این تقویت کننده ها اساس رفتار سیگنال های آنالوگ را توضیح می دهند و هنرجویان با یادگیری عملکرد آنها، منطق شکل گیری تقویت شکل ۱، محاسبه، امیدانس ها و نحوه کنترل بهره را به طور بنیادین درک می کنند. اگرچه ساختارهای پیشرفته تری مانند تقویت کننده های مجتمع (IC) بسیار رایج شده اند، اما اصول عملکرد آنها دقیقاً بر پایه همین اتصالات ترانزیستوری بنا شده است. با وجود گسترش آی سی ها، طراحان و تکنسین ها همچنان در بسیاری از کاربردهای عملی مانند پیش تقویت کننده های کوچک، فیلترهای آنالوگ، حسگرها و طبقات ابتدایی تقویت از ترانزیستورهای مجزا استفاده می کنند.



شکل ۱- بلوک دیاگرام تقویت کننده سیگنال الکتریکی

همچنین در تعمیرات، عیب یابی و درک عملکرد سیستم های الکترونیکی، دانستن نحوه بایاس و رفتار هریک از این سه اتصال بسیار ضروری است. بنابراین تقویت کننده های ترانزیستوری پایه نه تنها منسوخ نشده اند، بلکه پایه تحلیل و طراحی در تمام سامانه های الکترونیکی مدرن محسوب می شوند.

تحقیق کنید

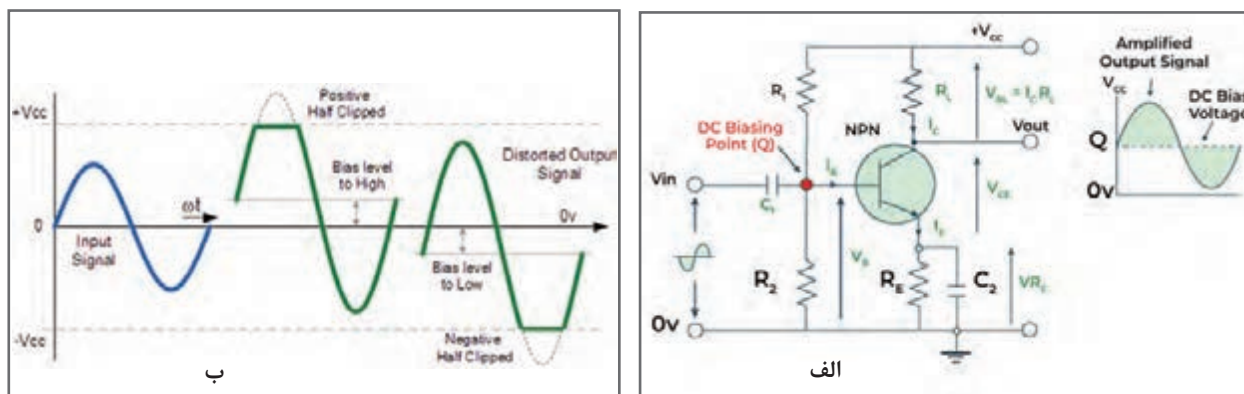


در منزل، هنرستان یا محیط کار، دستگاه هایی را شناسایی کنید که صرفاً دارای سامانه آنالوگ هستند یا از تقویت کننده های صوتی و تصویری ترانزیستوری بهره می برند. یافته های خود را در قالب یک گزارش ارائه دهید.

نحوه تقویت در ترانزیستور

برای این که بتوانیم یک سیگنال الکتریکی را از نظر دامنه ولتاژ یا جریان تقویت کنیم، باید ابتدا ترانزیستور را از نظر ولتاژ DC بایاس کنیم. بعد از بایاس و تعیین نقطه کار، سیگنال مورد نظر را به ورودی تقویت کننده می دهیم و از خروجی تقویت کننده، سیگنال تقویت شده را دریافت می کنیم. هدف از بایاس ترانزیستور تعیین یک نقطه کار ساکن (Q-point) است تا ترانزیستور بتواند به طور مؤثر کار کند و سیگنال خروجی را بدون اعوجاج تولید نماید. وقتی ترانزیستور به صورت مدار تقسیم ولتاژ (سر خود) بایاس شود، بایاس مناسب و صحیح DC ترانزیستور این است که ولتاژ کلکتور امیتر تقریباً نصف ولتاژ تغذیه باشد تا ترانزیستور در حالت فعال (Active Region) باقی بماند و سیگنال AC بتواند به راحتی در دو نیم سیکل مثبت و منفی نوسان کند، بدون این که ترانزیستور به حالت قطع یا اشباع برود.

شکل ۲- الف تقویت کننده و نقطه کار مناسب را نشان می دهد. در شکل ۲- ب اعوجاج موج در دو نیم سیکل را که در اثر بایاس نامناسب ایجاد شده اند، مشاهده می کنید.



شکل ۲- بایاس ترانزیستور برای قراردادن نقطه کار در ناحیه فعال

■ مشخصات تقویت کننده های ترانزیستوری

مدار معادل یک تقویت کننده ترانزیستوری از درگاه ورودی و خروجی مطابق شکل ۳- الف است. هر تقویت کننده الکترونیکی دارای یک سری مشخصات کلی و عمومی به شرح زیر است:

الف) بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_o}{V_{in}}$

ب) بهره جریان $A_I = \frac{I_o}{I_{in}}$

پ) مقاومت ورودی

ت) مقاومت خروجی

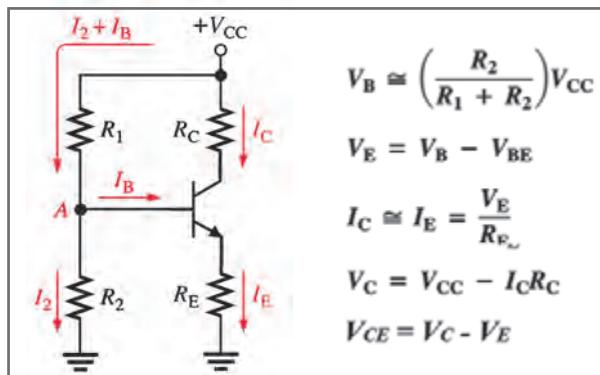
ث) اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و خروجی

ج) حداقل فرکانس کار (فرکانس قطع پایین)

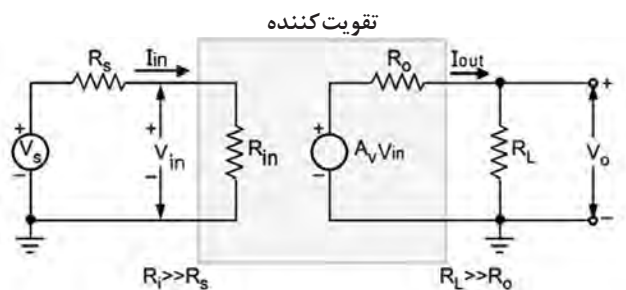
چ) حداکثر فرکانس کار (فرکانس قطع بالا)

برای تأمین ولتاژهای مورد نیاز برای قسمت های مختلف یک تقویت کننده ترانزیستوری، باید از تقسیم کننده های ولتاژ مقاومتی اهمی استفاده کنیم. برای این منظور مقاومت های اهمی به صورت های مختلف در تقویت کننده قرار می گیرند و با ایجاد افت ولتاژ کافی، ولتاژ و جریان های DC مورد نیاز را برای ترانزیستور تأمین می کنند. یادآور می شود که انتخاب مقاومت ها، هدف های دیگری مانند تعیین مقاومت ورودی، مقاومت خروجی، بهره ولتاژ و جریان را نیز در بر می گیرد. یکی از رایج ترین انواع بایاسینگ ترانزیستور، مدار شکل ۳- ب است. این مدار را بایاسینگ تقسیم کننده ولتاژ مقاومتی یا سرخود می نامند.

پودمان اول: ساخت تقویت کننده



ب - بایاسینگ تقسیم کننده سرخود در ترانزیستور

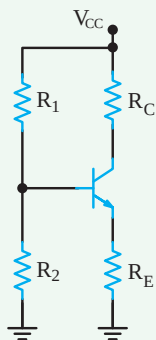


الف - بلوک دیاگرام یک تقویت کننده ترانزیستور

شکل ۳

در مدار شکل ۴ مقادیر مقاومت بایاس به شرح زیر است، نقطه کار ترانزیستور را به دست آورید.

$$V_{CC} = 12 \text{ volts}, V_{BE} = 0.6 \text{ volts}, R_1 = 10 \text{ k}\Omega, R_2 = 3/3 \text{ k}\Omega, R_E = 2/7 \text{ k}\Omega, R_C = 5/6 \text{ k}\Omega$$



شکل ۴ - بایاسینگ سرخود در ترانزیستور

$$V_B = V_{CC} \times R_2 / (R_1 + R_2)$$

$$V_B = 12 \times 3/3 \text{ k} / (10 + 3/3) \text{ K} = 2/58 \text{ V}$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 2/58 - 0.6 = 1/98 \text{ V}$$

$$I_C = I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{1/98 \text{ V}}{2/7 \text{ K}} = 0.73 \text{ mA}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 12 - (0.73 \text{ mA}) \times (5/6 \text{ K}\Omega) = 7/91 \text{ V}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 7/91 - 1/98 = 5/93 \text{ V}$$

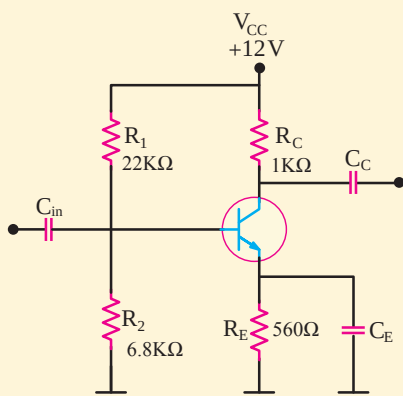
مثال



تمرین



در مدار شکل ۵ نقطه کار DC تقویت کننده را به دست آورید.



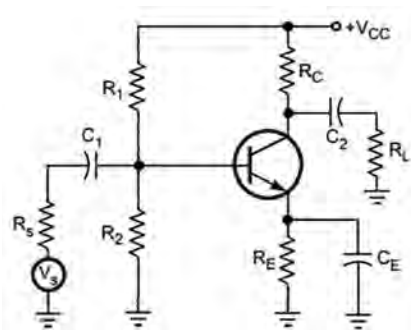
شکل ۵ - تقویت کننده ترانزیستوری

■ چگونگی تقویت سیگنال متناوب در تقویت کننده

ترانزیستوری

در شکل ۶ یک تقویت کننده ساده ترانزیستوری نشان داده شده است.

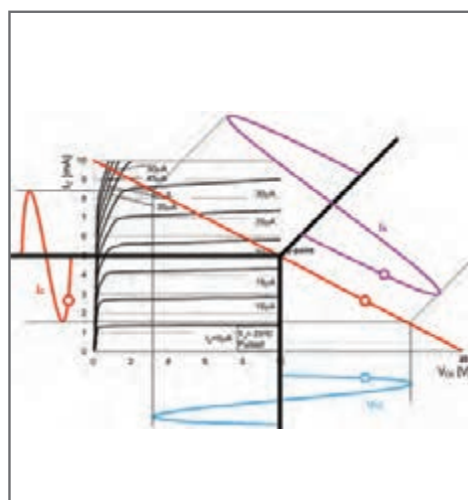
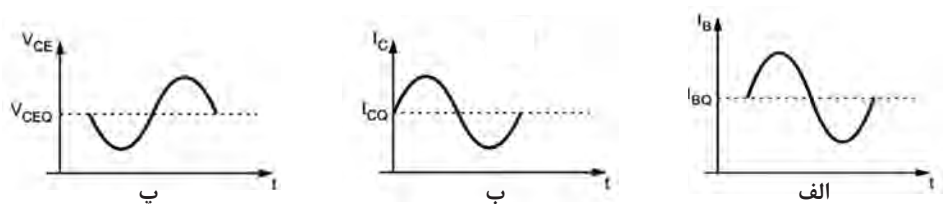
خازن هایی که در مسیر سیگنال های ورودی و خروجی قرار گرفته اند مانع عبور مقادیر ولتاژ و جریان DC از طبقه ای به طبقه دیگر می شوند و فقط سیگنال های متغیر را عبور می دهند. ظرفیت این خازن ها در فرکانس های صوتی حدود میکرو فاراد است. سیگنال خروجی همان ولتاژ دو سر کلکتور-امیتر (V_{CE}) است.



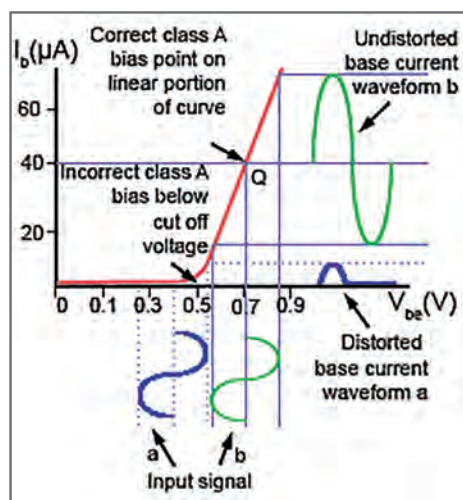
شکل ۶- تقویت کننده ترانزیستوری

برای درک چگونگی تقویت سیگنال با توجه به نقطه کار، موضوع را از روی منحنی جریان ورودی I_B و جریان خروجی I_C مورد بررسی قرار می دهیم. سیگنال ورودی به پایه بیس و امیتر اعمال می شود. بنابراین به ولتاژ DC بین بیس و امیتر (V_{BE}) یک ولتاژ متغیر اضافه می شود. این ولتاژ متغیر حول نقطه کار ورودی تغییر می کند و باعث تغییر I_B و در نتیجه سبب تغییر در I_C می شود و تغییرات I_C باعث ایجاد تغییر در V_{CE} می شود. بنابراین خروجی تقویت کننده همان ولتاژ دو سر کلکتور و امیتر است. مراحل تقویت سیگنال را در شکل ۷ مشاهده می کنید.

در شکل ت نحوه افزایش جریان بیس ترانزیستور حول نقطه کار مناسب ترانزیستور را نشان می دهد. در شکل ث اثر افزایش جریان بیس به روی جریان کلکتور و چگونگی ایجاد ولتاژ متناوب V_{CE} را مشاهده می کنید.



ث



ت

شکل ۷- نحوه تقویت سیگنال متناوب در ترانزیستور

آرایش ترانزیستور

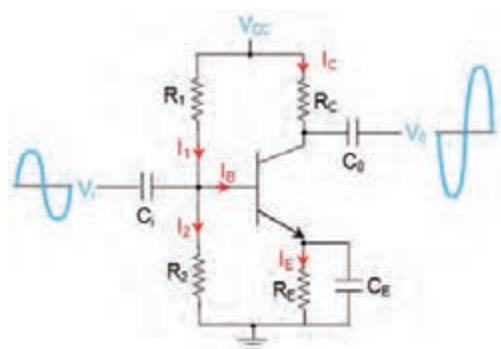
در تقویت کننده‌ها، همیشه یک پایه ترانزیستور بین ورودی و خروجی به صورت مشترک قرار می‌گیرد، زیرا ترانزیستور سه پایه دارد و ما نیاز به دو پایه در ورودی و دو پایه در خروجی داریم. لذا باید یکی از پایه‌های ترانزیستور به صورت مشترک بین ورودی و خروجی ترانزیستور قرار گیرد.

منظور از مشترک بودن یک پایه ترانزیستور اشتراک از نظر AC است، اگر پایه‌ای از نظر DC به منبع تغذیه متصل باشد چون منبع تغذیه معادل یک خازن با ظرفیت زیاد است از نظر AC اتصال کوتاه بوده و آن پایه بین ورودی و خروجی مشترک می‌شود.

نکته



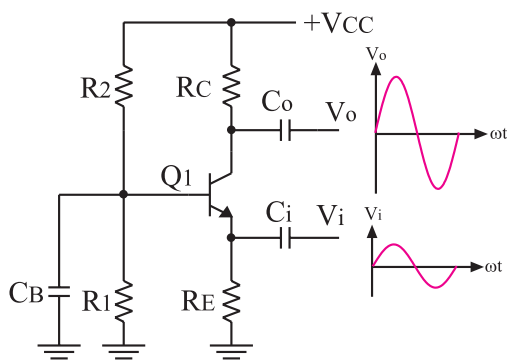
آرایش امیتر مشترک



شکل ۸- تقویت کننده امیتر مشترک

اگر پایه مشترک بین ورودی و خروجی امیتر باشد، تقویت کننده را امیتر مشترک می‌نامند، شکل ۸ علت نام‌گذاری این آرایش به خاطر مشترک بودن پایه امیتر است. در این تقویت کننده، سیگنال ورودی به پایه بیس اعمال می‌شود و سیگنال خروجی از پایه کلکتور دریافت می‌شود.

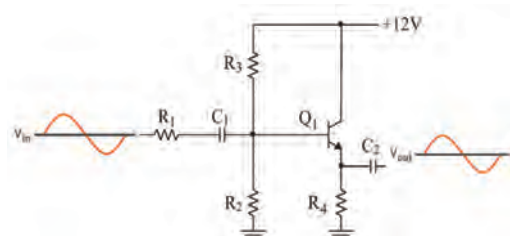
آرایش بیس مشترک



شکل ۹- تقویت کننده بیس مشترک

در این آرایش پایه مشترک بین ورودی و خروجی بیس است، در این تقویت کننده، سیگنال ورودی را به پایه امیتر اعمال می‌کنیم و سیگنال خروجی را از پایه کلکتور می‌گیریم (شکل ۹).

آرایش کلکتور مشترک

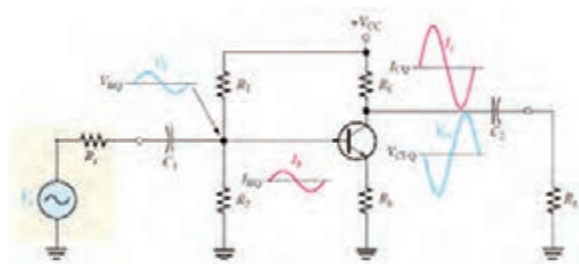


شکل ۱۰- تقویت کننده کلکتور مشترک



مشخصات تقویت کننده‌های امیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک با هم متفاوت است.

بررسی تقویت کننده امیتر مشترک (CE)



شکل ۱۱ - تقویت کننده امیتر مشترک

در شکل ۱۱ یک نمونه تقویت کننده امیتر مشترک نشان داده شده است.

در این تقویت کننده، سیگنال ورودی را به پایه بیس اعمال می‌کنیم و سیگنال خروجی را از پایه کلکتور می‌گیریم.

■ مشخصات تقویت کننده امیتر مشترک

(الف) بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_o}{V_{in}}$ متوسط و بیشتر از یک

(ب) بهره جریان $A_I = \frac{I_o}{I_{in}}$ متوسط و بیشتر از یک

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

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

مقاومت خروجی در حالت AC از موازی شدن دو مقاومت RC و مقاومت داخلی کلکتور امیتر ترانزیستور به دست می‌آید.

چون دیود کلکتور بیس در بایاس مخالف قرار دارد. بنابراین مقاومتی که از کلکتور امیتر دیده می‌شود بسیار بزرگ است. هنگامی که مقاومت بسیار بزرگ کلکتور امیتر با R_C موازی شود (مقاومت معادل) مقاومت خروجی به سمت مقاومت R_C (بار) میل خواهد کرد، مقاومت خروجی را با R_O نمایش می‌دهند.

(ث) بین سیگنال ورودی و خروجی آن 180° درجه اختلاف فاز وجود دارد.

دلیل وجود اختلاف فاز 180° درجه بین ورودی و خروجی این است که وقتی دامنه سیگنال V_{BE} ورودی زیاد می‌شود، مقدار I_B را زیاد می‌کند. با افزایش I_B ، I_C نیز زیاد می‌شود زیرا مقدار آن برابر با $I_C = \beta \times I_B$ است. از طرفی مقدار V_{CC} در حلقه خروجی بین مقاومت R_C و V_{CE} تقسیم می‌شود. چون V_{CC} ثابت است، با زیاد شدن I_C مقدار V_{RC} زیاد و V_{CE} کم می‌شود. این کاهش ولتاژ به معنی وجود اختلاف فاز 180° درجه بین ورودی و خروجی است. در صورتی که V_{BE} کم شود عمل عکس اتفاق می‌افتد.

کاربرد تقویت کننده: تقویت کننده امیتر مشترک، بیشترین کاربرد را در بین انواع تقویت کننده‌ها دارد. تقویت کننده امیتر مشترک علاوه بر تقویت جریان، تقویت ولتاژ را نیز انجام می‌دهد و به همین دلیل، در بسیاری از موارد، نسبت به تقویت کننده‌های دیگر برتری دارد.

تقویت کننده امیتر مشترک در مقایسه با سایر آرایش‌ها دارای مقاومت ورودی و خروجی متوسطی است. بنابراین از این مدار می‌توان در تقویت کننده‌های انتهایی، میانی و ابتدایی مدارهای الکترونیکی استفاده کرد.



بستن تقویت کننده امیتر مشترک

هدف: بررسی مقادیر کمیت ها در تقویت کننده امیتر مشترک

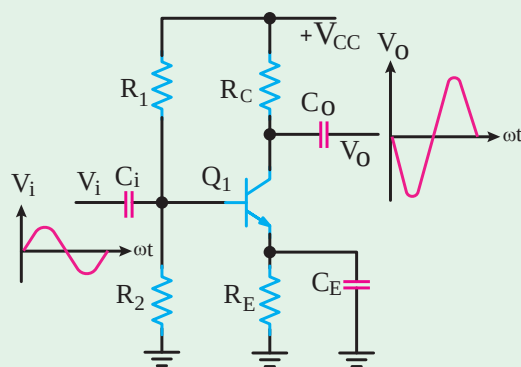
مواد، ابزار و تجهیزات: منبع تغذیه یک دستگاه، سیگنال ژنراتور صوتی یک دستگاه، اسیلوسکوپ دو کاناله یک دستگاه

بردبرد آزمایشگاهی یک قطعه، مولتی متر دیجیتالی یک دستگاه، سیم رابط تغذیه به تعداد، سیم رابط بردبرد به تعداد کافی

رایانه، نرم افزار مولتی سیم، نوشت افزار، ترانزیستور BC ۵۴۷ یا BC ۱۰۷ یک عدد

مقاومت به $R_s = 22\text{K}\Omega$, $R_L = 22\text{K}\Omega$, $R_1 = 10\text{K}\Omega$, $R_2 = 33\text{K}\Omega$, $R_E = 1\text{K}\Omega$, $R_C = 47\text{K}\Omega$ یک عدد خازن $47\text{ }\mu\text{F}$ دو عدد

هدف از اجرای این کار عملی، اندازه گیری بهره ولتاژ، بهره جریان، مقاومت ورودی، مقاومت خروجی و اختلاف فاز بین سیگنال ولتاژ ورودی و سیگنال ولتاژ خروجی است. همانطور که گفته شد در این تقویت کننده سیگنال ورودی به امیتر اعمال می شود و خروجی از کلکتور ترانزیستور گرفته می شود (شکل ۱۲).

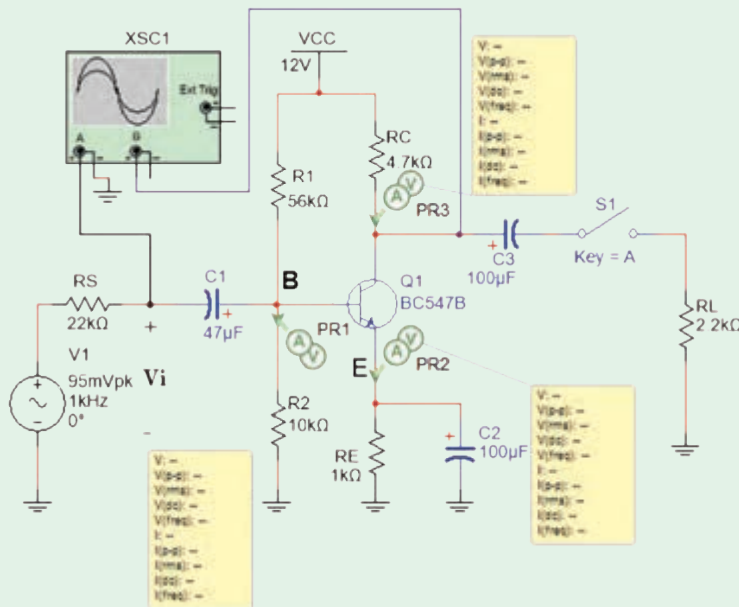


شکل ۱۲- مدار کار عمل تقویت کننده امیتر

منبع تغذیه V_{CC} به وسیله دو مقاومت تقسیم کننده ولتاژ R_1 و R_2 ولتاژ بیس ترانزیستور را تأمین می کند. مقاومت های R_C و R_E مقاومت های بایاس کلکتور و امیتر ترانزیستور هستند. برای آن که ولتاژ متناوب روی R_E افت نکند، دو سر مقاومت R_E به وسیله خازن C_E که خازن «بای پاس» نام دارد، برای ولتاژ متناوب اتصال کوتاه می شود. C_i و C_o نیز خازن های کوپلاژ هستند.

مراحل اجرای کار

۱ مدار تقویت‌کنندهٔ امیتر مشترک نشان داده شده، در شکل ۱۳ را در فضای نرم‌افزار ببینید و سیگنال ژنراتور و اسیلوسکوپ را غیرفعال کنید.



شکل ۱۳- مدار تقویت‌کنندهٔ امیتر مشترک

پراب probe اندازه‌گیری را به ترتیب به پایه B, E, C ترانزیستور در مدار اتصال دهید.

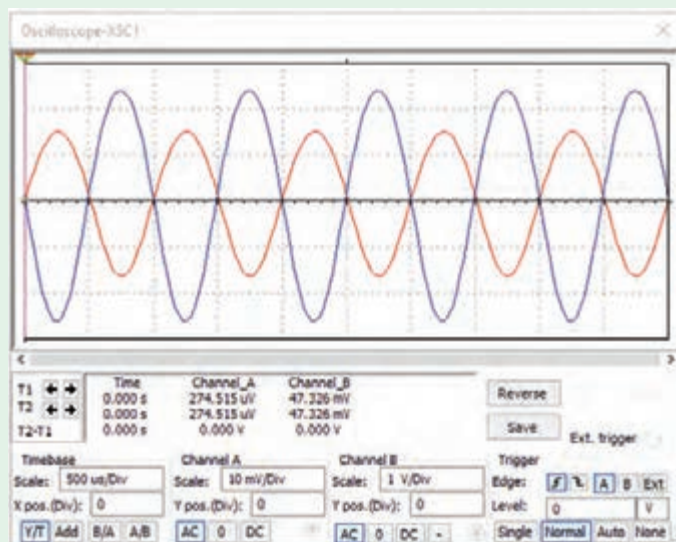
۲ نرم‌افزار را فعال کنید با استفاده از پراب‌ها (probe_۱ و probe_۲ و probe_۳) مشخصات نقطهٔ کار مدار را اندازه‌گیری کنید و مقادیر را بنویسید.

اندازه‌گیری مقادیر (DC) نقطه کار با نرم افزار	
$I_B = \dots\dots\dots \text{mA}$	$I_C = \dots\dots\dots \text{mA}$
$V_B = \dots\dots\dots \text{V}$	$I_E = \dots\dots\dots \text{mA}$
$V_E = \dots\dots\dots \text{V}$	$V_C = \dots\dots\dots \text{V}$
$V_{BE} = \dots\dots\dots \text{V}$	$V_{CE} = \dots\dots\dots \text{V}$

سؤال: آیا مقدار ولتاژ کلکتور امیتر، نصف ولتاژ منبع تغذیه است؟ توضیح دهید.

۳ سیگنال ژنراتور و اسیلوسکوپ متصل شده به مدار شکل ۱۳ را در نرم‌افزار فعال کنید. کانال یک دستگاه اسیلوسکوپ را به ورودی مدار وصل کنید. کانال دو (۲) اسیلوسکوپ را به خروجی مدار متصل نمایید. دامنهٔ سیگنال ژنراتور را آن قدر تغییر دهید تا دامنهٔ سیگنال خروجی (بدون اعوجاج) روی ۵ ولت پیک‌تا-پیک تنظیم شود (شکل ۱۴).

توجه: در این حالت مقاومت بار $2/2 \text{ k}\Omega$ را به مدار اتصال ندهید (کلید سری با آن باز باشد).



شکل ۱۴- نمایش سیگنال ولتاژ ورودی و سیگنال ولتاژ خروجی C.E در اسیلوسکوپ نرم افزار

۴) مقادیر ولتاژ خروجی $V_{O_{pp(NL)}}$ و ولتاژ ورودی $V_{in_{pp}}$ را از روی پراب‌های اندازه‌گیری یادداشت کنید.

$$V_{in_{pp}} = \dots\dots\dots V_{O_{pp(NL)}} = \dots\dots\dots$$

۵) با استفاده از رابطه بهره ولتاژ، مقدار بهره ولتاژ را در حالت بی‌باری به دست آورید.

$$A_v = \frac{V_{O_{pp(NL)}}}{V_{in_{pp}}} = \dots\dots\dots$$

نکته مهم: $V_{O_{pp(NL)}}$ ولتاژ خروجی در حالت بی‌باری (NO Load) است.

۶) مقاومت بار $R_L = 2/2 \text{ k}\Omega$ را به مدار متصل کنید (کلید سری با آن را وصل کنید) در این مرحله باید $V_{in_{pp}}$ و $V_{O_{pp(FL)}}$ مجدداً با اسیلوسکوپ و پراب‌ها اندازه‌گیری شود.

$$V_{in_{pp}} = \dots\dots\dots V_{O_{pp(FL)}} = \dots\dots\dots$$

نکته مهم: مقدار $V_{O_{pp(FL)}}$ را ولتاژ خروجی در حالت باردار (Full Load) می‌نامند. آن را با V_{OFL} نشان می‌دهند. در ضمن قراردادن بار در مدار تأثیر چندانی در V_{ipp} ندارد.

$$A_{VL} = \frac{V_{O_{pp(FL)}}}{V_{in_{pp}}} = \dots\dots\dots \quad \text{۷) بهره ولتاژ مدار را در حالت باردار از رابطه مقابل محاسبه کنید:}$$

- مقادیر بهره ولتاژ اندازه‌گیری شده در حالت باردار و بی‌باری را با هم مقایسه کنید و در مورد آن توضیح دهید.

.....

۸) با اندازه‌گیری ولتاژ دو سر بار به وسیله اسیلوسکوپ I_L را از رابطه محاسبه کنید.

$$V_{RL} = V_{O_{pp(FL)}} = \dots\dots\dots \quad I_L = \frac{V_{O_{pp(FL)}}}{R_L} = \dots\dots\dots$$

۹ مقدار زاویهٔ اختلاف فاز را با توجه به نمایش دو شکل موج ورودی و خروجی بر روی اسیلوسکوپ محاسبه کنید.

۱۰ با استفاده از رابطه زیر مقاومت خروجی تقویت کننده را محاسبه کنید.

$$R_{Out} = \frac{V_{O_{pp(NL)}} - V_{O_{pp(FL)}}}{V_{O_{pp(FL)}}} \times R_L = \dots\dots\dots$$

۱۱ ولتاژ دو سر مقاومت R_S را اندازه بگیرید و مقدار جریان ورودی را از رابطه زیر محاسبه کنید.

$$I_{in} = \frac{V_{SP} - V_{inp}}{R_S} = \dots\dots\dots$$

۱۲ با استفاده از جریان ورودی و خروجی ضریب بهرهٔ جریان را به دست آورید.

$$A_I = \frac{I_L}{I_{in}} = \dots\dots\dots$$

۱۳ با مقادیر V_{in} و I_{in} مقدار مقاومت ورودی تقویت کننده را از رابطه زیر به دست آورید.

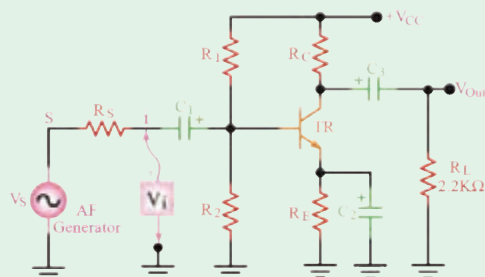
$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \dots\dots\dots$$

۱۴ نتایج به دست آمده را در جدول ۱ یادداشت کنید و دربارهٔ آنها توضیح دهید.

جدول ۱

اختلاف فاز ϕ	مقاومت خروجی R_o	مقاومت ورودی R_{in}	بهرهٔ جریان A_I	بهرهٔ ولتاژ A_v

.....



$R_S = 2.2k\Omega$ $R_C = 4.7k\Omega$

$R_1 = 56k\Omega$ $R_E = 1k\Omega$

$R_2 = 10k\Omega$ $R_L = 2.2k\Omega$

$C_1 = 100\mu F$

$C_2 = 47\mu F$

$C_3 = 100\mu F$

1R = BC107

$V_{CC} = 10V$

یا هر نوع ترانزیستور

عمومی

شکل ۱۵- مدار عملی آمپتر مشترک

مراحل اجرای کار سخت افزاری

۱۵ مدار شکل ۱۵ را روی بردبرد ببندید.

در این مرحله R_L و سیگنال ژنراتور به مدار اتصال ندارد.

اندازه گیری مقادیر (DC) نقطه کار به صورت عملی

$V_B = \dots\dots\dots V$	$V_C = \dots\dots\dots V$
$V_E = \dots\dots\dots V$	$V_{CE} = \dots\dots\dots V$
$V_{BE} = \dots\dots\dots V$	

۱۶ با استفاده از مولتی متر مشخصات نقطه کار مدار (V_{CE} ، V_{BE} ، I_C) را اندازه بگیرید و مقادیر آن را یادداشت کنید.
توجه: اگر مقدار V_{CE} حدوداً نصف V_{CC} باشد، (بین ۴ تا ۷ ولت) قابل قبول است.

تنظیم اولیه دستگاه اسیلوسکوپ برای افزایش دقت در اندازه گیری:

- به کمک ولوم INTENT نور اشعه را به مقدار کافی تنظیم کنید.
- به کمک ولوم FOCUS اشعه را تا حد ممکن نازک (باریک) کنید.
- ولوم Level را روی صفر بگذارید.
- ولوم variable time را در حالت cal قرار دهید.
- ولوم Volt variable هر دو کانال را در حالت صفر قرار دهید.
- کلید ACGND DC هر دو کانال را در حالت GND قرار دهید و برای هر دو کانال نقطه صفر در مرکز صفحه حساس تنظیم کنید.

۱۷ سیگنال ژنراتور را روی فرکانس یک کیلوهرتز تنظیم کنید.

کانال دوم (CH_2) اسیلوسکوپ را به خروجی مدار وصل کنید (در این حالت باری به مدار وصل نیست).
دامنه سیگنال ورودی را آن قدر تغییر دهید تا دامنه سیگنال خروجی بدون اعوجاج (حدوداً) روی $5V_{PP}$ تنظیم شود.

$$V_{O_{PP(NL)}} = \dots\dots\dots$$

۱۸ دامنه سیگنال ورودی را به وسیله کانال اول (CH_1) اسیلوسکوپ اندازه بگیرید.

$$V_{in_{PP}} = \dots\dots\dots$$

۱۹ بهره ولتاژ مدار را محاسبه کنید:

$$A_V = \frac{V_{O_{PP(NL)}}}{V_{in_{PP}}} = \dots\dots\dots$$

۲۰ مقاومت بار $R_L = 2/2k\Omega$ را به خروجی مدار وصل کنید با اندازه گیری ولتاژ دوسر بار به وسیله اسیلوسکوپ I_L را از رابطه زیر محاسبه کنید:

$$V_{RL} = V_{O_{PP(FL)}} = \dots\dots\dots \quad I_L = \frac{V_{O_{PP(FL)}}}{R_L} = \dots\dots\dots$$

۲۱ با استفاده از رابطه بهره ولتاژ، مقدار بهره ولتاژ را در حالت بار کامل به دست آورید.

$$A_{VL} = \frac{V_{O_{PP(FL)}}}{V_{in_{PP}}} = \dots\dots\dots$$

۲۲ با استفاده از رابطه زیر مقاومت خروجی تقویت کننده را محاسبه کنید.

$$R_{Out} = \frac{V_{O_{PP(NL)}} - V_{O_{PP(FL)}}}{V_{O_{PP(FL)}}} \times R_L = \dots\dots\dots$$

۲۳ ولتاژ دوسر R_S را اندازه بگیرید و I_i را محاسبه کنید.

$$I_{in} = \frac{V_{SP} - V_{inp}}{R_S} = \dots\dots\dots$$

۲۴ بهره جریان مدار را با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده برای I_i ، I_L محاسبه کنید.

$$A_I = \frac{I_L}{I_{in}} = \dots\dots\dots$$

۲۵ با اندازه گیری V_i و I_i مقاومت ورودی تقویت کننده را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \dots\dots\dots$$

۲۶ به وسیله اسیلوسکوپ، شکل موج ورودی و خروجی را در نمودار شکل ۱۶ با مقیاس مناسب رسم کنید.

نکته مهم: هنگام مشاهده شکل موج خروجی و ورودی دقت کنید تا اسیلوسکوپ روی $CH_1 Invert$ نباشد. زیرا اگر روی این تنظیم قرار گیرد اختلاف فاز را نشان نمی دهد. ۲۷ اختلاف فاز بین موج خروجی و ورودی با توجه به شکل موج ترسیم شده را اندازه بگیرید و یادداشت کنید. (در این حالت مقاومت بار در مدار قرار دارد).

$$\phi = \dots\dots\dots$$

شکل ۱۶- محل ترسیم شکل موج ورودی و خروجی مدار CE

۲۸ نتایج به دست آمده را در جدول ۲ یادداشت کنید. مقادیر پارامترهای AC تقویت کننده را در دو حالت نرم افزاری و سخت افزاری با هم مقایسه کنید.

جدول ۲

مقادیر اندازه گیری شده با مدار سخت افزار (عملی)	مقادیر اندازه گیری شده با نرم افزار	پارامترهای AC تقویت کننده
		بهره ولتاژ A_V
		بهره جریان A_i
		مقاومت ورودی R_{in}
		مقاومت خروجی R_O
		اختلاف فاز ϕ

- آنچه را که در آزمایش مدار تقویت کننده امیتر مشترک فرا گرفته اید به اختصار شرح دهید.

.....

.....

بررسی تقویت کننده بیس مشترک (CB)

در تقویت کننده بیس مشترک، ورودی مدار، امیتر بیس و خروجی آن کلکتور بیس است.

شکل ۱۷ یک تقویت کننده بیس مشترک با تغذیه سرخود را نشان می دهد.

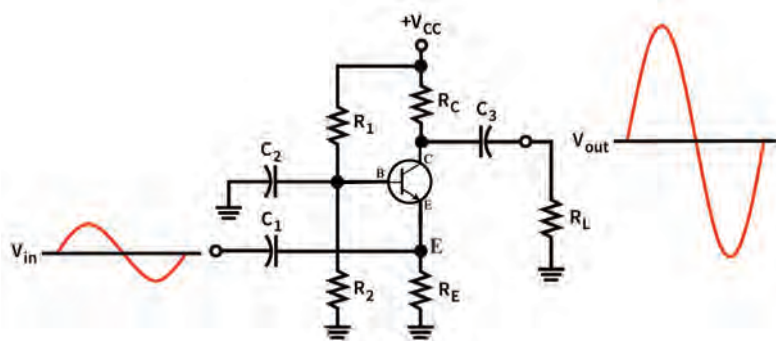
اگر به مدار شکل ۱۷ توجه کنیم، بایاس DC این مدار کاملاً مشابه مدار آرایش امیتر مشترک است. سیگنال AC از طریق خازن کوپلاژ C_1 به امیتر داده می شود. خروجی نیز از طریق خازن کوپلاژ C_3 از کلکتور گرفته می شود و بیس نیز از طریق خازن بای پس C_2 از لحاظ AC به زمین اتصال کوتاه است. به عبارت دیگر سیگنال متناوب ورودی

به امیتر بیس ترانزیستور داده

می شود و سیگنال خروجی از

کلکتور بیس ترانزیستور دریافت

می گردد.



شکل ۱۷- تقویت کننده بیس مشترک (CB)

■ مشخصات تقویت کننده بیس مشترک

(الف) بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_o}{V_{in}}$ خیلی بزرگ تر از یک است. در تقویت کننده بیس مشترک ضریب تقویت ولتاژ زیاد است.

(ب) بهره جریان $A_i = \frac{I_o}{I_{in}}$ در تقویت کننده بیس مشترک، تقویت جریان وجود ندارد. به تعبیر دیگر، ضریب تقویت جریان در تقویت کننده بیس مشترک کوچک تر از یک است.

(پ) مقاومت ورودی (R_i) از مجموعه موازی مقاومت های R_E و مقاومت دیود بیس امیتر به دست می آید. مقدار مقاومت R_E و مقدار مقاومت دیود بیس امیتر که در ولتاژ موافق قرار دارد کم است، لذا مقدار مقاومت ورودی مدار بیس مشترک از مقاومت مدار امیتر مشترک کوچک تر است.

(ت) مقاومت خروجی آن متوسط است (مشابه امیتر مشترک و در حدود چند کیلو اهم).

(ث) در تقویت کننده بیس مشترک جریان ورودی با جریان خروجی و هم چنین ولتاژ ورودی و خروجی هم فاز هستند.

کاربرد تقویت کننده: بیس مشترک، یک تقویت کننده ولتاژ است و در مواردی به کار می رود که نیاز به تقویت سیگنال های متناوب با فرکانس بالا (مانند مدارهای مخابراتی) و یا مقاومت ورودی کم باشد.

کاربرد مدار تقویت کننده بیس مشترک در کدام سامانه های مخابراتی است، یافته های خود را در قالب یک گزارش ارائه دهید.

تحقیق کنید





بستن تقویت کننده بیس مشترک به صورت نرم افزاری

هدف: بررسی کمیت های تقویت کننده بیس مشترک

مواد، ابزار و تجهیزات: منبع تغذیه یک دستگاه، سیگنال ژنراتور صوتی یک دستگاه، اسیلوسکوپ دو کاناله یک دستگاه، بردبرد آزمایشگاهی یک قطعه، مولتی متر دیجیتالی یک دستگاه، سیم رابط تغذیه به تعداد کافی، سیم رابط بردبرد به تعداد کافی

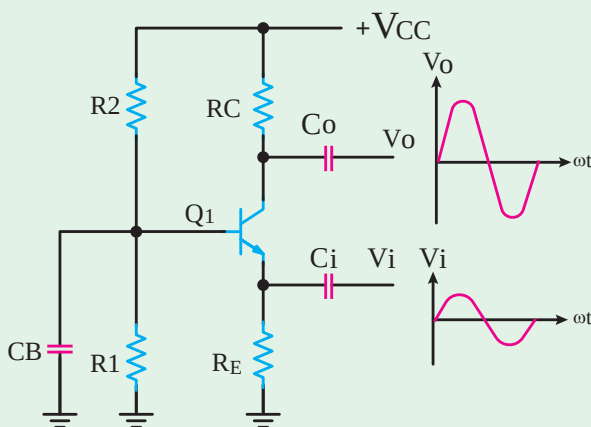
رایانه، نرم افزار مولتی سیم، نوشت افزار، ترانزیستور BC547 یا BC 107 یک عدد

مقاومت به $R_S = 22\text{ k}\Omega$, $R_L = 2/2\text{ k}\Omega$, $R_1 = 10\text{ k}\Omega$, $R_2 = 3/3\text{ k}\Omega$, $R_E = 1\text{ k}\Omega$, $R_C = 4/7\text{ k}\Omega$ یک عدد

خازن $100\text{ }\mu\text{F}$ دو عدد

هدف از اجرای این کار عملی، اندازه گیری بهره ولتاژ، بهره جریان، مقاومت ورودی، مقاومت خروجی و اختلاف فاز بین سیگنال ولتاژ ورودی و سیگنال ولتاژ خروجی است.

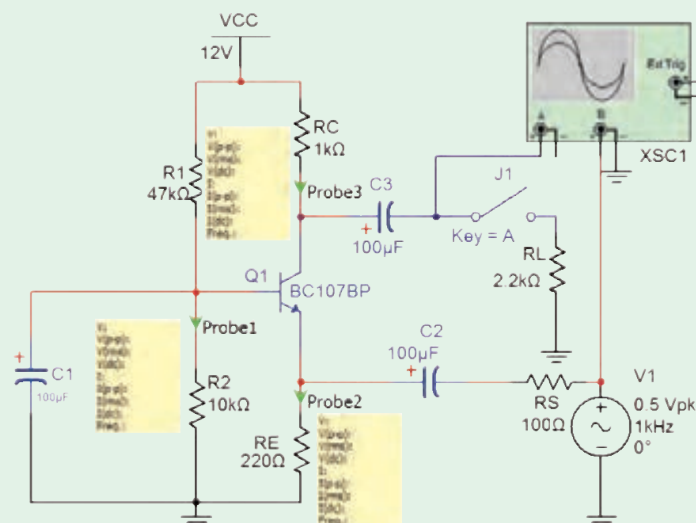
همان طور که گفته شد در این تقویت کننده سیگنال ورودی را به امیتر می دهیم و سیگنال تقویت شده را از کلکتور ترانزیستور دریافت می کنیم. خازن C_B پایه بیس را از نظر AC به زمین بای پاس می کند. (شکل ۱۸). منبع تغذیه V_{CC} به وسیله دو مقاومت تقسیم کننده ولتاژ R_1 و R_2 ولتاژ بیس ترانزیستور را تأمین می کند. مقاومت های R_C و R_E مقاومت های بایاس کلکتور و امیتر ترانزیستور هستند. C_i و C_o نیز خازن های کوپلاژ هستند که برای ولتاژ متناوب اتصال کوتاه در نظر می گیریم.



شکل ۱۸- شکل موج ورودی و خروجی مدار تقویت کننده بیس مشترک

مراحل اجرای کار عملی

۱ مدار تقویت کننده بیس مشترک نشان داده شده شکل ۱۹ را در محیط نرم افزار مولتی سیم ببندید. در این مرحله مقاومت بار و سیگنال ژنراتور به مدار اتصال ندارد.



شکل ۱۹- مدار تقویت کننده بیس مشترک

توجه: پراب (probe) اندازه گیری را به ترتیب به پایه B, E, C ترانزیستور در مدار اتصال دهید.

۲ نرم افزار را فعال کنید با استفاده از پرابها (probe_۱ و probe_۲ و probe_۳) مشخصات نقطه کار مدار را اندازه گیری کنید و مقادیر را بنویسید.

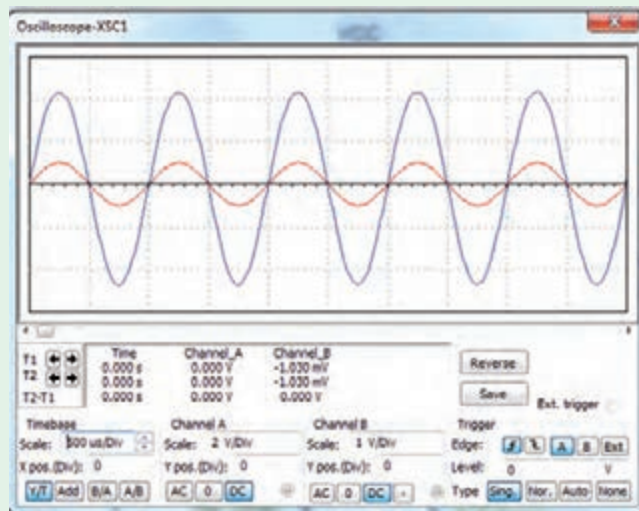
اندازه گیری مقادیر (DC) نقطه کار با نرم افزار	
$I_B = \dots\dots\dots \text{mA}$	$I_C = \dots\dots\dots \text{mA}$
$V_B = \dots\dots\dots \text{V}$	$I_E = \dots\dots\dots \text{mA}$
$V_E = \dots\dots\dots \text{V}$	$V_C = \dots\dots\dots \text{V}$
$V_{BE} = \dots\dots\dots \text{V}$	$V_{CE} = \dots\dots\dots \text{V}$

سؤال: آیا مقدار ولتاژ کلکتور امیتر، نصف ولتاژ منبع تغذیه است؟ توضیح دهید.

۳ سیگنال ژنراتور و اسیلوسکوپ متصل شده به مدار را در نرم افزار (شکل ۱۹) فعال کنید. کانال یک دستگاه اسیلوسکوپ را به ورودی مدار وصل کنید. کانال دو دستگاه اسیلوسکوپ را به خروجی مدار متصل نمایید و دامنه سیگنال ژنراتور را آن قدر تغییر دهید تا دامنه سیگنال خروجی (بدون اعوجاج) روی ۵ ولت پیک تا پیک تنظیم شود (شکل ۲۰).

$$A_V = \frac{V_{O_{PP(NL)}}}{V_{in_{pp}}} = \dots\dots\dots$$

توجه: در این حالت مقاومت بار $2/2 \text{ k}\Omega$ را به مدار اتصال ندهید (کلید سری با آن باز باشد).



شکل ۲۰- نمایش سیگنال ولتاژ ورودی و سیگنال ولتاژ خروجی C.B در اسیلوسکوپ نرم افزار

۴) مقادیر ولتاژ خروجی $V_{O_{pp(NL)}}$ و ولتاژ ورودی $V_{in_{pp}}$ را از روی پراب‌های اندازه‌گیری یادداشت کنید.

$$V_{in_{pp}} = \dots\dots\dots V_{O_{pp(NL)}} = \dots\dots\dots$$

۵) با استفاده از رابطه بهره ولتاژ، مقدار بهره ولتاژ را در حالت بی‌باری به دست آورید.

$$A_v = \frac{V_{O_{pp(NL)}}}{V_{in_{pp}}} = \dots\dots\dots$$

۶) مقاومت بار $R_L = 2/2 k\Omega$ را به مدار متصل کنید (کلید سری با آن را وصل کنید) در این مرحله باید $V_{O_{pp(FL)}}$ و $V_{in_{pp}}$ مجدداً با اسیلوسکوپ و پراب‌ها اندازه‌گیری شود.

$$V_{in_{pp}} = \dots\dots\dots V_{O_{pp(FL)}} = \dots\dots\dots$$

۷) بهره ولتاژ مدار را در حالت بارداری از رابطه زیر محاسبه کنید:

$$A_{VL} = \frac{V_{O_{pp(FL)}}}{V_{in_{pp}}} = \dots\dots\dots$$

۸) با اندازه‌گیری ولتاژ دو سر بار به وسیله اسیلوسکوپ، I_L را از رابطه زیر محاسبه کنید:

$$V_{RL} = V_{O_{pp(FL)}} = \dots\dots\dots I_L = \frac{V_{O_{pp(FL)}}}{R_L} = \dots\dots\dots$$

۹) مقدار زاویه اختلاف فاز را با توجه به نمایش دو شکل موج ورودی و خروجی بر روی اسیلوسکوپ محاسبه کنید.

$$\varphi = \text{اختلاف فاز} = \dots\dots\dots$$

۱۰) با استفاده از رابطه زیر مقاومت خروجی تقویت‌کننده را محاسبه کنید:

$$R_{Out} = \frac{V_{O_{pp(NL)}} - V_{O_{pp(FL)}}}{V_{O_{pp(FL)}}} \times R_L = \dots\dots\dots$$

- مقادیر بهره ولتاژ اندازه گیری شده در حالت بار داری و بی باری را با هم مقایسه کنید و در مورد آن توضیح دهید.

۱۱ ولتاژ دو سر مقاومت R_S را اندازه بگیرید و مقدار جریان ورودی را از رابطه زیر محاسبه کنید:

$$I_{in} = \frac{V_{SP} - V_{in_p}}{R_S}$$

۱۲ با استفاده از جریان ورودی و خروجی ضریب بهره جریان را به دست آورید:

$$A_I = \frac{I_L}{I_{in}} = \dots\dots\dots$$

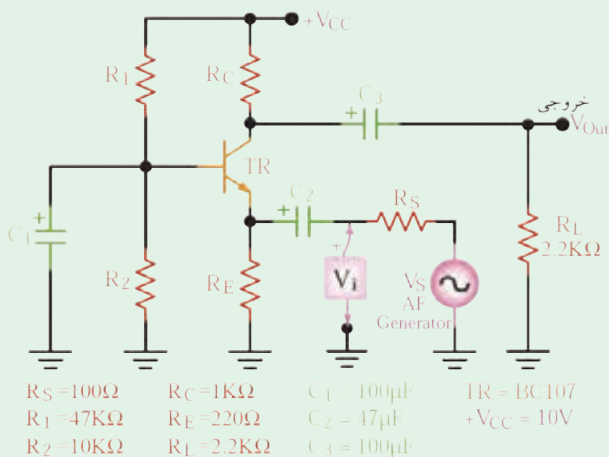
۱۳ با مقادیر V_{in} و I_{in} مقدار مقاومت ورودی تقویت کننده را از رابطه زیر به دست آورید.

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \dots\dots\dots$$

۱۴ نتایج به دست آمده را در جدول ۳ یادداشت کنید و درباره آنها توضیح دهید.

جدول ۳

اختلاف فاز ϕ	مقاومت خروجی R_o	مقاومت ورودی R_{in}	بهره جریان A_I	بهره ولتاژ A_V



مراحل اجرای کار عملی سخت افزاری

۱۵ مدار شکل ۲۱ را روی بردبرد ببندید.

در این مرحله R_L و سیگنال ژنراتور به مدار اتصال ندارد.

۱۶ با استفاده از مولتی متر مشخصات نقطه کار مدار (V_{CE} ،

V_{BE} ، I_C) را اندازه بگیرید و مقادیر آن را یادداشت کنید.

اندازه گیری مقادیر (DC) نقطه کار به صورت عملی

$V_B = \dots\dots\dots V$	$V_C = \dots\dots\dots V$
$V_E = \dots\dots\dots V$	$V_{CE} = \dots\dots\dots V$
$V_{BE} = \dots\dots\dots V$	

شکل ۲۱- مدار عملی تقویت کننده بیس مشترک

توجه: اگر مقدار V_{CE} حدوداً نصف V_{CC} باشد، (بین ۴ تا ۷ ولت) قابل قبول است.
نکته: تنظیم اولیه دستگاه اسیلوسکوپ برای افزایش دقت در اندازه‌گیری را مطابق آن چه که در تقویت کننده امیتر مشترک بیان شد اجرا کنید.

۱۷ سیگنال ژنراتور را روی فرکانس یک کیلوهرتز تنظیم کنید.

کانال دوم (CH_2) اسیلوسکوپ را به خروجی مدار وصل کنید (در این حالت باری به مدار وصل نیست).
 دامنه سیگنال ورودی را آن قدر تغییر دهید تا دامنه سیگنال خروجی بدون اعوجاج (حدوداً) روی $5V_{P-P}$ تنظیم شود.

$$V_{O_{pp}(NL)} = \dots\dots\dots$$

۱۸ دامنه سیگنال ورودی را به وسیله کانال (CH_1) اسیلوسکوپ اندازه بگیرید.

$$V_{in_{pp}} = \dots\dots\dots$$

۱۹ بهره ولتاژ مدار را محاسبه کنید.

$$A_V = \frac{V_{O_{pp}(NL)}}{V_{in_{pp}}} = \dots\dots\dots$$

۲۰ مقاومت بار $R_L = 2/2k\Omega$ را به خروجی مدار وصل کنید. با اندازه‌گیری ولتاژ دوسر بار به وسیله اسیلوسکوپ I_L را از رابطه زیر محاسبه کنید.

$$V_{RL} = V_{O_{pp}(FL)} = \dots\dots\dots \quad I_L = \frac{V_{O_{pp}(FL)}}{R_L} = \dots\dots\dots$$

۲۱ با استفاده از رابطه بهره ولتاژ، مقدار بهره ولتاژ را در حالت بار کامل به دست آورید.

$$A_{VL} = \frac{V_{O_{pp}(FL)}}{V_{in_{pp}}} = \dots\dots\dots$$

۲۲ با استفاده از رابطه زیر مقاومت خروجی تقویت کننده را محاسبه کنید.

$$R_{Out} = \frac{V_{O_{pp}(NL)} - V_{O_{pp}(FL)}}{V_{O_{pp}(FL)}} \times R_L = \dots\dots\dots$$

۲۳ ولتاژ دو سر R_S را اندازه بگیرید و I_{in} را محاسبه کنید.

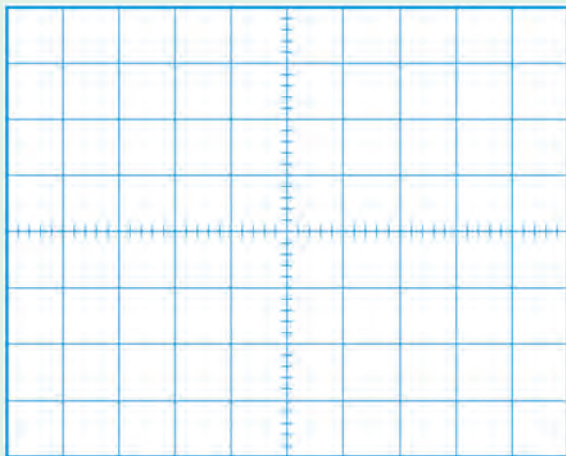
$$I_{in} = \frac{V_{SP} - V_{inp}}{R_S} = \dots\dots\dots$$

۲۴ بهره جریان مدار را با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده برای I_L ، I_{in} محاسبه کنید.

$$A_I = \frac{I_L}{I_{in}} = \dots\dots\dots$$

۲۵ با اندازه‌گیری V_{in} و I_{in} مقاومت ورودی تقویت کننده را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \dots\dots\dots$$



۲۶ به وسیله اسیلوسکوپ، شکل موج ورودی و خروجی را در نمودار شکل ۲۲ با مقیاس مناسب رسم کنید.

نکته مهم: هنگام مشاهده شکل موج خروجی و ورودی دقت کنید تا اسیلوسکوپ روی $CH_1 \text{ Invert}$ نباشد. زیرا اگر روی این تنظیم قرار گیرد اختلاف فاز را نشان نمی دهد.

۲۷ اختلاف فاز بین موج خروجی و ورودی با توجه به شکل موج ترسیم شده را اندازه بگیرید و یادداشت کنید. (در این حالت مقاومت بار در مدار قرار دارد).
 $\phi = \dots\dots\dots$

شکل ۲۲- محل ترسیم شکل موج ورودی و خروجی مدار CB

۲۸ نتایج به دست آمده را در جدول ۲ یادداشت کنید. مقادیر پارامترهای AC تقویت کننده را در دو حالت نرم افزاری و سخت افزاری با هم مقایسه کنید.

جدول ۴

پارامترهای AC تقویت کننده	مقادیر اندازه گیری شده با نرم افزار	مقادیر اندازه گیری شده با مدار سخت افزار (عملی)
بهره ولتاژ A_V		
بهره جریان A_I		
مقاومت ورودی R_{in}		
مقاومت خروجی R_O		
اختلاف فاز ϕ		

- آنچه را که در آزمایش مدار تقویت کننده بیس مشترک فرا گرفته اید به اختصار شرح دهید.

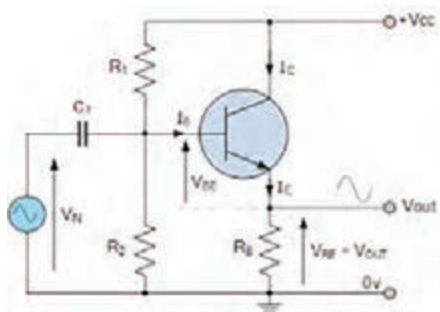
.....

.....

.....

.....

بررسی تقویت کننده کلکتور مشترک (CB)



شکل ۲۳- تقویت کننده کلکتور مشترک CC

همان طور که در شکل ۲۳ ملاحظه می کنید، در مدار تقویت کننده کلکتور مشترک، سیگنال ورودی به بیس و کلکتور اعمال شده و سیگنال خروجی از امیتر و کلکتور دریافت می شود. به عبارت دیگر پایه کلکتور بین ورودی و خروجی مشترک است. مقدار مقاومت های بایاس R_1 و R_2 نسبتاً زیاد هستند از این رو مقاومت ورودی تقویت کننده CC افزایش می یابد و از مقاومت ورودی تقویت کننده های CE و CB بیش تر است. چون مقاومت R_C وجود ندارد در شرایط AC سیگنال متناوب ورودی عیناً به پایه های «بیس کلکتور» اتصال می یابد و سیگنال متناوب خروجی از پایه های «امیتر کلکتور» دریافت می شود.

■ مشخصات تقویت کننده کلکتور مشترک

الف) بهره ولتاژ $A_v = \frac{V_o}{V_{in}}$ در آرایش کلکتور مشترک بهره ولتاژ کوچک تر از واحد است.

ب) بهره جریان $A_i = \frac{I_o}{I_{in}}$ در مدار کلکتور مشترک، جریان ورودی، جریان بیس و جریان خروجی، جریان امیتر است از طرفی چون جریان امیتر خیلی بیش تر از جریان بیس است، این مدار ضریب تقویت جریان زیادی دارد. بهره جریان حالت سکون (استاتیک) مدار کلکتور مشترک از نسبت جریان امیتر به جریان بیس به دست می آید و مقدار آن برابر است با:

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_E}{I_B} = 1 + \beta$$

بنابراین در این مدار ضریب بهره جریان خیلی بزرگتر از (۱) است.

پ) مقاومت ورودی (R_i) مدار کلکتور مشترک در مقایسه با مدار امیتر مشترک بزرگ تر است و به سمت مقاومت معادل R_1 و R_2 میل می کند.

$$R_i \approx R_1 \parallel R_2$$

ت) مقاومت خروجی تقویت کننده کلکتور مشترک از موازی شدن مقاومت R_E با مقاومت امیتر کلکتور ترانزیستور به دست می آید. این مقاومت کوچک و در حدود چند ده اهم است.

ج) در مدار کلکتور مشترک بین ولتاژ خروجی و ولتاژ ورودی اختلاف فازی وجود ندارد. هم چنین، اختلاف فاز بین جریان های ورودی و خروجی صفر است.

کاربرد تقویت کننده: از این تقویت کننده به عنوان تقویت کننده جریان در رگولاتورها و تقویت کننده انتهایی در تقویت کننده های صوتی استفاده می کنند. این تقویت کننده به علت دارا بودن مقاومت ورودی زیاد و مقاومت خروجی کم به عنوان تطبیق دهنده امپدانس مقاومت به کار می رود و برای تطبیق امپدانس زیاد به امپدانس کم در تقویت کننده ها مورد استفاده قرار می گیرد.



درمورد چگونگی عملکرد یک تطبیق دهنده امپدانس تحقیق کنید. نتایج تحقیق را به کلاس ارائه دهید.



بستن تقویت کننده کلکتور مشترک

هدف: بررسی کمیت ها در تقویت کننده کلکتور مشترک

مواد، ابزار و تجهیزات: منبع تغذیه یک دستگاه، سیگنال ژنراتور صوتی یک دستگاه، اسیلوسکوپ دو کاناله یک دستگاه

بردبرد آزمایشگاهی یک قطعه، مولتی متر دیجیتالی یک دستگاه، سیم رابط به تعداد، سیم رابط بردبرد به تعداد کافی

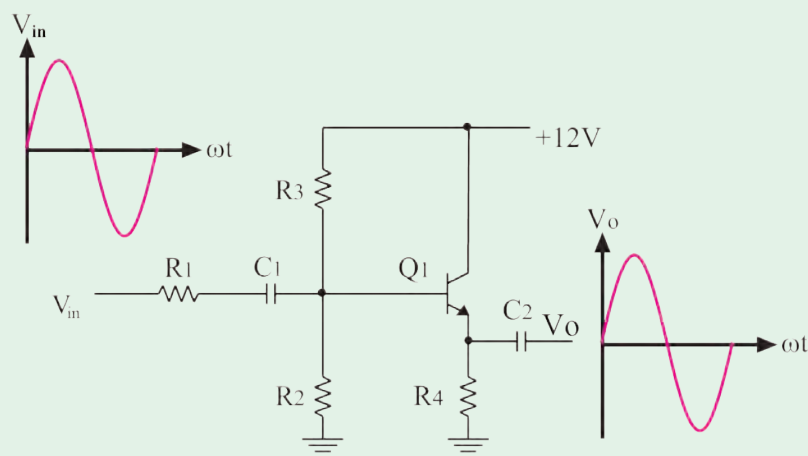
رایانه، نرم افزار مولتی سیم، نوشت افزار، ترانزیستور BC547 یا BC107 یک عدد

مقاومت به $R_s = 10\text{ K}\Omega$, $R_L = 2/2\text{ K}\Omega$, $R_1 = 68\text{ k}\Omega$, $R_2 = 180\text{ k}\Omega$, $R_E = 1\text{ k}\Omega$, $R_C = 4/7\text{ k}\Omega$ خازن $47\text{ }\mu\text{F}$ یک عدد خازن $100\text{ }\mu\text{F}$ یک عدد

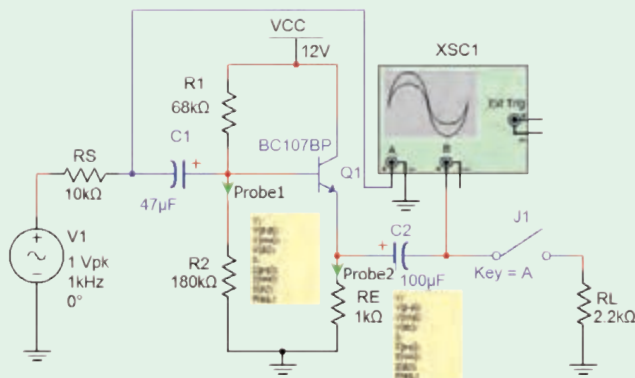
هدف از اجرای این کار عملی اندازه گیری بهره ولتاژ، بهره جریان، مقاومت ورودی، مقاومت خروجی و اختلاف فاز بین سیگنال ولتاژ ورودی و سیگنال ولتاژ خروجی است.

در این تقویت کننده سیگنال ورودی به بیس کلکتور اعمال می گردد و سیگنال خروجی از امیتر کلکتور دریافت می شود؛ یعنی پایه کلکتور بین ورودی و خروجی مشترک است. از این رو به این تقویت کننده کلکتور مشترک می گویند (شکل ۲۴).

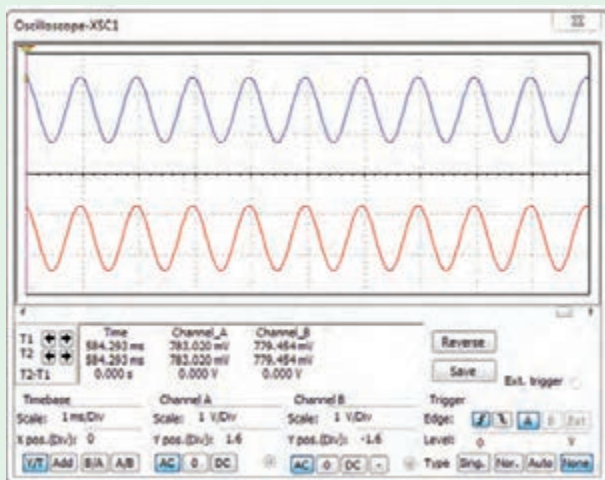
توجه داشته باشید که منبع تغذیه DC از نظر ولتاژ متناوب اتصال کوتاه است؛ در نتیجه، کلکتور از نظر ولتاژ متناوب به زمین وصل می شود. مقاومت های R_1 و R_2 تقسیم کننده ولتاژ هستند و ولتاژ بیس را تأمین می کنند.



شکل ۲۴- مدار تقویت کننده کلکتور مشترک (CC)



شکل ۲۵- مدار تقویت کننده کلکتور مشترک



شکل ۲۶- نمایش سیگنال ولتاژ ورودی و سیگنال ولتاژ خروجی
C.B در اسیلوسکوپ نرم افزار

مراحل اجرای کار عملی نرم افزاری

۱) مدار تقویت کننده کلکتور مشترک نشان داده شده، در شکل ۲۵ را در محیط نرم افزار مولتی سیم ببندید. در این مرحله مقاومت بار و سیگنال ژنراتور به مدار اتصال ندارد.

نکته مهم: پراب probe اندازه گیری را به ترتیب به پایه B, E, C ترانزیستور در مدار اتصال دهید. ۲) نرم افزار را فعال کنید با استفاده از پرابها (probe_۱ و probe_۲) مشخصات نقطه کار مدار را اندازه گیری کنید و مقادیر را بنویسید.

اندازه گیری مقادیر (DC) نقطه کار با نرم افزار

$I_B = \dots\dots\dots \text{mA}$	$I_C = \dots\dots\dots \text{mA}$
$V_B = \dots\dots\dots \text{V}$	$I_E = \dots\dots\dots \text{mA}$
$V_E = \dots\dots\dots \text{V}$	$V_C = \dots\dots\dots \text{V}$
$V_{BE} = \dots\dots\dots \text{V}$	$V_{CE} = \dots\dots\dots \text{V}$

۳) سیگنال ژنراتور و اسیلوسکوپ متصل شده به مدار را در نرم افزار (شکل ۲۶) فعال کنید. کانال یک دستگاه اسیلوسکوپ را به ورودی مدار وصل کنید. کانال دو دستگاه اسیلوسکوپ را به خروجی مدار متصل نمایید و دامنه سیگنال ژنراتور را آن قدر تغییر دهید تا دامنه سیگنال خروجی (بدون اعوجاج) روی ۵ ولت پیک تا پیک تنظیم شود (شکل ۲۶).

توجه: در این حالت مقاومت بار $2.2 \text{ k}\Omega$ را به مدار اتصال ندهید (کلید سری با آن باز باشد).

۴) مقادیر ولتاژ خروجی $V_{O_{pp(NL)}}$ و ولتاژ ورودی $V_{in_{pp}}$ را از روی پرابهای اندازه گیری یادداشت کنید.

$$V_{in_{pp}} = \dots\dots\dots$$

$$V_{O_{pp(NL)}} = \dots\dots\dots$$

۵) با استفاده از رابطه بهره ولتاژ، مقدار بهره ولتاژ را در حالت بی باری به دست آورید .

$$A_V = \frac{V_{O_{pp(NL)}}}{V_{in_{pp}}} = \dots\dots\dots$$

۶ مقاومت بار $R_L = 2/2\text{ k}\Omega$ را به مدار متصل کنید (کلید سری با آن را وصل کنید) در این مرحله باید $V_{i_{pp}}$ و $V_{o_{pp(FL)}}$ مجدداً با اسیلوسکوپ و پراب‌ها اندازه‌گیری شود.

$$V_{i_{pp}} = \dots\dots\dots V_{o_{pp(FL)}} = \dots\dots\dots$$

۷ بهره ولتاژ مدار را در حالت بار داری از رابطه روبه‌رو محاسبه کنید.

$$A_V = \frac{V_{o_{pp(FL)}}}{V_{i_{pp}}} = \dots\dots\dots$$

- مقادیر بهره ولتاژ اندازه‌گیری شده در حالت بار داری و بی‌باری را با هم مقایسه کنید و در مورد آن توضیح دهید.

۸ با اندازه‌گیری ولتاژ دوسر بار به وسیله اسیلوسکوپ I_L را از رابطه زیر محاسبه کنید.

$$I_L = \frac{V_{o_{pp(FL)}}}{R_L} = \dots\dots\dots V_{RL} = V_{o_{pp(FL)}} = \dots\dots\dots$$

۹ مقدار زاویه اختلاف فاز را با توجه به نمایش دو شکل موج ورودی و خروجی بر روی اسیلوسکوپ محاسبه کنید.

$$\phi = \text{اختلاف فاز} = \dots\dots\dots$$

۱۰ با استفاده از رابطه زیر مقاومت خروجی تقویت کننده را محاسبه کنید.

$$R_{Out} = \frac{V_{o_{pp(NL)}} - V_{o_{pp(FL)}}}{V_{o_{pp(FL)}}} \times R_L = \dots\dots\dots$$

۱۱ ولتاژ دو سر مقاومت R_S را اندازه بگیرید و مقدار جریان ورودی را از رابطه زیر محاسبه کنید.

$$I_{in} = \frac{V_{SP} - V_{inp}}{R_S} = \dots\dots\dots$$

۱۲ با استفاده از جریان ورودی و خروجی ضریب بهره جریان را به دست آورید.

$$A_I = \frac{I_L}{I_{in}} = \dots\dots\dots$$

۱۳ با مقادیر V_{in} و I_{in} مقدار مقاومت ورودی تقویت کننده را از رابطه زیر به دست آورید.

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \dots\dots\dots$$

۱۴ نتایج به دست آمده را در جدول ۵ یادداشت کنید و درباره آنها توضیح دهید.

جدول ۵

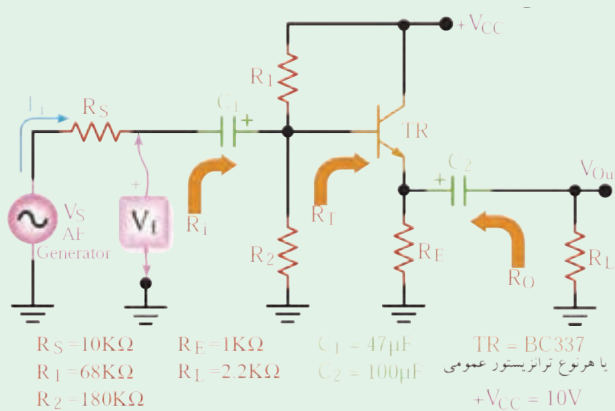
اختلاف فاز ϕ	مقاومت خروجی R_o	مقاومت ورودی R_{in}	بهره جریان A_I	بهره ولتاژ A_V

مراحل اجرای کار عملی سخت افزاری

۱۵ مدار شکل ۲۷ را روی بردبرد ببندید.

در این مرحله R_L و سیگنال ژنراتور به مدار اتصال ندارد.

۱۶ با استفاده از مولتی متر مشخصات نقطه کار مدار (V_{BE} , I_C , V_{CE}) را اندازه بگیرید و مقادیر آن را یادداشت کنید.



شکل ۲۷- مدار تقویت کننده کلکتور مشترک

اندازه گیری مقادیر (DC) نقطه کار به صورت عملی

$$V_B = \dots\dots\dots V$$

$$V_E = \dots\dots\dots V$$

$$V_{BE} = \dots\dots\dots V$$

$$V_C = \dots\dots\dots V$$

$$V_{CE} = \dots\dots\dots V$$

۱۷ سیگنال ژنراتور را روی فرکانس یک کیلوهرتز تنظیم کنید.

کانال دوم (CH_2) اسیلوسکوپ را به خروجی مدار وصل کنید (در این حالت باری به مدار وصل نیست).
- دامنه سیگنال ورودی را آن قدر تغییر دهید تا دامنه سیگنال خروجی بدون اعوجاج (حدوداً) روی $5V_{PP}$ تنظیم شود.

تنظیم اولیه دستگاه اسیلوسکوپ برای افزایش دقت در اندازه گیری:

- به کمک ولوم INTENT نور اشعه را به مقدار کافی تنظیم کنید.
- به کمک ولوم FOCUS اشعه را تا حد ممکن نازک (باریک) کنید.
- ولوم Level را روی صفر بگذارید.
- ولوم variable time را در حالت cal قرار دهید.
- ولوم Volt variable هردو کانال را در حالت صفر قرار دهید.
- کلید AC-GND-DC هردو کانال را در حالت GND قرار دهید و برای هردو کانال نقطه صفر در مرکز صفحه حساس تنظیم کنید.

۱۸ دامنه سیگنال ورودی را به وسیله کانال اول (CH_1) اسیلوسکوپ اندازه بگیرید.

۱۹ بهره ولتاژ مدار را محاسبه کنید.

$$A_V = \frac{V_{O_{PP(NL)}}}{V_{in_{pp}}} = \dots\dots\dots$$

۲۰ مقاومت بار $R_L = 2/2k\Omega$ را به خروجی مدار وصل کنید با اندازه گیری ولتاژ دوسر بار به وسیله اسیلوسکوپ I_L را از رابطه روبه رو محاسبه کنید.

$$V_{RL} = V_{O_{PP(FL)}} = \dots\dots\dots \quad I_L = \frac{V_{O_{PP(FL)}}}{R_L} = \dots\dots\dots$$

۲۱ با استفاده از رابطه بهره ولتاژ، مقدار بهره ولتاژ را در حالت بار کامل به دست آورید.

$$A_{VL} = \frac{V_{O_{PP(FL)}}}{V_{in_{pp}}} = \dots\dots\dots$$

۲۲ با استفاده از رابطه زیر مقاومت خروجی تقویت کننده را محاسبه کنید.

$$R_{Out} = \frac{V_{O_{pp(NL)}} - V_{O_{pp(FL)}}}{V_{O_{pp(FL)}}} \times R_L = \dots\dots\dots$$

۲۳ ولتاژ دوسر R_S را اندازه بگیرید و I_i را محاسبه کنید.

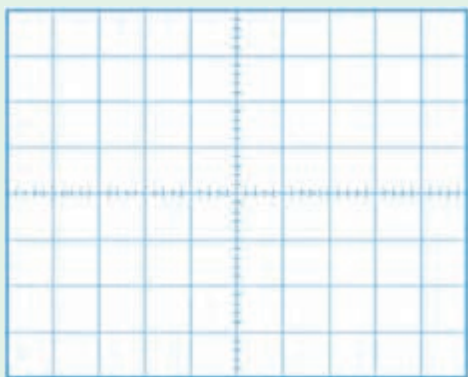
$$I_{in} = \frac{V_{SP} - V_{inp}}{R_S} = \dots\dots\dots$$

۲۴ بهره جریان مدار را با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده برای I_i ، I_L محاسبه کنید.

$$A_I = \frac{I_L}{I_{in}} = \dots\dots\dots$$

۲۵ با اندازه گیری V_i و I_i مقاومت ورودی تقویت کننده را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \dots\dots\dots$$



۲۶ به وسیله اسیلوسکوپ، شکل موج ورودی و خروجی را در نمودار شکل ۲۸ با مقیاس مناسب رسم کنید.

نکته مهم: هنگام مشاهده شکل موج خروجی و ورودی دقت کنید تا اسیلوسکوپ روی $CH_1 Invert$ نباشد. زیرا اگر روی این تنظیم قرار گیرد اختلاف فاز را نشان نمی دهد.

۲۷ اختلاف فاز بین موج خروجی و ورودی با توجه به شکل موج ترسیم شده را اندازه بگیرید و یادداشت کنید (در این حالت مقاومت بار در مدار قرار دارد).

$$\phi = \dots\dots\dots$$

شکل ۲۸- محل ترسیم شکل موج ورودی و خروجی

مدار CC

۲۸ نتایج به دست آمده را در جدول ۶ یادداشت کنید. مقادیر پارامترهای AC تقویت کننده را در دو حالت نرم افزاری و سخت افزاری با هم مقایسه کنید.

جدول ۶

مقادیر اندازه گیری شده با مدار سخت افزار (عملی)	مقادیر اندازه گیری شده با نرم افزار	پارامترهای AC تقویت کننده
		بهره ولتاژ A_V
		بهره جریان A_I
		مقاومت ورودی R_{in}
		مقاومت خروجی R_O
		اختلاف فاز ϕ

- آنچه را که در آزمایش مدار تقویت کننده کلکتور مشترک فرا گرفته اید به اختصار شرح دهید.

.....

۱ در کدام آرایش تقویت کننده سیگنال خروجی از ترمینال کلکتور گرفته می شود و سیگنال ورودی به بیس اعمال می شود؟

۲ تقویت کننده با آرایش دارای بهره ولتاژ زیاد و بهره جریان کم و کوچک تر از واحد است.

۳ کدام یک از آرایش های زیر، دارای بیشترین ضریب تقویت ولتاژ و تغییر فاز ۱۸۰ درجه بین ورودی و خروجی است؟

الف) امیتر مشترک (Common Emitter)

ب) کلکتور مشترک (Common Collector)

پ) بیس مشترک (Common Base)

ت) ترکیبی از امیتر و بیس مشترک

۴ کدام ویژگی اصلی تقویت کننده بیس مشترک (Common Base) است که آن را برای کاربردهای فرکانس بالا مناسب می سازد؟

الف) ضریب تقویت جریان بسیار بالا

ب) مقاومت ورودی بسیار پایین و پهنای باند (Band width) زیاد

پ) عدم نیاز به خازن بای پس

ت) اختلاف فاز ۹۰ درجه بین ورودی و خروجی

۵ در تقویت کننده کلکتور مشترک (که به عنوان امیتر پیرو نیز شناخته می شود)، مقاومت ورودی بسیار پایین و مقاومت خروجی بسیار بالا است.

☐ غلط ☐ صحیح

۶ کدام رابطه، فرمول محاسبه مقاومت خروجی یک تقویت کننده را به درستی بیان می کند؟

$$۱) R_O = \frac{V_{ONL} - V_{OFL}}{V_{OFL}}$$

$$۲) R_O = \frac{V_{ONL} - V_{OFL}}{V_{OFL}} \times R_L$$

$$۳) R_O = \frac{V_{OFL} - V_{ONL}}{V_{OFL}} \times R_L$$

$$۴) R_O = \frac{V_{OFL} - V_{ONL}}{V_{ONL}}$$

۷ در یک تقویت کننده امیتر مشترک، کدام گزینه درباره فاز و بهره ولتاژ صحیح است؟

الف) بهره ولتاژ زیاد بوده و سیگنال خروجی هم فاز با ورودی است.

ب) بهره ولتاژ کم بوده و سیگنال خروجی ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارد.

پ) بهره ولتاژ نسبتاً زیاد بوده و سیگنال خروجی 180° درجه اختلاف فاز دارد.
ت) بهره ولتاژ تقریباً برابر ۱ بوده و اختلاف فاز صفر است.

۸ کدام گزینه درباره ورودی تقویت کننده بیس مشترک صحیح است؟

الف) مقاومت ورودی بسیار زیاد

ب) مقاومت ورودی بسیار کم

پ) بهره جریان زیاد

ت) بهره ولتاژ صفر

۹ در تقویت کننده کلکتور مشترک، کدام ویژگی بیشترین مزیت را برای کاربرد به عنوان بافر ورودی ارائه می دهد؟

الف) بهره ولتاژ زیاد

ب) مقاومت ورودی زیاد و مقاومت خروجی کم

پ) بهره جریان کم

ت) تغییر فاز 180° درجه

۱۰ در تقویت کننده کلکتور مشترک (امیتر فالور) بهره ولتاژ تقریباً برابر ۱ است.

☐ صحیح ☐ غلط

۱۱ مقاومت خروجی در تقویت کننده امیتر مشترک از مقاومت خروجی در کلکتور مشترک بیشتر است.

☐ صحیح ☐ غلط

۱۲ در تقویت کننده بیس مشترک بهره جریان تقریباً برابر ۱ بوده و تقویت جریان ندارد.

☐ صحیح ☐ غلط

ارزشیابی شایستگی راه اندازی تقویت کننده سیگنال با ترانزیستور BJT

نام و نام خانوادگی:	شماره ملی:	تاریخ ارزشیابی:			
کد حرفه	۸۲۱۲۲۳	حرفه	مونتاز کاران تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی	کد پیمان/پودمان	۸۲۱۲۱۳۰۱۱
کد وظیفه شغل	۸۲۱۲۲۳۰۱	وظیفه شغل	ساخت بردهای الکترونیکی	سطح صلاحیت	L۳
کد کار	۸۲۱۲۲۳۰۱۱۱	کار	راه اندازی تقویت کننده سیگنال با ترانزیستور BJT	سطح شایستگی	مهارت
			استاندارد عملکرد:		
			با شبیه سازی و بستن مدارهای عملی تقویت کننده های تک ترانزیستوری، پارامترهای مهم AC (بهره و ولتاژ، بهره جریان، مقاومت ورودی و خروجی و اختلاف فاز) را در سه آرایش BJT اندازه گیری کند. سپس با مقایسه نتایج با جدول استاندارد، عملکرد مدارهای تقویت کننده ها را ارزیابی کند.		

ردیف	مراحل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص ها/داوری/نمره دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	پیاده سازی دقیق سه آرایش BJT (CE, CB, CC) در نرم افزار و روی پرده برد	رایانه، نرم افزار شبیه سازی، زمان ۲ ساعت برای تحلیل و ۴ ساعت برای شبیه سازی و پیاده سازی در کارگاه الکترونیک	مشاهده مستقیم، چک لیست، بررسی مدار شبیه سازی و مدار عملی	مدارها را دقیق در هر دو بخش می بندد.	۳	
۲	صحت اندازه گیری پارامترهای AC	سیگنال ژنراتور، اسیلوسکوپ، مولتی متر و مدارهای آماده شده، تقویت کننده ترانزیستوری BJT	دقت اندازه گیری پارامترها، استفاده صحیح از تجهیزات، بررسی خروجی اسیلوسکوپ، ثبت داده ها در جدول	اندازه گیری و ثبت پارامترها را با دقت بالا	۲	
۳	تحلیل و مقایسه نتایج مدارهای تقویت کننده ترانزیستوری BJT	داده های اندازه گیری شده از مدارهای Common Base, Common Emitter و Common Collector	بررسی گزارش تحلیلی، مقایسه داده ها در جدول یا نمودار، پرسش	اندازه گیری قابل قبول با خطاهای جزئی در دقت یا تنظیمات	۱	
۴	گزارش نویسی فنی و تفسیر رفتار آرایش ها	نتایج آزمایش، داده های اندازه گیری شده، رسم نمودار با ابزار دستی، قالب گزارش و زمان ۲ ساعت برای تکمیل گزارش	گزارش کامل و دقیق با تفسیر صحیح و تحلیل جامع رفتار آرایش ها	تحلیل دقیق و مقایسه صحیح هر سه آرایش	۳	
				تحلیل نسبتاً درست با نقص جزئی	۲	
				تحلیل ناقص و عدم توانایی در مقایسه نتایج	۱	
				گزارش ناقص بدون تفسیر صحیح رفتار آرایش ها	۱	
				رعایت کامل ایمنی، بهداشت و محیط زیست، رفتار حرفه ای، نظم و مسئولیت پذیری بالا	۲	
				رعایت اصول ایمنی و نظم، فعالیت های گروهی، مدیریت زمان و مسئولیت پذیری	۱	
ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)						
☐ بلی ☐ خیر						

توضیحات:

معیار شایستگی انجام کار:

- کسب حداقل نمره ۲ در شبیه سازی و بستن مدارهای BJT، اندازه گیری پارامترهای و تحلیل نتایج. (مراحل بحرانی)

- کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش

- کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه ای انجام می شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد، سطح شایستگی انجام

کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه ریزی و تحلیل، پاسخ گویی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت ها

تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.

واحد یادگیری ۲: راه اندازی تقویت کننده سیگنال با ترانزیستور FET

آیا تا به حال فکر کرده اید؟

- چرا با وجود عملکرد مشابه، ترانزیستورهای FET در پردازش سیگنال های حساس به ترانزیستورهای BJT ترجیح داده می شوند؟
- تفاوت بنیادین در نحوه کنترل (ولتاژ در FET در مقابل جریان در BJT) چگونه باعث می شود FET ها برای مدارهای دیجیتال و میکروکنترلرها ایده آل تر باشند؟
- چرا با وجود بهره بالاتر و عملکرد بهتر در تقویت آنالوگ، ترانزیستورهای BJT در کاربردهای سوئیچینگ کارایی کمتری نسبت به FET ها دارند؟
- چگونه امپدانس ورودی بسیار بالا در FET ها، آنها را به گزینه ای بی رقیب برای تقویت کننده های کنترل شده با ولتاژ و منابع تغذیه تبدیل می کند؟
- چرا FET ها انتخابی ایده آل برای مدارهای تقویت کننده کنترل شده با ولتاژ و منابع تغذیه هستند؟

ترانزیستورهای اثر میدانی (FET) قطعاتی کنترل شده با ولتاژ هستند که مصرف توان کمتری دارند. علاوه بر تقویت دامنه ولتاژ و جریان، آنها برای کاربردهای دیجیتال، مانند میکروکنترلرها و مدارهای منطقی، مناسب ترند. همچنین، FET ها نویز کمتری تولید می کنند؛ به همین دلیل در پردازش سیگنال های حساس ترجیح داده می شوند.

هنگامی که ترانزیستور FET به عنوان تقویت کننده استفاده می شود، یک سیگنال ورودی کوچک در پایه گیت، باعث ایجاد یک سیگنال خروجی بزرگ تر و متناسب در پایه های سورس و درین می گردد. اگرچه BJT و FET هر دو عملکردهای مشابهی دارند، اما تفاوت های مشخصی بین آنها وجود دارد که استفاده از هریک را در کاربردهای خاص تعیین می کند. BJT ها قطعاتی کنترل شده با جریان هستند، بهره بالاتری دارند و عملکرد بهتری در کاربردهای خطی مانند تقویت آنالوگ ارائه می دهند. در مقابل، آنها مصرف توان بیشتری دارند و در هنگام سوئیچینگ، کارایی کمتری از خود نشان می دهند. FET ها به دلیل امپدانس ورودی بالا و مصرف توان پایین، بسیار مورد توجه هستند و برای مدارهای دیجیتال، تقویت کننده های کنترل شده با ولتاژ و منابع تغذیه ایده آل می باشند.

استاندارد عملکرد

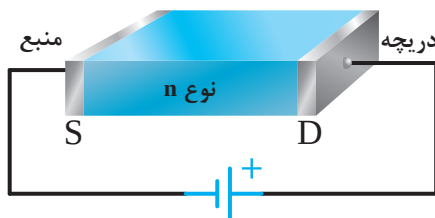
ترانزیستورهای FET را براساس اصول کنترل ولتاژ و جریان، تفاوت های عملکردی و کاربردهای آن در مدارهای آنالوگ و دیجیتال تحلیل و مقایسه نماید. مدار تقویت کننده سیگنال را در محیط نرم افزار و بر روی برد برد پیاده سازی کند.

ترانزیستور اثر میدان FET (Field Effect Transistor)

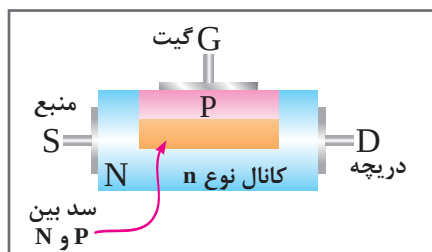
ترانزیستورهای معمولی به دلیل ساختار فیزیکی خاصی که دارند ترانزیستورهای دویپوندی یا BJT نامیده می‌شوند. این ترانزیستورها قطعاتی هستند که جریان را کنترل می‌کنند. به‌زبانی دیگر جریان عبوری بیس ترانزیستور جریان کلکتور را کنترل می‌کند. هم‌چنین مقاومت ورودی ترانزیستور BJT کم است. ازسوی دیگر در دستگاه‌های اندازه‌گیری مانند ولت‌متر و اسیلوسکوپ باید مقاومت ورودی زیاد باشد تا باعث بارگذاری روی مدار نشود و جریان نکشد. بنابراین استفاده از ترانزیستورهای BJT در این گونه دستگاه‌ها، کارایی لازم را ندارند. قطعه دیگری به نام ترانزیستور اثرمیدان یا FET وجود دارد که جایگزین BJT می‌شود. ساختمان داخلی ترانزیستورهای اثر میدان یا FET در مقایسه با ترانزیستورهای BJT ساده‌تر است و مقاومت ورودی بسیار زیاد در حدود $10\text{ M}\Omega$ تا $1000\text{ M}\Omega$ دارند. ترانزیستورهای اثر میدان با ولتاژ کنترل می‌شوند و در ساختمان داخلی آنها فقط دو نوع نیمه‌هادی به کار می‌رود، به‌همین علت این ترانزیستورها را یک‌قطبی (unijunction Transistor) یا تک‌پیوندی می‌گویند. ترانزیستورهای اثرمیدان را در دو نوع JFET و MOSFET می‌سازند. MOS از اول کلمات Metal Oxide Semiconductor و به معنی نیمه‌هادی اکسید فلز گرفته شده است.

■ ترانزیستور با اثرمیدان پیوندی یا JFET (Junction Field Effect Transistor)

این ترانزیستور در دو نوع با کانال N و P تولید می‌شود. در نوع کانال N، یک میله با ناخالصی کم از نوع N را به عنوان کانال در نظر می‌گیرند. این میله مانند یک مقاومت عمل می‌کند. اگر یک باتری، مطابق شکل ۲۹ به دوسر این میله وصل کنیم، جریانی متناسب با ولتاژ دوسر باتری از آن عبور می‌کند. یک انتهای میله را که الکترون‌ها از آن خارج می‌شوند دریچه یا درین (Drain) و انتهای دیگر میله را، که الکترون‌ها به آن وارد می‌شوند منبع یا سورس (Source) نام‌گذاری می‌کنند. اگر در قسمتی از این میله یک فلز سه ظرفیتی نفوذ دهیم، لایه P شکل می‌گیرد و یک پیوند PN به وجود می‌آید. در این حالت ناحیه N را کانال و نیمه‌هادی نوع P را دروازه یا گیت (Gate) می‌نامند. با اتصال دوسیم به دوطرف لایه N و یک سیم به لایه P یک عنصر سه پایه حاصل می‌شود که به ترانزیستور با اثر میدان پیوندی معروف است. شکل ۳۰ ساختمان JFET با کانال N و پایه‌های آن را نشان می‌دهد.

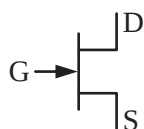


شکل ۲۹- نیمه‌هادی با ناخالصی N به عنوان کانال



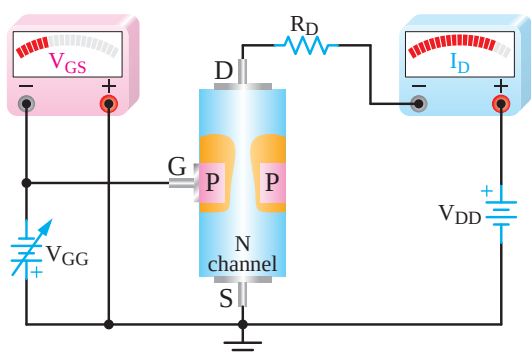
شکل ۳۰- ساختمان JFET با کانال N

علامت اختصاری JFET با کانال N را در شکل ۳۱ ملاحظه می‌کنید. توجه داشته باشید که نوک پیکان به سمت داخل معرف گیت از نوع P است.

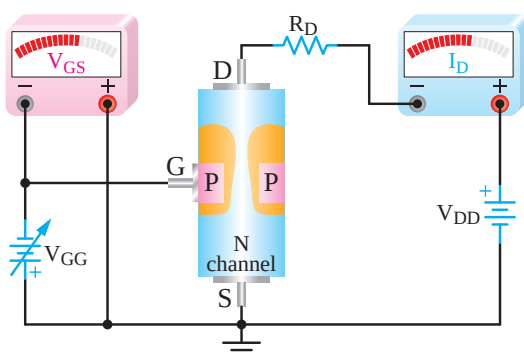


شکل ۳۱- علامت اختصاری JFET با کانال N

- رفتار JFET در مدار: چنانچه مطابق شکل ۳۲ گیت سورس را در گرایش معکوس قرار دهیم، موجب افزایش مقاومت کانال و کاهش جریان درین می شود. شکل ۳۳ نشان می دهد که با مثبت تر شدن V_{GG} ، عرض کانال بیشتر می شود و مقاومت کانال را کاهش می دهد. در این شرایط جریان درین بیشتری از مدار می گذرد. در شکل ۳۴ مقدار V_{GS} را منفی تر کرده ایم. در این حالت، کانال باریک تر می شود و مقاومت کانال را افزایش می دهد. لذا جریان درین (I_D) کمتری از مدار می گذرد.



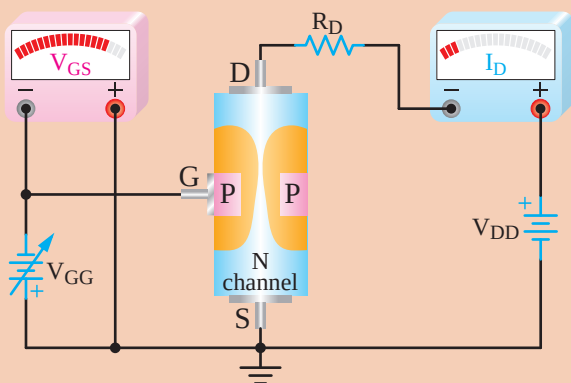
شکل ۳۳- با V_{GG} مثبت تر I_D بیشتر است.



شکل ۳۲- V_{GG} پیوند PN را به بایاس مخالف می برد.

شباهت های بین عبور جریان آب در یک شیر مانند شکل ۳۵ و عبور جریان درین از یک ترانزیستور JFET شکل ۳۴ را بیابید. آیا بسته شدن شیر با منفی تر شدن ولتاژ V_{GG} قابل مقایسه است؟

فکر کنید



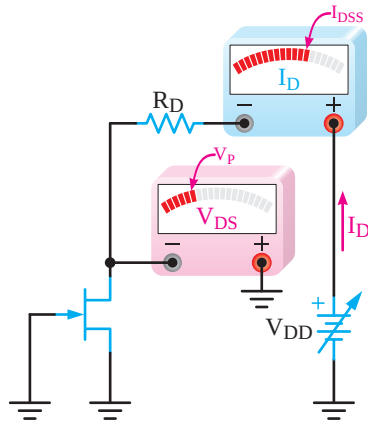
شکل ۳۴- با V_{GG} منفی تر I_D کم شده است.



شکل ۳۵

■ مقادیر حد در FET

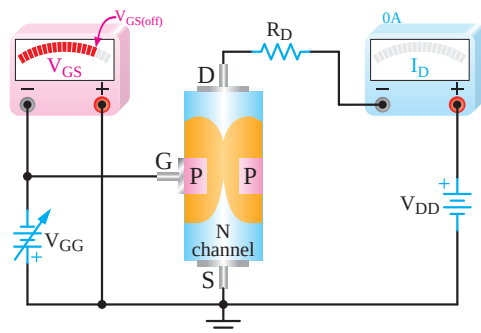
– ولتاژ بحرانی V_P (Pinch off Voltage): اگر $V_{GS} = 0$ باشد به مقدار V_{DS} که به بسته شدن حداکثری کانال منجر می‌شود، ولتاژ بحرانی (V_P) می‌گویند. در این حالت جریان درین (I_D) ثابت می‌ماند. برای یک FET با شماره فنی معین، مقدار V_P در برگه اطلاعات آن داده می‌شود.



شکل ۳۶ – I_D , $V_{DS} = V_P$ ثابت و برابر I_{DSS} است.

– جریان درین سورس اشباع (I_{DSS} Saturation): اگر V_{DS} به مقدار V_P و بیشتر از آن برسد، I_D ثابت می‌ماند. این جریان را جریان درین سورس اشباع می‌نامند و آن را با (I_{DSS}) نمایش می‌دهند. I_{DSS} ماکزیمم جریانی است که JFET می‌تواند از خود عبور دهد. این جریان در برگه اطلاعات نوشته می‌شود. شکل ۳۶ مداری از JFET را نشان می‌دهد که در آن $V_{DS} = V_P$ است و جریان درین برابر با I_{DSS} شده است.

– ولتاژ شکست درین سورس V_B (Break down voltage): اگر V_{DS} را بیش از اندازه مجاز افزایش دهیم، در محل اتصال PN بایاس مخالف، پدیده شکست بهمنی رخ می‌دهد و جریان درین به سرعت افزایش می‌یابد. در این شرایط معمولاً JFET آسیب می‌بیند. ولتاژ شکست در JFET‌های معمولی حدود ۲۰ تا ۳۰ ولت است.



شکل ۳۷ – JFET در ناحیه قطع قرار دارد.

– ولتاژ قطع گیت سورس ($V_{GS(off)}$): هر قدر V_{GS} منفی‌تر شود، I_D کاهش می‌یابد، مقدار V_{GS} که بتواند I_D را تقریباً به صفر برساند، ولتاژ قطع گیت سورس ($V_{GS(off)}$) نام دارد. معمولاً مقدار عددی ولتاژ قطع گیت سورس با مقدار عددی ولتاژ V_P برابر است. شکل ۳۷ JFET را در حالت قطع (cut off) نشان می‌دهد.

– برگه اطلاعات: همان‌طور که قبلاً گفته شد، مشخصات فنی ترانزیستورهای اثر میدان در برگه‌های اطلاعات (Datasheet) داده می‌شود. برای دسترسی به اطلاعات کامل می‌توانید به سایت Alldatasheet.Com مراجعه نمایید. در شکل ۳۸ بخشی از مشخصات یک نمونه JFET با کانال N با شماره LS ۸۴۶ آمده است.

در صورت طرح سؤال جهت آزمون، جداول مربوط به datasheet به زبان اصلی حتماً در اختیار هنرجویان قرار داده شود.

نکته



LINEAR SYSTEMS

سیستم خطی

Linear Integrated Systems سیستم های مجتمع خطی

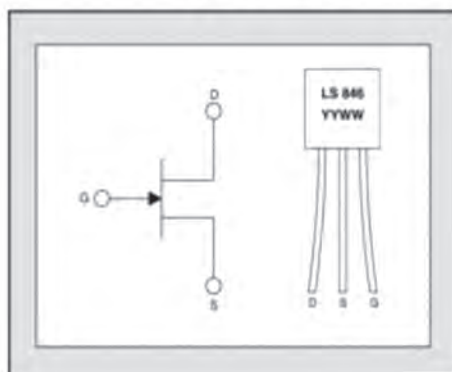
FEATURES		مشخصه ها
ULTRA LOW NOISE	تویز فوق العاده کم	$e_n = 3 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
LOW GATE LEAKAGE	جریان نشتی گیت بسیار کم	$I_{G1} = 15 \text{ pA}$
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS¹		مقادیر ماکزیمم مطلق
@ 25 °C (unless otherwise stated)		در درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی گراد
Maximum Temperatures		حداکثر درجه حرارت
Storage Temperature	درجه حرارت نگهداری	-65 to +150 °C
Operating Junction Temperature	درجه حرارت یون	-55 to +135 °C
Maximum Power Dissipation		حداکثر توان قابل تبخیر
Continuous Power Dissipation @ +125 °C		350mW
Maximum Currents		جریان ماکزیمم
Gate Forward Current	جریان موافق گیت	$I_{GFF} = 50 \text{ mA}$
Maximum Voltages		ماکزیمم ولتاژ
Drain to Source	درین سورس	$V_{DS} = 60 \text{ V}$
Gate to Source	گیت سورس	$V_{GS} = 60 \text{ V}$
Gate to Drain	گیت درین	$V_{GD} = 60 \text{ V}$

توان تلف شده در بار دائمی در ۱۲۵ درجه سانتی گراد

LS846

LOW NOISE, LOW LEAKAGE
SINGLE N-CHANNEL JFET

JFET، کانال N، نویز و جریان نشتی کم



مشخصه های الکتریکی در ۲۵ درجه سانتی گراد

(در غیر این صورت قید شده است.)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS @ 25 °C (unless otherwise stated)

SYMBOL	CHARACTERISTIC	مشخصه ها	MIN	TYP	MAX	UNITS	CONDITIONS
BV_{DS}	Gate to Source Breakdown Voltage		60			V	$V_{GS} = 0, I_D = 1 \text{ nA}$
$V_{DS(off)}$	Gate to Source Pinch-off Voltage		1		3.5	V	$V_{DS} = 15 \text{ V}, I_D = 1 \text{ nA}$
V_{GS}	Gate to Source Operating Voltage		0.5		3.5	V	$V_{DS} = 15 \text{ V}, I_D = 500 \mu\text{A}$
I_{DSS}	Drain to Source Saturation Current		1.5	5	15	mA	$V_{GS} = 15 \text{ V}, V_{DS} = 0$
I_G	Gate Operating Current			15	50	pA	$V_{DS} = 15 \text{ V}, I_D = 500 \mu\text{A}$
I_G	Gate Operating Current Reduced V_{DS}			5	30	pA	$V_{DS} = 3 \text{ V}, I_D = 500 \mu\text{A}$
I_{OSS}	Gate to Source Leakage Current				100	pA	$V_{DS} = 15 \text{ V}, V_{GS} = 0$
Y_{os}	Typical Output Conductance			0.2	2	μmho	$V_{DS} = 15 \text{ V}, I_D = 500 \mu\text{A}$
NF	Noise Figure				0.5	dB	$V_{DS} = 15 \text{ V}, V_{GS} = 0, R_G = 10 \text{ M}\Omega, f = 100 \text{ Hz}, \text{NBW} = 6 \text{ Hz}$
e_n	Noise Voltage				11	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	$V_{DS} = 15 \text{ V}, I_D = 500 \mu\text{A}, f = 10 \text{ Hz}, \text{NBW} = 1 \text{ Hz}$
C_{iss}	Common Source Input Capacitance				8	pF	$V_{DS} = 15 \text{ V}, I_D = 500 \mu\text{A}$

شکل ۳۸- قسمتی از برگه اطلاعات یک نمونه JFET

یک عدد ترانزیستور JFET را در اختیار بگیرید و با توجه به شماره آن، برگه اطلاعات آن را پیدا کنید و پایه های آن را با استفاده از Data Sheet مشخص نمایید.

فعالیت عملی



با مراجعه به رسانه های مختلف بررسی کنید آیا با استفاده از اهم متر می توان پایه های ترانزیستور JFET را مشخص کرد؟ چگونه؟ نتیجه را در قالب یک گزارش ارائه دهید.

پژوهش



۱ ترانزیستورهای BJT عنصری کنترل شده با و ترانزیستورهای FET عنصری کنترل شده با هستند.

۲ مقاومت ورودی ترانزیستورهای BJT به علت وجود نسبتاً است.

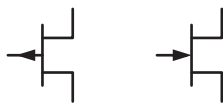
۳ مقاومت ورودی ترانزیستورهای اثر میدان بسیار زیاد است. ☐ صحیح ☐ غلط

۴ FET یک ترانزیستور تک قطبی (Unipolar) است. ☐ صحیح ☐ غلط

۵ I_{DSS} کدام جریان است؟

☐ جریان درین وقتی سورس اتصال کوتاه است. ☐ جریان درین در حالتی که مدار قطع است.

☐ حد متوسط (میانگین) جریان درین ☐ حداکثر جریان ممکن درین



شکل ۳۹- دو نوع JFET

۶ نام پایه های JFET در شکل ۳۹ را روی هر پایه بنویسید و سپس نوع کانال (P یا N) را مشخص کنید.

۷ شکل ۴۰ بخشی از برگه اطلاعات ترانزیستور JFET با شماره فنی ۲N۳۸۱۹ است. آن را به فارسی ترجمه کنید.

2N3819

N-Channel RF Amplifier

- This device is designed for RF amplifier and mixer applications operating up to 450MHz, and for analog switching requiring low capacitance.
- Sourced from process 50.

TO-92
1.Drain 2.Gate 3.Source

شکل ۴۰- قسمتی از برگه اطلاعات JFET

۸ با توجه به برگه اطلاعات شکل ۴۱ که مربوط به ترانزیستور ۲N۳۸۱۹ است. مقادیر ماکزیمم مطلق را بنویسید.

Epitaxial Silicon Transistor:

► **Absolute Maximum Ratings*** $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Ratings	Units
V_{DG}	Drain-Gate Voltage	25	V
V_{GS}	Gate-Source Voltage	-25	V
I_D	Drain Current	50	mA
I_{GF}	Forward Gate Current	10	mA
T_{STG}	Storage Temperature Range	-55 to 150	$^\circ\text{C}$

..... V_{DG}

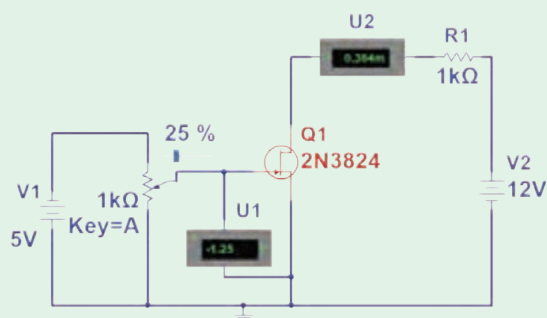
..... V_{GS}

..... I_D

..... I_{GF}

..... T_{STG}

شکل ۴۱- قسمتی از برگه اطلاعات JFET



شکل ۴۲- مدار کار عملی نرم افزار

آزمایش JFET در نرم افزار

هدف: بررسی تأثیر تغییر V_{GS} بر روی جریان درین

مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم افزار مناسب، لوازم التحریر

مراحل اجرای کار:

۱ نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگری را راه اندازی کنید.

۲ مدار شکل ۴۲ را در فضای نرم افزار ببندید.

جدول ۷

ردیف	درصد مقدار پتانسیومتر	V_{GS} واحد	I_D واحد
۱	۰		
۲	۱۰		
۳	۲۰		
۴	۳۰		
۵	۴۰		
۶	۴۵		
۷	۵۰		

۳ منبع تغذیه ۱۲ ولت را به مدار وصل کنید.

۴ با تغییر مقدار مقاومت پتانسیومتر، مقدار V_{GS} و I_D را اندازه بگیرید و جدول ۷ را کامل کنید.

۵ بیشترین جریان درین با چه مقداری از V_{GS} به وجود می آید؟

۶ جریان درین به ازای چه مقدار از V_{GS} برابر با صفر می شود؟

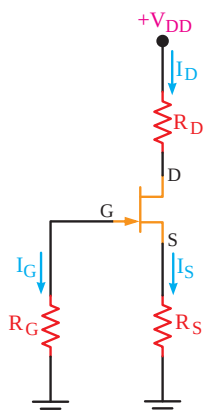
تغذیه JFET

برای ایجاد یک نقطه کار مناسب، باید ترانزیستور FET را نیز مانند ترانزیستور BJT بایاس کنیم. روش های بایاس FET با روش های بایاس BJT تفاوت اساسی ندارند؛ فقط باید توجه داشته باشیم که مقاومت ورودی FET خیلی زیاد است، از این رو جریان بسیار کمی در حدود چند نانوآمپر یا پیکوآمپر از گیت عبور می کند. بنابراین معمولاً در محاسبات، I_G را مساوی صفر در نظر می گیرند.

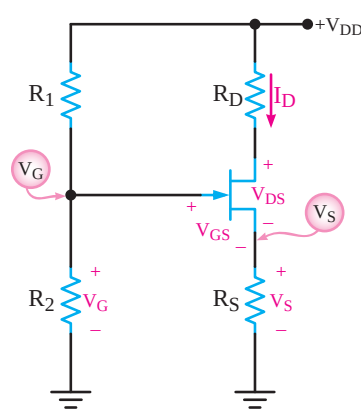
– **بایاس ترانزیستور با اثر میدان پیوندی یا JFET**: مشابه ترانزیستورهای معمولی BJT با روش های مختلف بایاس می شود که در ادامه به شرح آنها پرداخته می شود.

– **بایاس تقسیم کننده ولتاژ (Voltage Divider Bias)**: در این روش از مدار مقاومتی مطابق شکل ۴۳ استفاده می کنیم. ولتاژ گیت از طریق مدار تقسیم ولتاژ R_1 و R_2 و ولتاژ سورس به وسیله مقاومت R_S تأمین می شود. به دلیل استفاده از دو مسیر مختلف برای تأمین V_{GS} این نوع تغذیه را، تغذیه مرکب نیز می گویند. با توجه به این که از گیت ترانزیستور جریانی نمی گذرد، ولتاژ گیت برابر افت پتانسیل در دوسر مقاومت R_2 است و پتانسیل سورس از رابطه $R_S \times I_D$ به دست می آید. مقدار V_{GS} از رابطه $V_{GS} = V_G - V_S$ قابل محاسبه است.

– بایاس ترانزیستور JFET سرخود یا Self Bias: در شکل ۴۴ مدار تأمین بایاس سرخود یا سلف بایاس برای یک ترانزیستور JFET کانال N نشان داده شده است. چون $I_G = 0$ است می‌توان با نوشتن معادله KVL در حلقه ورودی ولتاژ V_{GS} را محاسبه کرد. همان‌طور که مشاهده می‌شود افت پتانسیل دوسر R_S یعنی $R_S \times I_D$ پتانسیل V_{GS} را تأمین می‌کند.



شکل ۴۴– بایاس سرخود یا Self Bias



شکل ۴۳– مدار بایاس با تقسیم‌کننده ولتاژ

در شکل ۴۴، اگر $I_D = 3\text{mA}$ و $R = 500\Omega$ باشد، ولتاژ V_{GS} را محاسبه کنید.
حل: با نوشتن معادله KVL در حلقه ورودی داریم:

$$V_{GS} + R_S \times I_D = 0$$

$$V_{GS} = -R_S \times I_D$$

به جای R_S و I_D مقدار عددی را قرار می‌دهیم:

$$V_{GS} = -(0.5\text{ k}\Omega) \times (3\text{ mA}) = -1.5\text{ (V)}$$

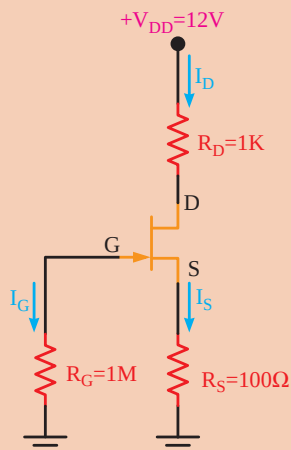
مثال



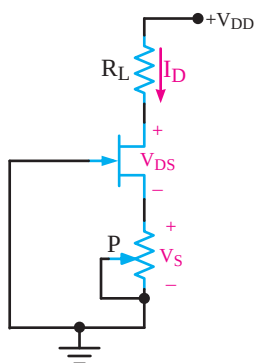
تمرین کلاسی



در شکل ۴۵ اگر $I_D = 2\text{mA}$ و $R_S = 100\Omega$ باشد ولتاژ V_{GS} را محاسبه کنید.



شکل ۴۵– بایاس سرخود ترانزیستور JFET

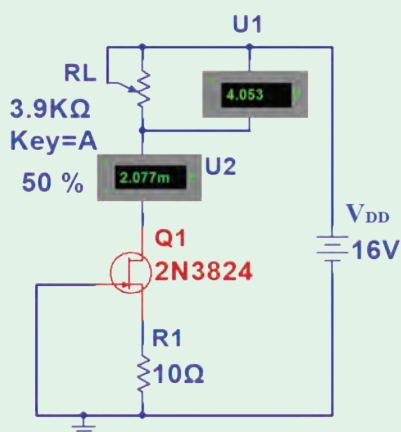


شکل ۴۶- مدار منبع جریان با FET

موارد کاربرد ترانزیستورهای اثر میدان

– استفاده از FET در ساختن منابع جریان: منبع جریان مداری است که بتواند به بارهای مختلف جریان ثابت بدهد. اگر یک ترانزیستور FET مطابق شکل ۴۶ تغذیه شود، در صورتی که V_{DS} آن بیش از V_P باشد، با تغییر R_L در بازه مشخص می‌تواند جریان ثابت I_D را ایجاد کند.

کار عملی ۵



شکل ۴۷- مدار منبع جریان با FET

آزمایش منبع جریان با JFET در نرم‌افزار

هدف: بررسی تأثیر تغییر بار بر روی جریان درین مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم‌افزار مناسب، لوازم التحریر

مراحل اجرای کار:

۱- نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هر نرم‌افزار مناسب دیگر را راه‌اندازی کنید.

۲- مدار شکل ۴۷ را در فضای نرم‌افزار ببندید.

۳- منبع تغذیه ۱۶ ولت را به مدار وصل کنید.

نکته: پتانسیومتر به عنوان بار متغیر در مدار قرار دارد. با تغییر بار ولتاژ دوسر آن تغییر کرده و جریان عبوری از آن تقریباً ثابت می‌ماند.

۴- با تغییر مقدار مقاومت پتانسیومتر، مقدار I_D را مشاهده کنید. آیا I_D تغییر می‌کند؟ توضیح دهید.

جدول ۸

ردیف	درصد مقدار پتانسیومتر	$I_{RL}=I_D$	واحد	V_{RL}	واحد
۱	۰				
۲	۵۰				
۳	۱۰۰				

جست‌وجو کنید: بررسی کنید به چه دلیل جریان در مقاومت R_L ثابت می‌ماند. نتیجه را در قالب یک گزارش ارائه دهید.

۵- با تغییر پتانسیومتر از صفر درصد تا صد درصد،

جریان درین چقدر تغییر نموده است؟

۶- مطابق جدول ۸ در سه مرحله مقادیر خواسته شده را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

■ استفاده از FET به عنوان تقویت کننده اولیه با امپدانس ورودی زیاد

چون تقویت کننده FET امپدانس ورودی زیادی دارد، می توان به عنوان تقویت کننده اولیه برای اتصال به منابعی مانند میکروفن های خازنی که مقاومت خروجی زیادی دارند، استفاده شود.

■ مزایای ترانزیستور JFET نسبت به ترانزیستور معمولی (BJT)

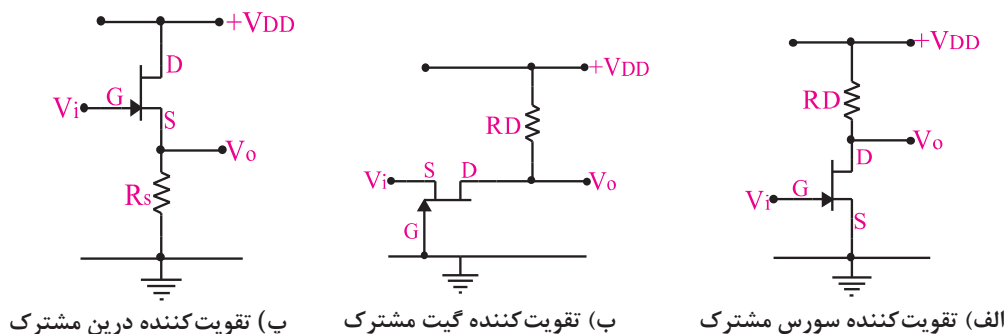
- برخی از مزایای ترانزیستور JFET نسبت به ترانزیستور BJT به شرح زیر است:
- ساختمان ترانزیستور FET ساده تر است و حجم کمتری را اشغال می کند.
- مقاومت ورودی ترانزیستور FET نسبت به ترانزیستور معمولی خیلی بیشتر است.
- میزان نویز پذیری FET خیلی کمتر از ترانزیستور معمولی است.
- میزان وابستگی به حرارت FET خیلی کمتر از ترانزیستور معمولی است.
- FET با ولتاژهای خیلی کم نیز به راحتی کار می کند.

تقویت کننده های سیگنال کوچک FET

یکی از کاربردهای مهم ترانزیستور FET در مدارهای تقویت کننده ولتاژ است. یک FET ممکن است به صورت تقویت کننده های سورس مشترک، گیت مشترک یا درین مشترک استفاده شود. هریک از این سه آرایش، مشابه آرایش های ترانزیستور BJT است که مشخصات ورودی و خروجی خاص خود را دارد. در شکل ۴۸ سه نوع آرایش مدار تقویت کننده ترانزیستور JFET با کانال N را مشاهده می کنید. در تقویت کننده سورس مشترک (Common Source=CS)، سورس بین ورودی و خروجی مشترک است. ولتاژ ورودی به گیت داده می شود و ولتاژ خروجی از پایه درین دریافت می شود. در شکل ۴۸- الف مدار ساده این تقویت کننده نشان داده شده است.

در تقویت کننده گیت مشترک (common Drain) CD، درین بین ورودی و خروجی مشترک است. ولتاژ ورودی را به گیت می دهیم و ولتاژ خروجی را از پایه سورس دریافت می کنیم. در شکل ۴۸- ب مدار ساده این تقویت کننده را مشاهده می کنید. توجه داشته باشید که از نظر سیگنال متناوب AC پایه های زمین مشترک و V_{DD} به هم متصل هستند.

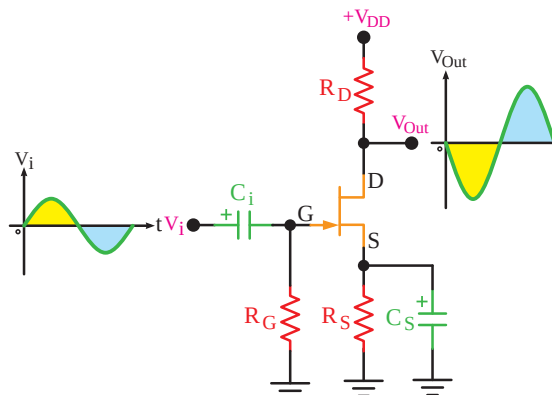
در تقویت کننده گیت مشترک (common Gate) CG، گیت بین ورودی و خروجی مشترک است و ولتاژ ورودی را به پایه سورس می دهیم و سیگنال خروجی را از پایه درین دریافت می کنیم. این مدار خیلی کم مورد استفاده قرار می گیرد. در شکل ۴۸- پ مدار این نوع تقویت کننده نشان داده شده است.



شکل ۴۸- آرایش های مدار تقویت کننده ترانزیستور JFET با کانال N

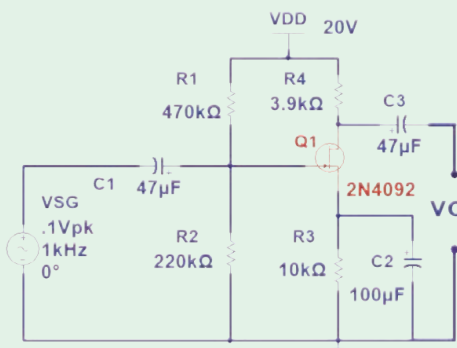
مدار تقویت کننده سورس مشترک (Common Source=CS)

در شکل ۴۹ مدار تقویت کننده سورس مشترک Self Bias با ترانزیستور JFET با (کانال N) نشان داده شده است. تأمین بایاس ترانزیستور از نوع سرخود است. باتری V_{DD} برای تأمین بایاس درین سورس و گیت سورس استفاده شده است.



شکل ۴۹- تقویت کننده سورس مشترک بایاس سرخود یا Bias

کار عملی ۶



شکل ۵۰- مدار تقویت کننده با FET

آزمایش تقویت کننده سورس مشترک در نرم افزار
هدف: به دست آوردن بهره ولتاژ و اختلاف فاز در تقویت کننده سورس مشترک
مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم افزار مناسب، لوازم التحریر
مراحل اجرای کار:

۱- نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر را راه اندازی کنید.

۲- مدار شکل ۵۰ را در فضای نرم افزار ببندید.

۳- منبع تغذیه ۲۰ ولت را به مدار وصل کنید.

۴- قبل از اعمال ولتاژ متناوب به مدار، به وسیله ولت متر موجود در نرم افزار V_{GS} و V_{DS} را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{GS} = \quad V_{DS} =$$

۵- سیگنال سینوسی با دامنه ۱/۰ ولت پیک و فرکانس ۱۰۰۰ هرتز را به مدار اعمال کنید.

۶- موج ورودی و خروجی مدار را روی صفحه اسیلوسکوپ نرم افزار به صورت پایدار ظاهر کنید.

۷- دامنه پیک تاپیک موج ورودی و خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{IN(PP)} = \dots\dots\dots \text{ ولت} \quad V_{O(PP)} = \dots\dots\dots \text{ ولت}$$

۸- بهره ولتاژ مدار را محاسبه کنید.

$$A_V = \dots\dots\dots \text{ مرتبه}$$

۹- اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و خروجی مدار را اندازه بگیرید.

$$\Phi = \dots\dots\dots \text{ درجه}$$



هدف: بررسی تقویت کننده سورس مشترک

مواد، ابزار و تجهیزات: منبع تغذیه یک دستگاه، سیگنال ژنراتور صوتی یک دستگاه، اسیلوسکوپ دو کاناله یک دستگاه

بردبرد آزمایشگاهی یک قطعه، مولتی متر دیجیتالی یک دستگاه

رایانه، نرم افزار مولتی سیم، ترانزیستور JFET (2N3819) یک عدد،

مقاومت های $1\text{ M}\Omega$ و $1/2\text{ k}\Omega$ ، $470\ \Omega$ (هر یک $1/4\text{ W}$) از هر کدام یک عدد

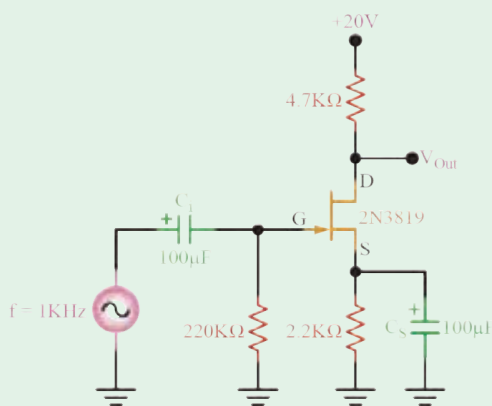
سیم های رابط دوسرگیره سوسماری و سیم های رابط یک سرگیره سوسماری سیم رابط معمولی بردبرد به تعداد کافی

مراحل اجرای کار:

۱ مدار (شکل ۵۱) را روی بردبرد ببندید.

۲ منبع تغذیه را روشن کنید و ولتاژ خروجی آن را روی ۱۲ ولت قرار دهید.

۳ سیگنال ژنراتور را خاموش کنید و مقادیر V_G ، V_S ، V_D ، V_{DS} را با مولتی متر DC اندازه گیری و یادداشت کنید.



اندازه گیری مقادیر (DC) نقطه کار به صورت عملی

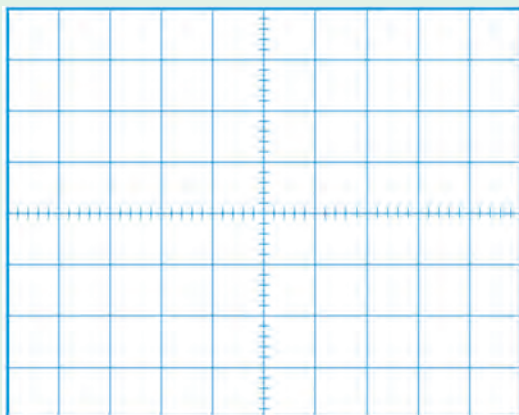
$V_G = \dots\dots\text{V}$	$I_D = \dots\dots\text{mA}$
$V_S = \dots\dots\text{V}$	$V_D = \dots\dots\text{V}$
$V_{GS} = \dots\dots\text{V}$	$V_{DS} = \dots\dots\text{V}$

شکل ۵۱ - بررسی تقویت سیگنال در تقویت کننده سورس مشترک

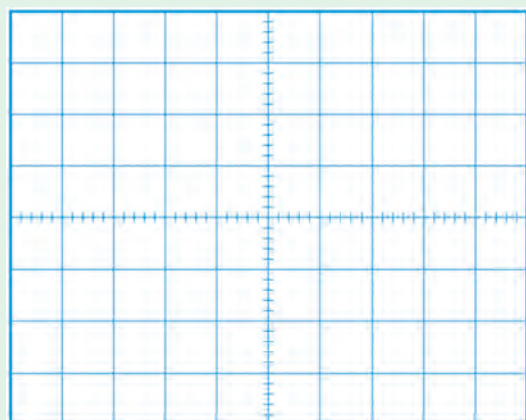
۴ جریان نقطه کار ترانزیستور را با استفاده از رابطه زیر محاسبه کنید:

$$I_D = \frac{V_D - V_{GS}}{R_D + R_S}$$

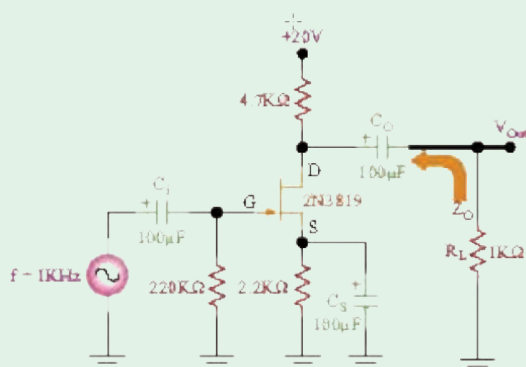
۵ سیگنال ژنراتور را روشن کنید. فرکانس آن را روی ۱ KHZ بگذارید و دامنه سیگنال ورودی افزایش دهید و آن را طوری تنظیم کنید که دامنه ولتاژ سیگنال سینوسی خروجی در حداکثر مقدار خود و بدون اعوجاج باشد.



شکل ۵۲



شکل ۵۳



شکل ۵۴- قراردادن مقاومت بار در خروجی مدار تقویت کننده

۶ کلید MODE اسیلوسکوپ را در حالت CH_۱ قرار دهید.

۷ کلید AC_GND_DC کانال CH_۱ را در حالت AC قرار دهید.

۸ شکل موج ورودی مشاهده شده توسط کانال CH_۱ را در شکل ۵۲ با مقیاس مناسب رسم کنید و دامنه آن را دقیقاً اندازه بگیرید و در زیر نمودار شکل ۵۲ با مقیاس مناسب یادداشت کنید.

(CH_۱)

Volts/Div=۵۰mv/Div

$V_{i_{max}} = ۵۰ \text{ mv} \times \text{تعداد خانه ها} = ۵۰ \text{ mv} \times \dots = \dots \text{ V}$

۹ کلید MODE اسیلوسکوپ را در حالت CH_۲ قرار دهید.

کلید AC_GND_DC کانال CH_۲ را در حالت AC قرار دهید. شکل موج خروجی مشاهده شده توسط کانال CH_۲ را در نمودار شکل ۵۳ با مقیاس مناسب رسم کنید و به طور دقیق دامنه آن را اندازه بگیرید.

(CH_۲)

Volts/Div=۵۰mv/Div

$V_{i_{max}} = ۵۰ \text{ mv} \times \text{تعداد خانه ها} = ۵۰ \text{ mv} \times \dots = \dots \text{ V}$

۱۰ با استفاده از رابطه بهره ولتاژ، مقدار بهره ولتاژ را در حالت بی باری به دست آورید.

$$A_v = \frac{V_{o_{pp(NL)}}}{V_{in_{pp}}} = \dots$$

۱۱ اختلاف فاز بین ولتاژهای V_{in} و V_{out} را اندازه گیری کنید. مقدار دقیق آن را یادداشت نمایید. دلیل وجود اختلاف فاز را توضیح دهید.

$\phi = \dots$ اختلاف فاز

۱۲ مقاومت بار $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ را به خروجی مدار وصل کنید با اندازه گیری ولتاژ دوسر بار به وسیله اسیلوسکوپ، I_L را از رابطه زیر محاسبه کنید (شکل ۵۴).

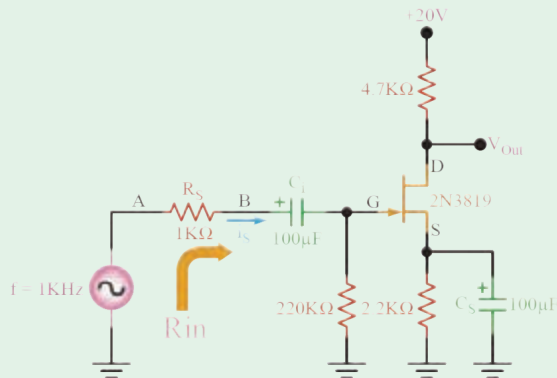
$$I_L = \frac{V_{opp(FL)}}{R_L} = \dots$$

۱۳) با استفاده از رابطه بهره ولتاژ، مقدار بهره ولتاژ را در حالت بار کامل به دست آورید.

$$A_{VL} = \frac{V_{O_{pp}(FL)}}{V_{in_{pp}}}$$

۱۴) با استفاده از رابطه زیر مقاومت خروجی تقویت کننده را محاسبه کنید.

$$R_{out} = \frac{V_{O_{pp}(NL)} - V_{O_{pp}(FL)}}{V_{O_{pp}(FL)}} \times R_L = \dots\dots$$



شکل ۵۵- اتصال مقاومت R_s به ورودی مدار تقویت کننده

۱۵) مقاومت $R_L = 1\text{ k}\Omega$ از خروجی جدا کنید و مطابق شکل ۵۵ به ورودی مدار اتصال دهید. به وسیله اسیلوسکوپ دامنه پیک تا پیک سیگنال نقاط A و B را نسبت به نقطه زمین اندازه بگیرید و یادداشت نمایید.

$$V_A = V_{SP} = \dots\dots\dots$$

$$V_B = V_{in\ p} = \dots\dots\dots$$

۱۶) با توجه به مقدار ولتاژ اندازه گیری شده بین نقاط A و B مقدار جریان I_s که از R_s عبور می کند را محاسبه کنید. این جریان، جریان ورودی مدار سورس مشترک است.

$$I_{in} = \frac{V_{Sp} - V_{in\ p}}{R_s} = \dots\dots\dots$$

۱۷) بهره جریان مدار را با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده برای I_i ، I_L محاسبه کنید.

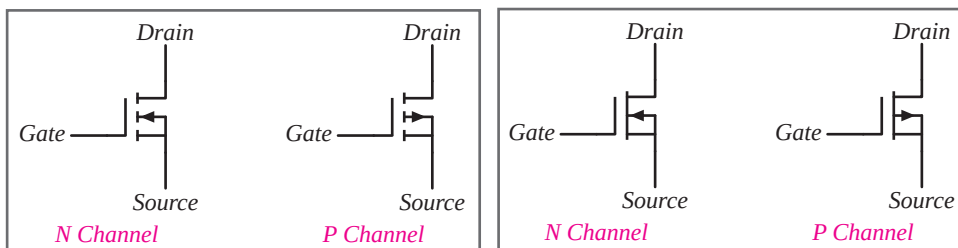
$$A_I = \frac{I_L}{I_{in}} = \dots\dots\dots$$

۱۸) با استفاده از رابطه مقابل مقدار مقاومت ورودی تقویت کننده را محاسبه کنید.

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \dots\dots\dots$$

ترانزیستور اثر میدان با گیت عایق شده یا IGFET (Insulated Gate FET)

در این ترانزیستور، گیت با لایه اکسیدسیلیکون از کانال جدا می شود و هیچ جریانی از گیت عبور نمی کند. لذا مقاومت ورودی آن فوق العاده افزایش می یابد. این ترانزیستور را بیشتر به نام MOSFET می شناسند. نامی که از ساختار فیزیکی آن برگرفته شده است و اول کلمات Metal Oxide Semiconductor FET به مفهوم ترانزیستور اثر میدان با نیمه های اکسید فلز است. MOSFET ها در دو نوع با کانال تهی شونده و کانال تشکیل شونده ساخته می شوند. نماد این نوع ترانزیستورها در شکل ۵۶ نشان داده شده است.



ب) MOSFET با کانال تشکیل شونده

الف) MOSFET با کانال تهی شونده

شکل ۵۶ - علامت اختصاری MOSFET ها

■ MOSFET های قدرت (POWER MOSFET)

در MOSFET های با کانال تشکیل شونده متداول فقط لایه نازکی از کانال به صورت افقی قرار دارد. این لایه مقاومت نسبتاً بالایی را بین درین و سورس ایجاد می کند. لذا این نوع MOSFET ها برای کار در قدرت های پایین مورد استفاده قرار می گیرند. اما MOSFET های قدرت که LD MOSFET (Laterally Diffused MOSFET) نام گذاری شده اند ساختاری با کانال عرضی متفاوت با MOSFET های با کانال تشکیل شونده دارند و از نوع بهبود یافته هستند و برای کاربرد در قدرت های بالا طراحی شده اند. کانال در این قطعه نسبت به MOSFET های متداول، کوتاه تر است در نتیجه مقاومت کمتری ایجاد می کند. این خاصیت سبب تحمل ولتاژ بالاتر و عبور جریان بیش تر می شود.

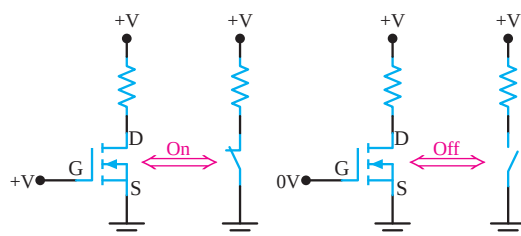
■ VMOSFET



مثال دیگری از MOSFET های قدرت، VMOSFET ها هستند که برای قدرت بالاتر طراحی شده اند. در این نوع MOSFET ها، کانال کوتاه تر و عریض تر است لذا مقاومت کمتری را بین درین و سورس ایجاد می کند. در نهایت جریان بیشتری می تواند از کانال عبور نماید. به این ترتیب VMOSFET ها توان بیشتری دارند و پاسخ فرکانسی آنها مطلوب تر است. شکل ۵۷ تصویر ظاهری یک نمونه MOSFET قدرت را نشان می دهد.

شکل ۵۷ - یک نمونه MOSFET قدرت

عملکرد MOSFET به عنوان کلید (MOSFET Switching Operation): MOSFET های با کانال تشکیل شونده علاوه بر تقویت کنندگی، به عنوان کلید نیز به کار می روند. شکل ۵۸ مدار MOSFET را به عنوان کلید نشان می دهد.



شکل ۵۸ - MOSFET به عنوان کلید



آزمایش MOSFET به عنوان کلید در نرم افزار

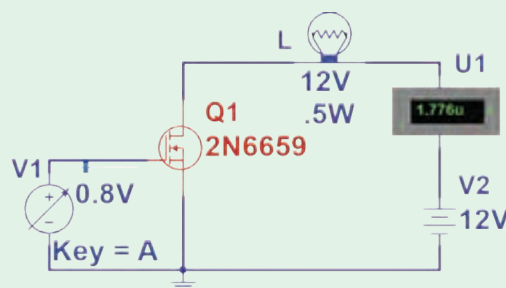
هدف: بررسی عملکرد MOSFET به عنوان کلید

مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم افزار مناسب، لوازم التحریر

مراحل اجرای کار:

۱ نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر را راه اندازی کنید.

۲ مدار (شکل ۵۹) را در فضای نرم افزار ببندید.



شکل ۵۹ - MOSFET به عنوان کلید

۳ منبع تغذیه V_1 را روی ۱۰ ولت و V_2 را روی ۱۲ ولت تنظیم کنید. سپس مدار را راه اندازی کنید.

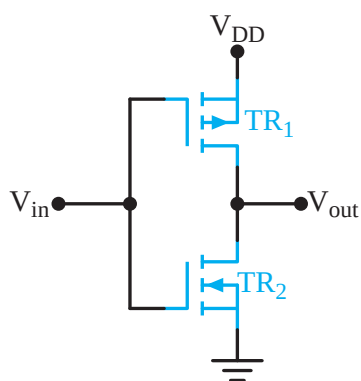
۴ منبع ولتاژ متغیر (V_1) را به تدریج از صفر ولت افزایش دهید. کمترین ولتاژ V_{GS} که به ازای آن جریان در مدار برقرار و کلید ترانزیستوری وصل می شود، چند ولت است؟

ولت = ولتاژ وصل کلید = ولتاژ آستانه روشن شدن

۵ پس از وصل کلید جریان عبوری از مدار چند آمپر است؟

$I_D = \dots\dots\dots A$

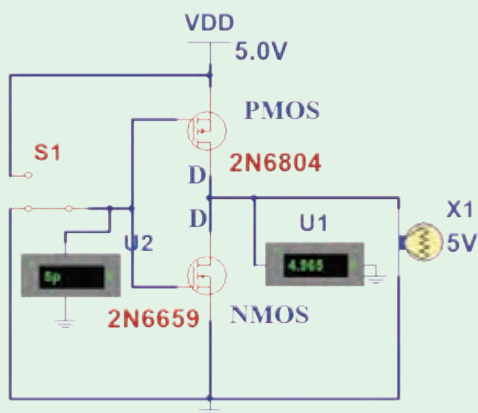
نتایج به دست آمده را در قالب یک گزارش ارائه دهید.



شکل ۶۰ - CMOS

CMOS - Complementary MOSFET): با سری کردن

دو نوع MOSFET با کانال N و P مانند شکل ۶۰ CMOS ساخته می شود. از مزایای CMOS تلفات توان بسیار کم آن است. زیرا با سری شدن دو نوع MOSFET یکی از MOSFET ها همواره قطع است و اساساً از منبع جریانی کشیده نمی شود. این مدار مانند گیت NOT در دیجیتال عمل می کند. وقتی ورودی صفر یا LOW است، مقدار ولتاژ خروجی برابر با V_{DD} یا «High» است. وقتی ولتاژ ورودی برابر V_{DD} یا High باشد ولتاژ خروجی صفر یا «LOW» است.



شکل ۶۱

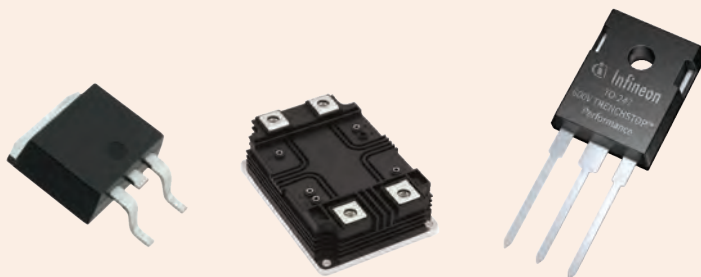
آزمایش CMOS به عنوان گیت NOT در نرم افزار
هدف: ترکیب MOSFET با کانال P و N و ساختن مدار CMOS
مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم افزار مناسب، لوازم التحریر
مراحل اجرای کار:
 ۱ نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر را راه اندازی کنید.
 ۲ مدار (شکل ۶۱) را در فضای نرم افزار بنیدید.
 ۳ کلید S_۱ را در وضعیت صفر (۰) منطقی (اتصال به زمین) و یک (۱) منطقی (اتصال به +۵) قرار دهید و عملکرد گیت NOT را بررسی کنید.



در شکل ۶۲ نمای ظاهری چند نمونه JFET و MOSFET را مشاهده می کنید.

شکل ۶۲- نمای ظاهری چند نمونه MOSFET

امروزه ترانزیستورهای خاص با نام IGBT (Insulated - Gate Bipolar Transistor) ساخته شده است. ساختار این ترانزیستورها مشابه BJT است با این تفاوت که پایه بیس آن با نام گیت مشخص می شود و مشابه گیت MOSFET عمل می کند. بنابراین ورودی این قطعه شبیه FET و خروجی آن مشابه ترانزیستور دوقطبی (BJT) است. در شکل ۶۳ چند نمونه از شکل ظاهری IGBT نشان داده شده است.



شکل ۶۳ - نمای ظاهری چند نمونه IGBT

از این قطعه می‌توان جریان بسیار زیاد (حدود صدها آمپر) را عبور داد. همچنین ولتاژ کار آن بالا بوده و می‌تواند به حدود ۶۰۰۰ ولت برسد. به این ترتیب IGBT قادر است توان صدها کیلووات را تحمل کند. این قطعه به دلیل داشتن راندمان بالا و سوئیچینگ سریع، در دستگاه‌های مدرن مانند اتومبیل‌ها و قطارهای برقی، یخچال‌ها با توانایی سرمایش سریع، سیستم هواساز با راندمان بالا، آمپلی‌فایرهای سوئیچینگ، منابع تغذیه و خطوط تولیدی صنعتی کاربرد دارد.

با مراجعه به رسانه‌های مختلف نماد فنی ترانزیستور IGBT را بیابید و آن را ترسیم کنید.

فعالیت عملی

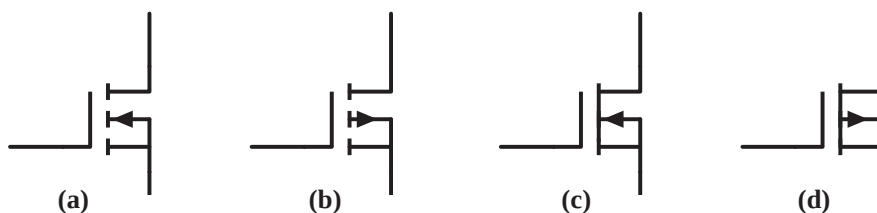


خودارزیابی

۱ انواع MOSFET را نام ببرید.

۲ MOS اول کلمات انگلیسی و به معنی ..
..... است.

۳ با مراجعه به منابع مختلف، نام پایه‌های قطعات نشان داده شده در شکل ۶۴ (a, b, c, d) را بنویسید. نوع کانال (P یا N) و از نظر ساخت (تشکیل شونده یا تهی شونده) را تعیین کنید.



شکل ۶۴

۴ عملکرد MOSFET با کانال N تشکیل شونده را به عنوان سوئیچ شرح دهید.

ارزشیابی شایستگی راه اندازی تقویت کننده سیگنال باترانزیستور FET

نام و نام خانوادگی :		شماره ملی:		تاریخ ارزشیابی:	
کد حرفه	۸۲۱۲۲۳	حرفه	مونتازکاران تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی	کد پیمانانه/پودمان	۸۲۱۲۱۳۰۱۲
کد وظیفه شغل	۸۲۱۲۲۳۰۱	وظیفه شغل	ساخت بردهای الکترونیکی	سطح صلاحیت	L۳
کد کار	۸۲۱۲۲۳۰۱۱۲	کار	راه اندازی تقویت کننده سیگنال باترانزیستور FET	سطح شایستگی	مهارت

ردیف	مراحل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص ها/داوری /نمره دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	تحلیل تفاوت های اساسی ترانزیستورهای FET و BJT از نظر کنترل خروجی و امپدانس ورودی	برگه پاسخ و تخته در کلاس یا کارگاه الکترونیک	تحلیل درست رفتار و تفاوت های دو ترانزیستور و توانایی مقایسه عملکرد آنها	تحلیل کامل و دقیق	۳	
				تحلیل قابل قبول با نقص جزئی	۲	
				تحلیل ناقص یا نادرست	۱	
۲	مقایسه و ارزیابی مزایا و معایب ترانزیستور FET در کاربردهای خاص آنالوگ و دیجیتال با BJT	منابع آموزشی، دیتاشیت قطعات و زمان تعیین شده در کلاس یا کارگاه الکترونیک	پرسش و پاسخ، چک لیست ارزیابی و بررسی تحلیل	مقایسه و ارزیابی کامل و دقیق	۳	
				مقایسه قابل قبول با نقص جزئی	۲	
				مقایسه ناقص یا نادرست	۱	
۳	تعیین مدار بایاس مناسب برای ترانزیستور FET جهت ایجاد نقطه کار پایدار در ناحیه اشباع یا خطی و بستن آن در محیط نرم افزار و روی بردبرد	نرم افزار شبیه سازی، پردژر، منبع تغذیه و قطعات FET در زمان تعیین شده و کارگاه الکترونیک	بررسی عملکرد مدار شبیه سازی شده، چک لیست ارزیابی صحت اتصالات مدار	طراحی و پیاده سازی کامل و دقیق	۳	
				عملکرد قابل قبول با خطای جزئی	۲	
				طراحی یا پیاده سازی نادرست	۱	
۴	طراحی و آرایش تقویت کننده FET، انتخاب قطعات، پیاده سازی روی بردبرد و اندازه گیری پارامترهای AC	نرم افزار شبیه سازی، پردژر، منبع تغذیه، اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور و قطعات مدار تقویت کننده FET در زمان تعیین شده و کارگاه الکترونیک	بررسی عملکرد مدار شبیه سازی شده، بررسی اندازه گیری ها و ثبت داده ها	پیاده سازی و اندازه گیری دقیق	۳	
				عملکرد قابل قبول با خطای جزئی	۲	
				پیاده سازی یا اندازه گیری نادرست	۱	
۵	گزارش نویسی فنی و مستندسازی کارهای عملی و فعالیت ها	تخته، برگه قالب گزارش و نوشت افزار در کارگاه الکترونیک	بررسی گزارش، چک لیست و پرسش و پاسخ	گزارش دقیق و مستندسازی صحیح	۳	
				گزارش قابل قبول با نقص جزئی در مستندسازی داده ها	۲	
				گزارش ناقص، نامنظم و فاقد مستندسازی صحیح اطلاعات	۱	
	شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: کارگاه الکترونیک مجهز به ابزار و دستگاه های شبیه سازی مدارها و رایانه، تجهیزات حفاظت فردی و قطعات مورد نیاز، انجام فعالیت های کارگاهی مطابق با دستورالعمل های ایمنی و بهداشت حرفه ای		مشاهده رفتار هنرجو در حین انجام فعالیت، میزان رعایت اصول ایمنی و نظم، فعالیت های گروهی، مدیریت زمان و مسئولیت پذیری	رعایت کامل ایمنی، بهداشت و محیط زیست، رفتار حرفه ای، نظم و مسئولیت پذیری بالا	۲	
				رعایت نسبی ایمنی و بهداشت با خطاهای جزئی، رفتار کاری مناسب	۱	

ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)

☐ بلی

☐ خیر

توضیحات:

معیار شایستگی انجام کار:

– کسب حداقل نمره ۲ از مراحل طراحی و پیاده سازی مدار بایاس FET طراحی و پیاده سازی مدار تقویت کننده FET (مراحل بحرانی).

– کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش

– کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه ای انجام می شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام

کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه ریزی و تحلیل، پاسخ گویی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت ها

تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.



پودمان دوم

ساخت پروژه‌های آنالوگ



در بسیاری از سامانه‌های الکترونیکی، سیگنال‌های الکتریکی تولید شده توسط حسگرها، میکروفون‌ها و سایر منابع، دارای دامنه کمی هستند و برای پردازش یا استفاده در مدارهای مختلف باید تقویت شوند. در پودمان‌های قبلی با عملکرد تقویت‌کننده‌های یک‌طبقه آشنا شدید و مشاهده کردید که چگونه می‌توان با استفاده از یک ترانزیستور، دامنه سیگنال را افزایش داد. با این حال، در بسیاری از کاربردهای عملی، یک طبقه تقویت‌کننده به تنهایی قادر به تأمین بهره مورد نیاز نیست. در این پودمان با تقویت‌کننده‌های چندطبقه آشنا می‌شوید که از اتصال چندطبقه تقویت‌کننده تشکیل شده‌اند و امکان دستیابی به بهره‌های بالاتر را فراهم می‌کنند. درواحد یادگیری بعدی، یکی از مهم‌ترین مدارهای مجتمع الکترونیکی یعنی تقویت‌کننده عملیاتی را خواهید شناخت. تقویت‌کننده عملیاتی (Op-Amp) را می‌توان یک تقویت‌کننده چندطبقه بسیار پیشرفته و یک‌پارچه دانست که ده‌ها ترانزیستور درون آن به کار رفته است. این قطعه با خواص ایده‌آل خود (بهره بی‌نهایت، امپدانس ورودی بی‌نهایت و امپدانس خروجی صفر) انقلابی در طراحی مدارها ایجاد کرد. امروزه تقویت‌کننده‌های عملیاتی در مدارهای فیلتر، مقایسه‌گر، جمع‌کننده، تفریق‌کننده، نوسان‌ساز و منابع تغذیه کاربرد گسترده دارند. درک تقویت‌کننده‌های چندطبقه، پایه و اساس فهم تقویت‌کننده‌های عملیاتی است.

پس از پایان این پودمان، هنرجو قادر خواهد بود ساختار و عملکرد تقویت‌کننده‌های چندطبقه و عملیاتی را تحلیل کرده و از آنها در طراحی و پیاده‌سازی مدارهای الکترونیکی استفاده نماید.

واحد یادگیری ۱: تقویت کننده های چند طبقه

آیا تا به حال فکر کرده اید

- سیگنال های بسیار ضعیف را چگونه می توان تقویت کرد؟
- در دستگاه های صوتی مانند آمپلی فایرها چه نوع تقویت کننده هایی مورد استفاده قرار می گیرند؟
- سیگنال های فرکانس پایین و همچنین ولتاژهای DC خروجی حسگرها را چگونه می توان تقویت کرد؟
- چگونه می توان توان خروجی یک تقویت کننده را افزایش داد؟
- روش اتصال طبقات تقویت کننده چه تأثیری بر عملکرد نهایی مدار دارد؟

در پودمان قبل با تقویت کننده های یک طبقه آشنا شدید و نحوه افزایش دامنه سیگنال های الکتریکی را با استفاده از آنها فراگرفتید. با این حال، در بسیاری از مدارهای الکترونیکی، مقدار تقویت حاصل از یک طبقه برای رسیدن به سطح مطلوب کافی نیست. در چنین شرایطی از تقویت کننده های چند طبقه استفاده می شود که از اتصال چند طبقه تقویت کننده به یکدیگر تشکیل شده اند.

تقویت کننده های چند طبقه امکان دستیابی به بهره بیشتر، بهبود عملکرد مدار و تأمین نیازهای کاربردهای مختلف را فراهم می کنند. این نوع تقویت کننده ها در تجهیزات صوتی، سامانه های مخابراتی، ابزارهای اندازه گیری و بسیاری از مدارهای الکترونیکی به کار می روند.

در این واحد یادگیری با روش های اتصال طبقات تقویت کننده به یکدیگر (روش های کوپلاژ) و نحوه عملکرد هریک از آنها آشنا خواهید شد. همچنین دو نمونه مهم تقویت کننده با کوپلاژ مستقیم یعنی تقویت کننده زوج دارلینگتون و تقویت کننده تفاضلی معرفی خواهند شد و در انتها تقویت کننده های قدرت آموزش داده خواهد شد.

پس از آموزش این واحد یادگیری از هنرجو انتظار می رود که مدارهای تقویت کننده چند طبقه را بررسی و تحلیل کرده و وظیفه هر طبقه را در عملکرد آن شرح دهد. همچنین بتواند با توجه به مقادیر نقطه کار و شکل موج های نقاط مختلف تقویت کننده، عیب یابی و تعمیر این تقویت کننده ها را انجام دهد.

استاندارد عملکرد

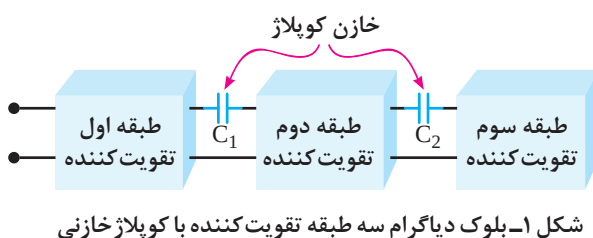
تشخیص انواع کوپلاژ تقویت کننده ها، بستن تقویت کننده های دو طبقه و تفاضلی روی بردبرد، تحلیل کلاس های A، B و AB و بستن مدار تقویت کننده کاربردی با مدار مجتمع.

تقویت کننده‌های چند طبقه

در پودمان قبل تقویت کننده‌های یک طبقه را بررسی کردیم و دیدیم که محدودیت‌هایی در بهره، مقاومت ورودی و مقاومت خروجی این تقویت کننده‌ها وجود دارد. به دلیل این محدودیت‌ها در بسیاری از سیستم‌های الکترونیکی نمی‌توانیم تنها از یک طبقه تقویت کننده استفاده کنیم. در این شرایط برای به دست آوردن پارامترهای مورد نظر باید چند طبقه تقویت کننده را پشت سرهم ببندیم و تقویت کننده چندطبقه را تشکیل دهیم.

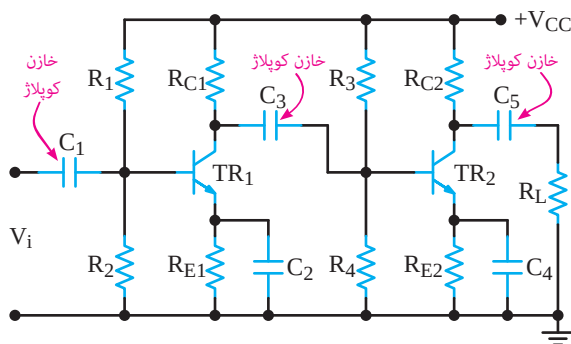
اتصال تقویت کننده‌ها به یکدیگر

برای انتقال سیگنال از یک طبقه تقویت کننده به طبقه دیگر، باید دو طبقه را به یکدیگر اتصال دهیم. چگونگی اتصال دو طبقه تقویت کننده را به یکدیگر کوپلاژ (Coupling) می‌گویند. اتصال بین طبقات به وسیله خازن، ترانسفورماتور یا به طور مستقیم امکان پذیر است. از این رو سه نوع کوپلاژ خازنی، ترانسفورماتوری و مستقیم تعریف می‌شود.



۱ کوپلاژ خازنی

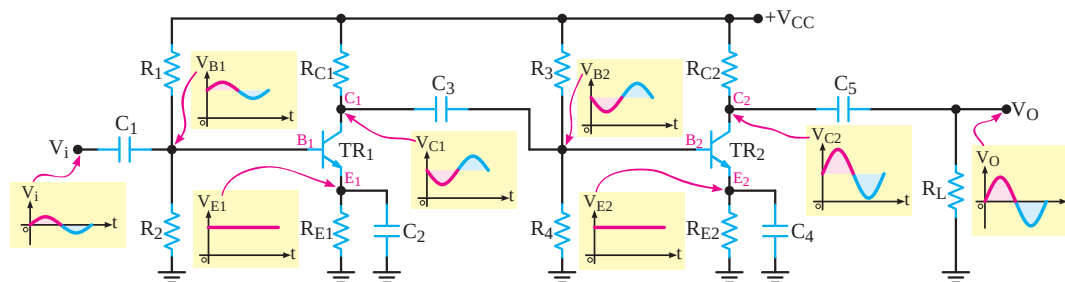
اگر طبقات تقویت کننده چند طبقه را به وسیله خازن به یکدیگر وصل کنیم، می‌گوییم کوپلاژ بین طبقات تقویت کننده خازنی است. در شکل ۱ بلوک دیاگرام سه طبقه تقویت کننده و خازن‌های کوپلاژ بین آنها نشان داده شده است.



در شکل ۲ مدار یک تقویت کننده دو طبقه با کوپلاژ RC نشان داده شده است. در این مدار دو طبقه تقویت کننده توسط خازن C_p به یکدیگر متصل شده‌اند. هر دو طبقه تقویت کننده از نوع امیتر مشترک‌اند و نوع بایاس ترانزیستورها سرخود یا تقسیم ولتاژ مقاومتی است.

خازن‌های C_p و C_e و خازن‌های کوپلاژ هستند. به علت وجود خازن C_p ، ارتباط DC از خروجی طبقه اول به ورودی طبقه دوم تقویت کننده، قطع است. C_e نیز مانع ورود DC کلکتور به مقاومت بار (R_L) می‌شود. ظرفیت خازن‌های کوپلاژ را طوری انتخاب می‌کنند که عکس‌العمل خازنی آنها (X_C) در حداقل فرکانس کار تقویت کننده، قابل چشم‌پوشی باشد به طوری که بتوان همواره آنها را اتصال کوتاه فرض کرد.

شکل موج‌های نقاط مختلف مدار: در شکل ۳ شکل موج‌های نقاط مختلف تقویت کننده دو طبقه با کوپلاژ خازنی رسم شده است.



شکل ۳- شکل موج نقاط مختلف تقویت کننده دو طبقه

شکل موج نقاط مختلف مدار تقویت کننده را مورد بررسی قرار داده و در کلاس در مورد آن بحث کنید.

فعالیت



مزایا و معایب کوپلاژ خازنی: یکی از مزایای کوپلاژ خازنی این است که طبقات از نظر مقادیر DC (نقطه کار) کاملاً از هم مستقل هستند و تغییر نقطه کار یک طبقه، روی سایر طبقات اثر نمی‌گذارد. اشکال اصلی کوپلاژ خازنی این است که سیگنال‌های با فرکانس پایین به خوبی تقویت نمی‌شوند. زیرا در فرکانس‌های پایین عکس العمل خازن‌های کوپلاژ و بای پاس امپدانس زیاد می‌باشد و همین امر باعث تضعیف سیگنال خروجی می‌شود. همچنین به علت استفاده از تعداد زیاد مقاومت در این نوع کوپلاژ و تلفات زیاد توان در آنها، قدرت اعمال شده به بار کم است. در عمل از کوپلاژ خازنی در تقویت کننده‌های با توان کم استفاده می‌شود.

کار عملی ۱



بستن مدار تقویت کننده دو طبقه با قطعات واقعی

هدف: بستن مدار تقویت کننده دو طبقه در کارگاه به صورت سخت افزاری و به دست آوردن نقطه کار DC و بهره ولتاژ تقویت کننده

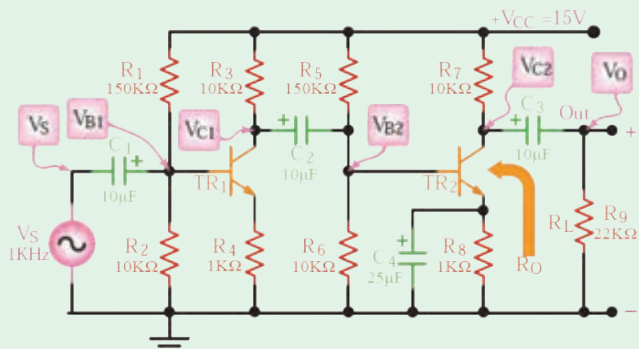
مواد، ابزار و تجهیزات: بردبرد یک عدد اسیلوسکوپ، یک دستگاه منبع تغذیه، یک دستگاه سیگنال ژنراتور یک دستگاه مقاومت $1\text{ K}\Omega$ دو عدد مقاومت $10\text{ K}\Omega$ چهار عدد مقاومت $22\text{ K}\Omega$ ، یک عدد مقاومت $150\text{ K}\Omega$ دو عدد خازن $10\text{ }\mu\text{F}$ ، سه عدد خازن $25\text{ }\mu\text{F}$ ، یک عدد ترانزیستور $2N2219$ یا $CA829$ یا هر ترانزیستور مشابه دیگر، دو عدد سیم‌های رابط

مراحل اجرای کار:

- ۱) مدار شکل ۴ را روی برد برد ببندید.
- ۲) منبع تغذیه ۱۵ ولت را به مدار وصل کنید.
- ۳) در حالی که سیگنال ژنراتور خاموش است ولتاژ هریک از پایه‌های ترانزیستور را به وسیله ولت متر DC نسبت به نقطه مبنا (زمین) اندازه بگیرید و در جدول ۱ یادداشت کنید.

جدول ۱

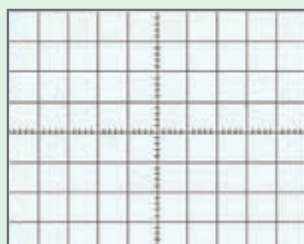
ردیف	کمیت مورد اندازه‌گیری	مقدار	واحد
۱	V_{B1}		
۲	V_{BE1}		
۳	V_{C1}		
۴	V_{B2}		
۵	V_{BE2}		
۶	V_{C2}		



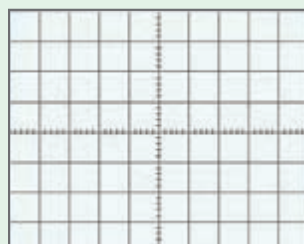
شکل ۴- تقویت کننده دوطبقه با کوپلاژ خازنی

۴ سیگنال ژنراتور را روشن کنید. فرکانس را روی ۱ KHz موج سینوسی قرار دهید و دامنه ولتاژ ورودی را طوری تنظیم کنید که دامنه سیگنال خروجی (V_O) بدون تغییر شکل (اعوجاج) برابر با ۶ ولت پیک تا پیک شود.

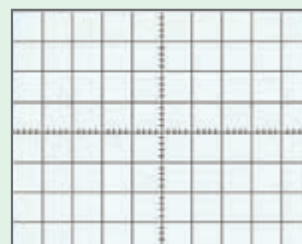
۵ به وسیله اسیلوسکوپ شکل موج‌های V_{B1} ، V_{B2} و V_O را با مقیاس و فاز صحیح در نمودار شکل ۵ الف - ب و پ رسم کنید.



$$\frac{\text{Volt}}{\text{Div}} = \frac{\text{Time}}{\text{Div}} = V_O \text{ (پ)}$$



$$\frac{\text{Volt}}{\text{Div}} = \frac{\text{Time}}{\text{Div}} = V_{B2} \text{ (ب)}$$



$$\frac{\text{Volt}}{\text{Div}} = \frac{\text{Time}}{\text{Div}} = V_{B1} \text{ (الف)}$$

شکل ۵ - شکل موج V_O و V_{B2} ، V_{B1}

۶ آیا فرایند تقویت در هر طبقه انجام شده است؟ آیا در هر طبقه تقویت کننده اختلاف فاز ۱۸۰ درجه وجود دارد؟ توضیح دهید. همچنین ولتاژ V_{C2} و V_O را از نظر DC مورد تجزیه و تحلیل قرار دهید و عملکرد خازن کوپلاژ را بررسی کنید. نتیجه را به اختصار بنویسید.

.....

.....

۷ مقدار پیک تا پیک هریک از سیگنال‌ها را اندازه‌گیری کنید و نتایج را در جدول ۲ بنویسید.

۸ با استفاده از رابطه $AV = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$ و مقادیر اندازه‌گیری شده، مقدار بهره ولتاژ هر طبقه و بهره کل را محاسبه کنید.

جدول ۲

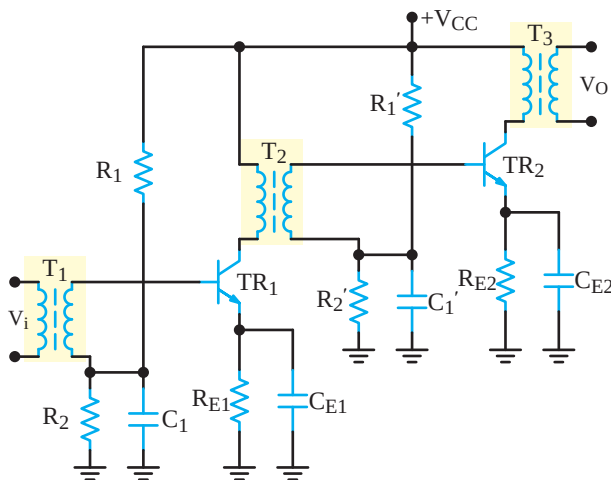
ردیف	کمیت مورد اندازه گیری	مقدار	واحد
۱	$V_{B1(PP)}$		
۲	$V_{C1(PP)}$		
۳	$A_{Vr} = \frac{V_{C1(PP)}}{V_{B1(PP)}}$		
۴	$V_{B2(PP)}$		
۵	$V_{C2(PP)}$		
۶	$A_{Vr} = \frac{V_{C2(PP)}}{V_{B2(PP)}}$		
۷	$V_{O(PP)}$		
۸	$A_v = \frac{V_{O(PP)}}{V_{B1(PP)}}$		

۹ مقدار بهره ولتاژ کل را از رابطه $AV = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$ محاسبه کنید و جدول ۲ را کامل کنید.

پژوهش: بررسی کنید آیا $A_{VT} = A_{V1} \times A_{V2}$ است؟ چرا؟ نتیجه را در قالب یک گزارش ارائه دهید.

۲ کوپلاژ ترانسفورماتوری

در کوپلاژ خازنی به دلیل اینکه در هر تقویت کننده بین کلکتور ترانزیستور و منبع تغذیه یک مقاومت R_C وجود دارد، افت توان در مقاومت R_C به وجود می آید. در نتیجه، قدرت اعمال شده به بار کم است. برای برطرف کردن این عیب، به خصوص در تقویت کننده های با قدرت زیاد، از کوپلاژ ترانسفورماتوری استفاده می کنند. به این ترتیب که اولیه یک ترانسفورماتور را به جای مقاومت R_C ، در کلکتور ترانزیستور قرار می دهند و موج خروجی را از ثانویه آن می گیرند و به ورودی طبقه بعدی می رسانند. ترانسفورماتورهای کوپلاژ ممکن است از نوع افزایشده یا کاهشده ولتاژ باشند. ترانسفورماتور نیز مانند خازن مانع اثرگذاری ولتاژ DC طبقات روی یکدیگر می شود.



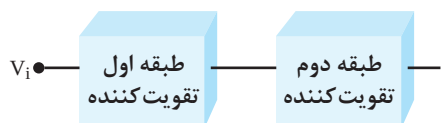
شکل ۶- مدار تقویت کننده دو طبقه با کوپلاژ ترانسفورماتوری

در شکل ۶ مدار یک نمونه تقویت کننده دو طبقه با کوپلاژ ترانسفورماتوری را مشاهده می کنید. یکی از مزایای کوپلاژ ترانسفورماتوری کاهش تلفات تقویت کننده و در نتیجه افزایش راندمان آن است. ضمن اینکه با انتخاب صحیح تعداد دور اولیه و ثانویه ترانسفورماتور و ایجاد تطبیق امپدانس

بین طبقات مختلف، امکان انتقال بیشترین توان به مصرف کننده فراهم می‌شود. عیب اصلی کوپلاژ ترانسفورماتوری همانند کوپلاژ خازنی عدم تقویت مناسب سیگنال‌های با فرکانس پایین است.

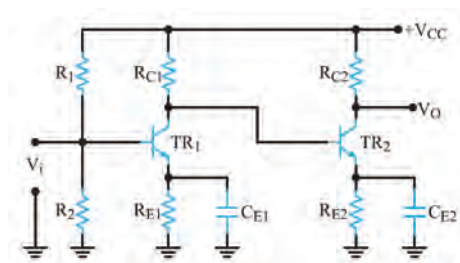
۳ کوپلاژ مستقیم

در کوپلاژ مستقیم، طبقات مختلف تقویت کننده مستقیماً به هم وصل می‌شوند. در این نوع کوپلاژ تغییر نقطه کار یک طبقه بر روی نقطه کار دیگر تأثیر می‌گذارد. همین وابستگی نقطه کار طبقات به یکدیگر، مدار را به شدت به حرارت حساس می‌کند.



شکل ۷ بلوک دیاگرام دو طبقه تقویت کننده را که به صورت کوپلاژ مستقیم به هم وصل شده‌اند، نشان می‌دهد.

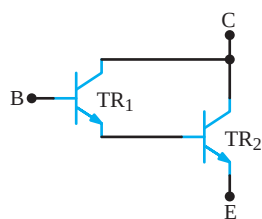
شکل ۷- بلوک دیاگرام دو طبقه تقویت کننده با کوپلاژ مستقیم



شکل ۸- مدار تقویت کننده دو طبقه با کوپلاژ مستقیم

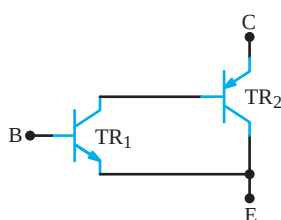
شکل ۸ مدار یک تقویت کننده دو طبقه با کوپلاژ مستقیم را نشان می‌دهد. یکی از مزایای کوپلاژ مستقیم، تقویت فرکانس‌های پایین است. از نمونه‌های مهم کوپلاژ مستقیم می‌توان به تقویت کننده زوج دارلینگتون و تقویت کننده تفاضلی اشاره کرد.

تقویت کننده زوج دارلینگتون: یک نمونه از تقویت کننده‌های دو طبقه با کوپلاژ مستقیم زوج دارلینگتون است که در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹- زوج دارلینگتون NPN

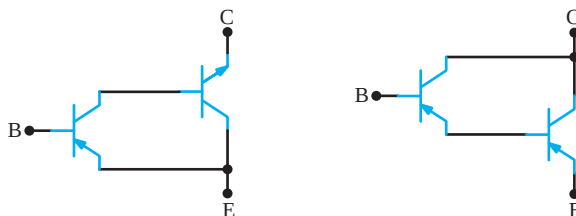
از آنجا که ترانزیستورهای قدرت اغلب دارای β ی کوچکی هستند، برای به دست آوردن β ی بزرگ‌تر، از ترانزیستورهای زوج دارلینگتون استفاده می‌شود. در ضمن زوج دارلینگتون دارای مقاومت ورودی زیاد است. زوج دارلینگتون NPN را می‌توان به کمک یک ترانزیستور NPN و یک ترانزیستور PNP نیز ایجاد کرد.



شکل ۱۰- زوج دارلینگتون PNP با یک ترانزیستور

در این حالت مطابق شکل ۱۰ زوج دارلینگتون مکمل شکل می‌گیرد که معادل زوج دارلینگتون NPN است. اگر ضریب تقویت جریان ترانزیستور TR_1 را β_1 و ضریب تقویت جریان ترانزیستور TR_2 را β_2 فرض کنیم، می‌توان ثابت کرد که ضریب تقویت جریان زوج دارلینگتون از رابطه $\beta_T \approx \beta_1 \beta_2$ به دست می‌آید.

همچنین زوج دارلینگتون PNP ممکن است از دو ترانزیستور PNP و یا با استفاده از یک ترانزیستور NPN و یک ترانزیستور PNP تشکیل شده باشد. شکل ۱۱ زوج دارلینگتون PNP و معادل آن با یک ترانزیستور PNP و یک ترانزیستور NPN را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱- زوج دارلینگتون PNP و معادل آن با یک ترانزیستور NPN و PNP



شکل ۱۲- زوج دارلینگتون در یک بسته‌بندی

کارخانه‌های سازنده قطعات نیمه هادی زوج دارلینگتون را در یک بسته‌بندی و مشابه ترانزیستورهای ساده نیز به بازار عرضه می‌کنند. برای نمونه سری ترانزیستورهای ۲N۶۳۸۳، ۲N۶۳۸۴ و ۲N۶۳۸۵ به صورت ترکیب دارلینگتون هستند. این ترانزیستورها به صورت NPN با β نزدیک به ۳۰۰۰ و قدرتی برابر ۱۰۰ وات ساخته می‌شوند.

در شکل ۱۲ ترانزیستور زوج دارلینگتون در یک بسته بندی نشان داده شده است.

بستن مدار زوج دارلینگتون با نرم افزار یا سخت افزاری

هدف: بستن مدار تقویت کننده زوج دارلینگتون با نرم افزار و به دست آوردن نقطه کار DC و بهره ولتاژ تقویت کننده

مواد، ابزار و تجهیزات: اسیلوسکوپ یک دستگاه، منبع تغذیه یک دستگاه، سیگنال ژنراتور یک دستگاه، مقاومت $470\ \Omega$ یک عدد، مقاومت $560\ \Omega$ یک عدد، مقاومت $1\ K\Omega$ یک عدد، مقاومت $10\ K\Omega$ یک عدد، مقاومت $220\ K\Omega$ یک عدد، مقاومت $1\ M\Omega$ یک عدد، خازن $10\ \mu F$ یک عدد، خازن $22\ \mu F$ یک عدد، خازن $100\ \mu F$ یک عدد، ترانزیستور BC۱۷۷ و BD۱۳۷ یا ترانزیستورهای مشابه از هر کدام یک عدد، سیم‌های رابط

مراحل اجرای کار:

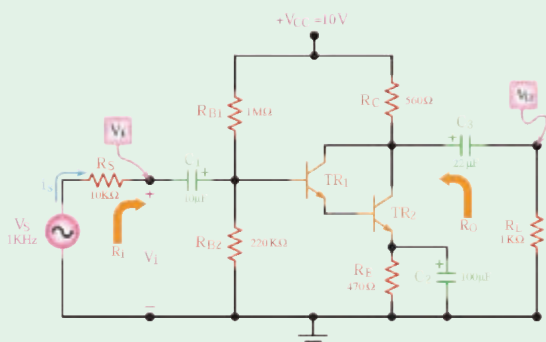
- ۱) مدار شکل ۱۳ را در نرم افزار مولتی سیم ببندید.
- ۲) با توجه به این که ترانزیستور BD۱۳۷ نسبت به ترانزیستور BC۱۰۷ از β کوچک تری برخوردار است، ترانزیستور BD۱۳۷ را در طبقه دوم مدار قرار دهید.
- ۳) منبع تغذیه $10\ V$ ولت را روشن کنید.
- ۴) در حالی که سیگنال ژنراتور خاموش است به وسیله ولت متر DC ولتاژ هریک از پایه های ترانزیستور را نسبت به نقطه مبنا (زمین) اندازه بگیرید و در جدول ۳ یادداشت کنید.

کار عملی ۲



جدول ۳

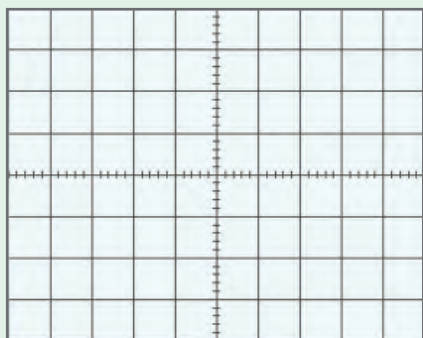
ردیف	کمیت مورد اندازه‌گیری	مقدار	واحد
۱	V_{B1}		
۲	V_{BE1}		
۳	V_{B2}		
۴	V_{BE2}		
۵	V_{C2}		



شکل ۱۳- مدار آزمایش

جدول ۴

ردیف	کمیت مورد اندازه‌گیری	مقدار	واحد
۱	I_{B1}		
۲	I_{B2}		
۳	I_{C1}		
۴	I_{C2}		
۵	$I_{CT} = I_{C1} + I_{C2}$		
۶	$\beta_1 = \frac{I_{C1}}{I_{B1}}$		
۷	$\beta_2 = \frac{I_{C2}}{I_{B2}}$		
۸	$\beta_T = \frac{I_{CT}}{I_{B1}}$		
۹	$\beta_T \approx \beta_1 \times \beta_2$		

شکل ۱۴- شکل موج V_i و V_o

۵ با استفاده از دستگاه آمپر متر، جریان پایه‌های ترانزیستور را اندازه‌گیری کرده و در جدول ۴ یادداشت کنید. سپس β هر یک از ترانزیستورها و نیز β کل را محاسبه کرده و نتیجه را توضیح دهید.

۶ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و آن را روی فرکانس ۱ کیلوهرتز سینوسی تنظیم نمایید.

۷ اسیلوسکوپ را به دوسر مقاومت بار وصل کنید. دامنه سیگنال V_s را طوری تنظیم کنید که دامنه ولتاژ خروجی (V_o) حداکثر و بدون اعوجاج باشد.

۸ شکل موج V_o و V_i را با دو رنگ مختلف و مقیاس مناسب در نمودار ۱۴ ترسیم کنید.

۹ مقدار پیک تاپیک ولتاژ ورودی V_i و خروجی V_o را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۱۰ مقدار A_v مدار را در حالتی که مقاومت R_L در مدار قرار دارد محاسبه کنید.

۱۱ مقاومت بار R_L را از مدار قطع کنید و مقدار V_{OPP} را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۱۲ با توجه به مقادیر V_{OPPFL} و V_{OPPNL} مقدار R_o را از رابطه

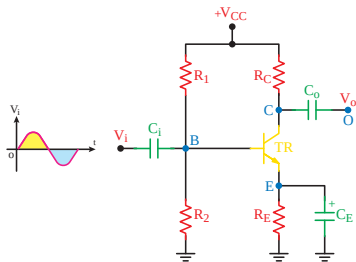
$$R_o = \frac{V_{OPPNL} - V_{OPPFL}}{V_{OPPFL}} \times R_L$$

محاسبه کنید.

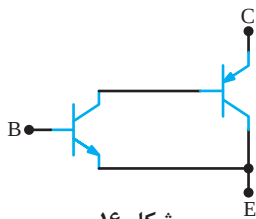
۱۳ بار R_L را وصل کنید و به وسیله اسیلوسکوپ دامنه پیک تاپیک سیگنال‌های V_i و V_s را اندازه بگیرید و یادداشت نمایید.

۱۴ با استفاده از رابطه $I_s = \frac{V_{SPP} - V_{iPP}}{R_s}$ مقدار جریان I_s را محاسبه کنید.

۱۵ با استفاده از رابطه $R_i = \frac{V_{iPP}}{I_s}$ مقدار امپدانس ورودی تقویت کننده را محاسبه کنید.



شکل ۱۵



شکل ۱۶

۱ در مدار شکل ۱۵ با توجه به شکل موج ورودی شکل موج ولتاژ نقاط B و C و E را رسم کنید.

۲ زوج دارلینگتون NPN را رسم کنید. کوپلاژ بین ترانزیستورها چگونه است؟

اگر بهره جریان استاتیکی هر ترانزیستور (β) برابر 50 باشد βT را محاسبه کنید.

۳ مزایا و معایب تقویت کننده با کوپلاژ خازنی را شرح دهید.

۴ کوپلاژ ترانسفورماتوری نسبت به کوپلاژ خازنی تلفات کمتر و راندمان بهتر دارد. ☐ صحیح ☐ غلط

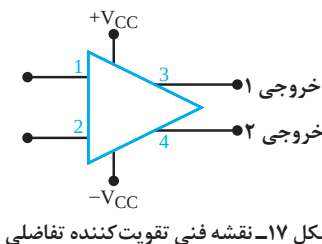
۵ در کوپلاژ تغییر نقطه کار یک طبقه بر روی نقطه کار طبقات دیگر تأثیر می گذارد.

۶ شکل ۱۶ زوج دارلینگتون NPN است. ☐ صحیح ☐ غلط

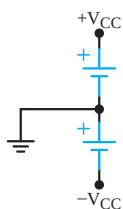
۷ در یک تقویت کننده اگر $V_{OPPFL} = 2V$ و $R_L = 2K\Omega$ و در بار $V_{OPPNL} = 8V$ باشد مقاومت خروجی تقویت کننده را محاسبه کنید.

تقویت کننده تفاضلی: در تقویت کننده های معمولی مانند امیتر مشترک می توان به ضریب تقویت کافی و پایداری حرارتی مناسب دست یافت. ولی به دلیل وجود خازن، در این نوع تقویت کننده ها فرکانس های کم و سیگنال DC به درستی تقویت نمی شوند و ضریب تقویت کاهش می یابد. برای تقویت سیگنال های با فرکانس پایین و DC از تقویت کننده تفاضلی (Differential Amplifier) استفاده می کنیم.

یکی از مشکلات تقویت کننده هایی که تاکنون آنها را بررسی کرده ایم ناتوانی در تفکیک سیگنال از نویز است. این تقویت کننده ها سیگنال و نویز را به یک اندازه تقویت می کنند. در صورتی که تقویت کننده تفاضلی دارای قابلیت جداسازی سیگنال از نویز است و می تواند هر کدام را با ضریب متفاوتی به خروجی مدار منتقل کند.



شکل ۱۷- نقشه فنی تقویت کننده تفاضلی

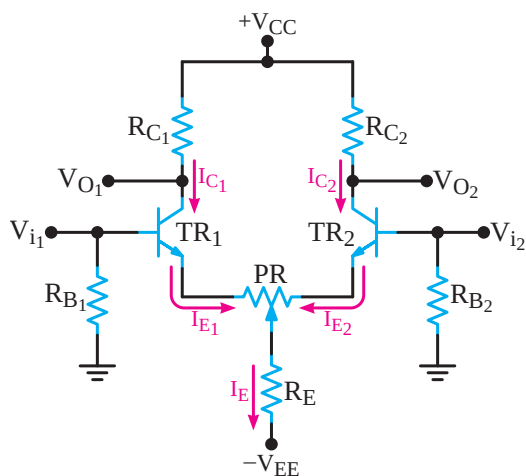


شکل ۱۸- ایجاد تغذیه متقارن

نقشه فنی تقویت کننده تفاضلی: در شکل ۱۷ نقشه فنی تقویت کننده

تفاضلی نشان داده شده است. همان طور که می بینید، در این شکل دو ترمینال ورودی و دو ترمینال خروجی وجود دارد. به منظور استفاده از این تقویت کننده ها، ابتدا باید ارتباط این ترمینال ها را بدانیم تا بتوانیم تقویت کننده را به کاربریم. به شکل ۱۷ دقت کنید، در این شکل علاوه بر ترمینال های ورودی و خروجی، دو ترمینال دیگر نیز برای اتصال به خط تغذیه متقارن وجود دارد. چگونگی ایجاد خط تغذیه متقارن در شکل ۱۸ نشان داده شده است.

ولتاژهای ورودی را می توان به یک یا هر دو ترمینال ورودی اعمال کرد. ولتاژ خروجی نیز در هر دو ترمینال خروجی ظاهر می شود. البته از نظر زاویه فاز بین ترمینال های ورودی خروجی پلاریته متفاوتی وجود دارد.



شکل ۱۹- مدار تقویت کننده تفاضلی

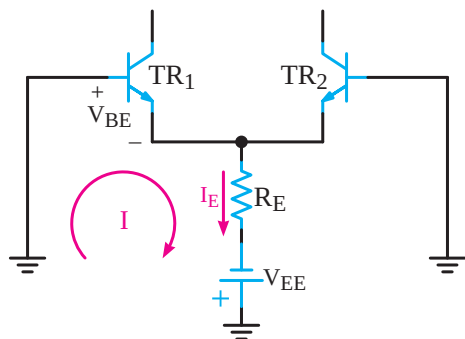
مدار تقویت کننده تفاضلی: نقشه ساده یک تقویت کننده تفاضلی (diff_amp) در شکل ۱۹ رسم شده است. این مدار دارای دو ورودی V_{i1} و V_{i2} و دو خروجی V_{O1} و V_{O2} است. ورودی‌ها به طور جداگانه به بیس ترانزیستورها متصل می‌شوند. از سوی دیگر، چون امیترها به مقاومت مشترکی اتصال دارند، خروجی‌های V_{O1} و V_{O2} به وسیله یک یا هر دو سیگنال ورودی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. خروجی‌ها، از کلکتور هر یک از ترانزیستورها قابل دریافت است. همچنین دو منبع تغذیه برای مدار وجود دارد. ولتاژهای $+V_{CC}$ و $-V_{EE}$ به نقاط مورد نظر و سیم مشترک آن به زمین وصل شده است.

بررسی رفتار DC تقویت کننده تفاضلی: برای تجزیه و تحلیل بهتر مدار در حالت DC ابتدا مطابق شکل ۲۰ هر دو ورودی را زمین می‌کنیم. به عبارت دیگر ولتاژ بیس ترانزیستورها را صفر در نظر می‌گیریم ($V_B = 0$). در این حالت ولتاژ امیتر ترانزیستور دارای پتانسیلی برابر با $(-V_{BE})$ ولت است. با فرض مشابه بودن هر دو نیمه، جریان امیتر هر دو ترانزیستور برابر است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{E1} = I_{E2} = \frac{I_E}{2}$$

با نوشتن KVL در حلقه نشان داده شده در شکل ۲۰ می‌توانیم مقدار I_E را محاسبه کنیم.

$$+V_{BE} + R_E I_E - V_{EE} = 0 \Rightarrow I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E}$$



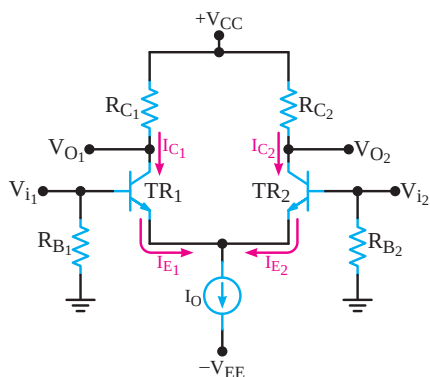
شکل ۲۰- معادل KVL در حلقه I

باتوجه به شرایط مدار داریم:

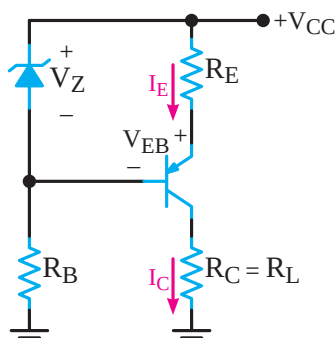
$$I_{C1} = I_{C2} = I_{E1} = I_{E2} = \frac{I_E}{2}$$

مقدار ولتاژ کلکتور ترانزیستورها را محاسبه می‌کنیم:

$$V_{C1} = V_{C2} = V_{CC} - R_{C1} I_{C1} = V_{CC} - R_{C2} I_{C2}$$



شکل ۲۱- تقویت کننده تفاضلی با منبع جریان



شکل ۲۲- مدار منبع جریان ساده ترانزیستوری

برای ثابت نگه داشتن نقطه کار مدار می توان مانند شکل ۲۱ یک منبع جریان را به جای مقاومت R_E قرارداد. این کار همچنین باعث افزایش بهره ولتاژ و مقاومت ورودی تقویت کننده می شود. مدار منبع جریان: منبع جریان مداری است که در آن جریان خروجی به مقاومت بار بستگی ندارد و تحت شرایطی، جریان بار همواره ثابت است.

در شکل ۲۲ مدار یک منبع جریان ساده ترانزیستوری نشان داده شده است. ولتاژ دوسر مقاومت R_E از رابطه زیر به دست می آید.

$$V_{RE} = R_E I_E = V_Z - V_{EB}$$

$$I_E = \frac{V_Z - V_{EB}}{R_E}$$

در این رابطه چون مقادیر R_E ، V_Z و V_{EB} تقریباً ثابت اند. I_E نیز در محدوده معینی از R_L ثابت باقی می ماند. چون جریان کلکتور ترانزیستور تقریباً با جریان I_E برابر است، لذا I_C نیز ثابت می شود:

$$I_C \approx I_E$$

جریان بار را در شکل ۲۳ محاسبه کنید.

پاسخ:

محاسبه I_E

$$V_Z = R_E I_E + V_{EB}$$

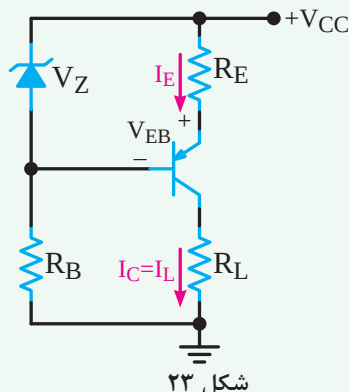
$$I_E = \frac{V_Z - V_{EB}}{R_E} = \frac{6.2 - 0.7}{1.1}$$

$$I_E = \frac{5.5}{1.1} = 5 \text{ mA}$$

محاسبه I_L

$$I_C \approx I_E = 5 \text{ mA}$$

$$I_L = 5 \text{ mA}$$



شکل ۲۳

$$V_{CC} = +12 \text{ V}$$

$$V_{EB} = +0.7 \text{ V}$$

$$V_Z = 6.2 \text{ V}$$

$$R_E = 1.1 \text{ K}\Omega$$

$$R_L = 1 \text{ K}\Omega$$

مثال





در شکل ۲۴ به شرط تقارن دو نیمه V_{C1} را محاسبه کنید.

پاسخ:

محاسبه جریان منبع جریان

$$I_{E3} = \frac{V_Z - V_{BE}}{R_E}$$

$$I_{E3} = \frac{6.2 - 0.6}{5.6K} = 1mA$$

$$I_{C3} = I_{E3} = 1mA$$

محاسبه جریان کلکتور ترانزیستورهای TR_1 و TR_2

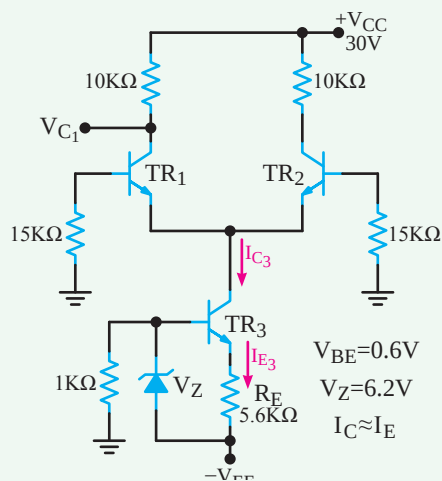
$$I_{C1} = I_{C2} = \frac{I_{C3}}{2}$$

$$I_{C1} = \frac{1}{2} \times 1mA$$

محاسبه V_{C1}

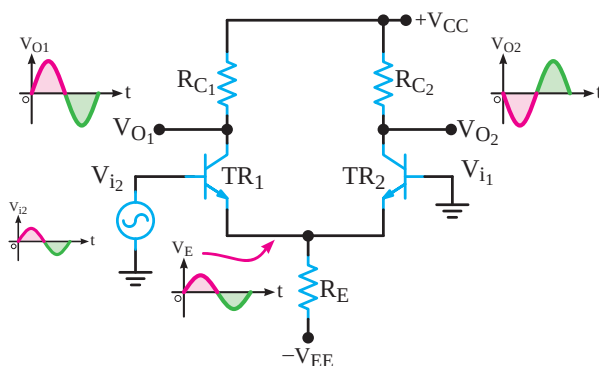
$$V_{C1} = V_{CC} - R_{C1} I_{C1}$$

$$V_{C1} = 30 - (10)(0.5) = 25 \text{ ولت}$$



شکل ۲۴

بررسی رفتار AC تقویت کننده تفاضلی: در یک تقویت کننده تفاضلی، سیگنال ورودی را می توان به یک یا هر دو ورودی تقویت کننده اعمال کرد. همچنین سیگنال خروجی را می توان از یک یا هر دو خروجی تقویت کننده دریافت کرد.



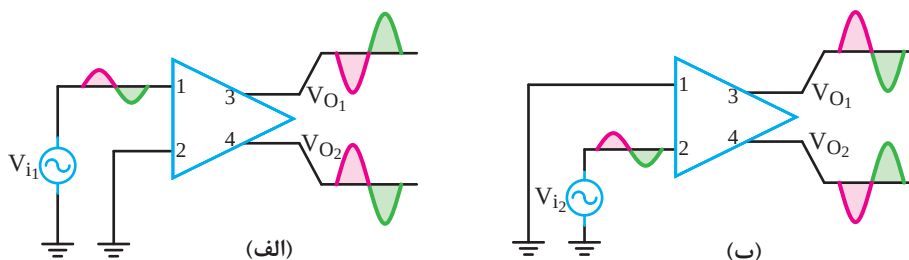
شکل ۲۵- اتصال سیگنال به بیس TR_1

تقویت کننده تفاضلی با یک ورودی و دو خروجی: در شکل ۲۵ مدار یک تقویت کننده تفاضلی با یک ورودی و دو خروجی نشان داده شده است. با اعمال سیگنال به یکی از ورودی ها، در خروجی های تقویت کننده دو سیگنال با 180° درجه اختلاف فاز ایجاد می شود.

درمورد نحوه عملکرد تقویت کننده تفاضلی شکل ۲۵ و چگونگی تقویت سیگنال تحقیق کنید. همچنین بررسی کنید چرا سیگنال های تقویت شده در خروجی ها با یکدیگر 180° درجه اختلاف فاز دارند. نتیجه تحقیق را در کلاس ارائه دهید.



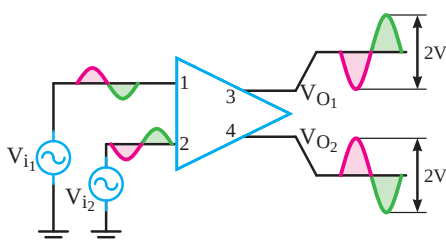
در شکل ۲۶ تقویت کننده تفاضلی در حالت یک ورودی و دو خروجی به همراه شکل موج های ورودی و خروجی به صورت بلوکی رسم شده است. در شکل (الف) سیگنال به ورودی ۱ و در شکل (ب) سیگنال به ورودی ۲ اعمال شده است. از مدار تقویت کننده تفاضلی با یک ورودی و دو خروجی می توان به عنوان مدار جدا کننده فاز استفاده کرد.



شکل ۲۶- تقویت کننده تفاضلی با یک ورودی و دو خروجی

- تقویت کننده تفاضلی با دو ورودی و دو خروجی: در مدار تقویت کننده تفاضلی با دو ورودی، با توجه به اینکه دو سیگنال ورودی هم فاز باشند یا در فاز مخالف باشند، عملکرد مدار متفاوت خواهد بود.

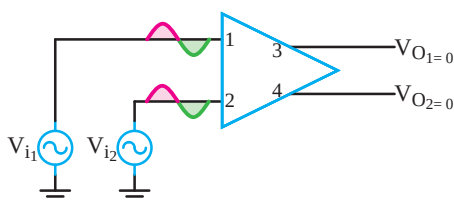
- تقویت کننده تفاضلی با ورودی تفاضلی (Differential Inputs): در صورتی که طبق شکل ۲۷ ورودی های V_{i1} و V_{i2} با دامنه برابر و فاز مخالف به تقویت کننده تفاضلی اعمال گردند، سیگنال های خروجی مربوطه به دو ورودی با یکدیگر جمع می شوند و خروجی های V_{O1} و V_{O2} دو سیگنال با فاز مخالف نسبت به هم و دامنه مشخص مثلاً ۲۷ دریافت خواهد شد که این حالت را حالت تفاضلی می نامند. مقدار دامنه خروجی ها بستگی به مقدار دامنه سیگنال های ورودی دارد.



شکل ۲۷- تقویت کننده تفاضلی با عملکرد ورودی تفاضلی

تقویت کننده تفاضلی در حالت سیگنال مشترک (Common Mode Inputs): در حالت سیگنال مشترک دوسیگنال با فاز، دامنه و فرکانس یکسان به دو ورودی تقویت کننده داده می شود. در شکل ۲۸ تقویت کننده تفاضلی به شکل بلوکی در حالت سیگنال مشترک رسم شده است.

در این حالت هریک از سیگنال های V_{O1} و V_{O2} از جمع دوسیگنال ناشی از دو ورودی به دست می آیند که چون قرینه هستند، لذا دامنه V_{O1} و V_{O2} برابر صفر خواهد شد. به عبارت دیگر در حالت سیگنال مشترک دامنه خروجی های تقویت کننده برابر صفر خواهد بود.



شکل ۲۸- تقویت کننده تفاضلی در حالت سیگنال مشترک

حالت سیگنال مشترک یکی از موارد کاربردی و محاسن تقویت کننده تفاضلی به شمار می آید، زیرا سیگنال های مشترکی که به وسیله پارازیت، تغییرات ولتاژ منبع تغذیه و درجه حرارت پدید می آیند و تغییراتشان در هر دو ترانزیستور یکی است، کاملاً حذف می شوند.



بستن مدار تقویت کننده تفاضلی

هدف: بستن مدار تقویت کننده تفاضلی و به دست آوردن نقطه کار DC مدار و بررسی عملکرد مدار در حالت تفاضلی و سیگنال مشترک

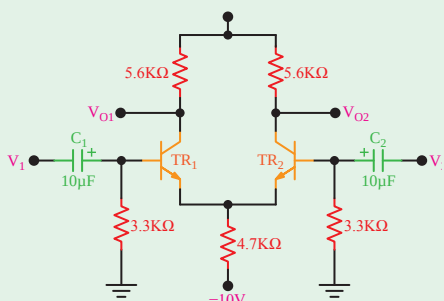
مواد، ابزار و تجهیزات: اسیلوسکوپ دو کاناله ۱ دستگاه، منبع تغذیه دوبل ۱ دستگاه، مولتی متر دیجیتال ۱ دستگاه، سیگنال ژنراتور صوتی ۱ دستگاه، ترانزیستور با بتای ۷۵ تا ۱۰۰ مانند BC۳۳۷، ۲N۲۲۱۹، ۳ عدد، خازن $10\mu F/25V$ ، ۳ عدد، مقاومت‌های 390Ω ، $47K\Omega$ ، $56K\Omega$ ، $33K\Omega$ و $39K\Omega$ ، از هر کدام ۲ عدد، پتانسیومتر $1K\Omega$ ، ۱ عدد بردبرد تجهیزات، ابزار و مواد عمومی

مراحل اجرای کار:

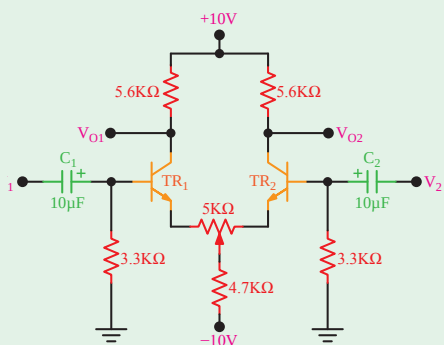
۱ مدار شکل ۲۹ را روی بردبرد ببندید.

۲ قبل از وصل کردن سیگنال‌های ورودی مدار، به وسیله مولتی متر DC، ولتاژ پایه‌های دو ترانزیستور TR_1 و TR_2 را نسبت به نقطه مشترک (زمین) اندازه بگیرید و در جدول ۵ یادداشت کنید.

۳ با توجه به مقادیر جدول ۵ آیا نقطه کار دو ترانزیستور کاملاً یکسان است؟ در صورت یکسان نبودن نقطه کار مطابق شکل ۳۰ پتانسیومتر ۱ کیلو اهم را در مسیر امیتر ترانزیستورها قرار دهید و آن را به گونه‌ای تنظیم کنید که ولتاژ کلکتور دو ترانزیستور کاملاً با یکدیگر مساوی شوند.



شکل ۲۹



شکل ۳۰

جدول ۵

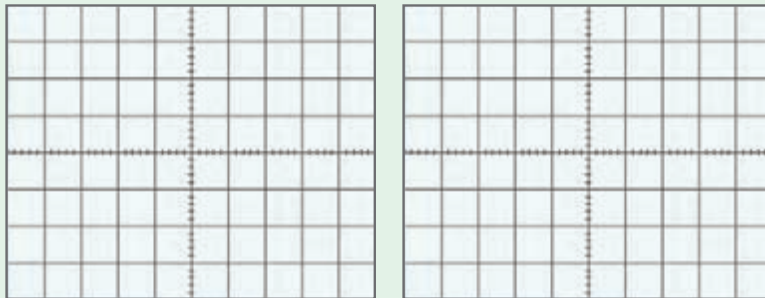
ولتاژها بر حسب ولت ترانزیستور	پایه‌ها		
	V_B	V_C	V_E
TR_1			
TR_2			

جدول ۶

ولتاژها بر حسب ولت ترانزیستور	پایه‌ها		
	V_B	V_C	V_E
TR_1			
TR_2			

۴ در شکل ۳۰ در حالت بدون سیگنال‌های V_1 و V_2 به وسیله مولتی متر DC، ولتاژ پایه‌های دو ترانزیستور TR_1 و TR_2 را نسبت به نقطه مشترک (زمین) اندازه بگیرید و در جدول ۶ یادداشت کنید.

- ۵ سیگنال ژنراتور را روی موج سینوسی و فرکانس ۱ کیلوهرتز تنظیم کنید.
- ۶ ورودی V_2 را به زمین اتصال دهید و خروجی سیگنال ژنراتور را به ورودی V_1 وصل کنید.
- ۷ به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال های VO_1 و VO_2 را مشاهده کنید.
- ۸ دامنه خروجی سیگنال ژنراتور AF را در حدی تنظیم کنید که خروجی های VO_1 و VO_2 به حداکثر دامنه ممکن برسد و بدون تغییر شکل (اعوجاج) باشد.
- ۹ شکل موج خروجی های VO_1 و VO_2 را با مقیاس مناسب و با توجه به اختلاف فاز دو سیگنال در نمودارهای ۳۱ و ۳۲ رسم کنید.



شکل ۳۲- شکل موج VO_2

شکل ۳۱- شکل موج VO_1

- ۱۰ مقدار دامنه پیک تا پیک VO_1 و VO_2 را اندازه بگیرید و یادداشت کنید. VO_{1pp}
- ۱۱ شکل موج ورودی را روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده کنید و مقدار V_{ipp} را اندازه گرفته و یادداشت کنید.
- $V_{ipp} =$ ولت

۱۲ با استفاده از رابطه $AV = \frac{V_O}{V_I}$ مقادیر AV_1 و AV_2 را محاسبه کنید.

$AV_1 =$

$AV_2 =$

۱۳ آیا AV_1 و AV_2 تقریباً با هم برابر است؟ شرح دهید.

۱۴ با توجه به شکل موج های VO_1 و VO_2 و اختلاف فاز ϕ مقدار اختلاف دامنه VO_1 و VO_2 (VO_d) را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$VO_d =$

۱۵ در مورد ϕ و VO_d توضیح دهید.

۱۶ ورودی V_1 را به زمین اتصال دهید و خروجی سیگنال ژنراتور را به ورودی V_2 وصل کنید. به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال های VO_1 و VO_2 را مشاهده کنید و دامنه و اختلاف فاز آنها را اندازه بگیرید.

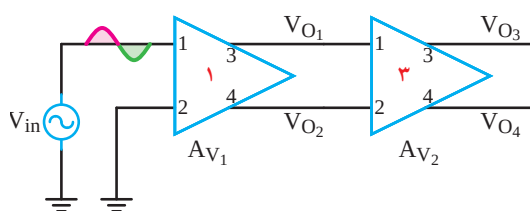
۱۷ نتایج به دست آمده در مرحله ۱۴ و ۱۶ را با هم مقایسه کنید و در مورد عملکرد تقویت کننده تفاضلی توضیح دهید.

۱۸ دو سیگنال هم فاز و هم دامنه به ورودی های V_1 و V_2 اتصال دهید (در این حالت می توانید خروجی سیگنال ژنراتور را هم زمان به ورودی های V_1 و V_2 متصل کنید).

۱۹ خروجی های VO_1 و VO_2 را مشاهده کنید. آیا سیگنال خروجی وجود دارد؟ توضیح دهید.

خودارزیابی

- ۱ تقویت کننده تفاضلی می تواند سیگنال های با فرکانس و را تقویت کند.
- ۲ تقویت کننده تفاضلی نمی تواند سیگنال را از نویز تفکیک کند. ☐ صحیح ☐ غلط
- ۳ یک تقویت کننده تفاضلی در حالت تفاضلی باید بهره بسیار زیاد و در حالت سیگنال مشترک، بهره بسیار کم حدود صفر داشته باشد. ☐ صحیح ☐ غلط
- ۴ تقویت کننده تفاضلی در حالت یک ورودی و دو خروجی، دو سیگنال تقویت شده با دامنه برابر و 180° درجه اختلاف فاز تولید می کند. ☐ صحیح ☐ غلط

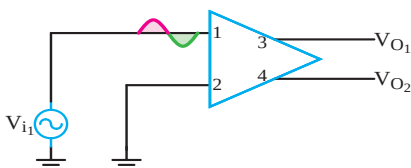


شکل ۳۳

- ۵ در شکل ۳۳ تقویت کننده تفاضلی ۱ در حالت و تقویت کننده تفاضلی ۲ در حالت استفاده شده است.

- ۶ در شکل ۳۳ سیگنال VO_4 با سیگنال ورودی هم فاز است.

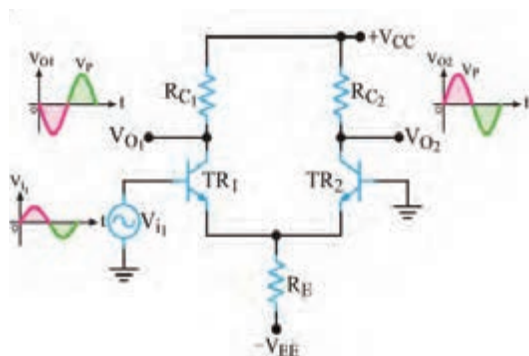
☐ صحیح ☐ غلط



شکل ۳۴

- ۷ در شکل ۳۴ شکل موج خروجی های تقویت کننده تفاضلی دارای دامنه برابر و 180° درج اختلاف فاز هستند و به عنوان جداکننده فاز مورد استفاده قرار می گیرند.

☐ صحیح ☐ غلط



شکل ۳۵

- ۸ در شکل ۳۵ تقویت کننده تفاضلی در چه حالتی به کار رفته است؟ آرایش ترانزیستورهای TR_1 و TR_2 از نظر سیگنال ورودی چگونه است؟

تقویت کننده توان (قدرت)

تقویت کننده هایی که تاکنون بررسی کردیم، ولتاژ یا جریان ورودی را تقویت می کنند، بنابراین به نوعی تقویت کننده توان محسوب می شوند. ولی اصطلاح «تقویت کننده توان» یا «تقویت کننده قدرت» برای تقویت کننده هایی به کار می رود که توان خروجی قابل ملاحظه ای را به بار منتقل می کنند.

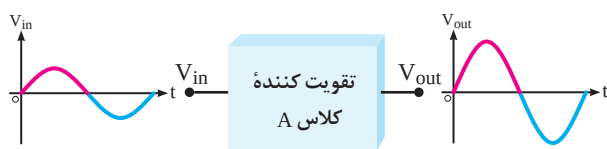
در یک تقویت کننده چند طبقه، در طبقات ماقبل آخر اغلب سیگنال ولتاژ تقویت شده و تقویت کننده توان که طبقه انتهایی تقویت کننده را تشکیل می دهد، سیگنال جریان را تقویت می کند. به دلیل این که دامنه سیگنال ورودی تقویت کننده توان زیاد است، به این تقویت کننده، تقویت کننده سیگنال بزرگ نیز می گویند.

■ ویژگی های تقویت کننده توان

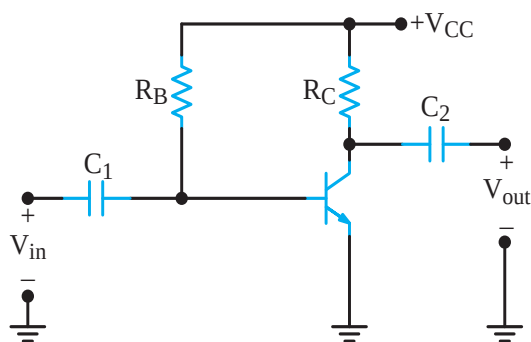
برای اینکه تقویت کننده های توان بتوانند بیشترین کارایی را داشته باشند، باید دارای قابلیت ها و ویژگی هایی باشند که مهم ترین آنها عبارتند از: حداقل اعوجاج در سیگنال خروجی، مقاومت خروجی کم، بهره جریان زیاد، راندمان بالا و مشخصه فرکانسی خوب.

■ کلاس های تقویت کننده توان

باتوجه به این که تقویت کننده در چه کسری از یک سیکل کامل سیگنال ورودی هدایت می کند، تقویت کننده در یکی از کلاس های A، B، AB، C و ... قرار می گیرد.



شکل ۳۶- موج ورودی و خروجی تقویت کننده کلاس A

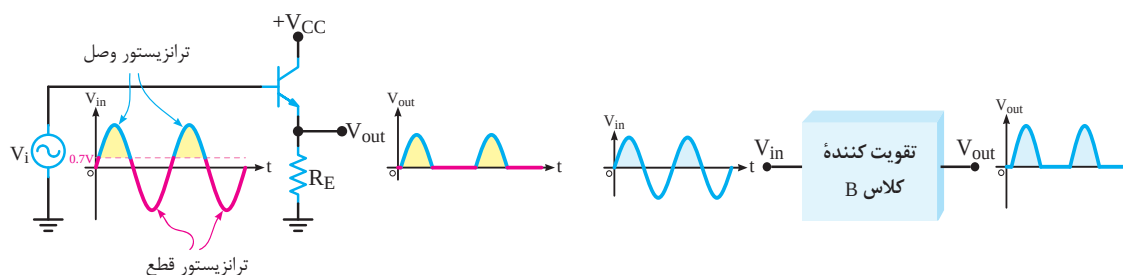


شکل ۳۷- مدار تقویت کننده کلاس A

تقویت کننده کلاس A: تقویت کننده کلاس A در کل زمان عبور سیگنال ورودی روشن بوده و عمل تقویت سیگنال را انجام می دهد. به دلیل اینکه ترانزیستور تقویت کننده کلاس A در ناحیه فعال بایاس می شود و همیشه روشن است، میزان تلفات آن زیاد بوده و در نتیجه راندمان تقویت کننده کلاس A بسیار پایین بوده و در بهترین حالت کمتر از ۵۰ درصد است. در شکل ۳۶ بلوک دیاگرام تقویت کننده کلاس A به همراه سیگنال ورودی و خروجی آن نشان داده شده است. همچنین در شکل ۳۷ یک نمونه مدار تقویت کننده کلاس A را مشاهده می کنید. راندمان این تقویت کننده حتی از ۲۵ درصد نیز کمتر است.

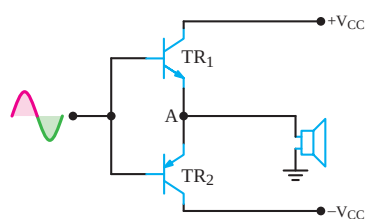
تقویت کننده کلاس B: در تقویت کننده کلاس B، ترانزیستور تقویت کننده در ناحیه قطع بایاس می شود، در نتیجه ترانزیستور زمانی روشن می شود که سیگنالی به ورودی ترانزیستور وارد شود و هر زمان سیگنال ورودی وجود نداشته باشد، ترانزیستور خاموش است. به این ترتیب راندمان تقویت کننده کلاس B تا ۷۸/۵ درصد افزایش می یابد.

در شکل ۳۸ بلوک دیاگرام تقویت کننده کلاس B و در شکل ۳۹ یک نمونه مدار تقویت کننده کلاس B را مشاهده می کنید. با اعمال سیگنال به ورودی تقویت کننده و در نیم سیکل مثبت آن، ترانزیستور در ناحیه فعال قرار گرفته و تقویت می کند. در نیم سیکل منفی ترانزیستور قطع بوده و در این نیم سیکل دامنه خروجی صفر است.

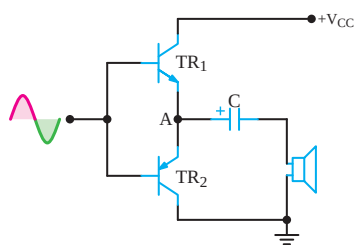


شکل ۳۸- بلوک دیاگرام تقویت کننده کلاس B

شکل ۳۹- تقویت کننده کلاس B



الف) با منبع تغذیه متقارن



ب) با منبع تغذیه ساده

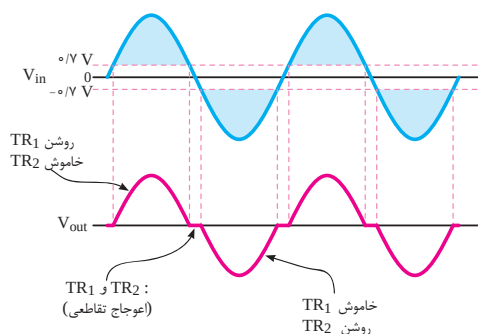
شکل ۴۰- تقویت کننده پوش پول

یکی از معایب تقویت کننده کلاس B این است که چون این تقویت کننده در ناحیه قطع بایاس می‌شود، تنها نیم سیکل مثبت را تقویت می‌کند. بنابراین باید برای تقویت نیم سیکل منفی سیگنال ورودی از یک ترانزیستور دیگر استفاده کرد. به این نوع تقویت کننده، تقویت کننده پوش پول (Push Pull) می‌گویند.

تقویت کننده پوش پول به روش‌های مختلفی طراحی شده است که یک نمونه آن در شکل ۴۰ الف و ب رسم شده است. در این مدار از یک ترانزیستور NPN و یک ترانزیستور PNP که مشخصات کاملاً مشابهی دارند استفاده می‌شود. به همین دلیل به آن تقویت کننده پوش پول با ترانزیستورهای مکمل می‌گویند. در شکل الف از دو منبع تغذیه که متقارن هستند و در شکل ب از یک منبع تغذیه برای بایاسینگ ترانزیستورها استفاده شده است.

نحوه عملکرد تقویت کننده‌های شکل ۴۰ را بررسی کرده و در کلاس ارائه دهید. نقش خازن C در شکل ب چیست؟

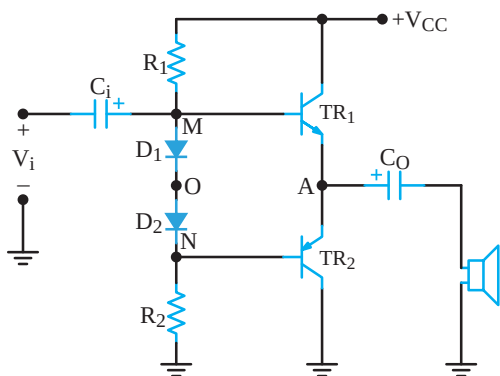
فعالیت



شکل ۴۱- اعوجاج تقاطعی در شکل موج خروجی

عیب دیگر تقویت کننده کلاس B این است که برای روشن شدن ترانزیستور و قرار گرفتن آن در ناحیه فعال، اندازه دامنه سیگنال ورودی باید از $0.7V$ ولت بیشتر شود. بنابراین وقتی دامنه سیگنال ورودی کمتر از $0.7V$ ولت است، دامنه خروجی برابر صفر خواهد بود. در نتیجه سیگنال خروجی دارای اعوجاج می‌شود که اصطلاحاً به آن اعوجاج تقاطعی می‌گویند. در شکل ۴۱ سیگنال ورودی و خروجی تقویت کننده پوش پول کلاس B نشان داده شده است.

راه حل مشکل اعوجاج تقاطعی این است که به جای بایاس کردن ترانزیستورها در ناحیه قطع، آنها را در آستانه هدایت قرار دهیم. یعنی ولتاژ بایاس بیس امیتر ترانزیستورها در هنگام نبودن سیگنال ورودی حدود 0.6 ولت باشد. به این تقویت کننده، تقویت کننده کلاس AB می گویند.



برای قراردادن تقویت کننده در کلاس AB روش های مختلفی وجود دارد که در شکل ۴۲ یک نمونه آن نشان داده شده است. در این مدار از دو ترانزیستور NPN و PNP استفاده شده است. دیودهای D_1 و D_2 توسط مقاومت های R_1 و R_2 طوری بایاس می شوند که ولتاژ دوسر هر کدام از آنها برابر 0.6 ولت شود. در نتیجه ولتاژ بیس امیتر هریک از ترانزیستورها برابر 0.6 ولت خواهد بود و ترانزیستورها در آستانه هدایت و در کلاس AB قرار می گیرند.

شکل ۴۲- استفاده از دو دیود برای ترانزیستورهای مکمل کلاس AB

در نیم سیکل مثبت سیگنال ورودی، ترانزیستور TR_1 روشن و TR_2 قطع است و خازن C_0 شارژ می شود. در نیم سیکل منفی سیگنال ورودی، ترانزیستور TR_2 روشن و TR_1 قطع است و خازن C_0 از مسیر کلکتور امیتر TR_2 دشارژ می شود. بنابراین، در هر نیم سیکل یکی از دو ترانزیستور، سیگنال ورودی را تقویت می کند. در این مدار هر دو ترانزیستور به صورت کلکتور مشترک بسته شده اند.

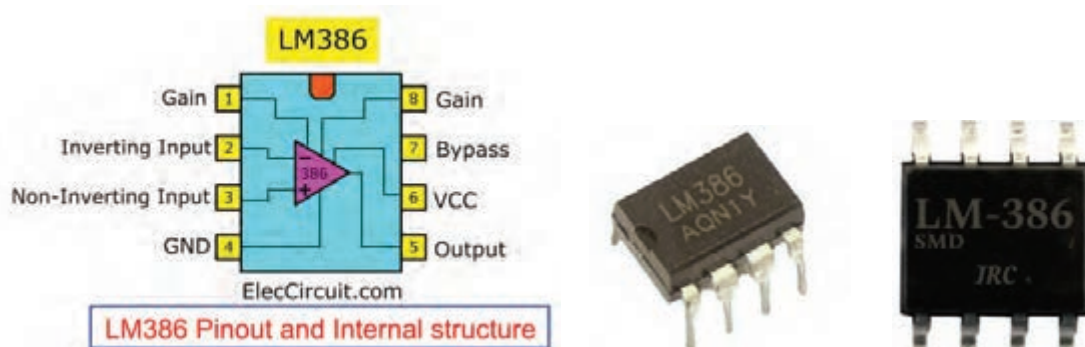
تقویت کننده صوتی با آی سی LM۳۸۶

آی سی تقویت کننده توان صوتی LM۳۸۶ تقویت کننده کلاس AB با بهره ولتاژ قابل تنظیم است. بهره ولتاژ آن را می توان از 20 تا 200 مرتبه تنظیم نمود. با قراردادن خازن بین پایه های ۱ و ۸ بهره را افزایش می دهیم. ولتاژ تغذیه و توان دریافتی خروجی مدل های مختلف آی سی در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷- ولتاژ کار و توان خروجی آی سی

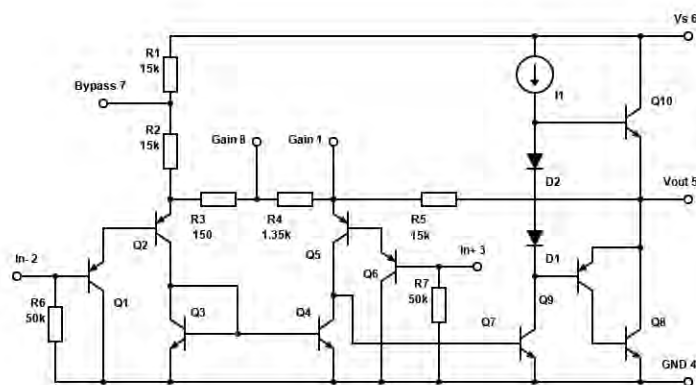
LM ۳۸۶ IC Model				
Model	Minimum voltage	Maximum voltage	Minimum output power	Typical output power
LM ۳۸۶ N-۱	۴V	۱۲V	۲۵۰mW	۳۲۵mW
LM ۳۸۶ N-۳	۴V	۱۲V	۵۰۰mW	۷۰۰mW
LM ۳۸۶ N-۴	۵V	۱۸V	۵۰۰mW	۱۰۰۰mW

در شکل ۴۳ شکل ظاهری و شماره پایه‌های آی‌سی را مشاهده می‌کنید.

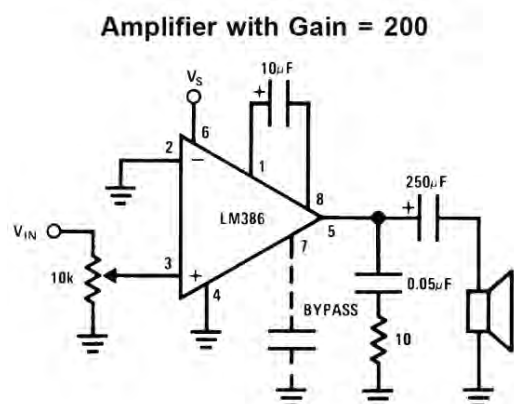


شکل ۴۳- شکل ظاهری و پایه‌های آی‌سی

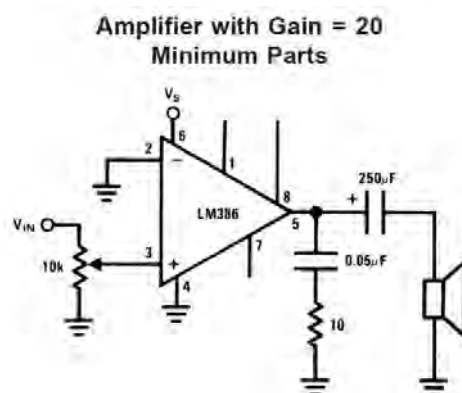
در شکل ۴۳ مدار داخلی آی‌سی رسم شده است. در شکل ۴۵ و ۴۶ دو نمونه مدار با بهره ولتاژ ۲۰ و ۲۰۰ را مشاهده می‌کنید.



شکل ۴۴- مدار داخلی آی‌سی



شکل ۴۶



شکل ۴۵

Features

- Battery operation
- Minimum external parts
- Wide supply voltage range: 4V–12V or 5V–18V
- Low quiescent current drain: 4mA
- Voltage gains from 20 to 200
- Ground referenced input
- Self-centering output quiescent voltage
- Low distortion: 0.2% ($A_V = 20$, $V_S = 6V$, $R_L = 8\Omega$, $P_O = 125mW$, $f = 1kHz$)
- Available in 8 pin MSOP package

Applications

- AM-FM radio amplifiers
- Portable tape player amplifiers
- Intercoms
- TV sound systems
- Line drivers
- Ultrasonic drivers
- Small servo drivers
- Power converters

۱ با توجه به مدار داخلی آی سی، چند ترانزیستور در مدار قرار دارد؟

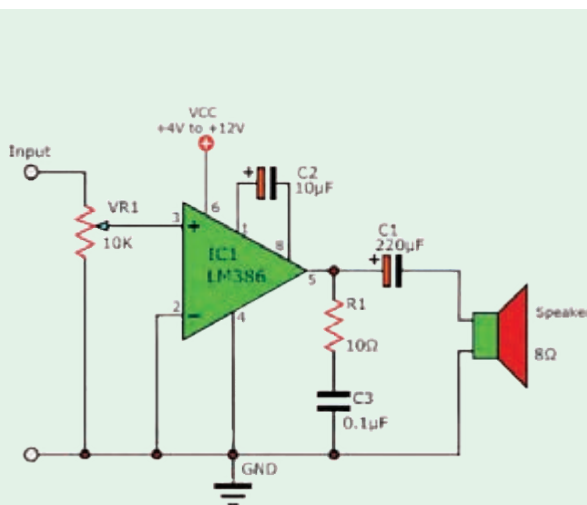
۲ تقویت کننده قدرت خروجی چگونه در کلاس AB بایاس شده است؟

۳ با توجه به اطلاعات مقابل:

الف) جریان مصرفی آی سی در حالت بی کاری چند میلی آمپر است؟

ب) در بار ۸ اهم و ولتاژ تغذیه ۶ ولت و بهره ولتاژ توان خروجی میلی وات است.

۴ با توجه به اطلاعات مقابل کاربردهای این آی سی را بنویسید.



شکل ۴۷- مدار تقویت کننده

هدف: بستن مدار تقویت کننده صوتی با آی سی LM386 و راه اندازی آن با میکروفون مواد، ابزار و تجهیزات: منبع تغذیه ۱ دستگاه، مولتی متر دیجیتال ۱ دستگاه، ۳ عدد خازن های ۲۵۷/۱۰µF، ۲ عدد ۲۵۷/۲۲۰µF، ۱ عدد ۲۵۷/۱۰µF، ۲ عدد، مقاومت های ۱۰KΩ، ۱۰Ω، از هر کدام ۱ عدد، پتانسیومتر ۱۰KΩ، ۱ عدد- بردبرد تجهیزات، ابزار و مواد عمومی مراحل اجرای کار:

۱ مدار شکل ۴۷ را روی بردبرد ببندید.

۲ میکروفون خازنی شکل ۴۸ را به ورودی مدار تقویت کننده اتصال دهید و با پخش سیگنالی صوتی (به عنوان مثال یک موج سینوسی با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز و دامنه کم) چگونگی تقویت صدا را بررسی کنید.

۳ خازن C_2 را از مدار خارج کنید. آیا بهره مدار کاهش یافته است؟

۴ نقش R_1 و C_3 در مدار را شرح دهید.

کار عملی ۴



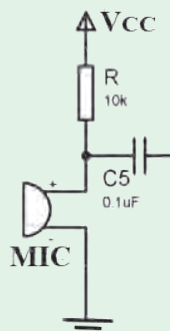
۵ می‌توانید با افزودن پری‌آمپلی‌فایر به مدار یک تقویت‌کننده صوتی مناسب را به‌عنوان یک پروژه عملی به اجرا درآورید.

۶ برای کاهش نویز می‌توانید یک خازن $10\text{ }\mu\text{F}$ میکروفاراد را از پایه شماره ۷ آی‌سی به زمین وصل کنید.

۷ یک نمونه مدار ساخته شده توسط این آی‌سی را در شکل ۴۹ مشاهده می‌کنید.



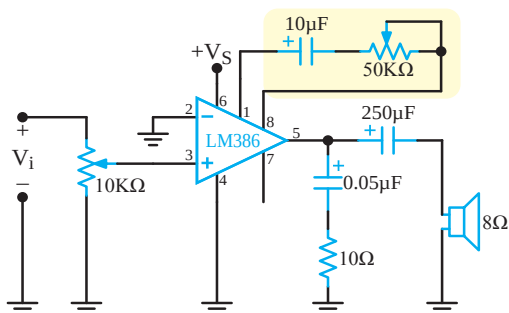
شکل ۴۹- یک نمونه مدار



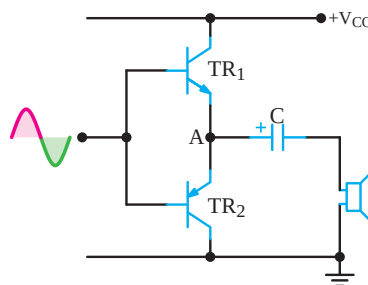
شکل ۴۸- اتصال میکروفون به مدار

خودارزیابی

- ۱ هر تقویت‌کننده‌ای که ولتاژ یا جریان را تقویت کند، تقویت‌کننده قدرت نام دارد. ☐ صحیح ☐ غلط
- ۲ تقویت‌کننده‌های قدرت در رده تقویت‌کننده‌های سیگنال بزرگ هستند. ☐ صحیح ☐ غلط
- ۳ راندمان تقویت‌کننده کلاس A در بهترین حالت و در کلاس B تا است.
- ۴ اعوجاج تقاطعی در تقویت‌کننده پوش پول کلاس ایجاد می‌شود.
- ۵ در مدار شکل ۵۰ ترانزیستورهای TR_1 و TR_2 دارای آرایش و کلاس کار هستند.
- ۶ در شکل ۵۰ اگر ترانزیستور TR_2 معیوب شود در موج خروجی چه اشکالی ایجاد می‌شود؟
- ۷ در مدار شکل ۵۱
الف) نقش R_G را شرح دهید.
ب) مدار R و C موازی با بلندگو برای جلوگیری از در مدار استفاده شده است.
پ) برای کاهش نویز معمولاً یک خازن مثلاً $10\text{ }\mu\text{F}$ میکروفاراد را از پایه شماره به زمین وصل می‌کنند.



شکل ۵۱



شکل ۵۰

ارزشیابی شایستگی تقویت‌کننده‌های چند طبقه

نام و نام خانوادگی:		شماره ملی:		تاریخ ارزشیابی:	
کد حرفه	۸۲۱۲۲۳	حرفه	مونتازکاران تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی	کد پیمان/پودمان	۸۲۱۲۱۳۰۱۲
کد وظیفه شغل	۸۲۱۲۲۳۰۱	وظیفه شغل	ساخت بردهای الکترونیکی	سطح صلاحیت	L۳
کد کار	۸۲۱۲۲۳۰۱۲۱	کار	تقویت‌کننده‌های چندطبقه	سطح شایستگی	مهارت / تسلط

دیف	مراحل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص‌ها/داوری/نمره‌دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	شناخت و نام بردن و توضیح تفاوت‌های اصلی انواع کوپلینگ‌ها (خازنی، مستقیم) با دقت بالا	نقشه‌های شماتیک انواع کوپلاژ (خازنی و مستقیم)، نوشت‌افزار، زمان ۲۰ دقیقه در کلاس درس یا کارگاه الکترونیک	آزمون کتبی، پرسش و پاسخ شفاهی، چک‌لیست مقایسه‌ای پارامترهای فنی مدار	شناسایی و مقایسه کامل کوپلاژها	۳	
				نام‌بردن انواع کوپلاژ با توضیح ناقص	۲	
				ناتوانی در تشخیص انواع کوپلاژها	۱	
۲	شبیه‌سازی و پیاده‌سازی صحیح مدار دوطبقه یا کوپلینگ مستقیم روی برد، بدون خطای سیم‌کشی	رایانه (نرم‌افزار مانند Multisim)، بردبرد، قطعات (ترانزیستور، مقاومت)، منبع تغذیه، سیگنال ژنراتور اسیلوسکوپ، نوشت‌افزار، زمان ۹۰ دقیقه در کارگاه الکترونیک	بررسی فرایند بستن و پیاده‌سازی مدار، فایل خروجی شبیه‌سازی و تست نهایی عملکرد مدار با دستگاه‌های اندازه‌گیری	شبیه‌سازی مدار و دریافت خروجی	۳	
				شبیه‌سازی و عملکرد صحیح مدار با اصلاح جزئی در سیم‌کشی بردبرد	۲	
				خطای اساسی در اتصالات و عدم عملکرد صحیح مدار	۱	
۳	شبیه‌سازی و پیاده‌سازی صحیح مدار تفاضلی و اندازه‌گیری ولتاژهای خروجی و ورودی مطابق با مقادیر تئوری	رایانه (نرم‌افزار شبیه‌ساز)، بردبرد، تقویت‌کننده تفاضلی (ترانزیستوری)، منبع تغذیه متقارن، مولتی‌متر، سایر قطعات مرتبط به نقشه و زمان ۱۲۰ دقیقه	چک‌لیست مشاهده شبیه‌سازی، بررسی عملکرد مدار روی بردبرد و جدول تطبیق مقادیر اندازه‌گیری شده با محاسبات تئوری	شبیه‌سازی و پیاده‌سازی دقیق مدار	۳	
				شبیه‌سازی و پیاده‌سازی صحیح با اختلاف جزئی در نتایج اندازه‌گیری	۲	
				عدم توانایی شبیه‌سازی صحیح مدار	۱	
۴	تشریح اصول کارکرد تقویت‌کننده‌های توان، کلاس‌های A.B و AB و مقایسه بارده و اعوجاج آنها و بستن مدار تقویت‌کننده قدرت با مدار مجتمع	در کارگاه الکترونیک، ابزار لحیم‌کاری، بردبرد، مولتی‌متر، اسیلوسکوپ، منبع تغذیه، IC تقویت‌کننده، قطعات جانبی IC، خازن، مقاومت، هیت‌سینک مرتبط به نقشه و زمان ۱۲۰ دقیقه	آزمون کتبی، پرسش شفاهی و چک‌لیست تحلیل تقویت‌کننده‌ها	تحلیل کلاس‌ها، بارده و اعوجاج، عملکرد صحیح مدار تقویت‌کننده	۳	
				تحلیل کلاس‌ها با خطای جزئی، عملکرد قابل قبول مدار تقویت‌کننده مدار مجتمع	۲	
				ناتوانی در تشخیص کلاس‌ها و بارده خطای اساسی در اتصالات و عدم عملکرد صحیح مدار	۱	
۵	مقایسه نتایج واقعی با شبیه‌سازی و ثبت گزارش نهایی عملکرد مدار	رایانه، داده‌های کارگاهی، فرم گزارش، نتایج شبیه‌سازی و ۶۰ دقیقه زمان	ارزیابی گزارش نهایی، جداول مقایسه‌ای و کیفیت تحلیل خطاها	ثبت دقیق و تحلیل کامل	۳	
				ثبت صحیح، تحلیل با نقص	۲	
				ثبت ناقص، بدون تحلیل فنی	۱	
مبایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش:		مشاهده رفتار هنرجو در حین انجام فعالیت، میزان رعایت اصول ایمنی و نظم، فعالیت‌های گروهی، مدیریت زمان و مسئولیت‌پذیری	رعایت کامل ایمنی، بهداشت و محیط زیست، رفتار حرفه‌ای، نظم و مسئولیت‌پذیری بالا	رعایت نسبی ایمنی و بهداشت با خطاهای جزئی، رفتار کاری مناسب	۲	
					۱	

بلی	ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)
خیر	

توضیحات:

معیار شایستگی انجام کار:

- کسب حداقل نمره ۲ در تمامی مراحل اجرای کارهای عملی شامل: تشخیص کوپلاژها، بستن مدارهای دوطبقه و تفاضلی، تحلیل کلاس‌های توان و اجرای نهایی پروژه کاربردی (مراحل بحرانی).

- کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش

- کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه‌ای انجام می‌شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه‌ریزی و تحلیل، پاسخ‌گویی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت‌ها

تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب‌یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.

واحد یادگیری ۲: ساخت مدارهای تقویت کننده عملیاتی

آیا تا به حال فکر کرده‌اید

- در تجهیزات پزشکی و ابزارهای اندازه‌گیری از چه نوع تقویت کننده‌ای استفاده می‌شود؟
- مدارهای ابزار دقیق چه مدارهایی هستند و نقش تقویت کننده‌های عملیاتی در آنها چیست؟
- مدارهای مجتمع (IC) با استفاده از چه مدارهایی ساخته می‌شوند؟
- تقویت کننده‌های عملیاتی در چه مدارهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند؟

با گسترش فناوری الکترونیک، نیاز به مدارهایی با قابلیت تقویت زیاد، دقت بالا و طراحی ساده‌تر بیش از پیش احساس شد. یکی از مهم‌ترین قطعاتی که برای پاسخ به این نیاز توسعه یافته است، تقویت کننده عملیاتی است. این قطعه که به صورت مدار مجتمع ساخته می‌شود، امروزه در طیف گسترده‌ای از تجهیزات الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

به عنوان مثال در یک سیستم اندازه‌گیری دما، سیگنال خروجی حسگر بسیار کوچک است و باید با دقت بالا تقویت شود. استفاده از چندین ترانزیستور برای این کار می‌تواند طراحی مدار را پیچیده کند. مهندسان برای حل این مشکل از تقویت کننده‌های عملیاتی استفاده می‌کنند که با تعداد کمی قطعه جانبی، قابلیت‌های فراوانی را در اختیار طراح قرار می‌دهد.

تقویت کننده‌های عملیاتی علاوه بر تقویت سیگنال‌ها، قابلیت انجام وظایف متنوعی مانند مقایسه، جمع و تفریق سیگنال‌ها، فیلتر کردن و پردازش اطلاعات را دارند. به همین دلیل، این قطعات به یکی از پرکاربردترین اجزای مدارهای الکترونیکی تبدیل شده‌اند.

در این واحد یادگیری با ساختار، ویژگی‌ها، نحوه عملکرد و کاربردهای مهم تقویت کننده‌های عملیاتی آشنا خواهید شد.

پس از آموزش این واحد یادگیری از هنرجو انتظار می‌رود که عملکرد تقویت کننده‌های عملیاتی را مورد بررسی و تحلیل قرار داده و کاربردهای آن را شرح دهد. همچنین بتواند با استفاده از مدارهای تقویت کننده عملیاتی، مدارهای ساده کاربردی مانند تقویت کننده (آمپلی فایر) صوتی، منبع تغذیه، مدارهای ابزار دقیق و غیره را طراحی کند.

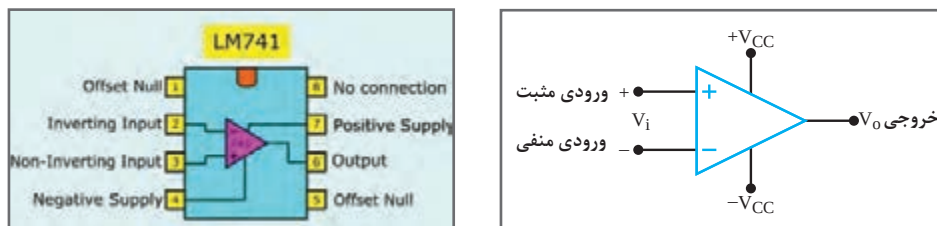
استاندارد عملکرد

تقویت کننده عملیاتی، مشخصات و پایه‌های IC رایج را شناسایی کند، مدارهای کاربردی تقویت کننده عملیاتی و پروژه عملی مرتبط به آن را اجرا کند.

تقویت کننده عملیاتی (Operational Amplifier: op - Amp)

تقویت کننده عملیاتی که به اختصار آپ آمپ (Op-Amp) نامیده می شود، تقویت کننده هایی با کوپلاژ مستقیم هستند که ضریب تقویت ولتاژ بسیار بزرگی دارند. اگر به ورودی آن اختلاف پتانسیل بسیار کوچکی اعمال شود، در خروجی آن ولتاژ بسیار بزرگی به وجود می آید و در عمل، تقویت کننده وارد ناحیه اشباع می شود، ولی ضریب تقویت AMP-OP به روش های مختلف قابل کنترل است. در تقویت کننده های عملیاتی از تقویت کننده های تفاضلی استفاده شده است. در ابتدا تقویت کننده های عملیاتی برای انجام عملیات ریاضی مانند جمع، تفریق، ضرب، تقسیم و دیگر عملیات ریاضی در رایانه های آنالوگ ساخته شدند، به همین دلیل به آنها "عملیاتی" گفته می شود.

تقویت کننده های عملیاتی در سیستم های الکترونیکی کاربردهای متنوعی دارند و یکی از مهم ترین و پرکاربردترین قطعات الکترونیکی هستند. از نظر اقتصادی نیز ارزان قیمت اند و از مزایایی چون ابعاد کوچک، قابلیت اطمینان بالا و پایداری حرارتی خوب برخوردارند. با پیشرفت فناوری نیمه هادی ها، آپ آمپ ها به صورت مدار مجتمع (IC) ساخته شدند و امروزه تقریباً در تمام مدارهای آنالوگ وجود دارند. این تقویت کننده ها در زمینه های مختلف مانند رایانه، سیستم های کنترل، ارتباطات، منابع تغذیه، مولد سیگنال، نمایشگر و دستگاه های اندازه گیری به کار می روند. در شکل ۵۲ نماد (نشانه فنی) استاندارد و شماره پایه ها و در شکل ۵۳ چند نمونه تقویت کننده عملیاتی نشان داده شده است.



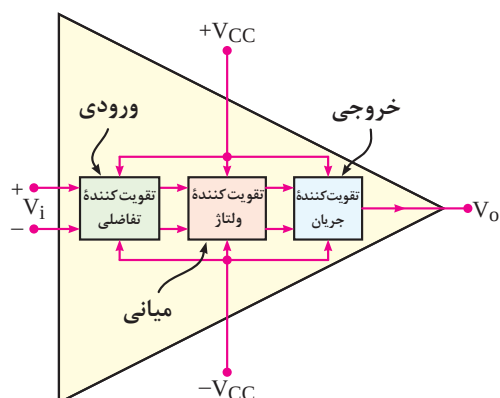
شکل ۵۲- نماد فنی و شماره پایه های آی سی



شکل ۵۳- چند نمونه آی سی تقویت کننده عملیاتی

■ ساختار داخلی تقویت کننده عملیاتی

یک تقویت کننده عملیاتی معمولاً شامل سه طبقه اصلی است:
طبقه ورودی (تقویت کننده تفاضلی): این طبقه شامل یک جفت ترانزیستور تفاضلی است و وظیفه آن تقویت اختلاف بین دو ورودی است. این طبقه مقاومت ورودی بالا را برای آپ آمپ ایجاد می کند.
طبقه میانی (تقویت کننده ولتاژ): در این طبقه بهره مدار افزایش می یابد.



شکل ۵۴- بلوک دیاگرام تقویت کننده

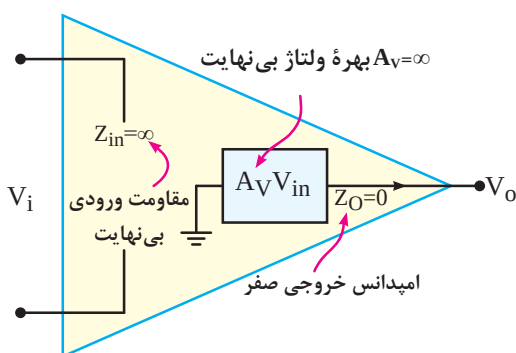
طبقه خروجی (تقویت کننده توان): این طبقه توان لازم برای راه اندازی بار را فراهم می کند. همچنین این طبقه مقاومت خروجی را کاهش می دهد. شکل ۵۴ ساختار داخلی تقویت کننده عملیاتی را به صورت بلوک دیاگرام نشان می دهد.

تقویت کننده عملیاتی ایده آل : یک تقویت کننده

عملیاتی ایده آل دارای ویژگی های زیر است:

- بهره ولتاژ بی نهایت
- بهره جریان بی نهایت
- مقاومت خروجی صفر
- مقاومت ورودی بی نهایت

هیچ یک از این ویژگی ها با ویژگی های تقویت کننده عملیاتی واقعی مطابقت کامل ندارد، اما در فرکانس های کم، مدل ایده آل به مدل واقعی، نزدیک است. شکل ۵۵ این مشخصات را نشان می دهد.



شکل ۵۵- تقویت کننده عملیاتی ایده آل

تقویت کننده عملیاتی واقعی : تقویت کننده عملیاتی،

در عمل نمی تواند دارای همه خصوصیت های مدل ایده آل باشد. چرا که تقویت کننده عملیاتی، خود از به هم پیوستن چند طبقه تقویت کننده ترانزیستوری ساخته می شود و ناگزیر محدودیت هایی در بهره ولتاژ، مقاومت ورودی و جریان خروجی و ... دارد.

به عنوان مثال آی سی تقویت کننده عملیاتی LMV۴۱ دارای ویژگی هایی به شرح زیر است:

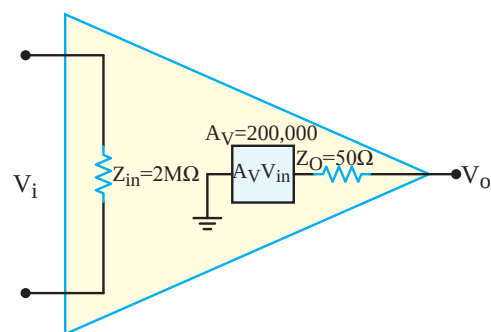
مقاومت خروجی = $50\ \Omega$

مقاومت ورودی = $2\text{M}\Omega$

بهره جریان = 5×10^{-9}

بهره ولتاژ = 2×10^5

شکل ۵۶ این مشخصات را نشان می دهد.



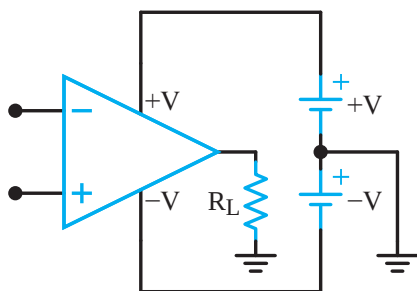
شکل ۵۶- مشخصات یک نمونه تقویت کننده

عملیاتی واقعی

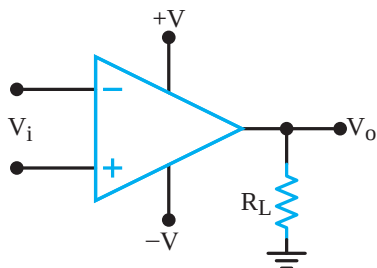
■ پایه‌های تقویت کننده عملیاتی

پایه‌های تغذیه: در Op-Amp ها پایه‌هایی که با علامت $+V$ و $-V$ مشخص شده‌اند به منبع تغذیه متقارن وصل می‌شوند. منبع تغذیه متقارن دارای سه پایه مثبت، منفی و مشترک (زمین) است. مقدار ولتاژ تغذیه Op-Amp ها معمولاً در محدوده ± 6 ولت، ± 12 ولت، ± 15 ولت و ± 18 ولت قرار دارد. (شکل ۵۷) اتصال منبع تغذیه و بار را به پایه‌های Op-Amp نشان می‌دهد. حداکثر ولتاژی که می‌توان بین پایه‌های $+V$ و $-V$ اعمال کرد معمولاً ۳۶ ولت یا ۱۸ ولت است که این ولتاژ در برگه اطلاعات Op-Amp مشخص می‌شود.

پایه خروجی: پایه خروجی Op-Amp به یک طرف مقاومت بار (R_L) وصل می‌شود و طرف دیگر R_L به نقطه زمین اتصال می‌یابد. مقدار V_O (ولتاژ خروجی) همیشه نسبت به زمین اندازه‌گیری می‌شود. در شکل ۵۸ مقاومت بار به Op-Amp متصل شده است.



شکل ۵۷- اتصال تغذیه به پایه‌های Op-Amp



شکل ۵۸- نحوه اتصال بار به Op-Amp

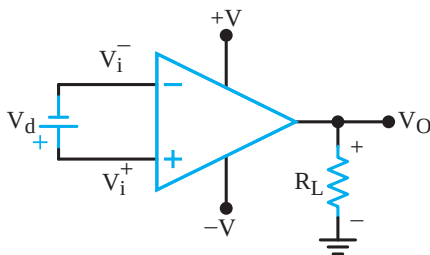
پایه‌های ورودی Op-Amp: Op-Amp دارای دو ورودی است که آنها را با علامت‌های $+$ و $-$ مشخص می‌کنند و این دو ورودی را پایه‌های ورودی تفاضلی (Differential Input Terminals) نیز می‌نامند. زیرا در صورت اعمال ولتاژ به ورودی، مقدار ولتاژ خروجی (V_O) تابعی از اختلاف ولتاژ بین دو پایه ورودی (V_d) و ضریب بهره ولتاژ تقویت کننده است.

اگر سیگنال را فقط به ورودی منفی Op-Amp بدهیم، در خروجی Op-Amp، سیگنال تقویت می‌شود و سیگنالی با فاز مخالف ورودی به وجود می‌آید.

اگر سیگنال را فقط به ورودی مثبت Op-Amp بدهیم، در خروجی Op-Amp تقویت شده و سیگنالی هم‌فاز با ورودی به وجود می‌آید.

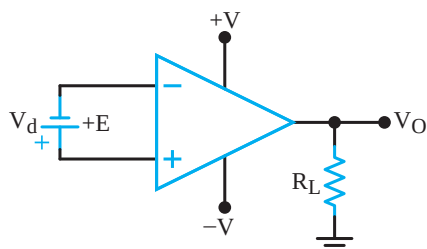
به همین دلیل به ورودی منفی Op-Amp ورودی وارونگر یا معکوس کننده (Inverting Input) و ورودی مثبت Op-Amp را ورودی ناوارونگر (non Inverting Input) می‌نامند.

در شکل ۵۹ ولتاژ V_d به پایه‌های ورودی وصل شده است.



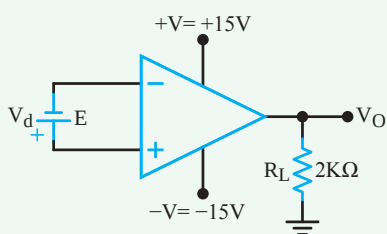
شکل ۵۹- اتصال ولتاژ به پایه‌های ورودی

بهره ولتاژ حلقه باز A_{OL} (Open Loop Voltage Gain)



شکل ۶۰- تقویت‌کننده عملیاتی واقعی
به صورت حلقه باز

اگر هیچ‌گونه اتصال فیدبک (بازخورد) بین خروجی و ورودی Op-Amp وجود نداشته باشد، در این حالت Op-Amp به صورت حلقه باز استفاده شده است. بهره ولتاژ را در این شرایط، بهره حلقه باز می‌نامند. بهره حلقه باز را با A_{OL} نشان می‌دهند. شکل ۶۰، Op-Amp را در حالت حلقه باز (بدون فیدبک) نشان می‌دهد. در این حالت مقدار ولتاژ خروجی از رابطه زیر به دست می‌آید: بهره ولتاژ حلقه باز $\times$ ولتاژ ورودی تفاضلی = ولتاژ خروجی



شکل ۶۱

اگر در شکل ۶۱ مقدار $V_d = 100\text{ mV}$ و $A_{OL} = 200,000$ و ولتاژ خروجی در حالت اشباع $\pm 13\text{ V}$ باشد V_O را محاسبه کنید.

پاسخ: باتوجه به رابطه ولتاژ خروجی و بهره ولتاژ حلقه باز، داریم:

$$V_O = V_d A_{OL} = +E \times A_{OL} = (100 \times 10^{-3})(200,000) = 20,000\text{ V}$$

آیا باتوجه به محدودیت‌های Op-Amp و منبع تغذیه، ولتاژ خروجی می‌تواند برابر ۲۰۰۰۰ ولت باشد؟ پاسخ منفی است. در این مدار باتوجه به محدودیت‌های موجود، ولتاژ خروجی نمی‌تواند از مقدار ولتاژ اشباع مثبت ($+13\text{ V}$) بیش‌تر شود. بنابراین ولتاژ خروجی حداکثر برابر با $V_O = +13\text{ V}$ ولت خواهد بود.

باتوجه به بهره بسیار زیاد op-Amp در حالت حلقه باز، عملاً نمی‌توان از op-Amp به صورت حلقه باز استفاده کرد.

چون خروجی op-Amp با تغذیه ۱۵ ولت در حدود ۱۳ ولت به اشباع می‌رسد و بهره ولتاژ آن ۲۰۰,۰۰۰ است، لذا حداکثر ولتاژ ورودی در حالت حلقه باز نمی‌تواند از ۶۵ میکروولت بیش‌تر شود:

$$V_i = \frac{13}{200,000} = 65\mu\text{V}$$

برای اینکه op-Amp بتواند سیگنال دریافتی ورودی را بدون تغییر شکل (اعوجاج) تقویت کند، باید بهره ولتاژ op-Amp را محدود کنیم. برای این منظور باید مقاومتی را بین پایه خروجی و پایه ورودی منفی قرار دهیم. در این صورت فیدبک منفی ایجاد شده و بهره تقویت‌کننده کاهش پیدا می‌کند.

مقدار بهره تقویت‌کننده در این حالت که بهره حلقه بسته (Closed Loop Voltage Gain) نام دارد به اندازه مقاومت‌های خارجی متصل به op-Amp بستگی دارد.

مثال





تقویت کننده عملیاتی به صورت حلقه باز

هدف: بررسی عملکرد تقویت کننده عملیاتی

به صورت حلقه باز در نرم افزار

مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم افزار،

لوازم التحریر

مراحل اجرای کار:

۱) نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب

دیگر را راه اندازی کنید.

۲) مدار شکل ۶۲ را در محیط نرم افزار ببندید.

۳) مدار را راه اندازی کنید.

۴) شکل موج ورودی و خروجی مدار را

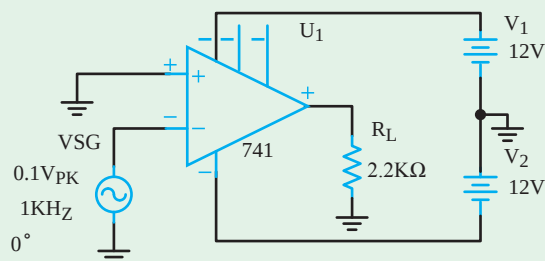
روی صفحه اسیلوسکوپ نرم افزار به صورت

پایدار ظاهر کنید. سپس شکل موج ها را در

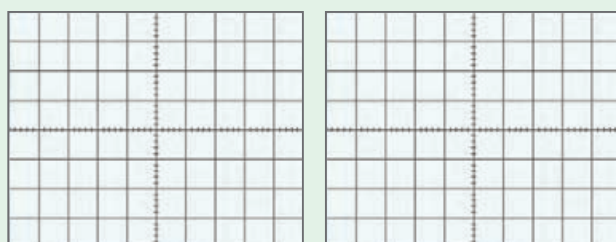
نمودار شکل ۶۳ رسم کنید.

۵) چرا موج خروجی به صورت مربعی

در آمده است؟ شرح دهید.



شکل ۶۲- مدار آزمایش تقویت کننده عملیاتی به صورت حلقه باز



(ب) شکل موج خروجی

(الف) شکل موج ورودی

شکل ۶۳- شکل موج ورودی و خروجی

کاربردهای تقویت کننده عملیاتی

op-Amp ها کاربردهای متنوعی دارند. در این قسمت چند

کاربرد مهم آنها را بررسی می کنیم.

■ تقویت کننده معکوس کننده (Inverting Amplifier)

مدار شکل ۶۴ یک تقویت کننده معکوس کننده را نشان می دهد.

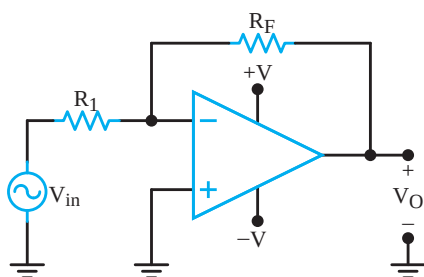
در این حالت سیگنال خروجی به اندازه 180° درجه با ورودی

اختلاف فاز دارد. بهره ولتاژ این تقویت کننده از رابطه

$A_v = -\frac{R_F}{R_1}$ محاسبه می شود. اگر R_F برابر با R_1 باشد

ضریب تقویت مدار برابر با (-1) می شود. این مدار را بافر منفی

(Buffer) می نامند.



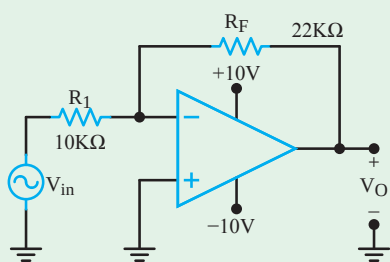
شکل ۶۴- مدار تقویت کننده معکوس کننده



تقویت کننده معکوس کننده با قطعات واقعی

هدف: بررسی عملکرد تقویت کننده معکوس کننده و محاسبه بهره ولتاژ مدار مواد، ابزار و تجهیزات: برد بُرد یک قطعه، اسیلوسکوپ یک دستگاه، منبع تغذیه یک دستگاه، سیگنال ژنراتور یک دستگاه، مقاومت $10\text{ K}\Omega$ دو عدد، مقاومت $22\text{ K}\Omega$ یک عدد، آی سی ۷۴۱ یک عدد، سیم‌های رابط

مراحل اجرای کار:



شکل ۶۵- مدار آزمایش

۱ مدار شکل ۶۵ را روی بُرد بُرد ببندید.

۲ منبع تغذیه را به مدار وصل کنید و مدار را راه اندازی کنید.

۳ به ورودی مدار یک سیگنال سینوسی با فرکانس ۱ کیلوهرتز وصل کنید.

۴ با استفاده از اسیلوسکوپ V_O را مشاهده کنید. در این حالت دامنه موج ورودی را آن قدر تغییر دهید تا دامنه موج خروجی به حداکثر مقدار خود که بدون اعوجاج است، برسد.

۵ شکل موج ورودی و خروجی را در نمودار شکل ۶۶ با مقیاس مناسب رسم کنید. $\frac{\text{VOLT}}{\text{DIV}}$ و $\frac{\text{Time}}{\text{DIV}}$ را یادداشت کنید.

۶ باتوجه به شکل موج و V_O و V_i مقدار بهره ولتاژ و اختلاف فاز ولتاژهای V_i و V_O را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{inPP} = \quad V$$

$$\phi = \quad \text{درجه}$$

$$V_{oPP} = \quad V$$

$$AV =$$

۷ R_F را برابر $10\text{ K}\Omega$ کیلو اهم قرار دهید و دامنه ولتاژ V_i و V_O و اختلاف فاز بین موج ورودی و خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

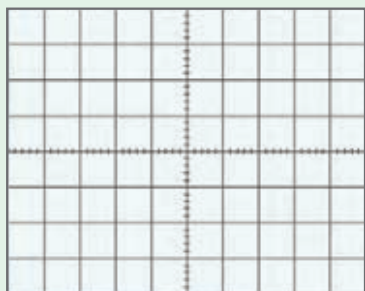
$$V_{inPP} = \quad V$$

$$\phi = \quad \text{درجه}$$

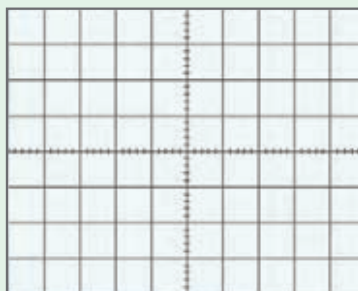
$$V_{oPP} = \quad V$$

$$AV =$$

۸ در کدام حالت تقویت کننده به بافر منفی تبدیل می شود؟ شرح دهید.



ب) شکل موج خروجی

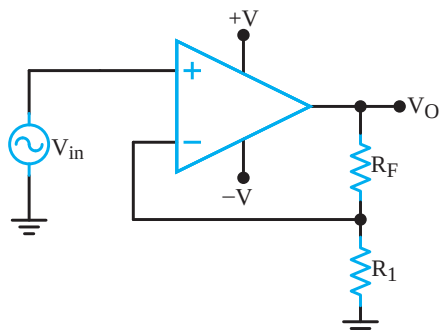


الف) شکل موج ورودی

شکل ۶۶- شکل موج ورودی و خروجی

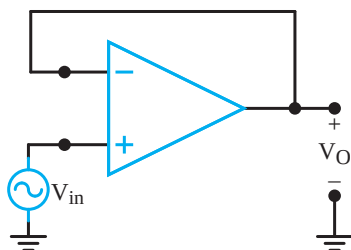
■ تقویت کننده غیر معکوس کننده (Non-Inverting Amplifier)

مدار تقویت کننده غیر معکوس کننده در شکل ۶۷ رسم شده است. سیگنال ورودی (V_{in}) به ورودی مثبت op amp اتصال دارد. در این مدار سیگنال خروجی با سیگنال ورودی هم فاز است. بهره ولتاژ این تقویت کننده از رابطه



$$AV = 1 + \frac{R_F}{R_1} \text{ محاسبه می شود.}$$

شکل ۶۷- تقویت کننده غیر معکوس



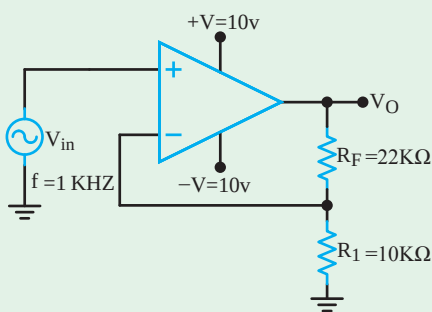
شکل ۶۸- مدار بافر مثبت

مدار بافر مثبت: مدار بافر مثبت در شکل ۶۸ رسم شده است. در این مدار تمام سیگنال خروجی به ورودی منفی برگشت داده می شود. این مدار دارای بهره ولتاژ +۱ است و ولتاژ خروجی از لحاظ دامنه و فاز عیناً برابر با ولتاژ ورودی است. این مدار را دنباله رو ولتاژ (Voltage follower) نیز می گویند. یکی از مشخصات مهم بافر مثبت، ایجاد تطبیق بین امپدانس بسیار زیاد با امپدانس کم است. زیرا امپدانس ورودی مدار بافر بسیار زیاد و امپدانس خروجی آن بسیار کم است.

تقویت کننده غیر معکوس کننده با قطعات واقعی

هدف: بررسی عملکرد تقویت کننده غیر معکوس کننده و محاسبه بهره ولتاژ مدار
مواد، ابزار و تجهیزات: بردبرد یک قطعه، اسیلوسکوپ یک دستگاه، منبع تغذیه یک دستگاه، سیگنال ژنراتور یک دستگاه، مقاومت $10K\Omega$ دو عدد، مقاومت $22K\Omega$ یک عدد، آی سی ۷۴۱ یک عدد، سیم های رابط

مراحل اجرای کار:



شکل ۶۹- مدار آزمایش

- ۱ مدار شکل ۶۹ را روی بردبرد ببندید.
- ۲ منبع تغذیه را به مدار وصل کنید و مدار را راه اندازی کنید.
- ۳ به ورودی مدار یک سیگنال سینوسی با فرکانس ۱ کیلوهرتز وصل کنید.
- ۴ با استفاده از اسیلوسکوپ V_O را مشاهده کنید. در این حالت دامنه موج ورودی را آن قدر تغییر دهید تا دامنه موج خروجی به حداکثر مقدار خود که بدون اعوجاج است، برسد.

کار عملی ۳



۵ شکل موج ورودی و خروجی را در نمودار شکل ۷۰ با مقیاس مناسب رسم کنید. $\frac{VOLT}{DIV}$ و $\frac{Time}{DIV}$ را یادداشت کنید.

۶ باتوجه به شکل موج و V_O و V_i مقدار بهره ولتاژ و اختلاف فاز ولتاژهای V_i و V_O را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{inPP} = \quad V \quad \quad \quad V_{oPP} = \quad V$$

$$\phi = \quad \text{درجه} \quad \quad \quad AV =$$

۷ R_F را برابر ۱۰ کیلو اهم قرار دهید و مقدار بهره ولتاژ و اختلاف فاز ولتاژهای V_i و V_O را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

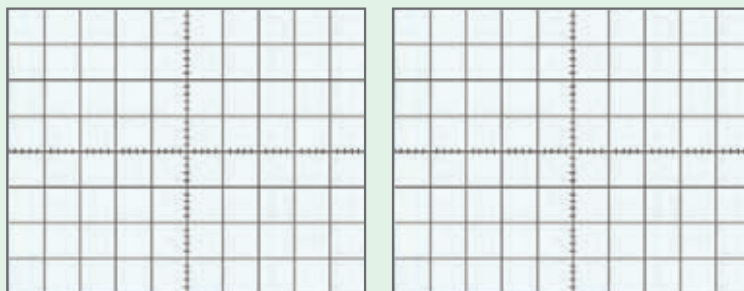
$$V_{inPP} = \quad V \quad \quad \quad V_{oPP} = \quad V$$

$$\phi = \quad \text{درجه} \quad \quad \quad AV =$$

۸ مدار را به بافر مثبت تبدیل کنید و شکل موج ورودی و خروجی را مشاهده کنید و دامنه پیک تاپیک آنها را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{inPP} = \quad V \quad \quad \quad V_{oPP} = \quad V$$

$$\phi = \quad \text{درجه} \quad \quad \quad AV =$$



ب) شکل موج خروجی

الف) شکل موج ورودی

شکل ۷۰- شکل موج ورودی و خروجی

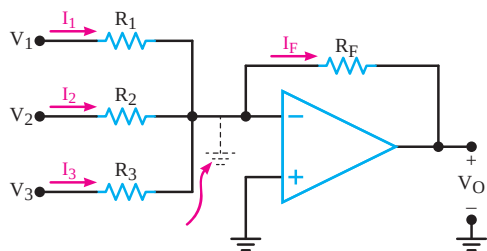
مدار جمع کننده

یکی از مدارهای مفید دیگری که با استفاده از تقویت کننده عملیاتی ساخته می شود، مدار جمع کننده است. این مدار دارای دو یا چند ورودی و یک خروجی است. شکل ۷۱ یک جمع کننده با سه ورودی را نشان می دهد.

ولتاژ خروجی از رابطه $V_O = -R_F \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right)$ محاسبه می شود.

تحت شرایط خاص اگر $R_1 = R_2 = R_3 = R_F$ باشد خواهیم داشت:

$$V_O = -(V_1 + V_2 + V_3)$$



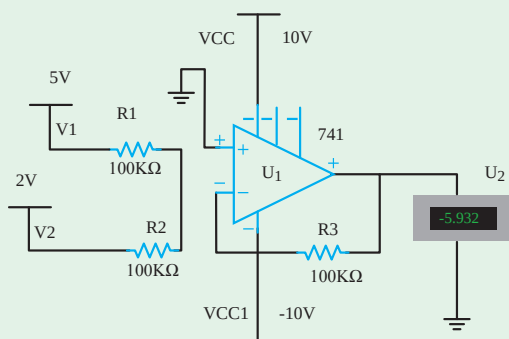
شکل ۷۱- مدار جمع کننده



جمع کننده در نرم افزار

هدف: بررسی عملکرد مدار جمع کننده در نرم افزار
مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم افزار، لوازم التحریر
مراحل کار عملی:

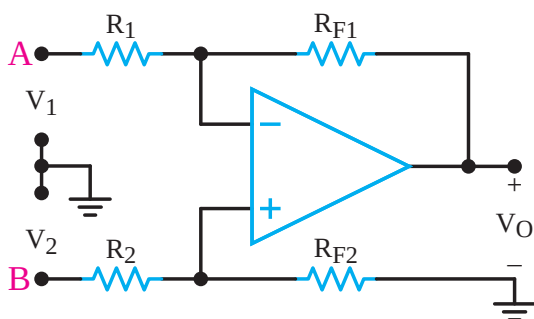
- ۱ نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر را راه اندازی کنید.
- ۲ مدار شکل ۷۲ را در محیط نرم افزار ببندید.
- ۳ مدار را راه اندازی کنید.
- ۴ ولت متر نرم افزار را به خروجی مدار وصل کنید.
- ۵ آیا ولتاژ خروجی مجموع ولتاژ ورودی است؟ شرح دهید.



شکل ۷۲- مدار جمع کننده

تقویت کننده با ورودی تفاضلی

تاکنون تقویت کننده های عملیاتی را با اعمال یک سیگنال ورودی مورد بحث قرار دادیم. بسیاری از اوقات به تقویت کننده های با ورودی تفاضلی نیازمندیم زیرا یک تقویت کننده با ورودی تفاضلی میزان نویز را به حداقل می رساند. به عنوان مثال باید در طبقه ورودی یک دستگاه الکتروکاردیوگراف میزان نویز مربوط به ۵۰ هرتز برق شهر را به شدت کاهش داد. در این دستگاه دو الکترود به نقاط مختلف بدن یک انسان متصل می شوند و ضربان های کوچک قلب را دریافت می کنند. سپس این ضربان تقویت می شود و به بلندگو، اسیلوسکوپ یا نوار ثبت کننده می رسد. نتیجه به دست آمده برای مطالعه و بررسی در اختیار پزشک قرار می گیرد.



شکل ۷۳- تقویت کننده با ورودی تفاضلی

متأسفانه علاوه بر جذب ضربان های قلب مقداری نویز ۵۰ هرتز نیز جذب می شود. با به کار بردن یک تقویت کننده با ورودی تفاضلی می توان مقدار این نویز را به حداقل رساند. در شکل ۷۳ تقویت کننده با ورودی تفاضلی نشان داده شده است.

تقویت کننده با ورودی تفاضلی اصولاً ترکیبی از تقویت کننده های معکوس کننده و غیر معکوس کننده است. اگر $R_F = R_{F1} = R_{F2} = R_F$ و $R_1 = R_2 = R$ باشد، ولتاژ خروجی تقویت کننده با استفاده از رابطه زیر تعیین می شود.

$$V_O = \frac{R_F}{R} (V_2 - V_1)$$

به خاطر داشته باشید که خروجی تقویت کننده می تواند نسبت به زمین، مثبت یا منفی باشد. بنابراین، V_O

ممکن است متناسب با مقدار و جهت V_1 و V_2 مثبت یا منفی شود. وقتی ورودی‌ها به صورت تفاضلی استفاده می‌شوند، اگر دو سیم A و B به یکدیگر نزدیک باشند، هیچ اتصال زمینی موردنیاز نیست. در هر صورت، در الکتروکاردیوگرافی گاهی ضرورت دارد که توسط سیم سومی زمین دستگاه را به بدن بیمار متصل کنند. این سیم زمین بر روی نقاط مختلف بدن تغییر داده می‌شود تا ۵۰ هرتز جذب شده در هر دو سیم مشابه شوند. به این ترتیب با جابه‌جایی سیم‌ها، سیگنال خروجی مربوط به ۵۰ هرتز صفر می‌شود. به محض این که نویز به صفر رسید، تقویت کننده می‌تواند سیگنال‌های ضعیف ضربان قلب را آشکار کند.

کار عملی ۵



تقویت کننده با ورودی تفاضلی در نرم افزار

هدف: بررسی عملکرد تقویت کننده با ورودی تفاضلی در نرم افزار

مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم افزار، لوازم التحریر

مراحل اجرای کار:

۱ نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر را راه اندازی کنید.

۲ مدار شکل ۷۴ را در محیط نرم افزار ببندید.

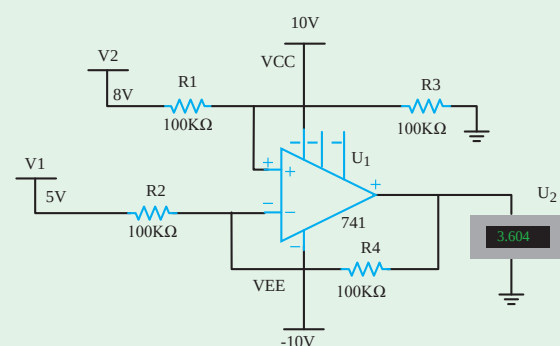
۳ اگر کلیه مقاومت‌ها در مدار تقویت کننده با ورودی تفاضلی باهم برابر باشند، فرمول محاسبه V_O چه تغییری می‌کند؟ در این حالت فرمول را بنویسید.

$$V_O = \frac{R_F}{R} (V_2 - V_1)$$

۴ مدار را راه اندازی کنید.

۵ ولت متر نرم افزار را به خروجی مدار وصل کنید. ولتاژ خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۶ آیا مقدار ولتاژ خروجی تفاضل ولتاژهای ورودی است؟ شرح دهید، اگر به جای دو باتری V_1 و V_2 دو موج سینوسی با دامنه، فرکانس و فاز برابر به مدار بدهیم، موج خروجی چگونه است؟ این موضوع را تجربه کنید. در این حالت مدار چه کاربردی دارد؟ شرح دهید.



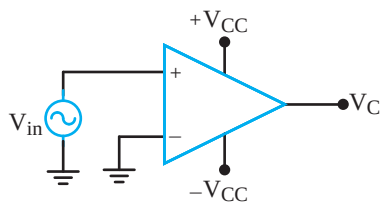
شکل ۷۴- تقویت کننده با ورودی تفاضلی

مقایسه کننده (Comparator)

مقایسه کننده به مداری گفته می‌شود که ولتاژ یکی از ورودی‌های خود را با ولتاژ مینا در ورودی دیگر مقایسه می‌کند. ولتاژ مینا می‌تواند مثبت، منفی یا صفر باشد. در op-Amp متناسب با مقدار ولتاژ مثبت یا منفی ورودی، خروجی شکل می‌گیرد. در صورتی که مقدار ولتاژ ورودی مثبت بیشتر از ولتاژ ورودی منفی باشد، خروجی به ولتاژ اشباع مثبت و اگر مقدار ولتاژ ورودی منفی بیشتر از ولتاژ ورودی مثبت باشد، خروجی به اشباع منفی می‌رود. این نوع مدار را مدار مقایسه کننده می‌نامند.

مقایسه کننده در مدارهای زیر کاربرد دارد:

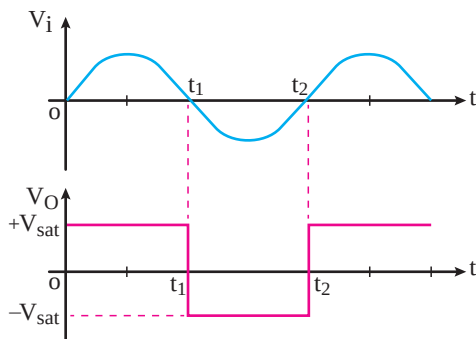
- **اشمیت تریگر (Schmitt Trigger)** یا **مدار چهارگوش کننده (Squaring Circuit)**: اشمیت تریگر مداری است که یک شکل موج نامنظم را به شکل موج مربعی یا پالس تبدیل می کند.
- **آشکارساز عبور از صفر (مبنا)**: این مدار زمان و جهت عبور سیگنال ورودی را از ولتاژ صفر (مبنا) مشخص می کند.
- **آشکارساز سطح ولتاژ**: مداری است که شرایط مساوی شدن ولتاژ ورودی با یک ولتاژ مبنا را مشخص می کند.
- **نوسان ساز**: مداری است که شکل موج سینوسی یا مربعی یا مثلثی تولید می کند.



شکل ۷۵- مقایسه گر با ولتاژ مبنا صفر

■ آشکارساز عبور از صفر (Zero Crossing Detector):

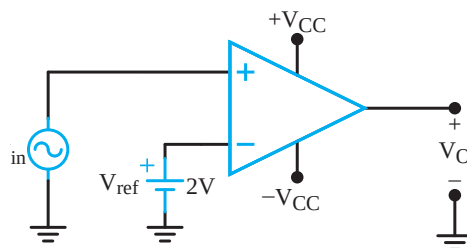
در شکل ۷۵ مدار مقایسه کننده با ولتاژ مبنا صفر (زمین) و در شکل ۷۶ شکل موج ورودی و خروجی مدار رسم شده است. در این مدار زمین یا پتانسیل صفر به ورودی منفی (-) اعمال شده است. ولتاژی که باید با مبنا مقایسه شود (V_i) به ورودی مثبت داده می شود.



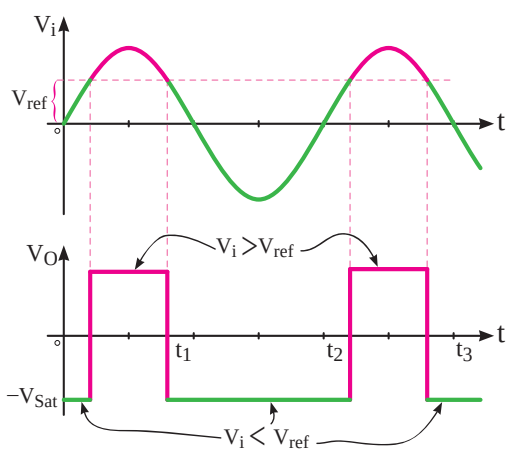
شکل ۷۶- شکل موج ورودی و خروجی

ولتاژ V_i را با ولتاژ مبنا صفر ولت مقایسه می کند و با توجه به قطب ولتاژ ورودی و نبودن شبکه فیدبک، خروجی آی سی به اشباع (حدود ولتاژ منبع تغذیه) می رود. از این مدار برای تولید موج مربعی از موج سینوسی نیز استفاده می کنند.

آشکارساز سطوح ولتاژ غیر صفر (None Zero Level Detector): مدار آشکارساز سطوح صفرولت را می توان به آشکارساز ولتاژ غیر صفر ولت تبدیل نمود. برای این منظور به جای زمین کردن ورودی مثبت یا منفی، ولتاژی را به عنوان ولتاژ مقایسه (مبنا) انتخاب می کنیم. مثلاً در شکل ۷۷ ولتاژ مبنا را $+2V$ ولت در نظر می گیریم و به ورودی منفی می دهیم.



شکل ۷۷- مدار آشکارساز سطح ولتاژ

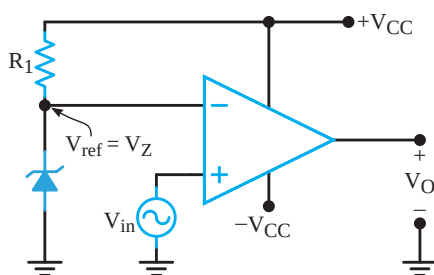


شکل ۷۸- موج ورودی و خروجی مدار

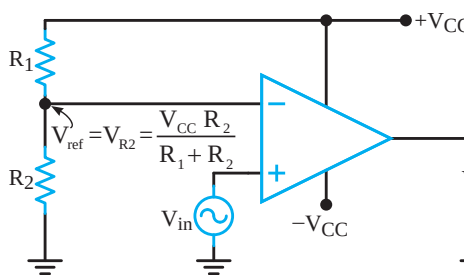
این ولتاژ را ولتاژ مقایسه (مبنا یا V_{ref}) می‌نامیم. تا زمانی که ولتاژ ورودی مثبت از ولتاژ مبنا (V_{ref}) کمتر است خروجی OP-AMP در اشباع منفی قرار می‌گیرد. درحالتی که V_i از V_{ref} بیشتر شود ورودی مثبت OP-AMP از ورودی منفی آن بیشتر شده و خروجی OP-AMP به اشباع مثبت می‌رود. در شکل ۷۸ شکل موج‌های ورودی و خروجی مدار رسم شده است.

روش عملی تأمین ولتاژ مبنا

ولتاژ مبنا مقایسه را می‌توان از طریق دو مقاومت تقسیم‌کننده ولتاژ یا به وسیله یک دیود زener و یک مقاومت تأمین کرد. شکل‌های الف و ب ۷۹ مدارهای تأمین ولتاژ مبنا را نشان می‌دهد.



(ب) استفاده از دیود زنر



(الف) تقسیم ولتاژ مقاومتی

شکل ۷۹- روش عملی تأمین ولتاژ مبنا

مقایسه گر با قطعات واقعی

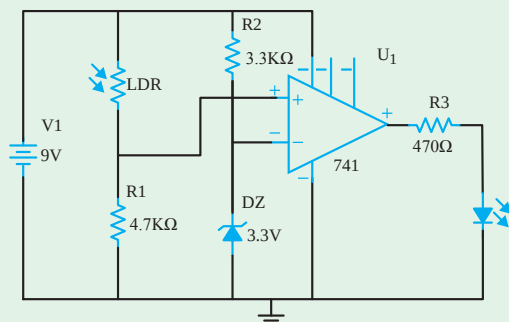
هدف: بررسی عملکرد مقایسه گر

مواد، ابزار و تجهیزات: بردبرد یک قطعه، منبع تغذیه یک دستگاه، مقاومت $3/3K\Omega$ ، $4/7K\Omega$ ، 470Ω از هر کدام یک عدد، مقاومت LDR یک عدد، دیود زنر $3/3$ ولت $1/4$ وات یک عدد، آی سی ۷۴۱ یک عدد، LED یک عدد، سیم‌های رابط

مراحل اجرای کار:

۱) مدار شکل ۸۰ را روی بردبرد ببندید.

۲) منبع تغذیه را به مدار وصل کنید و مدار را راه اندازی کنید



شکل ۸۰

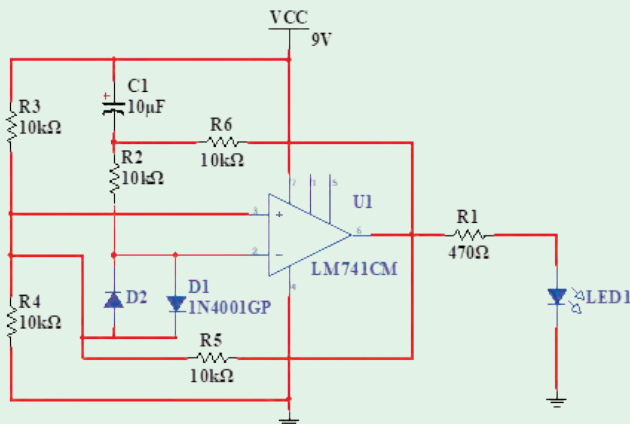


- ۳ ولتاژ مبنا چند ولت است؟.....
- ۴ افت ولتاژ کدام قطعه با ولتاژ مبنا مقایسه می‌شود؟.....
- ۵ در چه حالت LED روشن می‌شود؟
الف) در حالت تابش نور به LED
ب) در حالت تاریکی
- ۶ نور تابانده شده به LDR را قطع کنید و وضعیت نور LED را بررسی کنید.
- ۷ کاربرد مدار را شرح دهید.

به منظور ارتقای سطح مهارت در طراحی و به کارگیری تقویت کننده‌های عملیاتی (Op-Amp) در مدار الکترونیکی پروژه‌های کاربردی، در ادامه دو مدار نمونه به عنوان اجرای کار عملی به صورت نرم‌افزاری ارائه می‌گردد. با رعایت دقیق نکات فنی و اصول طراحی در هنگام شبیه‌سازی، شما قادر خواهید بود پس از تأیید صحت عملکرد، بُرد فیبر مدار چاپی (PCB) مربوطه را تهیه کنید و با مونتاژ قطعات الکترونیکی، از این بُردها درسایر پروژه‌های واقعی خود استفاده کنید.

مدار آزمایشگر (Tester) تقویت کننده عملیاتی (Op-Amp) و مدار مولد سیگنال (Function Generator)
هدف: بررسی عملکرد مدار آزمایشگر (Tester) تقویت کننده عملیاتی (Op-Amp) و مدار مولد سیگنال (Function Generator) در نرم‌افزار جهت بهره‌برداری مدارها در پروژه‌های کاربردی
مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم‌افزار، لوازم التحریر
مراحل اجرای کار:

- ۱ نرم‌افزار مولتی سیم یا هر نرم‌افزار مناسب دیگر را راه‌اندازی کنید.
 - ۲ مدار شکل ۸۱ را در محیط نرم‌افزار ببندید.
- عملکرد این مدار ساده است؛ چنانچه تقویت کننده عملیاتی op-amp سالم باشد، مدار در خروجی یک موج مربعی تولید می‌کند که باعث چشمک زدن LED می‌شود.



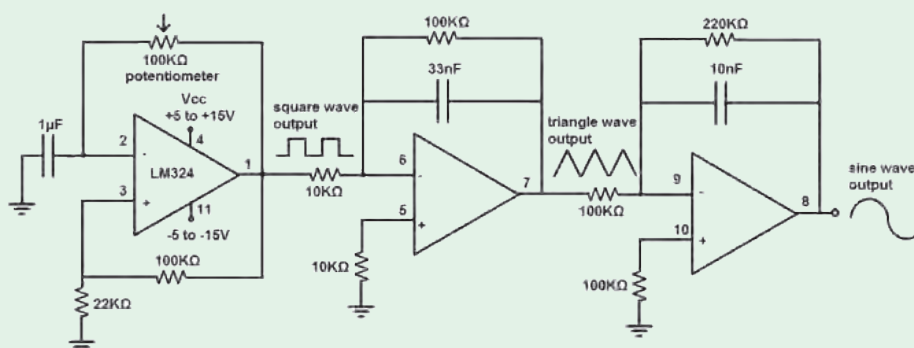
شکل ۸۱



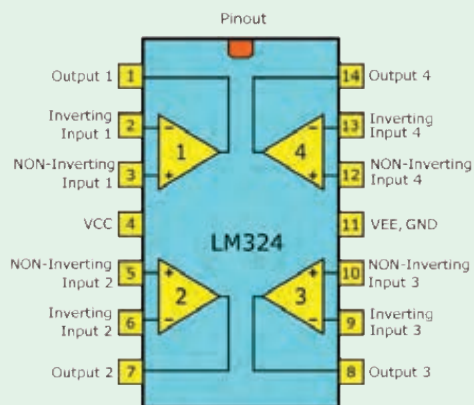
- وقتی که منبع تغذیه را به مدار وصل می‌کنید در ابتدا ولتاژ ورودی غیرمعکوس‌کننده (V^+) بیشتر از ولتاژ ورودی معکوس‌کننده (V^-) است و خروجی op-amp ($LMV41$) پایه ۶ در وضعیت ولتاژ بالا قرار می‌گیرد. در نتیجه، خازن C_1 از طریق مقاومت R_6 شروع به شارژ شدن می‌کند. زمانی که ولتاژ شارژ خازن C_1 از ولتاژ پایه معکوس‌کننده (پایه ۲) بیشتر شود، خروجی به وضعیت ولتاژ پایین تغییر می‌یابد. با پایین رفتن سطح ولتاژ خروجی، خازن C_1 شروع به تخلیه بار می‌کند؛ در این حالت ولتاژ پایه معکوس‌کننده دوباره کمتر از ولتاژ پایه غیرمعکوس‌کننده می‌شود و خروجی به وضعیت ولتاژ بالا بازمی‌گردد. این چرخه به‌طور مداوم تکرار می‌شود و موج مربعی در خروجی ایجاد می‌کند که باعث چشمک زدن LED می‌شود.

نکته مهم: با توجه به کاربرد گسترده آی‌سی‌های Op-Amp مانند $LMV41$ یا مشابه آن، مدار شکل ۸۱ به سادگی و با اطمینان، سلامت آنها را پیش از استفاده در مدارهای الکترونیکی، آزمایش می‌کند. بنابراین با طراحی (PCB) مناسب و ساخت برد مدار می‌توان یک سوکت پایه آی‌سی ۸ پین جهت آزمایش سلامت و عملکرد صحیح ($Op-Amps\ LMV41$) روی بُرد مونتاژ کرد. هنگامی که تقویت‌کننده‌های عملیاتی ($Op-Amps\ LMV41$) جدید روی آن قرار دهید و مدار راه‌اندازی کنید. اگر آپ‌امپ سالم باشد، LED در فواصل زمانی منظم به‌طور مداوم چشمک می‌زند، اما اگر آپ‌امپ معیوب باشد، LED یا روشن و یا خاموش باقی می‌ماند.

۳ مدار شکل ۸۲ که یک مدار مولد سیگنال (Function Generator) کاملاً ساده است، آن را در محیط نرم‌افزار ببینید.

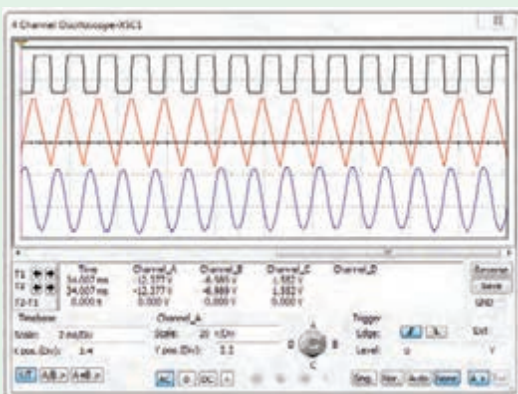
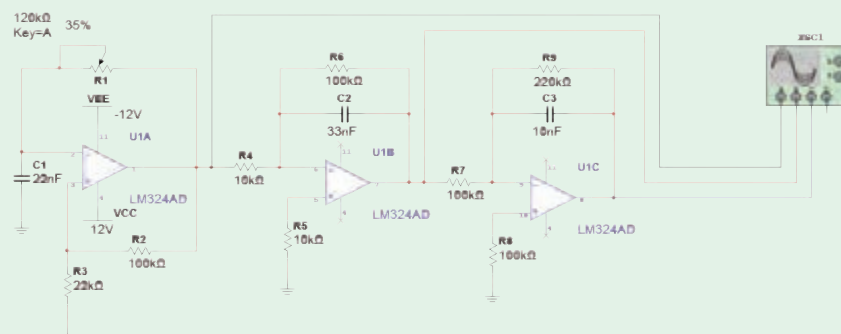


شکل ۸۲

شکل ۸۳- معرفی پایه‌های آی‌سی $LM324$

توجه: آی‌سی تقویت‌کننده عملیاتی مدار را $LM324$ انتخاب کنید.

آی‌سی $LM324$ شکل ۸۳ یک تقویت‌کننده عملیاتی چهارگانه ($Quad\ Op-Amp$) است که به دلیل پایداری عملکرد و قابلیت کار با منابع تغذیه تک‌قطبی، در طراحی مدارهای مختلف الکترونیکی کاربرد گسترده‌ای دارد. این قطعه به دلیل مصرف توان بسیار پایین، یکی از پرکاربردترین گزینه‌ها برای پیاده‌سازی مدارهای پردازش سیگنال در پروژه‌های کاربردی محسوب می‌شود.

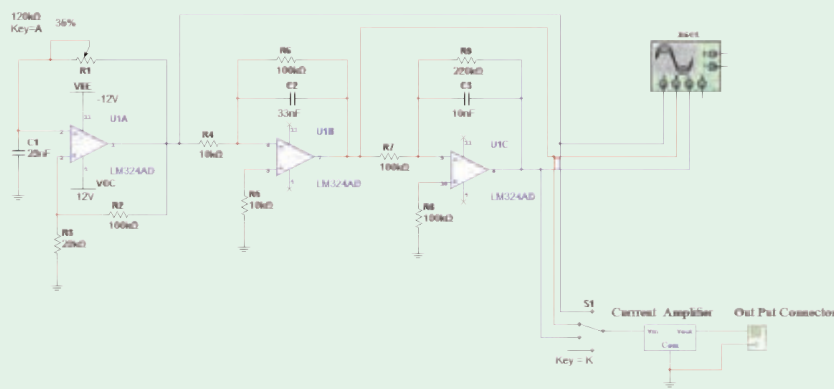


شکل ۸۴- مدار شبیه سازی شده مولد سیگنال Function Generator با شکل موج های خروجی آن در نرم افزار

همان طور که در شکل ۸۴ مشاهده می کنید، تقویت کننده عملیاتی اول (Op_Amp) یک موج مربعی تولید می کند (کانال A اسیلوسکوپ) موج مربعی به یک مدار به نام انتگرال گیر وارد می شود که یک موج مثلثی تولید می کند، (کانال B). سپس این موج مثلثی به یک مدار انتگرال گیر دوم داده می شود که در خروجی یک موج سینوسی تولید می کند، (کانال C).

پتانسیومتر ۱۰۰ کیلو اهم امکان تنظیم فرکانس سیگنال های متناوب را فراهم می کند.

نکته مهم: با اضافه کردن یک تقویت کننده جریان (Current Amplifier) مناسب و یک کلید انتخاب گر (Selector) به مدار مطابق شکل ۸۵، مدار به طور کامل طراحی و پیاده سازی می گردد. پس از طی مراحل طراحی بُرد فیبر مدار چاپی (PCB) و مونتاژ صحیح قطعات، می توان از این بُرد به عنوان یک دستگاه اندازه گیری الکترونیکی در انجام آزمایش های مربوط به مدارهای الکترونیکی، به ویژه جهت بررسی و تحلیل سیگنال های ورودی مدار تحت آزمایش، استفاده کرد.



شکل ۸۵- مدار مولد سیگنال Function Generator با بلوک تقویت کننده جریان و کلید انتخاب گر سیگنال

خودارزیابی

۱ یک OP_AMP ایده‌آل دارای امپدانس ورودی بی‌نهایت و خروجی صفر است.

☐ صحیح ☐ غلط

۲ اگر مقاومت فیدبک (R_F) در تقویت‌کننده با بهره منفی باز شود بهره تقویت‌کننده صفر می‌شود.

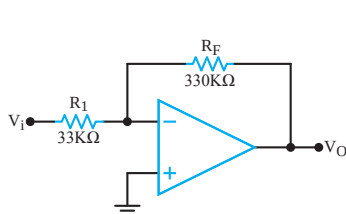
☐ صحیح ☐ غلط

۳ تقویت‌کننده عملیاتی $\mu A741$ دارای مقاومت ورودی اهم و مقاومت خروجی اهم است.

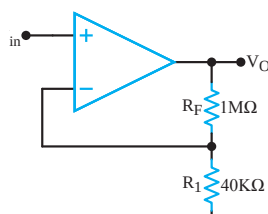
۴ در شکل ۸۶ ولتاژ خروجی در حالت ایده‌آل صفر است. ☐ صحیح ☐ غلط

۵ در شکل ۸۷ اگر مقدار R_F کاهش یابد مقدار بهره ولتاژ مدار می‌یابد.

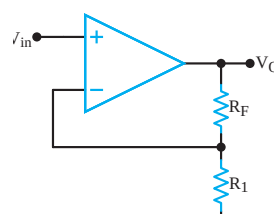
۶ میزان بهره ولتاژ مدار ۸۸ و ۸۹ را محاسبه کنید.



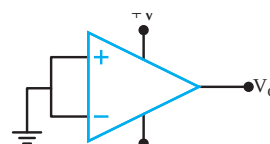
شکل ۸۹



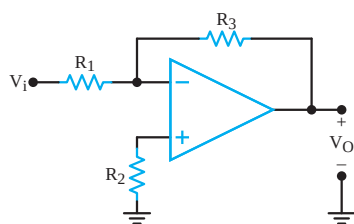
شکل ۸۸



شکل ۸۷



شکل ۸۶



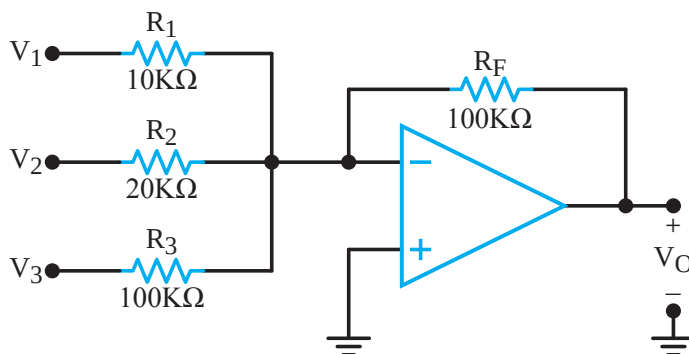
شکل ۹۰

۷ در چه شرایطی مدار شکل ۹۰ به بافر منفی تبدیل می‌شود؟

۸ رابط ولتاژ خروجی در مدار شکل ۹۱ کدام گزینه است؟

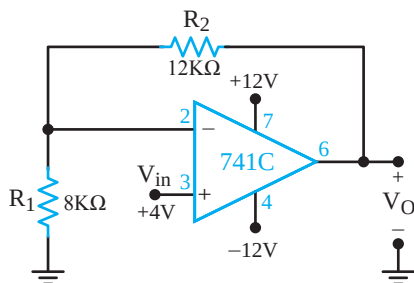
$$(1) 10V_1 - 5V_2 + V_3 \quad (2) 10V_1 - 5V_2 - V_3$$

$$(3) -10V_1 - 5V_2 - V_3 \quad (4) V_1 - 5V_2 + V_3$$

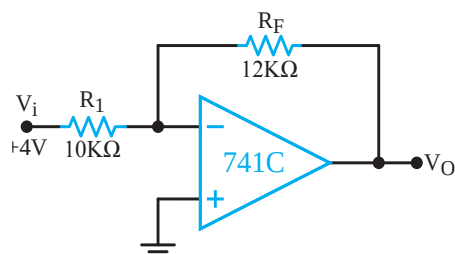


شکل ۹۱

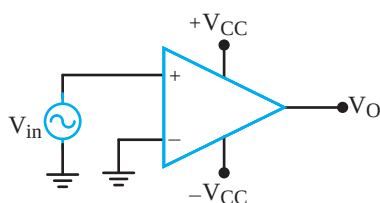
۹ در مدار شکل ۹۲ و ۹۳ ولتاژ خروجی را محاسبه کنید.



شکل ۹۳



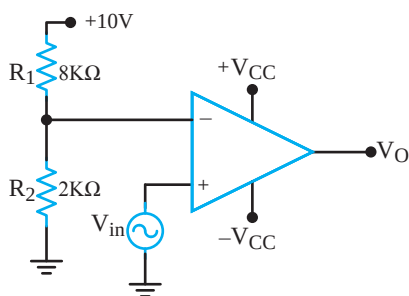
شکل ۹۲



شکل ۹۴

۱۰ در مدار شکل ۹۴ ولتاژ ورودی با ولتاژ صفولت مقایسه می شود.

صحیح ☐ غلط ☐



شکل ۹۵

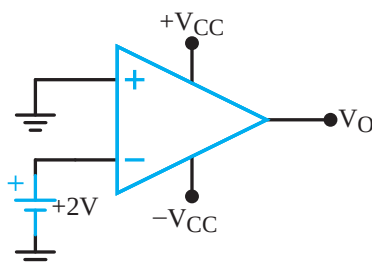
۱۱ یک مدار آشکارساز عبور از صفر می تواند موج سینوسی را به موج تبدیل کند.

صحیح ☐ غلط ☐

۱۲ در مدار مقایسه کننده سطح ولتاژ، ولتاژ مبنا معمولاً توسط و یا توسط ایجاد می شود.

۱۳ در مدار شکل ۹۵ کدام یک از مقادیر داده شده، مقدار V_{REF} (ولتاژ سطح مقایسه) است؟

- (۱) ۱۰V (۲) صفر ولت (۳) ۲V (۴) ۸V



شکل ۹۶

۱۴ در شکل ۹۶ ولتاژ خروجی در اشباع منفی ☐ مثبت ☐ قرار دارد.

ارزشیابی شایستگی ساخت مدارهای تقویت کننده عملیاتی

نام و نام خانوادگی:	شماره ملی:	تاریخ ارزشیابی:	نام و نام خانوادگی:
کد حرفه	۸۲۱۲۲۳	حرفه	مونتاز کاران تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی
کد وظیفه شغل	۸۲۱۲۲۳۰۱	وظیفه شغل	ساخت بردهای الکترونیکی
کد کار	۸۲۱۲۲۳۰۱۲۲	کار	ساخت مدارهای تقویت کننده عملیاتی
		سطح شایستگی	مهارت
		سطح صلاحیت	L۳
		کد پیمانانه/پودمان	۸۲۱۲۱۳۰۱۲
		استاندارد عملکرد:	تقویت کننده عملیاتی، مشخصات و پایه‌های IC رایج را شناسایی کند، مدارهای کاربردی تقویت کننده عملیاتی و پروژه عملی مرتبط به آن را اجرا کند.

ردیف	مراحل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص‌ها/داوری/نمره دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	تشخیص پایه‌های ورودی (مثبت و منفی)، خروجی و تغذیه در آی‌سی‌های متداول (مثل ۷۴۱).	آی‌سی ۷۴۱ (DIP)، برگه اطلاعات، مولتی متر، ذره بین، سائیر قطعات الکترونیکی مرتبط و زمان ۱۵ دقیقه در کارگاه الکترونیک	آزمون عملی، تطبیق با نقشه فنی و چک لیست رعایت استانداردهای ایمنی	شناخت بسته بندی و تست پایه‌ها	۳	
					۲	
					۱	
۲	بستن و تحلیل مدار تقویت کننده معکوس کننده (Inverting) و غیر معکوس کننده (Non-Inverting)	IC ۷۴۱، برد بورد، منبع تغذیه، سیگنال ژنراتور، اسیلوسکوپ، مولتی متر، مقاومت و سیم رابط و زمان ۶۰ دقیقه در کارگاه الکترونیک	مشاهده بستن مدار، اندازه گیری بهره و بررسی شکل موج	بستن مدار، تطابق بهره	۳	
					۲	
					۱	
۳	شبیه سازی با نرم افزار و بستن صحیح مدارهای کاربردی، جمع گر، تفاضلی و مقایسه گر	رایانه با نرم افزار شبیه سازی (Multisim) یا مشابه، برد بورد، ICهای عملیاتی، منبع تغذیه، مقاومت ها و سیم رابط و زمان ۹۰ دقیقه در کارگاه الکترونیک	بررسی شبیه سازی، مقایسه نتایج با محاسبات تئوری و پرسش شفاهی درباره مدار و مقاومت ها	شبیه سازی بدون خطا و توضیح دقیق مطابق تئوری	۳	
					۲	
					۱	
۴	طراحی و ساخت یک مدار کاربردی (مثل تقویت کننده بامیکروفون)، تست عملکرد آن، تنظیم مستندات و ارائه گزارش کار	مولتی متر، اسیلوسکوپ، منبع تغذیه، تجهیزات شبیه سازی و طراحی PCB، مقاومت، خازن، ترانزیستور، آی‌سی‌های عملیاتی، میکروفون و زمان تعیین شده در کارگاه الکترونیک	پرسش شفاهی، مشاهده فرایند طراحی، ساخت و تست مدار و بررسی گزارش کار و نحوه ارائه آن	ساخت و تست صحیح مدار بدون خطا و ارائه گزارش کار کامل	۳	
					۲	
					۱	
	شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:	کارگاه الکترونیک مجهز به ابزار و دستگاه های شبیه سازی مدارها و رایانه، تجهیزات حفاظت فردی و قطعات مورد نیاز، انجام فعالیت های کارگاهی مطابق با دستورالعمل های ایمنی و بهداشت حرفه ای	مشاهده رفتار هنرجو در حین انجام فعالیت، میزان رعایت اصول ایمنی و نظم، فعالیت های گروهی، مدیریت زمان و مسئولیت پذیری	رعایت کامل ایمنی، بهداشت و محیط زیست، رفتار حرفه ای، نظم و مسئولیت پذیری بالا	۲	
					۱	

ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)

توضیحات:

معیار شایستگی انجام کار:

- شناخت مشخصات و پایه های IC های رایج تقویت کننده عملیاتی، اجرای مدارهای کاربردی و پروژه عملی مرتبط با آن و تنظیم مستندات و گزارش کار (مراحل بحرانی).

- کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش

- کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه ای انجام می شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

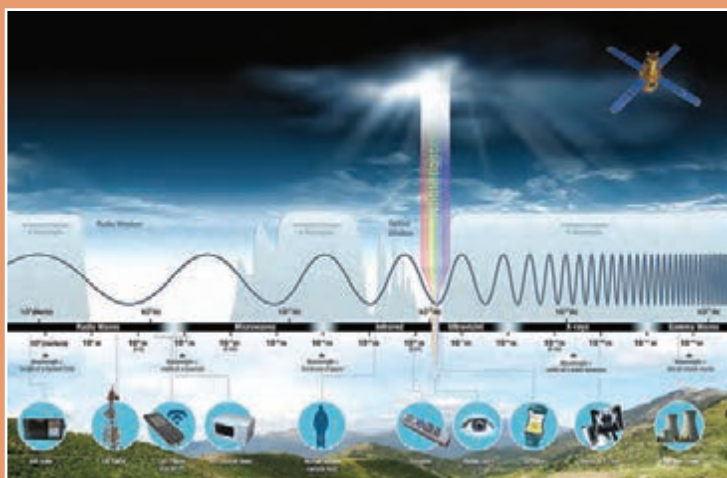
مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه ریزی و تحلیل، پاسخ گویی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت ها

تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.



پودمان سوم

ساخت پروژه مخابراتی



عصر حاضر را عصر مخابرات و ارتباطات نامیده‌اند، ارتباطات و مخابره اطلاعات، امروزه به یکی از ارکان اصلی و جدایی ناپذیر زندگی بشر تبدیل شده است. مخابرات ابزاری مهم برای تعامل بین انسان‌ها و انتقال دانش و رشد فناوری است. همه مردم با توجه به مزیت‌های سامانه‌های مخابراتی از آن برای انجام کارهای روزمره خود استفاده می‌کنند. سامانه‌های مخابراتی از تلگراف و تلفن شروع شده و به سمت اینترنت و شبکه‌های تلویزیونی و موبایل سوق پیدا کرده است. تأثیر این ابزار در زندگی روزمره افراد کاملاً مشهود و قابل ملاحظه است. استفاده از سامانه‌های مخابراتی در کنار سایر سامانه‌ها به عنوان سامانه انتقال اطلاعات و کنترل، از پیامدهای پیشرفت‌های صنعتی است. برخی موارد استفاده از ارتباطات و مخابرات در تجارت الکترونیک، بانکداری الکترونیکی، آموزش از راه دور، بهداشت و درمان (پزشکی از راه دور)، نقش زیرساختی در شهر هوشمند، اینترنت اشیا، مدیریت ترافیک و در مدیریت هوشمند ساختمان (BMS) می‌باشد. پس نقش مخابرات در زندگی امروزی، نقشی بنیادین و چندبعدی است و به عنوان زیرساخت توسعه در تمامی حوزه‌ها از اقتصاد و آموزش گرفته تا سلامت محسوب می‌شود. بنابراین کسب دانش در مورد مبانی مخابرات و آزمایش روی مدارهای کاربردی مخابراتی و اجرای پروژه‌های مرتبط با آن از ضروریات رشته‌های دانش‌آموختگان رشته الکترونیک است.

واحد یادگیری ۱: آماده‌سازی سیگنال پیام و حامل

آیا تا به حال فکر کرده‌اید

- فرکانس‌ها چگونه دسته‌بندی می‌شوند و هر محدوده فرکانسی چه کاربردی دارد؟
- چه مدارهایی فرکانس‌های مختلف را از یکدیگر جدا می‌کنند؟
- چگونه می‌توانیم یک سیگنال ناخواسته را از پیام جدا کنیم؟
- چگونه می‌توانیم با منبع DC، موج متناوب تولید کنیم؟
- پیام‌های صوتی و تصویری چگونه در فضا پخش و ارسال می‌شوند؟
- آیا با عملکرد سامانه‌های مخابراتی مانند تلفن و موبایل آشنا هستید؟

یکی از مهم‌ترین امواجی که در زندگی روزمره با آن سروکار داریم، امواج صوتی و تصویری است. از طریق این امواج باهم گفت‌وگو و تبادل اطلاعات می‌کنیم. در مخابرات دسته‌بندی امواج، کاربرد آنها و چگونگی ارسال و دریافت پیام از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا در این واحد یادگیری، در مورد انواع فرکانس‌ها، کاربرد آنها، چگونگی جداسازی فرکانس‌ها از یکدیگر، اصول نوسان‌سازی بحث می‌کنیم و به انجام برخی آزمایش‌های مرتبط به صورت نرم‌افزاری و سخت‌افزاری می‌پردازیم. در تمام مراحل یادگیری، توجه به شایستگی‌های غیرفنی، مانند کارگروهی، رعایت نظم و ترتیب، توجه به فناوری‌های نوین و رعایت نکات ایمنی و زیست‌محیطی مهم بوده و باید در مراحل انجام کار به آنها توجه شود.

استاندارد عملکرد

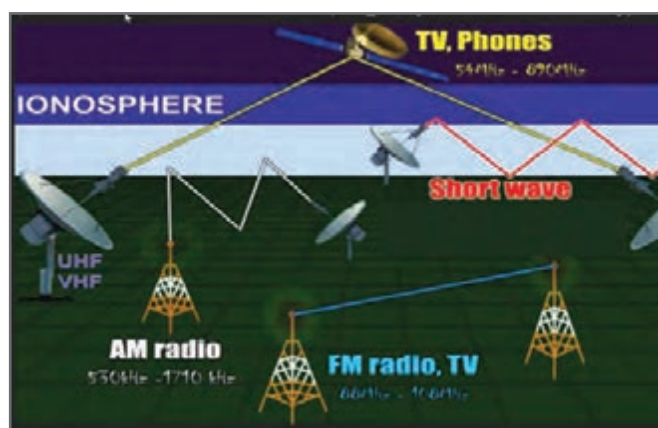
بررسی عملکرد مدار انواع فیلترها و نوسان‌ساز و آزمایش روی مدار آن‌ها با رعایت استانداردهای تعریف شده.

اجزای سامانه‌های مخابراتی و نحوه ارتباط رادیویی

هر سامانه مخابراتی شامل بخش‌های فرستنده (Transmitter)، کانال ارتباطی (Channel) و گیرنده (Receiver) است. در شکل ۱ یک سامانه مخابراتی ساده را مشاهده می‌کنید. دهان انسان نقش فرستنده، هوا نقش کانال ارتباطی و گوش نقش گیرنده را دارد.



شکل ۱- ساده‌ترین سامانه مخابراتی



شکل ۲- سامانه ارتباطی رادیویی

در شکل ۲ سامانه ارتباطی رادیویی ترسیم شده است. در این سامانه فرستنده رادیویی از طریق آنتن (Antenna) امواج را در فضا پخش می‌کند. آنتن گیرنده، امواج رادیویی منتشر شده از فرستنده را از فضا دریافت می‌کند. کانال ارتباطی در این سامانه، فضای بین فرستنده و گیرنده است. یادآور می‌شود که امواج ارسالی از آنتن فرستنده از نوع امواجی است که رفتاری مشابه امواج نورانی دارد و با سرعتی تقریباً برابر با سرعت نور در فضا حرکت می‌کند.

علل دسته‌بندی فرکانس و واحدهای آن

فرکانس‌های مختلف در مدارهای الکتریکی و الکترونیکی رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند. همین رفتار متفاوت است که برای هر مورد کاربرد ویژه‌ای را فراهم می‌کند. بدین سبب، فرکانس‌ها را در دسته‌بندی‌های مختلف طبقه‌بندی می‌کنند.

دسته‌بندی عمومی فرکانس‌ها

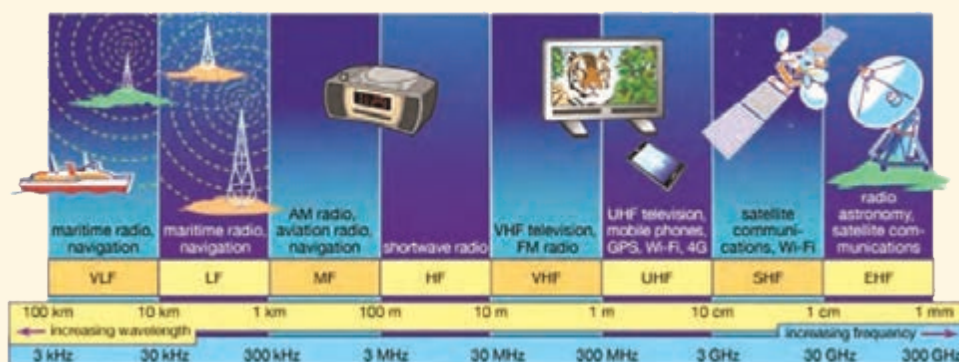
تنوع تقسیم‌بندی فرکانس بسیار زیاد است. در این واحد یادگیری بیشتر به تقسیم‌بندی کلی فرکانس‌ها با تأکید روی فرکانس‌های رادیویی می‌پردازیم. فرکانس‌های کم و فرکانس‌های رادیویی را به محدوده‌های کوچک‌تری نیز تقسیم می‌کنند که حالت عمومی دارد. در این روش هر محدوده را باند فرکانسی (Frequency Band) می‌نامند. در جدول ۱ این نوع تقسیم‌بندی را آورده‌ایم. در این روش تقسیم‌بندی فرکانس‌ها، محدوده فرکانسی از حاصل ضرب عدد ۳ در توان‌های صحیح عدد ۱۰ به دست آمده است.

جدول ۱- تقسیم‌بندی باندهای فرکانسی

ردیف	محدوده فرکانسی	نام باند	نماد (علامت)	نام باند به زبان اصلی
۱	۳-۳۰ Hz	بی‌نهایت کم	ELF	Extremely Low Frequency
۲	۳۰-۳۰۰ Hz	فوق‌العاده کم	SLF	Supper Low Frequency
۳	۳۰۰-۳۰۰۰ Hz	خیلی خیلی کم	ULF	Ultra Low Frequency
۴	۳-۳۰ KHZ	خیلی کم	VLF	Very Low Frequency
۵	۳۰-۳۰۰ KHZ	کم	LF	Low Frequency
۶	۳۰۰ KHZ - ۳ MHZ	متوسط	MF	Medium Frequency
۷	۳-۳۰ MHZ	زیاد	HF	High Frequency
۸	۳۰-۳۰۰ MHZ	خیلی زیاد	VHF	Very High Frequency
۹	۳۰۰ MHZ - ۳ GHZ	خیلی خیلی زیاد	UHF	Ultra High Frequency
۱۰	۳ GHZ - ۳۰ GHZ	فوق‌العاده زیاد	SHF	Supper High Frequency
۱۱	۳۰-۳۰۰ GHZ	بی‌نهایت زیاد	EHF	Extra High Frequency

فرکانس‌های رادیویی

باتوجه به شکل ۳ جدول ۲ را کامل کنید.



شکل ۳- باندهای فرکانسی و کاربرد آنها

جدول ۲

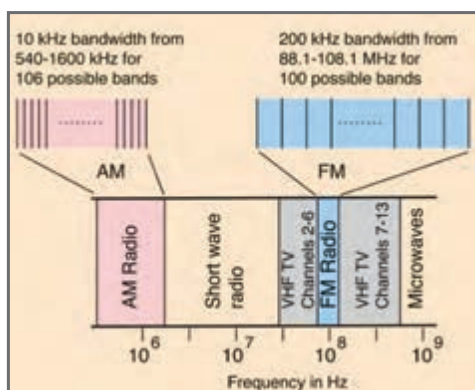
ردیف	باند	فاصله فرکانسی	کاربرد
۱	VLF		
۲	LF		
۳	MF		
۴	HF		
۵	VHF		
۶	UHF		
۷	SHF		
۸	EHF		

فعالیت گروهی



خودارزیابی

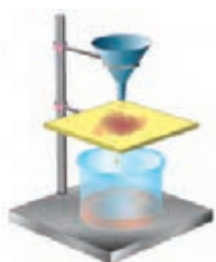
- ۱ در گفت و گوی بین دو انسان، دهان انسان به عنوان و گوش انسان دیگر به عنوان عمل می کند.
- ۲ ساده ترین سامانه مخابراتی را در دو سطر شرح دهید.
- ۳ کانال ارتباطی را تعریف کنید و برای آن چند مثال بزنید.
- ۴ به چه دلیل فرکانس ها را طبقه بندی می کنند؟ شرح دهید.
- ۵ موج کوتاه رادیو در فاصله ۳۰۰ کیلوهرتز تا ۳ مگاهرتز قرار دارد. ☐ صحیح ☐ غلط
- ۶ کدام گزینه فرکانس های محدوده ۳۰ GHZ تا ۳۰۰ GHZ را نشان می دهد؟
EHF (۴) SHF (۳) UHF (۲) VHF (۱)
- ۷ باتوجه به شکل ۴ به سؤالات پاسخ دهید.
(الف) فاصله فرکانسی رادیو AM از کیلوهرتز تا کیلوهرتز است.
(ب) در باند AM ایستگاه جای می گیرد.
(پ) فاصله فرکانسی رادیو FM از مگاهرتز تا مگاهرتز است.
(ت) در باند FM ایستگاه جای می گیرد.



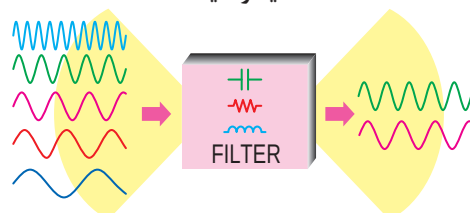
شکل ۴

فیلترها (Filters)

فیلترها مدارهایی هستند که فرکانس یا باند فرکانسی معینی را از میان سایر فرکانس ها انتخاب می کنند. فیلترهای الکترونیکی از نظر نوع کار مشابه فیلتر هوای اتومبیل یا فیلتر آب هستند. در شکل ۵ مقایسه فیلترهای الکترونیکی با فیلترهای معمولی آمده است. در فیلترهای معمولی مکانیکی برای صاف کردن مایعات از یک لایه نازک کاغذی، پارچه ای یا پلاستیکی استفاده می کنند. در فیلترهای الکترونیکی برای جداسازی فرکانس ها از یکدیگر، ترکیب اجزای الکترونیکی مانند سلف، خازن و مقاومت به کار می رود. در شکل ۵- الف یک فیلتر مکانیکی ترسیم شده است. در این فیلتر یک لایه پارچه منفذدار نقش فیلتر کردن را برعهده دارد. در شکل ۵- ب به ورودی فیلتر الکترونیکی، پنج فرکانس مختلف وارد می شود و از میان این پنج فرکانس دو فرکانس انتخاب و جدا شده است. همان طور که در شکل نشان داده شده است عمل فیلتر کردن با ترکیب عناصری مانند خازن، سیم پیچ و مقاومت صورت می گیرد.



الف) فیلتر مایعات

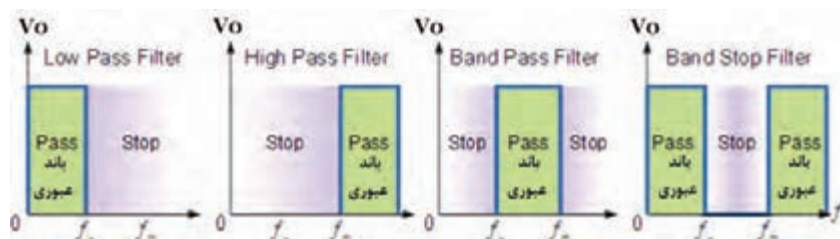


ب) فیلتر الکترونیکی (دوسیگنال خارج می شود).

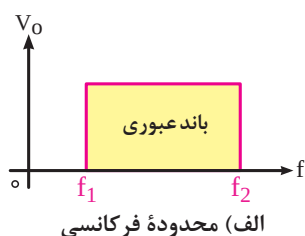
شکل ۵- مقایسه فیلتر مکانیکی و الکترونیکی

■ محدوده فرکانسی فیلتر (Filter Bandwidth)

محدوده فرکانسی فیلتر عبارت است از مجموعه فرکانس‌هایی که فیلتر می‌تواند از خود عبور دهد. این محدوده فرکانسی را پهنای باند یا پاسخ فرکانسی فیلتر می‌نامند. شکل ۶ این محدوده را نشان می‌دهد.

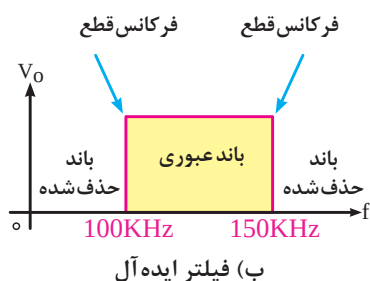


شکل ۶- محدوده فرکانسی فیلتر



الف) محدوده فرکانسی

فیلتر ایده‌آل: فیلتر ایده‌آل فیلتری است که در خروجی آن دقیقاً فرکانس‌های معین و از پیش تعیین شده ظاهر می‌شود. مثلاً اگر قرار است فرکانس‌هایی را که در محدوده باند فرکانسی ۱۰۰ کیلوهرتز تا ۱۵۰ کیلوهرتز قرار دارد از فیلتر عبور نماید باید فقط این فرکانس‌ها را در خروجی فیلتر داشته باشیم. در شکل ۷ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر ایده‌آل نشان داده شده است.



ب) فیلتر ایده‌آل

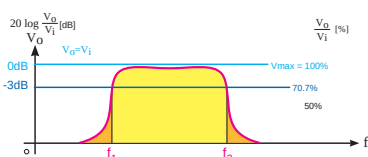
فیلتر واقعی (Real Filter): به علت استفاده از مقاومت، سلف و خازن در فیلترها، نمی‌توانیم پاسخ فرکانسی ایده‌آل داشته باشیم، زیرا این عناصر نمی‌توانند مانند یک کلید عمل کنند و فرکانس‌های ناخواسته را در لحظه تعیین شده حذف کنند. در این حالت دامنه فرکانس‌های ناخواسته به تدریج کم می‌شود تا به صفر می‌رسد. در شکل ۸ - الف، ب - منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر واقعی ترسیم شده است.

شکل ۷- منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر ایده‌آل



الف) فیلتر واقعی

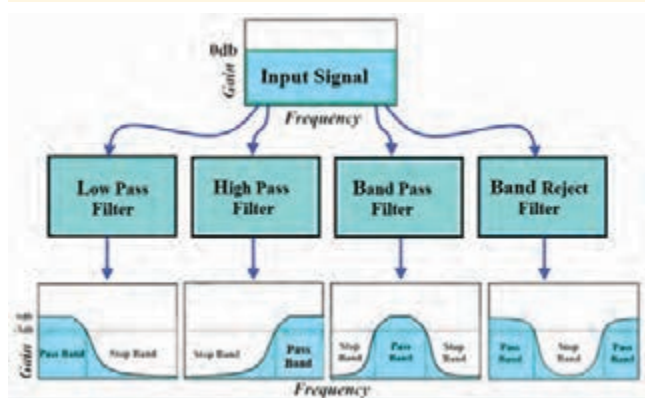
فرکانس قطع فیلتر (Cut off Frequency): حد فرکانس قابل قبول در خروجی فیلتر را فرکانس قطع فیلتر می‌نامند. فیلترها با توجه به کاربرد و مدارشان می‌توانند دارای یک، دو یا چند فرکانس قطع باشند. در فیلترهای ایده‌آل فرکانس قطع دقیقاً روی فرکانس مورد نظر قرار می‌گیرد. در شکل ۷ فرکانس‌های قطع فیلتر ایده‌آل برابر با f_1 و f_2 است. در فیلتر واقعی ولتاژ خروجی به تدریج به حداکثر ولتاژ ورودی، یا صفر می‌رسد، از این رو نقاط متعددی وجود دارد که می‌تواند به عنوان فرکانس قطع فیلتر انتخاب شود. طبق تعریف در فیلترهای واقعی، فرکانس قطع فیلتر (f_c) عبارت است از فرکانسی که در آن فرکانس، تطابق توان صورت می‌گیرد و نیمی از توان ورودی به خروجی منتقل می‌شود. در این نقطه معمولاً ۷۰/۷ درصد ولتاژ ورودی در خروجی ظاهر می‌شود. این نقطه را نقطه نصف قدرت نیز می‌نامند. این نقطه همان سطح منهای سه دسی‌بل است. زیرا وقتی توان خروجی نصف توان ورودی می‌شود مقدار توان به اندازه ۳ db کاهش می‌یابد. در شکل ۸ - ب فرکانس قطع فیلتر واقعی نشان داده شده است.



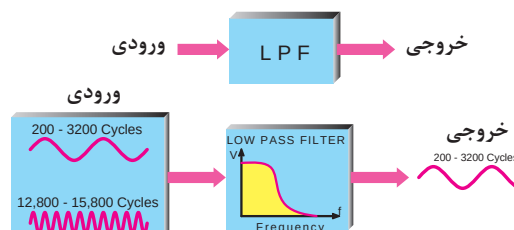
ب) فرکانس قطع فیلتر واقعی

شکل ۸- منحنی پاسخ فرکانسی و فرکانس قطع فیلتر واقعی

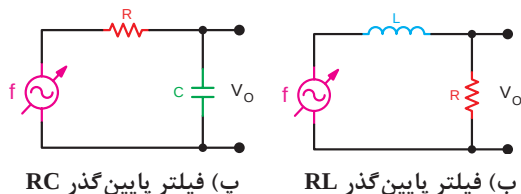
با توجه به رابطه $db = 10 \log \frac{P_o}{P_{in}}$ (بهره توان بر حسب دسی بل) در فرکانس قطع بهره توان را بر حسب دسی بل محاسبه کنید.



شکل ۹- منحنی پاسخ فرکانسی ۴ نوع فیلتر



الف) پاسخ فرکانسی فیلتر پایین گذر



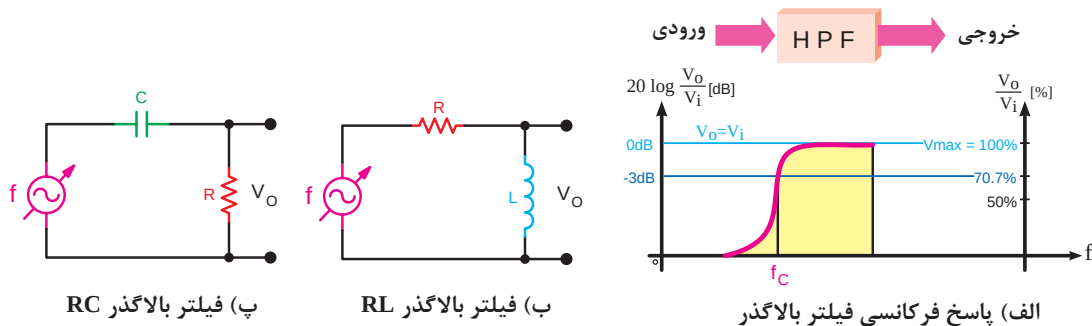
شکل ۱۰- پاسخ فرکانسی و مدار فیلتر پایین گذر

انواع فیلترها از نظر کاربرد

فیلترها از نظر کاربرد به چهار گروه تقسیم بندی می شوند: در شکل ۹ نام چهار گروه فیلتر و منحنی پاسخ فرکانسی هر یک را مشاهده می کنید.

فیلتر پایین گذر (LPF = Low Pass Filter): فیلتر پایین گذر فیلتری است که اجازه می دهد فرکانس هایی از حد صفر تا مقدار معینی، که به عنوان فرکانس قطع مطرح می شود، از خود عبور دهد. در شکل ۱۰- الف پاسخ فرکانسی فیلتر پایین گذر را مشاهده می کنید. در شکل ۱۰- ب و پ دو نوع مدار فیلتر پایین گذر RL و RC ترسیم شده است.

فیلتر بالاگذر (HPF = High Pass Filter): این فیلترها از یک فرکانس معینی به بالا را از خود عبور می دهند. اصول کار و ساختمان فیلترهای بالاگذر مشابه فیلترهای پایین گذر است، با این تفاوت که خروجی فیلتر بالاگذر، از نقطه مشخصی شروع به افزایش می کند. در شکل ۱۱- الف پاسخ فرکانسی این فیلتر را ملاحظه می کنید. در شکل ۱۱- ب مدار فیلتر بالاگذر RL رسم شده است. خروجی این مدار از دو سر سلف (دو سر L) گرفته شده است. در شکل ۱۱- پ مدار فیلتر بالاگذر RC ترسیم شده است. خروجی این مدار برخلاف فیلتر پایین گذر از دو سر مقاومت R گرفته شده است.



شکل ۱۱- پاسخ فرکانسی و مدار فیلتر بالاگذر

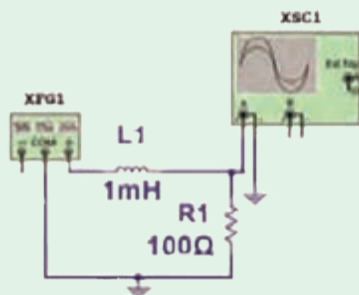
برای محاسبه فرکانس قطع فیلترهای بالاگذر و پایین گذر RL و RC از روابط زیر استفاده کنید.

$$\text{فرکانس قطع فیلتر RL: } F_C = \frac{R}{2\pi L} \quad \text{فرکانس قطع فیلتر RC: } F_C = \frac{1}{2\pi RC}$$

نکته



کار عملی ۱



شکل ۱۲- مدار فیلتر پایین گذر

بررسی پاسخ فرکانسی فیلتر پایین گذر به صورت نرم افزاری
هدف: به دست آوردن فرکانس قطع و منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر پایین گذر
مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم افزار مناسب، لوازم التحریر
مراحل اجرای کار:

- ۱) نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر را فعال کنید.
- ۲) مدار (شکل ۱۲) را در فضای نرم افزار ببندید.
- ۳) سیگنال ژنراتور را روی موج سینوسی و دامنه 10 V_{PK} ولت پیک تنظیم کنید.
- ۴) فرکانس قطع فیلتر را با استفاده از فرمول مربوطه محاسبه و یادداشت نمایید.

$$F_C = \dots\dots\dots \text{HZ}$$

۵) فرکانس موج سینوسی را مطابق جدول ۳ تغییر دهید و دامنه موج خروجی را به کمک اسیلوسکوپ موجود در نرم افزار اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

نکته: برای اندازه گیری دقیق دامنه ولتاژ پیک تا پیک خروجی مدار فیلتر به ازای فرکانس های مختلف می توانید از پروب اندازه گیری (Measurement Probe) استفاده کنید. با اتصال این پروب به هر نقطه از مدار می توانید انواع ولتاژ و جریان را اندازه گیری کنید. این پروب در نوار ابزار نرم افزار وجود دارد.

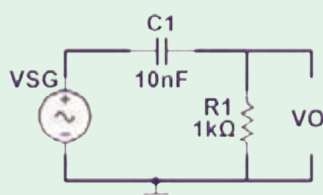
جدول ۳

ردیف	فرکانس (KHZ)	$V_{opp}(V)$
۱	۱	
۲	۵	
۳	۱۰	
۴	f_C	
۵	۲۵	
۶	۵۰	



شکل ۱۳- منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر پایین گذر

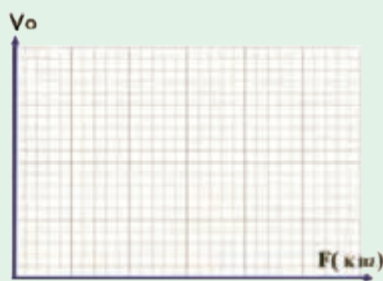
۶ در فرکانس قطع دامنه موج خروجی فیلتر چند درصد دامنه موج ورودی است؟.....
 ۷ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۱۳ رسم کنید روی نمودار فرکانس قطع را مشخص کنید.



شکل ۱۴- مدار فیلتر بالاگذر

جدول ۴

ردیف	فرکانس (KHZ)	$V_{opp}(V)$
۱	۱	
۲	۵	
۳	۱۰	
۴	f_C	
۵	۲۵	
۶	۵۰	



شکل ۱۵- منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر

بررسی پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر با قطعات واقعی (سخت افزاری)
 هدف: به دست آوردن فرکانس قطع و منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر
 مواد، ابزار و تجهیزات: سیگنال ژنراتور یک دستگاه، اسیلوسکوپ یک دستگاه، بردبرد یک قطعه، مقاومت ۱۰۰۰ اهم $\frac{1}{4}$ وات یک عدد، خازن ۱۰ NF یک عدد، سیم‌های رابط، لوازم التحریر

مراحل اجرای کار:

- ۱ مدار (شکل ۱۴) را روی بردبرد ببندید.
- ۲ سیگنال ژنراتور را روی موج سینوسی و دامنه ۴ ولت پیک تا پیک ($4V_{pp}$) تنظیم کنید.
- ۳ فرکانس قطع فیلتر را با استفاده از فرمول $F_C = \frac{1}{2\pi RC}$ محاسبه و یادداشت نمایید.
- ۴ $F_C = \dots\dots\dots$ HZ
- ۵ فرکانس موج سینوسی را مطابق جدول ۴ تغییر دهید و دامنه موج خروجی را توسط اسیلوسکوپ اندازه بگیرید و یادداشت کنید.
- ۶ نکته: در هر مرحله که فرکانس را تغییر می‌دهید دامنه سیگنال ورودی را کنترل کنید تا روی $4V_{pp}$ ثابت باشد.
- ۷ در فرکانس قطع دامنه موج خروجی فیلتر چند درصد دامنه موج ورودی است؟.....
- ۸ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۱۵ رسم کنید روی نمودار فرکانس قطع را مشخص کنید.

کار عملی ۲



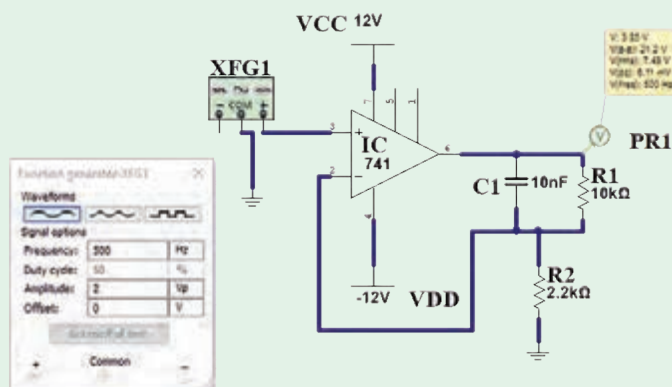
فیلتر فعال (Active Filter): در مدار فیلترهای غیرفعال (Passive) از مقاومت، سلف و خازن استفاده شده است. وجود این قطعات غیرفعال دامنه سیگنال خروجی فیلتر را نسبت به دامنه سیگنال ورودی تضعیف می‌کند. در ساختار فیلترهای فعال از قطعات فعال مانند ترانزیستور، تقویت‌کننده یا OP AMP استفاده می‌شود. وجود این قطعات فعال سبب بهبود عملکرد مدار شده و با تنظیم بهره (Gain) مدار می‌توان سیگنال فیلترشده را به هر اندازه تقویت نمود. وجود تقویت‌کننده‌هایی مانند OP AMP که امپدانس ورودی زیاد و خروجی کم دارند از تأثیر بار بر مدار فیلتر جلوگیری نموده و پاسخ فرکانسی را تیزتر و دقیق‌تر و به فیلتر ایده‌آل نزدیک می‌کند.

کار عملی ۳



بررسی پاسخ فرکانسی فیلتر پایین‌گذر فعال به صورت نرم‌افزاری
هدف: به دست آوردن فرکانس قطع و منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر پایین‌گذر
مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم‌افزار، مناسب، لوازم التحریر
مراحل اجرای کار:

- ۱ نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هر نرم‌افزار مناسب دیگر را فعال کنید.
- ۲ مدار (شکل ۱۶) را در فضای نرم‌افزار ببندید.



شکل ۱۶- مدار فیلتر پایین‌گذر فعال

۳ سیگنال ژنراتور را روی موج سینوسی و دامنه ۲ ولت پیک ($2V_{pk}$) تنظیم کنید.

۴ فرکانس قطع فیلتر را با استفاده از فرمول $F_C = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$ محاسبه و یادداشت نمایید.

$F_C = \dots\dots\dots$ HZ

۵ اگر راکتانس خازن را در فرکانس پایین، زیاد در نظر بگیریم بهره ولتاژ مدار را با استفاده از رابطه

$$A_v = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

محاسبه کنید.

۶ فرکانس موج سینوسی را مطابق جدول ۵ تغییر دهید و دامنه پیک‌تا-پیک موج خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۷ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۱۷ رسم کنید.

۸ روی نمودار فرکانس قطع را مشخص کنید.

۹ چرا با افزایش فرکانس تقویت ولتاژ کاهش می‌یابد؟

جدول ۵

ردیف	فرکانس (HZ)	$V_{OPP}(V)$
۱	۱۰۰	
۲	۵۰۰	
۳	۱۰۰۰	
۴	F_C	
۵	۲۰۰۰	
۶	۵۰۰۰	
۷	۱۰۰۰۰	



شکل ۱۷- منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر پایین گذر

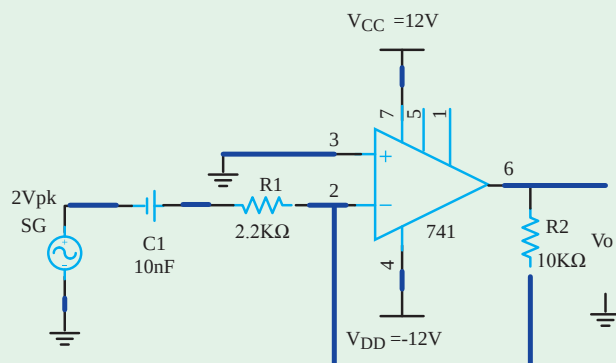
بررسی پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر فعال با قطعات واقعی (به صورت سخت افزاری)

هدف: به دست آوردن فرکانس قطع و منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر فعال

مواد، ابزار و تجهیزات: سیگنال ژنراتور یک دستگاه، اسیلوسکوپ یک دستگاه، منبع تغذیه یک دستگاه، بردبرد یک قطعه، آی سی ۷۴۱ یک عدد، مقاومت ۲/۲ کیلو اهم $\frac{1}{4}$ وات یک عدد، مقاومت ۱۰ کیلو اهم $\frac{1}{4}$ وات یک عدد، خازن ۱۰ NF یک عدد، سیم های رابط، لوازم التحریر

مراحل اجرای کار:

۱ مدار (شکل ۱۸) را روی بردبرد ببندید.



شکل ۱۸- مدار فیلتر بالاگذر فعال

۲ سیگنال ژنراتور را روی موج سینوسی و دامنه ۴ ولت پیک تا پیک ($4V_{pp}$) تنظیم کنید.

۳ فرکانس قطع فیلتر را با استفاده از فرمول $F_C = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$ محاسبه و یادداشت نمایید.

$F_C = \dots\dots\dots$ HZ

۴ فرکانس موج سینوسی را مطابق جدول ۶ تغییر دهید و دامنه موج خروجی را توسط اسیلوسکوپ اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

نکته: در هر مرحله که فرکانس را تغییر می دهید دامنه سیگنال ورودی را کنترل کنید تا روی $4V_{pp}$ ثابت باشد.

کار عملی ۴



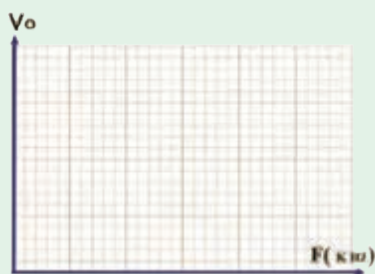
۵ اگر از راکتانس خازن در فرکانس های بالا صرف نظر کنیم بهره ولتاژ مدار را از رابطه $A_v = -\frac{R_2}{R_1}$ محاسبه کنید.

۷ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۱۹ رسم کنید.

۸ روی نمودار فرکانس قطع را مشخص کنید.

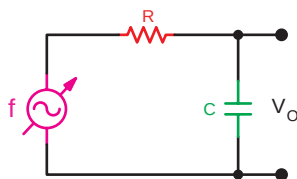
جدول ۶

ردیف	فرکانس (HZ)	$V_{OPP}(V)$
۱	۱۰۰	
۲	۵۰۰	
۳	۱۰۰۰	
۴	F_C	
۵	۲۰۰۰	
۶	۵۰۰۰	
۷	۸۰۰۰	

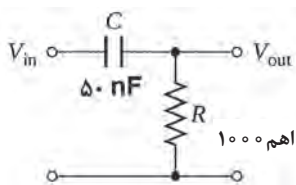


شکل ۱۹- منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر فعال

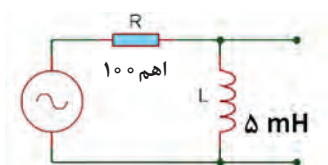
خودارزیابی



شکل ۲۰



شکل ۲۱



شکل ۲۲

۱ فیلتر مکانیکی را با فیلتر الکترونیکی مقایسه کنید.

۲ فیلتر ایده آل و فیلتر واقعی را تعریف کنید و منحنی پاسخ فرکانسی آنها را با هم مقایسه کنید.

۳ فرکانس قطع فیلتر را تعریف کنید و فرمول محاسبه آن را برای فیلتر RC و RL بنویسید.

۴ در فرکانس قطع دامنه ولتاژ خروجی فیلتر برابر 0.707 یا $\frac{1}{\sqrt{2}}$ دامنه ولتاژ ورودی فیلتر است.

☐ غلط ☐ صحیح

۵ فیلتر شکل ۲۰ LPF ☐ HPF ☐ است.

۶ فرکانس قطع فیلتر شکل ۲۱ را محاسبه کنید.

۷ فرکانس قطع فیلتر شکل ۲۲ را محاسبه کنید.

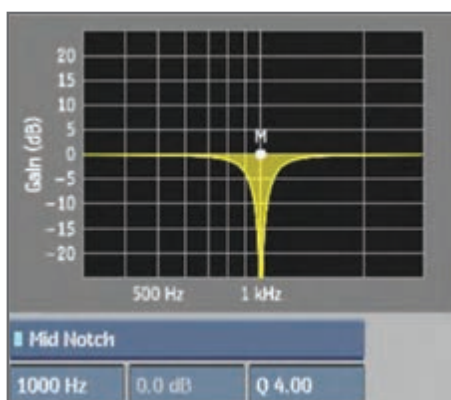
۸ مزایای فیلتر فعال را بنویسید.

فیلترهای میان گذر (BPF=Band Pass Filter)

فیلترهای میان گذر فیلترهایی هستند که اجازه عبور باند فرکانسی معینی را می‌دهند. این فیلترها را فیلترهای عبورباند نیز می‌نامند. در فیلترهای میان گذر از مدارهای ترکیبی مقاومت، سلف و خازن به صورت سری و موازی استفاده می‌شود.

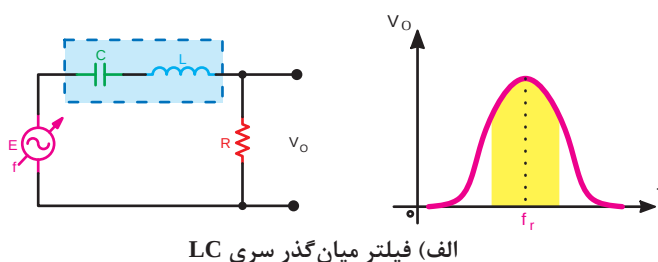
فیلترهای حذف باند (BRF=BSF) Band Reject Filter = Band Stop Filter

فیلترهای حذف باند فیلترهایی هستند که باند معینی از فرکانس را حذف می‌کنند. این فیلترها از نظر چگونگی عملکرد، مشابه فیلترهای میان گذرند. با این تفاوت که باند خروجی آنها باهم متفاوت است. یکی دیگر از انواع فیلتر حذف باند Notch filter است. این فیلتر فقط یک فرکانس خاص و محدوده بسیار باریک را حذف می‌کند. مثلاً برای حذف فرکانس مزاحم مانند نویز برق شهر یا فرکانس مزاحم درسیگنال، لذا پهنای باندی که Notch filter حذف می‌کند بسیار کم تر از پهنای باند فیلتر حذف باند است. در شکل ۲۳ منحنی پاسخ فرکانسی این فیلتر را مشاهده می‌کنید.

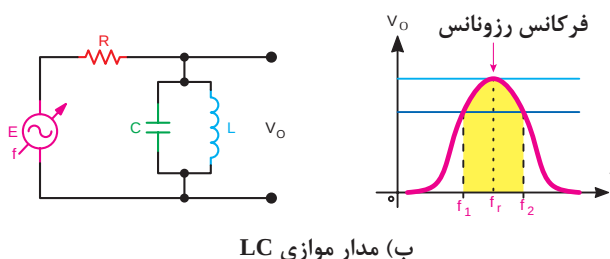


شکل ۲۳- منحنی پاسخ فرکانسی Notchfilter

انواع فیلترهای میان گذر و حذف باند: همان طور که اشاره شد فیلترهای میان گذر از نظر قطعاتی که در مدار وجود دارد باهم مشابه هستند، یعنی در هر دو نوع فیلتر از مقاومت، سلف و خازن استفاده می‌شود. در شکل ۲۴ دو نوع فیلتر میان گذر را ملاحظه می‌کنید که در آنها از مدارهای LC سری و LC موازی استفاده شده است.

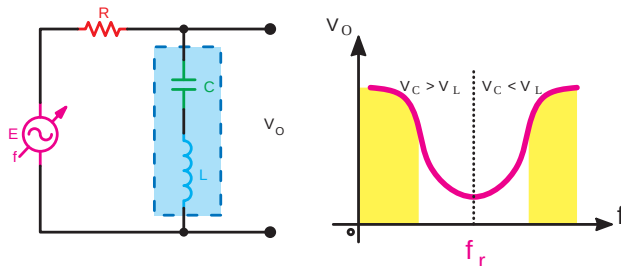


الف) فیلتر میان گذر سری LC



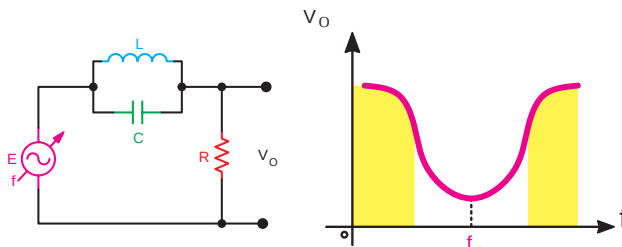
ب) مدار موازی LC

شکل ۲۴- مدارهای فیلتر میان گذر و منحنی پاسخ فرکانسی آنها



الف مدار سری LC

در شکل ۲۵ دو نمونه فیلتر حذف باند (میان‌گذر) را مشاهده می‌کنید که از مدارهای LC سری و LC موازی استفاده شده است.



ب) مدار موازی LC

شکل ۲۵- مدارهای فیلتر حذف باند

جدول ۷

Circuit	Acts at	
	low frequency	high frequency
Input: (A)		
Input: (B)		
Input: (C)		
Input: (D)		

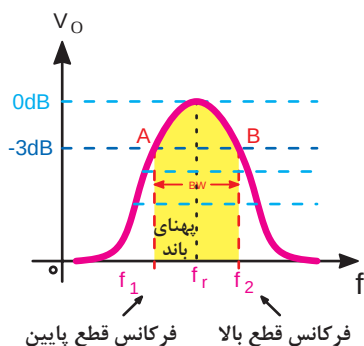
باتوجه به مقاومت سلف در فرکانس کار (راکتانس سلفی) که برابر $X_L = 2\pi fL$ است و مقاومت خازنی (راکتانس خازنی) که برابر $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ است، جدول ۷ را مورد بررسی قرار دهید. راکتانس کم را در حالت ایده‌آل صفر و راکتانس زیاد را در حالت ایده‌آل مدار باز در نظر بگیرید.

تمرین



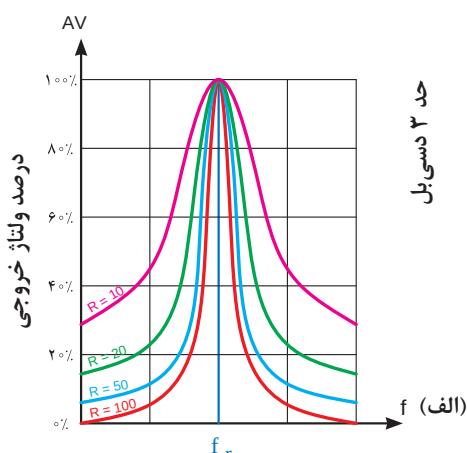
■ مشخصه‌های فیلتر میان‌گذر

به‌طور کلی برای فیلترهای میان‌گذر سه مشخصه فرکانس رزونانس، پهنای باند و ضریب کیفیت تعریف می‌شود. **الف) فرکانس رزونانس (Resonance Frequency):** فرکانس رزونانس فیلترهای میان‌گذر از رابطه
$$F_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$
 قابل محاسبه است. در این فرکانس دامنه ولتاژ خروجی به حداکثر مقدار خود می‌رسد.



فرکانس قطع بالا فرکانس قطع پایین

شکل ۲۶- پهنای باند فیلتر میان گذر



شکل ۲۷- پهنای باند فیلتر میان گذر با مقدار Q متفاوت

ب) پهنای باند فیلتر (BW=Band width): پهنای باند فیلتر میان گذر فاصله بین فرکانس های قطع بالا و قطع پایین است. پهنای باند از رابطه $BW = F_H - F_L$ به دست می آید (شکل ۲۶).

ضریب کیفیت Q (Quality Factor): این ضریب میزان تیزی منحنی مشخصه و پهنای باند را تعیین

می کند و مقدار آن از رابطه $Q = \frac{F_R}{BW}$ به دست می آید. هر قدر ضریب کیفیت (Q) کم تر شود پهنای باند بیش تر می شود. در شکل ۲۷ منحنی پاسخ فرکانسی مدار رزونانس موازی با یک فرکانس رزونانس و مقدار Q متفاوت رسم شده است. مقدار Q مدار رزونانس بستگی به مقدار مقاومت اهمی مدار دارد. در این شکل محور افقی بر حسب فرکانس و محور قائم بر حسب بهره ولتاژ درجه بندی شده است.

کار عملی ۵



بررسی پاسخ فرکانسی فیلتر حذف باند به صورت نرم افزاری

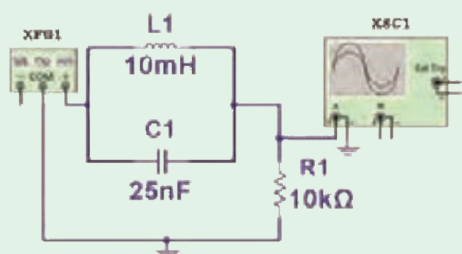
هدف: به دست آوردن فرکانس رزونانس و منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر حذف باند مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم افزار مناسب، لوازم التحریر

مراحل اجرای کار:

- ۱ نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر را فعال کنید.
- ۲ مدار شکل ۲۸ را در فضای نرم افزار ببندید.
- ۳ سیگنال ژنراتور را روی موج سینوسی و دامنه ۵ ولت پیک (۵V_{pk}) تنظیم کنید.

- ۴ فرکانس رزونانس فیلتر را با استفاده از رابطه $F_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ محاسبه و یادداشت کنید.

$$FR = \dots\dots\dots \text{ HZ}$$



شکل ۲۸- مدار فیلتر حذف باند

۵ فرکانس موج سینوسی را مطابق جدول ۸ تغییر دهید و دامنه موج خروجی را به کمک اسیلوسکوپ نرم افزار اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۶ آیا در فرکانس رزونانس دامنه موج خروجی فیلتر کمترین مقدار را دارد؟

۷ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۲۹ رسم کنید. روی منحنی، فرکانس رزونانس و فرکانس های قطع را مشخص کنید.

جدول ۸

ردیف	فرکانس (KHZ)	$V_{opp}(V)$
۱	۱	
۲	۵	
۳	۸	
۴	f_r	
۵	۱۵	
۶	۲۰	



بررسی پاسخ فرکانسی فیلتر میان گذر با قطعات واقعی

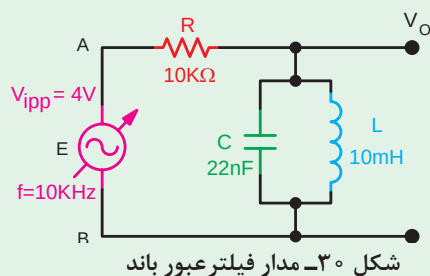
هدف: به دست آوردن فرکانس رزونانس و منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر میان گذر

مواد، ابزار و تجهیزات: سیگنال ژنراتور یک دستگاه، اسیلوسکوپ یک دستگاه، برد برد یک قطعه، مقاومت ۱۰ کیلو اهم $\frac{1}{4}$ وات یک عدد، سلف ۱۰ mH یک عدد، خازن ۲۲ nF یک عدد، سیم برد برد، سیم های رابط، لوازم التحریر

مراحل اجرای کار:

۱ مدار شکل ۳۰ را روی برد برد ببندید.

۲ سیگنال ژنراتور را روی موج سینوسی و دامنه ۴ ولت پیک تا پیک ($4V_{pp}$) تنظیم کنید.



۳ فرکانس رزونانس فیلتر را با استفاده از رابطه $F_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ محاسبه و یادداشت نمایید.

$F_R = \dots\dots\dots$ HZ

۴ فرکانس موج سینوسی را مطابق جدول ۹ تغییر دهید و دامنه موج خروجی را توسط اسیلوسکوپ اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

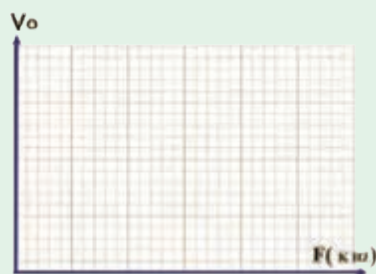
نکته: در هر مرحله که فرکانس را تغییر می دهید دامنه سیگنال ورودی را کنترل کنید تا روی $4V_{pp}$ ثابت باشد.



- ۵ آیا در فرکانس رزونانس دامنه موج خروجی فیلتر بیشترین مقدار را دارد؟
- ۶ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۳۱ رسم کنید. روی منحنی، فرکانس رزونانس و فرکانس‌های قطع را مشخص کنید.

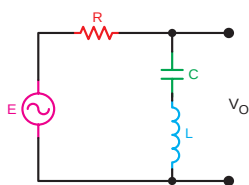
جدول ۹

ردیف	فرکانس (KHZ)	$V_{opp}(V)$
۱	۱	
۲	۵	
۳	۸	
۴	f_r	
۵	۱۵	
۶	۲۰	

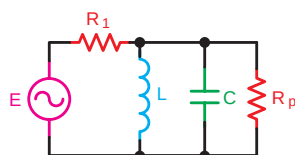


شکل ۳۱- منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر عبور باند

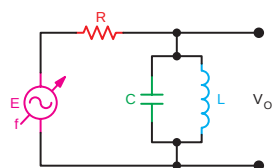
خودارزیابی



شکل ۳۲



شکل ۳۳



شکل ۳۴

- ۱ فیلتر شکل ۳۲ از نوع باند با مدار رزونانس است.

- ۱ عبور، موازی
۲ حذف، سری
۳ حذف، موازی
۴ عبور، سری

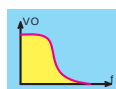
- ۲ فیلتر شکل ۳۳ از نوع باند با مدار رزونانس است.

- ۱ عبور، موازی
۲ حذف، سری
۳ حذف، موازی
۴ عبور، سری

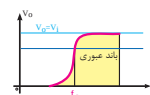
- ۳ دو نمونه فیلتر با مدار رزونانس سری رسم کنید و طرز کار هریک را بنویسید.

- ۴ دو نمونه فیلتر با مدار رزونانس موازی رسم کنید و عملکرد آنها را شرح دهید.

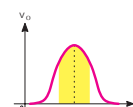
- ۵ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر شکل ۳۴ کدام گزینه است؟



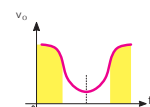
(۲)



(۱)



(۴)



(۳)

نوسان سازها مدارهای ویژه‌ای هستند که کاربرد نسبتاً گسترده‌ای در مدارهای مخابراتی دارند. بدون نوسان سازها ارسال و دریافت پیام‌های رادیویی امکان پذیر نیست. نوسان سازها یا مولدهای شکل موج، در دستگاه‌هایی نظیر مولتی مترهای دیجیتالی، اسیلوسکوپ، گیرنده و فرستنده‌های رادیویی، رایانه‌ها، تایمرها و ماشین حساب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. لذا می‌توان گفت نوسان ساز یکی از اجزای اساسی دستگاه‌های الکترونیکی است.

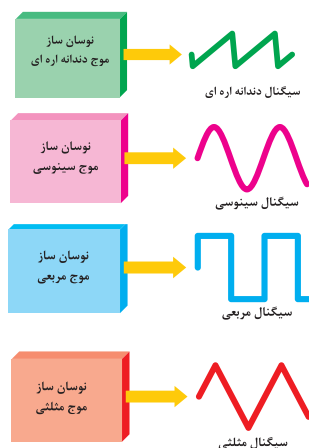
تعریف نوسان ساز



شکل ۳۵- نقشه بلوکی مدار نوسان ساز

نوسان ساز، مداری است که بدون اعمال سیگنال متناوب به ورودی آن، در خروجی، سیگنال متناوب تولید کند. شکل ۳۵ نقشه بلوکی (بلوک دیاگرام) نوسان ساز سینوسی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید به مدار الکترونیکی نوسان ساز، ولتاژ DC داده می‌شود و مدار نوسان ساز ولتاژ DC را به ولتاژ متناوب سینوسی تبدیل می‌کند. نوسان ساز ترجمه کلمه Oscillator است.

انواع نوسان ساز از نظر شکل موج تولیدی



شکل ۳۶- انواع نوسان ساز با توجه به شکل موج تولیدی

نوسان سازها می‌توانند انواع شکل موج‌ها را به وجود آورند. در شکل ۳۶ چهار نمونه نوسان ساز به صورت بلوک دیاگرام و شکل موج خروجی آنها ترسیم شده است. این نوسان سازها شامل نوسان سازهای موج سینوسی مربعی، دندانه اریه‌ای و مثلثی است.

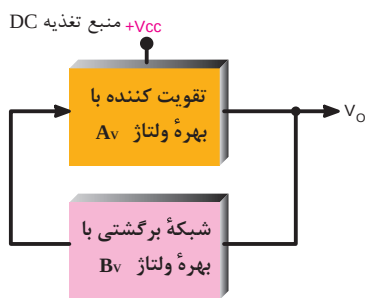
اصول کار مدارهای نوسان ساز: نوسان سازها از یک طبقه تقویت کننده و طبقه‌ای به نام شبکه برگشتی یا فیدبک (Feed Back) تشکیل شده‌اند. شبکه برگشتی بخشی از سیگنال خروجی تقویت کننده را به ورودی تقویت کننده برگشت می‌دهد. شکل ۳۷ بلوک دیاگرام کلی نوسان ساز را نشان می‌دهد. هر مدار نوسان ساز نیاز به مدار تولید نوسان دارد که غالباً در شبکه برگشتی یا فیدبک گنجانده می‌شود.

نیازهای اولیه برای نوسان سازی

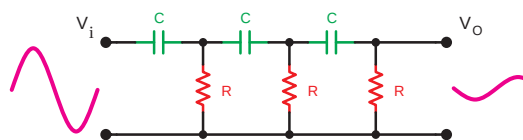
در کلیه نوسان سازها باید شرایط و عوامل زیر وجود داشته باشد تا مدار به نوسان درآید.

منبع انرژی: منبع انرژی می‌تواند منبع تغذیه، باتری شیمیایی یا باتری نوری باشد.

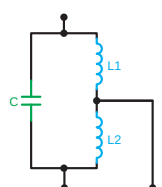
مدار تعیین کننده فرکانس: این مدار معمولاً یک مدار رزونانس LC، مدار RC یا مدارهایی با مشخصات ویژه است.



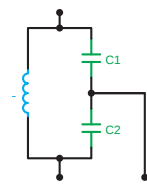
شکل ۳۷- بلوک دیاگرام کلی نوسان ساز



الف) مدار رزونانس RC

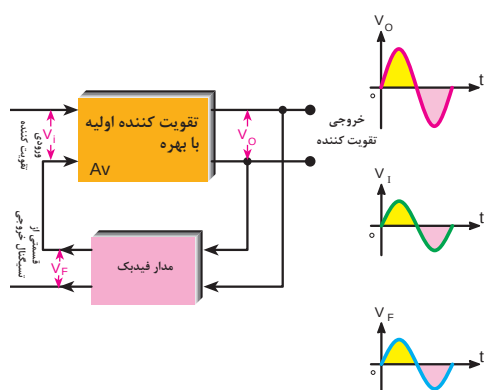


پ) مدار رزونانس LC

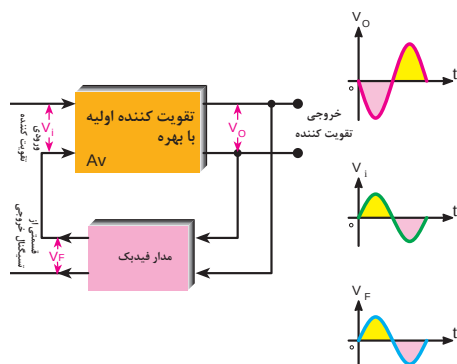


ب) مدار رزونانس LC

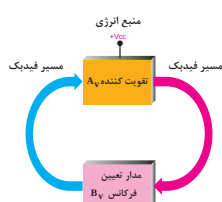
شکل ۳۸ - مدارهای رزونانس RC و LC



شکل ۳۹ - ایجاد فیدبک مثبت توسط شبکه برگشتی



شکل ۴۰ - ایجاد فیدبک مثبت توسط شبکه برگشتی



شکل ۴۱ - بخش‌های مورد نیاز برای نوسان‌سازی

نوسان‌های اولیه برای شروع نوسان‌سازی، در این مدارها تولید می‌شود. شکل‌های ۳۸-الف، ب و پ مدار تعیین فرکانس RC و LC را نشان می‌دهد.

تقویت‌کننده: مدار تقویت‌کننده معمولاً یکی از انواع تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری یا IC است. سیگنال‌های اولیه تولید شده توسط مدار تعیین‌کننده فرکانس به وسیله مدار تقویت‌کننده تقویت می‌شود.

■ مدار فیدبک یا بازخورد (Feedback)

فیدبک به مفهوم انتقال بخشی از سیگنال خروجی به ورودی مدار است. در نوسان‌سازها قسمتی از سیگنال خروجی طوری به ورودی منتقل می‌شود که با آن هم‌فاز باشد. در این حالت فیدبک را مثبت (Positive Feedback) می‌نامند. در صورتی که سیگنال برگشتی با سیگنال ورودی ۱۸۰ درجه اختلاف فاز داشته باشد به آن فیدبک منفی (Negative Feedback) گویند. شکل ۳۹ فیدبک مثبت را نشان می‌دهد. در این حالت سیگنال خروجی مدار فیدبک با سیگنال ورودی تقویت‌کننده هم‌فاز است. در شکل ۳۹ بین ورودی و خروجی تقویت‌کننده هیچ اختلاف فازی وجود ندارد. مدار فیدبک سیگنال خروجی را بدون اختلاف فاز به ورودی تقویت‌کننده برگشت می‌دهد.

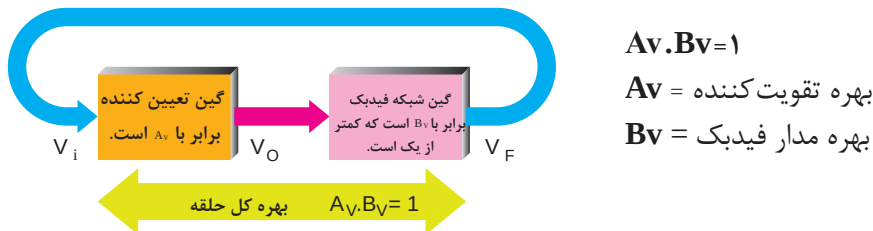
در شکل ۴۰ سیگنال ورودی با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز در خروجی و به صورت تقویت شده ظاهر می‌شود. در این حالت مدار فیدبک در سیگنال خروجی ۱۸۰ درجه اختلاف فاز ایجاد می‌کند تا سیگنال برگشتی با سیگنال ورودی تقویت‌کننده هم‌فاز شود.

■ ایجاد نوسان اولیه

نوسان‌های اولیه برای نوسان‌سازی به وسیله مدار تعیین‌کننده فرکانس تولید می‌شود. این نوسان‌ها توسط مدار تقویت‌کننده تقویت می‌شود و سپس از طریق مدار فیدبک به ورودی انتقال می‌یابد. اگر فیدبک مثبت باشد نوسان‌ها تداوم می‌یابد و پایدار می‌شود. در شکل ۴۱ بخش‌های مورد نیاز جهت نوسان‌سازی به صورت بلوک دیاگرام ترسیم شده است.

اصل بارک هاوزن (Barkhausen Criterion)

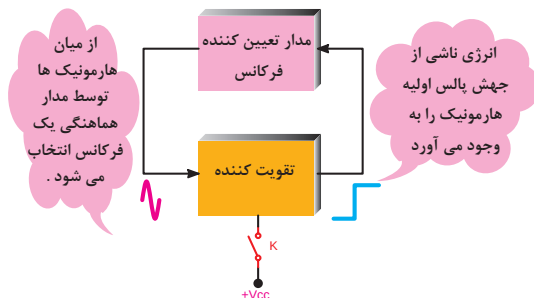
بنابر اصل بارک هاوزن، زمانی نوسان‌های یک نوسان‌ساز پایدار می‌شود که حاصل ضرب بهره ولتاژ تقویت‌کننده (A_V) در ضریب بهره ولتاژ مدار فیدبک (B_V) برابر یک شود. تنها در این شرایط است که مدار دارای نوسان پایدار می‌شود. در شکل ۴۲ مفهوم اصل بارک هاوزن نشان داده شده است. با توجه به این اصل همواره باید بهره کل سامانه برابر با یک باشد تا نوسان‌های مدار تداوم یابد.



شکل ۴۲- بررسی اصل بارک هاوزن

معمولاً مدار فیدبک سیگنال را ضعیف می‌کند، درواقع ضریب بهره مدار فیدبک عددی کوچک‌تر از یک مثلاً $B_V = \frac{1}{10}$ است. اصل بارک هاوزن زمانی برقرار می‌شود که $A_V = 10$ و $A_V \times B_V = 10 \times \frac{1}{10} = 1$ شود. برای تولید نوسان پایدار در مدار باید سه شرط $A_V \times B_V = 1$ و فیدبک مثبت و مدار تولیدکننده نوسان وجود داشته باشد.

نکته



الف) مرحله روشن شدن دستگاه یا زدن کلید K

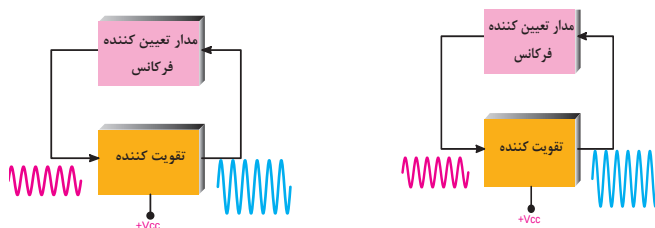
یک اسیلاتور چگونه به نوسان در می‌آید؟

در شکل ۴۳ سه مرحله از تولید نوسان‌ها در نوسان‌ساز نشان داده شده است. این سه مرحله به ترتیب عبارت‌اند از:

الف) مرحله شروع کار یعنی روشن کردن دستگاه از طریق فعال کردن کلید

ب) تولید سیگنال اولیه

پ) مرحله پایدار شدن نوسان‌ها

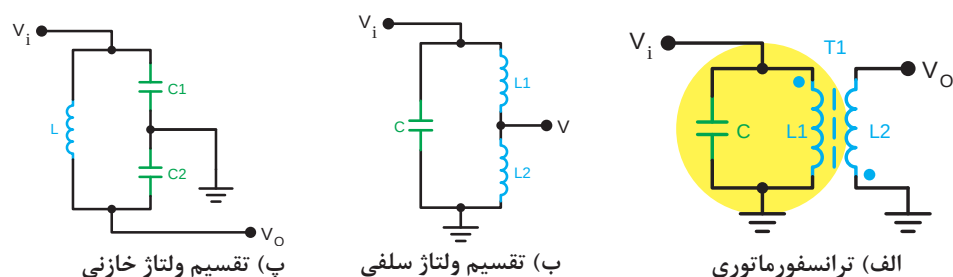


ب) سیگنال اولیه ساخته می‌شود. پ) نوسانات پایدار می‌شود (موج سینوسی).

شکل ۴۳- مراحل تولید نوسان

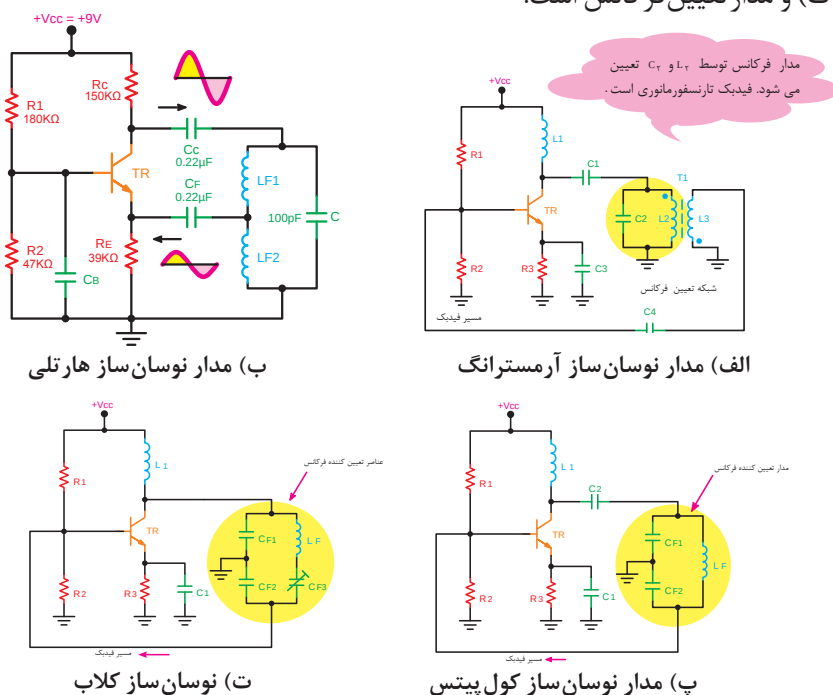
انواع نوسان سازهای سینوسی

همان طور که اشاره شده مدارهای نوسان ساز از نظر نوع مدار تعیین کننده فرکانس به دودسته RC و LC تقسیم بندی می شوند. در مدارهای LC مدار تعیین کننده فرکانس، یک مدار هماهنگی موازی LC است. چون این مدار انرژی را در خود ذخیره می کند، آن را مدار تانک (Tank) می نامند. در مدارهای RC مدار تعیین کننده فرکانس یک مدار ترکیبی RC است. چون نوسان ساز LC بیشتر در فرستنده ها و گیرنده های رادیویی به کار می رود، در این پودمان به تشریح نوسان ساز با شبکه تولید فرکانس LC می پردازیم و سپس چند نمونه نوسان ساز RC را تشریح می نماییم. در شکل های ۴۴- الف - ب - پ انواع شبکه های تعیین فرکانس و فیدبک LC نشان داده شده است.



شکل ۴۴- شبکه های تعیین فرکانس LC

مدار چند نمونه نوسان ساز LC: در شکل ۴۵ مدار چهار نمونه نوسان ساز را مشاهده می کنید. در همه این مدارها تقویت کننده به صورت بایاس سرخود رسم شده است. تفاوت مدارها در نوع آرایش ترانزیستور (امیتر مشترک یا بیس مشترک) و مدار تعیین فرکانس است.



شکل ۴۵- انواع نوسان سازهای LC و نام آنها



باتوجه به شکل ۴۵ جدول شماره ۱۰ را کامل کنید.

جدول ۱۰

ردیف	نام نوسان ساز	شماره فنی قطعات تعیین کننده فرکانس
۱	آرمسترانگ	
۲	هارتلی	
۳	کول پیتس	
۴	کلاپ	



باتوجه به شکل ۴۵ جدول شماره ۱۱ را کامل کنید.

جدول ۱۱

ردیف	مشخصه ویژه نوسان ساز	نام نوسان ساز	نوع آرایش ترانزیستور
۱	استفاده از تقسیم کننده ولتاژ خازنی در مدار فیدبک		
۲	استفاده از تقسیم کننده ولتاژ سلفی در مدار فیدبک		
۳	استفاده از ترانسفورماتور در مدار فیدبک		
۴	استفاده از تقسیم کننده ولتاژ خازنی با خازن سری با سیم پیچ در مدار تانک		



بررسی مدار نوسان ساز LC با قطعات واقعی

هدف: راه اندازی مدار نوسان ساز LC و به دست آوردن فرکانس مدار

مواد، ابزار و تجهیزات: اسیلوسکوپ یک دستگاه، منبع تغذیه یک دستگاه، بردبرد یک قطعه، مقاومت ۱۲۰ کیلو اهم، ۳۳ کیلو اهم، ۴۷ کیلو اهم، ۱۵۰ کیلو اهم، $\frac{1}{4}$ وات از هر کدام یک عدد، سلف $300 \mu H$ یک عدد، خازن $680 PF$ ، $330 PF$ ، $220 PF$ از هر کدام یک عدد، ترانزیستور معمولی برای کاربرد عمومی (General purpose) با بتای ۷۵ تا ۱۲۰ مانند BC۳۳۷، ۲SC۹۴۵ یا هر نوع ترانزیستور عمومی دیگر با β بالای ۱۲۰، سیم بردبرد، سیم های رابط، لوازم التحریر

مراحل اجرای کار:

۱) مدار شکل ۴۶ را روی بردبرد ببندید.

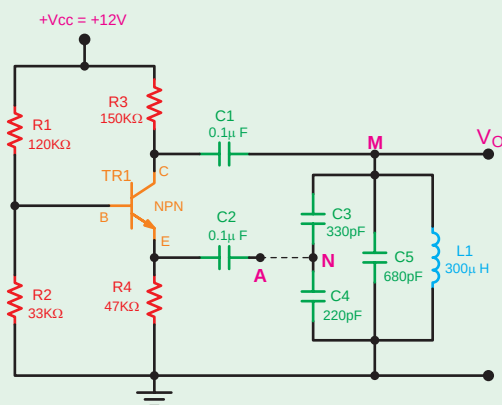
۲) قبل از اتصال نقطه A به N منبع تغذیه را به مدار وصل کنید و ولتاژ پایه های ترانزیستور را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$V_B =$

$V_E =$

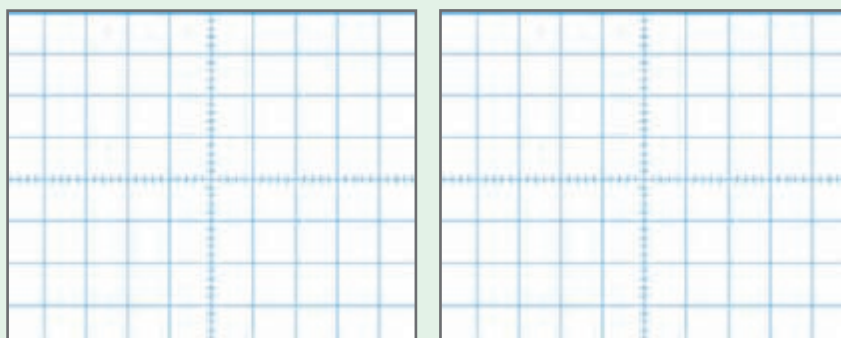
$V_{BE} =$

$V_{CE} =$



شکل ۴۶- نوسان سازهای LC کول پیتس

- ۳ اتصال بین A و N را برقرار کنید و مدار را راه اندازی کنید.
- ۴ به وسیله اسیلوسکوپ شکل موج نقاط M و N را با توجه به فاز آنها در نمودارهای شکل ۴۷ رسم کنید.
- ۵ آیا ولتاژ ورودی و خروجی مدار تعیین فرکانس با هم هم فاز هستند؟ شرح دهید.
- ۶ مقدار فرکانس و دامنه پیک تا پیک سیگنال ورودی و خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.



ب) شکل موج نقطه N

الف) شکل موج نقطه M

شکل ۴۷

$$\frac{\text{Time}}{\text{Div}} =$$

$$\frac{\text{Volt}}{\text{Div}} =$$

$$\frac{\text{Time}}{\text{Div}} =$$

$$\frac{\text{Volt}}{\text{Div}} =$$

$$T =$$

$$F =$$

$$T =$$

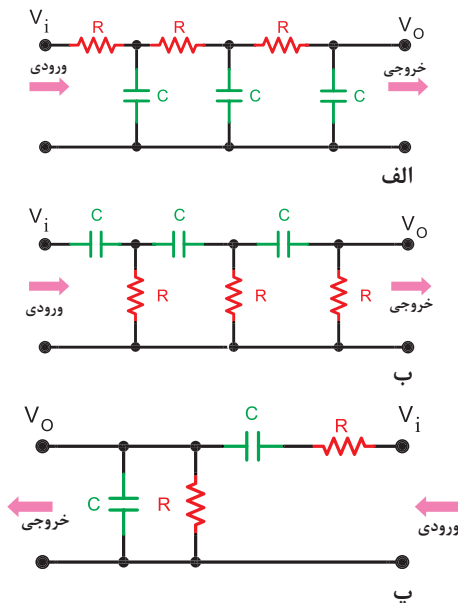
$$F =$$

$$V_{pp} =$$

$$V_{pp} =$$

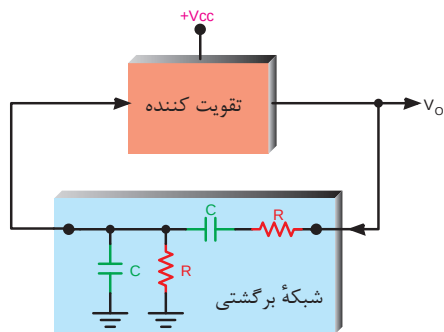
نوسان ساز RC

در این نوسان ساز مانند نوسان سازهای LC دو جزء تقویت کننده و مدار برگشتی وجود دارد. در این نوسان سازها مدار برگشتی معمولاً از R و C تشکیل می شود. در نوسان ساز RC مانند سایر نوسان سازها لازم است دو شرط اصلی ایجاد نوسان یعنی اصل بارک هاوزن و فیدبک مثبت برقرار شود تا مدار بتواند نوسان های پایدار را



شکل ۴۸- چند نمونه شبکه فیدبک نوسان ساز RC

را ایجاد کند. شکل های ۴۸- الف - ب - پ آرایش های مختلف شبکه RC را نشان می دهد. این نوسان سازها برای تولید فرکانس های تا حدود ۱۰۰ KHz مناسب هستند.



شکل ۴۹- نوسان ساز RC پل وین

نوسان ساز پل وین (Wein Bridge Oscillator):

نوسان ساز پل وین یک مولد سیگنال سینوسی با اعوجاج کم است. مدار این نوسان ساز از یک تقویت کننده و شبکه برگشتی RC تشکیل می شود. شکل ۴۹ نقشه بلوکی تقویت کننده و شبکه برگشتی نوسان ساز و رابطه محاسبه فرکانس آن را نشان می دهد.

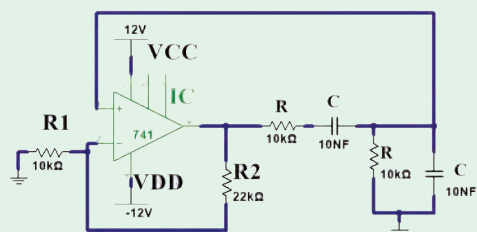
$$F = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$AV = +3$$

$$\Phi = 0$$

اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و خروجی تقویت کننده صفر درجه

کار عملی ۸



شکل ۵۰- نوسان ساز RC پل وین

بررسی مدار نوسان ساز پل وین به صورت نرم افزاری

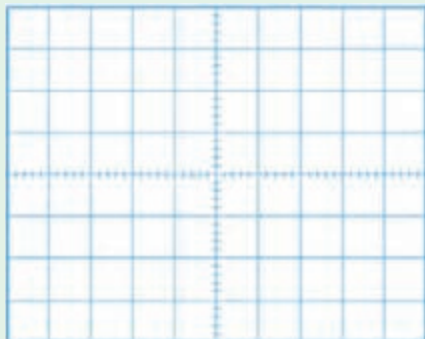
هدف: راه اندازی مدار نوسان ساز پل وین و به دست آوردن فرکانس مدار

مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم افزار مناسب، لوازم التحریر

مراحل اجرای کار:

۱ نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر را فعال کنید.

۲ مدار شکل ۵۰ را در فضای نرم افزار ببندید.



شکل ۵۱- شکل موج ورودی و خروجی

۳ فرکانس نوسان را با استفاده از رابطه $F = \frac{1}{2\pi RC}$ محاسبه و یادداشت کنید.

FR=..... HZ

۴ اسیلوسکوپ را به ورودی و خروجی تقویت کننده وصل کنید و مدار را راه اندازی کنید.

۵ پس از ایجاد نوسان پایدار شکل موج ورودی و خروجی تقویت کننده را در نمودار شکل ۵۱ رسم کنید. اگر بهره ولتاژ مدار تنظیم نیست پتانسیومتر ۵ کیلو اهم را با مقاومت R_p سری کنید و بهره را تنظیم کنید تا مدار به نوسان در آید.

۶ اطلاعات خواسته شده را به دست آورده و یادداشت کنید.

$$\frac{\text{Time}}{\text{Div}} =$$

T=

$$V_{PP\text{OUT}} =$$

$$\frac{V_{OUTPP}}{V_{INPP}} = AV$$

$$\frac{\text{Volt}}{\text{Div}} =$$

F=

$$\frac{\text{Time}}{\text{Div}} =$$

T=

$$V_{PP\text{IN}} =$$

$$\frac{\text{Volt}}{\text{Div}} =$$

F=

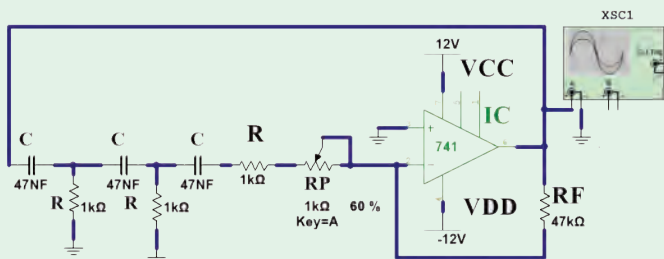
۷ بهره ولتاژ تقویت کننده را محاسبه کنید.

۸ اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و خروجی تقویت کننده را از روی شکل موج ها به دست آورید.

بررسی مدار نوسان ساز RC انتقال فاز به صورت نرم افزاری
هدف: راه اندازی مدار نوسان ساز RC و به دست آوردن فرکانس مدار
مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم افزار مناسب، لوازم التحریر
مراحل اجرای کار:

۱ نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر را فعال کنید.

۲ مدار (شکل ۵۲) را در فضای نرم افزار ببندید.



شکل ۵۲- نوسان ساز RC

کار عملی ۹



۳ تغذیه متقارن را به مدار وصل کنید و مدار را راه اندازی کنید.

۴ با تغییر سر متغیر پتانسیومتر، بهره ولتاژ تقویت کننده را تنظیم کنید تا مدار به نوسان درآید.

توجه : اسیلوسکوپ نرم افزار را فعال کنید و تا ایجاد نوسان پایدار دقایقی صبر کنید. مقادیر $\frac{V_{olt}}{Div}$ و $\frac{Time}{Div}$ را به درستی تنظیم کنید تا ۲ تا ۳ سیکل از موج به صورت پایدار روی صفحه آن ظاهر شود.

۵ شکل موج تولید شده را در نمودار شکل ۵۳ رسم کنید.

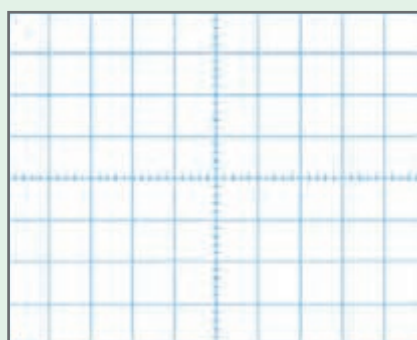
۶ زمان تناوب موج را اندازه بگیرید و فرکانس آن را محاسبه و یادداشت کنید.

۷ سر متغیر پتانسیومتر را تغییر دهید. آیا مدار از نوسان می ایستد؟ شرح دهید.

$$\frac{Time}{Div} = T =$$

$$\frac{V_{olt}}{Div} = F =$$

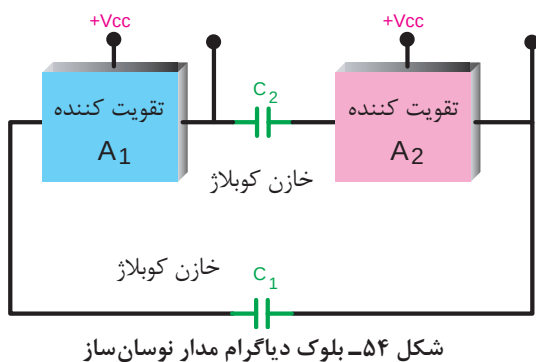
$$V_{PP} =$$



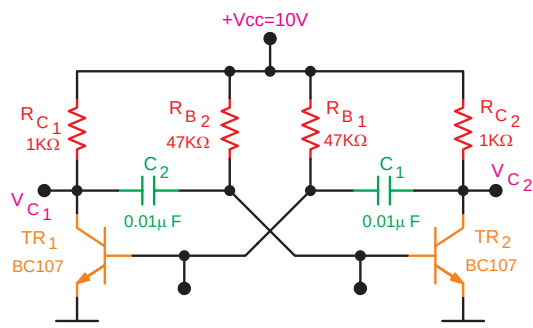
شکل ۵۳

■ نوسان ساز موج مربعی

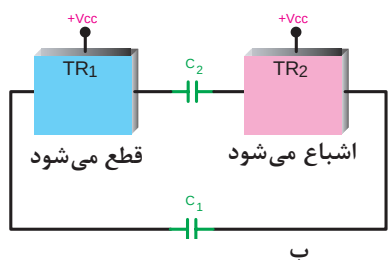
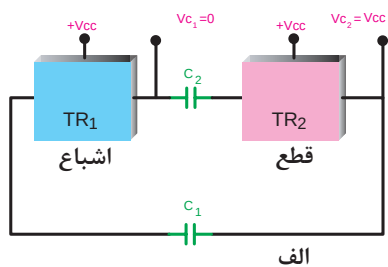
یک نمونه نوسان ساز موج مربعی مولتی ویراتور آستابل نام دارد. این نوسان ساز شامل دوطبقه تقویت کننده است که خروجی هریک به ورودی دیگری با کوپلاژ خازنی متصل شده است. (در شکل ۵۴ این نوسان ساز به صورت بلوکی نشان داده شده است. در شکل ۵۵ مدار یک نمونه مولتی ویراتور آستابل رسم شده است).



شکل ۵۴- بلوک دیگرام مدار نوسان ساز



شکل ۵۵- مدار مولتی ویراتور آستابل



شکل ۵۶- وضعیت تقویت کننده ها در حالت قطع و اشباع



شکل ۵۷- آی سی ۵۵۵ NE



شکل ۵۸- آی سی ۵۵۵ NE



شکل ۵۹- آی سی ۵۵۵ NE

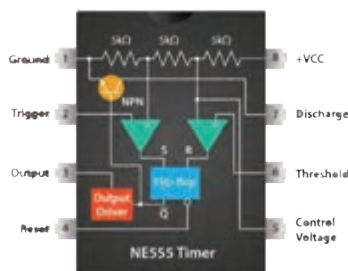


شکل ۶۱- نقشه بلوکی و پایه های آی سی ۵۵۵

هنگامی که یک تقویت کننده در حالت اشباع قرار دارد تقویت کننده دیگر به قطع می رود. وضعیت قطع و اشباع تقویت کننده ها دوام چندانی ندارد و پس از مدتی، وضعیت عوض می شود. شکل های ۵۶، الف و ب این دو حالت را نشان می دهد.

آی سی زمان سنج ۵۵۵ NE: تراشه زمان سنج ۵۵۵ به خاطر استفاده آسان و قیمت پایین آن در حد وسیعی در مدارهای الکترونیکی مورد استفاده قرار می گیرد. این آی سی در مدارهای اسیلاتور و تولید پالس به کار می رود. آی سی می تواند به عنوان تأخیر دهنده زمانی در یک مدار زمان سنج و یا به عنوان یک مدار نوسانگر استفاده شود. در شکل ۵۷ تصویر ظاهری آی سی ۵۵۵ NE را مشاهده می کنید. انواع دیگر این آی سی با شماره ۵۵۶، ۵۵۸ و ۵۵۹ نیز در بازار موجود است. معمولاً در این آی سی ها ۲ یا ۴ عدد آی سی ۵۵۵ قرار دارد و بسته بندی آن ۱۴ پایه یا ۱۶ پایه است. شکل ۵۸ تصویر ظاهری آی سی ۵۵۶ را نشان می دهد. در شکل ۵۹ یک نمونه آی سی ۵۵۸ را ملاحظه می کنید.

قطعات NE555 از نوع تجاری درجه حرارت با عملکرد صفر درجه تا ۷۰ درجه سانتی گراد و SE ۵۵۵ برای استفاده نظامی در دمای کاری بین ۵۵- تا ۱۲۵+ درجه سانتی گراد ساخته شده اند. این آی سی ها در بسته فلزی با قابلیت اطمینان بالا (بسته بندی نوع T) و بسته بندی ارزان پلاستیک اپوکسی (بسته بندی نوع V) تولید می شوند. بنابراین نام این آی سی ها به صورت NE ۵۵۵ V، NE ۵۵۵ T می شوند. بنابراین نام این آی سی ها به صورت NE ۵۵۵ T و SE ۵۵۵ T نوشته می شود. انواع دیگری از آی سی های ۵۵۵ با شماره ۷۵۵۵ و TLC ۵۵۵ نیز ساخته شده اند که توان کمتری دارند، این قطعات در مقایسه با آی سی ۵۵۵ قدیمی نویز کمتری به منبع تغذیه وارد می کنند. شکل ۶۰ یک نمونه آی سی TLC ۵۵۵ را نشان می دهد. نقشه بلوکی و ترتیب پایه ها و مشخصات پایه های آی سی ۵۵۵ در شکل ۶۱ نشان داده شده است.



شکل ۶۰- آی سی ۵۵۵

در جدول ۱۲ برخی مشخصات الکتریکی آی سی ۵۵۵ آورده شده است.

جدول ۱۲

Electrical Characteristics							
TA= ۲۵ □ VCC =							
Parameter	Conditions			Limits			Units
				LM۵۵۵C			
				Min	Typ	Max	
Supply Voltage				۴/۵		۱۶	V
Supply Current	VCC=۵V , RL=∞ VCC=۱۵V , RL=∞ (Low state) (Note ۴)				۳ ۱۰	۶ ۱۶	mA

کار عملی ۱۰



نوسان ساز موج مربعی با آی سی ۵۵۵

هدف: راه اندازی مدار نوسان ساز موج مربعی با آی سی ۵۵۵ و به دست آوردن فرکانس مدار
مواد، ابزار و تجهیزات: منبع تغذیه یک دستگاه، اسیلوسکوپ یک دستگاه، برد برد یک قطعه، آی سی ۵۵۵
 یک عدد، مقاومت ۱۰ کیلو اهم، ۲۲ کیلو اهم $\frac{1}{4}$ وات از هر کدام یک عدد، خازن ۱۰۰ nF، خازن ۲۲ nF از
 هر کدام یک عدد، سیم برد برد، سیم های رابط، لوازم التحریر

مراحل اجرای کار:

- ۱ مدار شکل ۶۳ را روی برد برد ببندید.
- ۲ منبع تغذیه را روی ۵ ولت تنظیم کنید.
- ۳ با استفاده از روابط زیر، زمان تناوب، فرکانس و سیکل وظیفه را محاسبه کرده و یادداشت کنید.

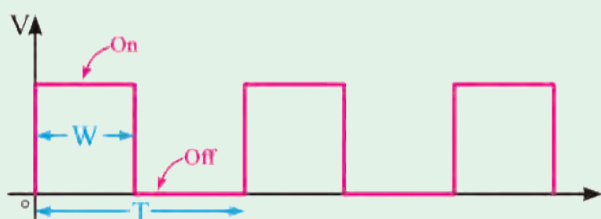
$$T = 0.693(R_A + 2R_B) \times C$$

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1/44}{(R_A + 2R_B) \times C}$$

$$D = \frac{R_A + R_B}{R_A + 2R_B} \text{ سیکل وظیفه}$$

$$D = \frac{\text{پهنای پالس}}{\text{زمان تناوب}} = \frac{W}{T}$$

توجه: در یک پالس مطابق شکل ۶۲ نسبت زمان وصل
 پالس (W) به زمان تناوب (T) را چرخه کار یا سیکل وظیفه
 (Duty Cycle) می گویند و آن را با D نشان می دهند.



شکل ۶۲- پالس و زمان وصل و قطع آن

- ۴ پس از راه اندازی مدار شکل موج خروجی و دو سر خازن C را در نمودارهای شکل ۶۴ رسم کنید.
- ۵ از روی شکل موج خروجی زمان تناوب، فرکانس و سیکل وظیفه را محاسبه کرده و یادداشت کنید.

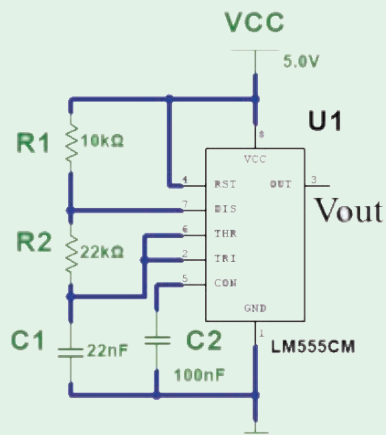
$$R_1 = R_A \quad C_1 = C$$

$$R_2 = R_B$$

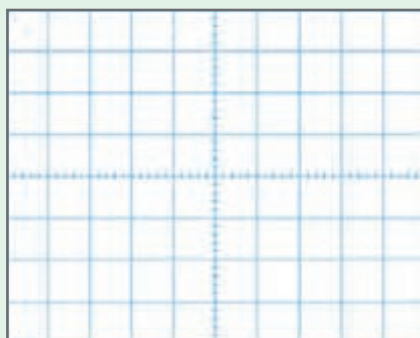
$$\frac{\text{Time}}{\text{Div}} = \quad \frac{\text{Volt}}{\text{Div}} =$$

$$T = \quad F =$$

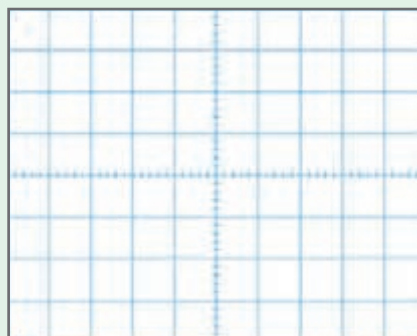
$$V_{PP} =$$



شکل ۶۳

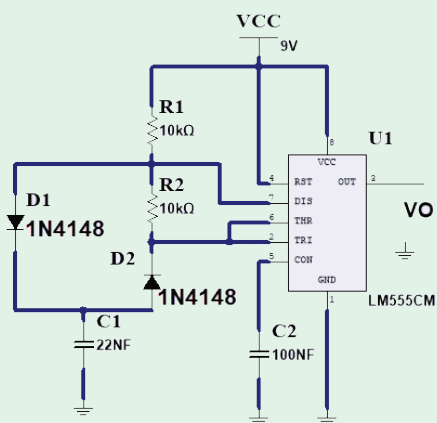


موج دو سر خازن C



موج خروجی

شکل ۶۴



شکل ۶۵

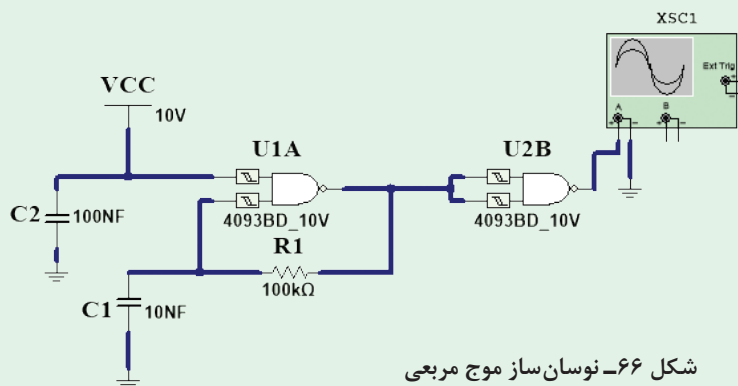
توجه: برای تنظیم سیکل وظیفه در ۵۰ درصد می‌توان از شکل ۶۵ استفاده نمود.



مولد موج مربعی در نرم افزار

هدف: راه اندازی مدار نوسان ساز موج مربعی و به دست آوردن فرکانس آن
مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم افزار مناسب، لوازم التحریر
مراحل اجرای کار:

- ۱ نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر را فعال کنید.
- ۲ با استفاده از دو گیت NAND اشمیت تریگر آی سی شماره ۴۰۹۳، مدار شکل ۶۶ را در فضای نرم افزار ببندید.



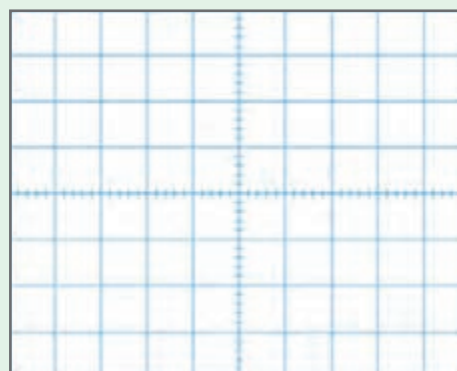
شکل ۶۶- نوسان ساز موج مربعی

- ۳ تغذیه مدار را وصل کنید و مدار را راه اندازی کنید.
- ۴ اسیلوسکوپ نرم افزار را فعال کنید. محدوده مقادیر $\frac{\text{Time}}{\text{Div}}$ و $\frac{\text{Volt}}{\text{Div}}$ را به درستی تنظیم کنید تا حدود ۲ تا ۳ سیکل از موج به صورت پایدار روی صفحه آن ظاهر شود.
- ۵ شکل موج تولید شده را در نمودار شکل ۶۷ رسم کنید.
- ۶ زمان تناوب موج را اندازه بگیرید و فرکانس آن را محاسبه و یادداشت کنید.

$$\frac{\text{Time}}{\text{Div}} = \quad \frac{\text{Volt}}{\text{Div}} =$$

$$T = \quad F =$$

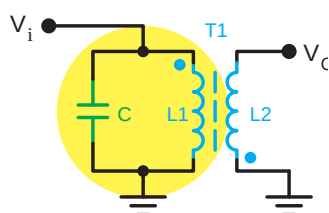
$$V_{PP} =$$



شکل ۶۷

خودارزیابی

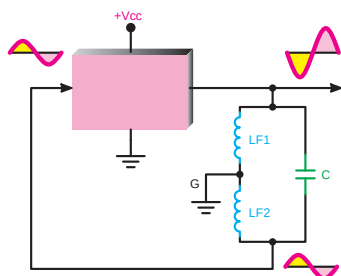
۱. اسیلاتور در مدارهای مخابراتی چه نقشی برعهده دارد؟ شرح دهید.
۲. نیازهای اولیه برای نوسان سازی را نام ببرید و تشریح کنید.
۳. اصل بارک هاووزن را شرح دهید.
۴. سه مرحله از تولید نوسان را در نوسان ساز شرح دهید.
۵. شرط تولید موج مربعی را در نوسان ساز شرح دهید.
۶. در نوسان سازها نوع فیدبک است.
۷. اگر تقویت کننده مربوط به مدار نوسان ساز در حالت قطع و اشباع کار کند، چه نوع سیگنالی تولید می شود؟ چرا؟
۸. انواع نوسان سازها را از نظر شبکه تعیین کننده فرکانس نام ببرید.
۹. انواع نوسان سازها را از نظر نوع فیدبک نام ببرید.



شکل ۶۸

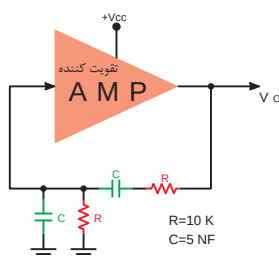
۱۰. مدار تعیین فرکانس شکل ۶۸ مربوط به چه نوع نوسان سازی است؟

- | | |
|------------|-------------|
| ۱ کول پیتس | ۲ هارتلی |
| ۳ کلاپ | ۴ آرمسترانگ |



شکل ۶۹

۱۱. نام نوسان ساز شکل ۶۹ کدام گزینه است؟
- | | |
|------------|-------------|
| ۱ کول پیتس | ۲ هارتلی |
| ۳ کلاپ | ۴ آرمسترانگ |



شکل ۷۰

۱۲. نام نوسان ساز شکل ۷۰ و فرمول فرکانس آن است.

تقویت کننده در این نوسان ساز باید دارای بهره ولتاژ باشد تا نوسان پایدار ایجاد شود.

ارزشیابی شایستگی آماده‌سازی سیگنال پیام و حامل

نام و نام خانوادگی :		شماره ملی:		تاریخ ارزشیابی:	
کد حرفه	۸۲۱۲۲۳	حرفه	مونتازکاران تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی	کد پیمانۀ/پودمان	۸۲۱۲۱۳۰۱۳
کد وظیفه شغل	۸۲۱۲۲۳۰۱	وظیفه شغل	ساخت بردهای الکترونیکی	سطح صلاحیت	L۳
کد کار	۸۲۱۲۲۳۰۱۳۱	کار	آماده سازی سیگنال پیام و حامل	سطح شایستگی	مهارت
استاندارد عملکرد:		بررسی عملکرد مدارهای انواع فیلتر و نوسان ساز و آزمایش روی مدار آنها با رعایت استانداردهای تعریف شده			

دیف	مراحل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص ها/داوری /نمره دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	محاسبات صحیح و تعیین دقیق مقادیر R و C برای فرکانس فیلتر و نوسان ساز	ماشین حساب، برگه روابط، نوشت افزار، در زمان تعیین شده و کارگاه الکترونیک	بررسی محاسبات، پرسش پاسخ و چک لیست ارزشیابی	محاسبه دقیق مقادیر متناسب با فرکانس فیلتر و نوسان ساز	۳	
				محاسبه قابل قبول مقادیر R و C با خطای جزئی	۲	
				محاسبه نادرست مقادیر R و C	۱	
۲	پایه سازی مدار در نرم افزار و تطابق نتایج با محاسبات تئوری	نرم افزار شبیه سازی مدار، رایانه، نقشه کتاب، مدار فیلتر و نوسان ساز در زمان تعیین شده و کارگاه الکترونیک	بررسی فایل شبیه سازی و نتایج، مشاهده عملکرد و چک لیست مهارتی	شبیه سازی دقیق و صحیح مدار	۳	
				شبیه سازی قابل قبول مدار با خطای جزئی	۲	
				شبیه سازی نادرست یا ناقص مدار	۱	
۳	بستن اصولی مدار، اندازه گیری دقیق، اتصال صحیح قطعات روی بردبرد، ثبت فرکانس و شکل موج خروجی با اسیلوسکوپ	بردبرد، قطعات مدار، منبع تغذیه ، اسیلوسکوپ در زمان تعیین شده و کارگاه الکترونیک	مشاهده عملکرد، چک لیست مهارتی فرد و بررسی اندازه گیری ها	اتصال صحیح مدار و ثبت دقیق فرکانس و ترسیم موج خروجی	۳	
				انجام مراحل با دقت قابل قبول و خطای جزئی	۲	
				انجام ناقص مراحل، خطا در اتصال یا عدم ثبت صحیح نتایج	۱	
۴	بررسی تطابق نتایج عملی با شبیه سازی و گزارش فنی	نتایج اندازه گیری، فایل شبیه سازی و فرم گزارش کار یا کتاب در کلاس یا کارگاه الکترونیک	بررسی گزارش کار، پرسش پاسخ، چک لیست ارزشیابی مراحل انجام کار	تحلیل تطابق نتایج عملی و شبیه سازی و ارائه گزارش فنی	۳	
				انجام مراحل دقیق و خطای جزئی	۲	
				نتایج و گزارش کار ناقص یا نادرست	۱	
	بایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: کارگاه الکترونیک مجهز به ابزار و دستگاه های شبیه سازی و بستن مدارها، تجهیزات حفاظت فردی و قطعات مورد نیاز، انجام فعالیت های کارگاهی مطابق با دستورالعمل های ایمنی و بهداشت حرفه ای		مشاهده رفتار هنرجو در حین انجام فعالیت، میزان رعایت اصول ایمنی و نظم، فعالیت های گروهی، مدیریت زمان و مسئولیت پذیری	رعایت کامل ایمنی، بهداشت و محیط زیست، رفتار حرفه ای، نظم و مسئولیت پذیری بالا	۲	
				رعایت نسبی ایمنی و بهداشت با خطاهای جزئی، رفتار کاری مناسب	۱	
						☐ بلی
						☐ خیر
روزشیایی کار (شایستگی انجام کار)						

توضیحات:

معیار شایستگی انجام کار:

– کسب حداقل نمره ۲ در تمامی شاخص ها و اجرای صحیح مراحل شامل محاسبات، شبیه سازی، بستن مدار، اندازه گیری و تحلیل نتایج (مراحل بحرانی).

– کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش

– کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه ای انجام می شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه ریزی و تحلیل، پاسخ گویی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت ها

تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.

واحد یادگیری ۲: راه اندازی مدارهای فرستنده و گیرنده

آیا تا به حال فکر کرده‌اید

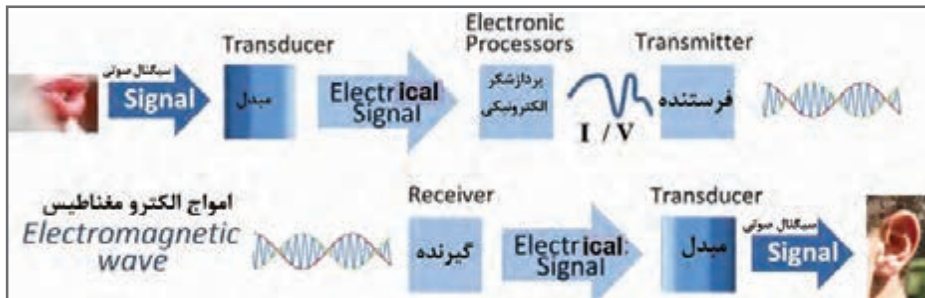
- چگونه می‌توانیم پیام صوتی را در فضا پخش کنیم؟
 - چند نوع مدولاسیون آنالوگ وجود دارد؟
 - انواع مدولاسیون‌های آنالوگ چه تفاوت‌هایی باهم دارند؟
 - چگونه سیگنال آنالوگ به دیجیتال تبدیل می‌شود؟
 - چگونه سیگنال دیجیتال به کد باینری تبدیل می‌شود؟
 - چند نوع مدولاسیون دیجیتال وجود دارد؟
 - انواع مدولاسیون‌های دیجیتال چه تفاوت‌هایی باهم دارند؟
 - سامانه‌های مخابراتی چه کاربردی در کنترل دستگاه‌ها دارند؟
 - چه ضرورتی برای هوشمندسازی ساختمان‌ها وجود دارد؟
 - سامانه‌های کنترلی در ساختمان هوشمند چگونه عمل می‌کنند؟
- مخابرات به عنوان عامل اصلی گردش و انتقال اطلاعات و افزایش دانش، موجب تحول بنیادی در ارکان اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جامعه شده‌است. مخابره داده‌ها بدون مدولاسیون امکان‌پذیر نیست. سیگنال الکتریکی حاصل از صوت و تصویر پس از سوار شدن بر امواج رادیویی (مدولاسیون) می‌توانند به صورت امواج الکترومغناطیس انتشار یابند. امواج رادیویی ارسالی در فضا، به وسیله آنتن گیرنده دریافت و پردازش می‌شود. به این ترتیب امواج رادیویی تبدیل به امواج صوتی و تصویری اولیه می‌شوند تا قابل استفاده باشند. امروزه با استفاده از مدولاسیون دیجیتال دقت ارسال و دریافت پیام‌ها بهبود پیدا کرده است. در این واحد یادگیری انواع مدولاسیون آنالوگ و دیجیتال آموزش داده می‌شود و برخی مدارهای کاربردی به صورت نرم‌افزاری و سخت‌افزاری آزمایش می‌شود. در نهایت نمونه‌هایی از پروژه کاربردی به طور کامل به اجرا در می‌آید. در تمام مراحل یادگیری، توجه به شایستگی‌های غیرفنی، مانند کار گروهی، رعایت نظم و ترتیب، توجه به فناوری‌های نوین و رعایت نکات ایمنی و زیست‌محیطی مهم بوده و باید در مراحل انجام کار به آن‌ها توجه شود.

استاندارد عملکرد

بررسی انواع مدولاسیون و راه‌اندازی و عیب‌یابی پروژه کاربردی مخابراتی با رعایت استانداردهای تعریف شده.

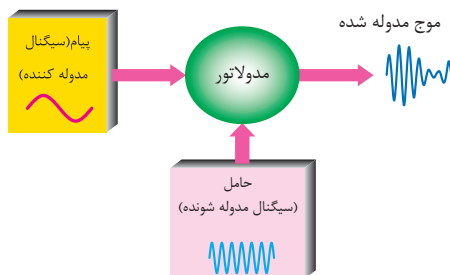
مدولاسیون (Modulation)

برای انتقال سیگنال‌های صوتی یا تصویری به فواصل دور باید این امواج را به امواج الکترومغناطیس تبدیل و آن را از طریق آنتن انتشار دهیم. شکل ۷۱ فرایند تبدیل امواج صوتی به امواج الکترومغناطیس و انتشار آن و دریافت صوت در گیرنده را نشان می‌دهد.



شکل ۷۱- مراحل تبدیل امواج صوتی به امواج الکترومغناطیس

تعریف مدولاسیون: اگر سیگنال صوتی (سیگنال پیام) را روی سیگنال دیگری که دارای فرکانس بالا است سوار کنیم، می‌توانیم آن را به صورت امواج الکترومغناطیس در فضا پخش کنیم. به این عمل در اصطلاح عمومی، مدولاسیون (Modulation) می‌نامند. سیگنال پیام را سیگنال مدوله‌کننده (Modulating Signal) می‌نامند. سیگنالی که پیام روی آن سوار می‌شود، سیگنال حامل (Carrier) یا سیگنال مدوله‌شونده (Modulation Signal) نام دارد. به مدار یا دستگاهی که عمل مدولاسیون را انجام می‌دهد، مدولاتور (Modulator) می‌گویند. شکل ۷۲ چگونگی انجام مدولاسیون را به صورت بلوکی نشان می‌دهد.



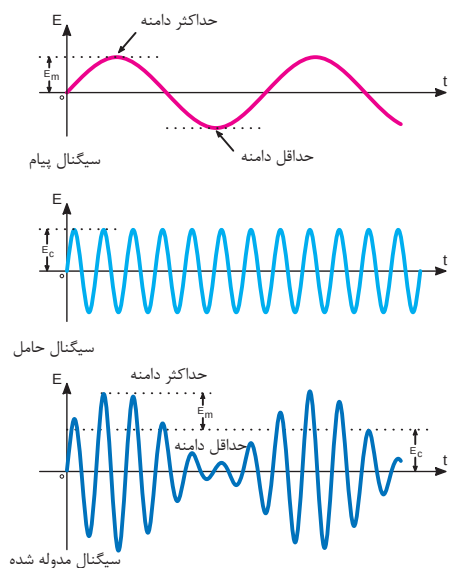
شکل ۷۲- بلوک دیاگرام نحوه انجام مدولاسیون

انواع مدولاسیون

در مدولاسیون یکی از مشخصه‌های اصلی موج حامل که یک سیگنال سینوسی با فرکانس بالا است، توسط پیام کنترل می‌شود. این عمل باید به گونه‌ای به اجرا درآید که گیرنده بتواند اطلاعات ارسال شده از قبیل صوت، موسیقی یا تصویر را مجدداً بازسازی کند. چون موج حامل تنها سه مشخصه دامنه، فرکانس و فاز را دارد بنابراین تنها می‌توان یکی از این سه مشخصه سیگنال حامل را با سیگنال پیام کنترل کرد، به این ترتیب سه نوع مدولاسیون، دامنه، فرکانس و فاز شکل می‌گیرد. شکل ۷۳ تقسیم‌بندی کلی مدولاسیون را نشان می‌دهد.



شکل ۷۳- تقسیم‌بندی کلی مدولاسیون



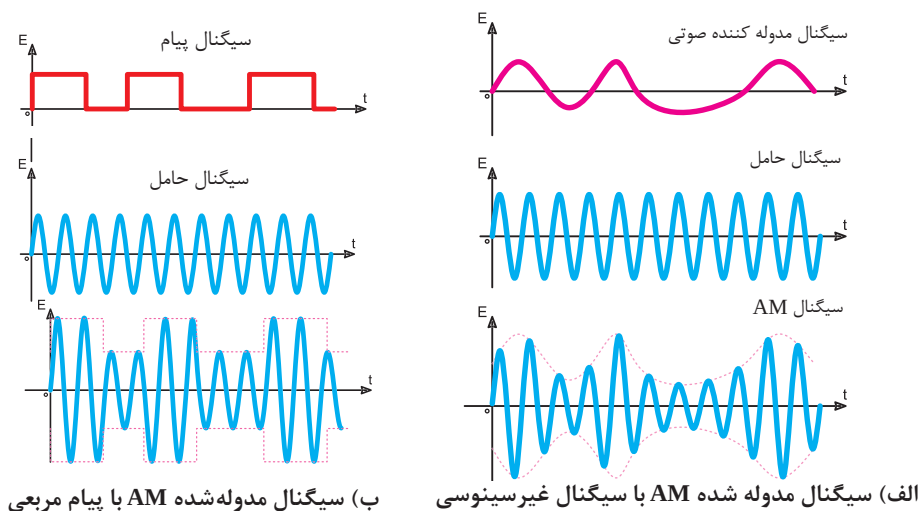
شکل ۷۴- پیام، حامل و سیگنال مدوله شده

مدولاسیون‌های آنالوگ

مدولاسیون دامنه (Amplitude Modulation):

در مدولاسیون دامنه، فرکانس موج حامل (کاریر) ثابت است و دامنه حامل متناسب با دامنه پیام (موج مدوله کننده) تغییر می‌کند. در این حالت سرعت تکرار تغییرات دامنه حامل متناسب با فرکانس پیام خواهد بود. مدولاسیون دامنه را به اختصار به صورت AM می‌نویسند. در شکل ۷۴ سیگنال پیام و سیگنال حامل سینوسی و سیگنال مدوله شده AM را مشاهده می‌کنید.

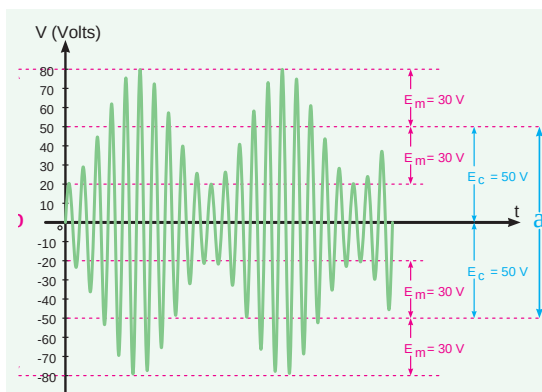
در شکل ۷۵، الف و ب دو نوع پیام غیرسینوسی و حامل سینوسی و موج مدوله شده مربوط به آنها را مشاهده می‌کنید.



شکل ۷۵

درصد مدولاسیون (Percent of Modulation): میزان درصد نسبت دامنه سیگنال پیام به دامنه سیگنال حامل را درصد مدولاسیون می‌گویند و آن را با M یا m_p نشان می‌دهند. این پارامتر نشان می‌دهد که سیگنال پیام تا چه اندازه دامنه سیگنال حامل را تحت تأثیر قرار داده است. به عبارت دیگر درصد مدولاسیون میزان انحراف دامنه سیگنال حامل از مقدار اصلی خود بر اثر اعمال سیگنال پیام را بیان می‌کند.

$$\text{درصد مدولاسیون} = M = m_p = \frac{\text{دامنه پیام}}{\text{دامنه حامل}} \times 100\% = \frac{E_m}{E_c} \times 100\%$$



شکل ۷۶

درصد مدولاسیون را در شکل ۷۶ به دست آورید.

$$M = \frac{\text{دامنه پیام}}{\text{دامنه حامل}} \times 100\% = \frac{E_m}{E_c} \times 100\%$$

$$= \frac{30}{50} \times 100\% = 60\%$$



مدولاتور دیودی به صورت نرم افزاری

هدف: راه اندازی مدار مدولاتور دیودی و بررسی

درصد مدولاسیون

مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه - نرم افزار مناسب

- لوازم التحریر

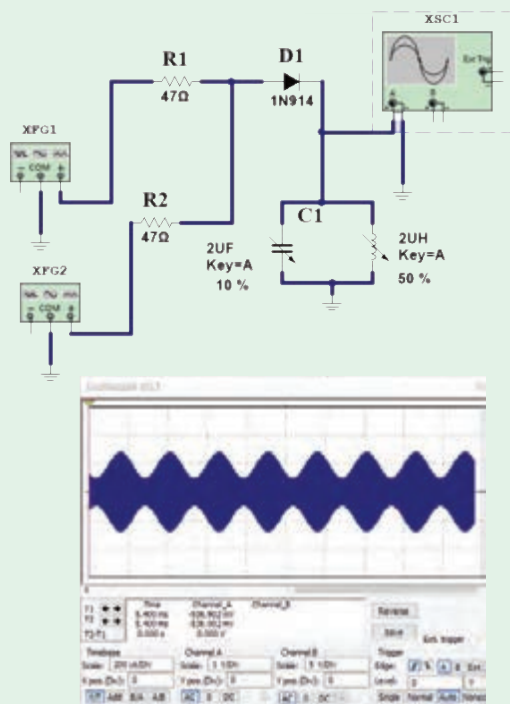
مراحل اجرای کار:

۱) نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر را فعال کنید.

۲) مدار (شکل ۷۷) را در فضای نرم افزار ببندید.

۳) سیگنال ژنراتور ۱ که مولد پیام است و سیگنال ژنراتور ۲ که مولد کریر است را به مدار وصل کنید و مدار را راه اندازی کنید.

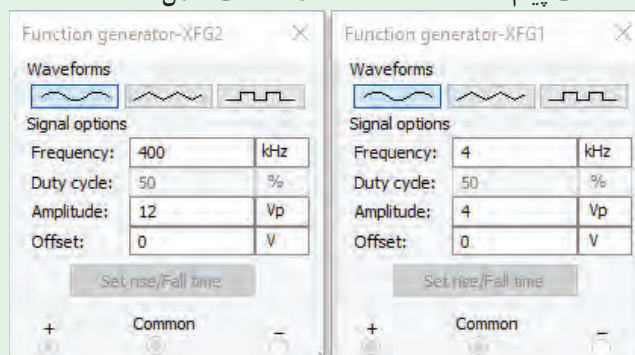
۴) با تنظیم سیگنال پیام و سیگنال کریر مطابق شکل ۷۸ و تنظیم فیلتر میان گذر LC موج مدوله شده را روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده کنید.



شکل ۷۷

مشخصات حامل

مشخصات پیام



شکل ۷۸

۵ با استفاده از دامنه ماکزیمم و مینیمم موج مدوله شده و از رابطه زیر درصد مدولاسیون را محاسبه کنید.

$$mp = \frac{\text{دامنه پیام}}{\text{دامنه حامل}} \times 100\% = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}} \times 100\%$$

۶ دامنه پیام را روی ۲ ولت تنظیم کنید. موج مدوله شده را مشاهده کنید.

۷ دامنه پیام را روی ۱۲ ولت تنظیم کنید. موج مدوله شده را مشاهده کنید.

۸ در کدام مرحله از مدولاسیون دامنه پیام به صفر رسیده است؟

۹ دامنه پیام را روی ۴ ولت پیک تنظیم کنید و فرکانس پیام را یک بار روی ۱ کیلوهرتز تنظیم نموده و موج مدوله شده را مشاهده کنید. سپس فرکانس پیام را روی ۱۰ کیلوهرتز تنظیم نموده و موج مدوله شده را مشاهده کنید.

۱۰ تأثیر تغییر فرکانس پیام را روی سرعت تغییرات دامنه شرح دهید.

کار عملی ۱۲



مشاهده شکل موج AM به وسیله فانکشن ژنراتور یا مولد RF

هدف: مشاهده موج مدوله شده AM

مواد، ابزار و تجهیزات: اسیلوسکوپ یک دستگاه، فانکشن ژنراتور، سیم‌های رابط

مراحل اجرای کار:

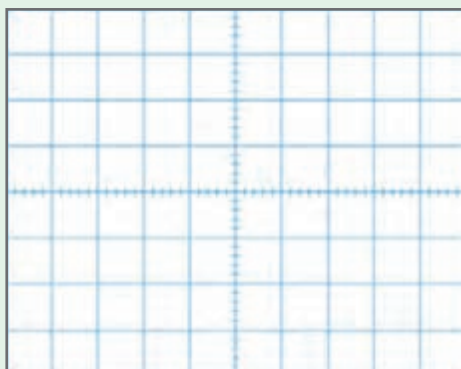
۱ با استفاده از راهنمای کاربرد فانکشن ژنراتوری که سیگنال AM دارد یا مولد RF، طرز کار دستگاه را بیاموزید.

۲ فانکشن ژنراتور یا سیگنال ژنراتور RF را روی فرکانس ۵۰۰ KHZ با مدولاسیون AM داخلی قرار دهید.

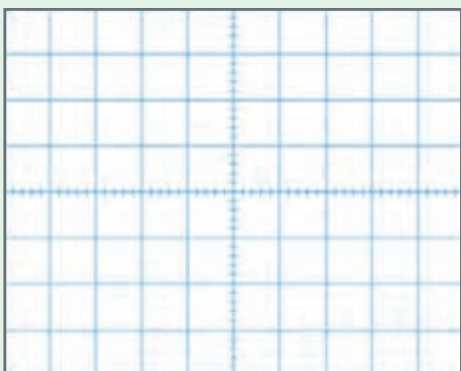
۳ دامنه درصد مدولاسیون سیگنال ژنراتور را آن قدر افزایش دهید تا دامنه پیام نصف دامنه حامل شود ($Em = \frac{Ec}{2}$). در این حالت مدولاسیون ۵۰ درصد به وجود می‌آید.

۴ شکل موج خروجی مدار را در نمودار شکل ۷۹ رسم کنید.

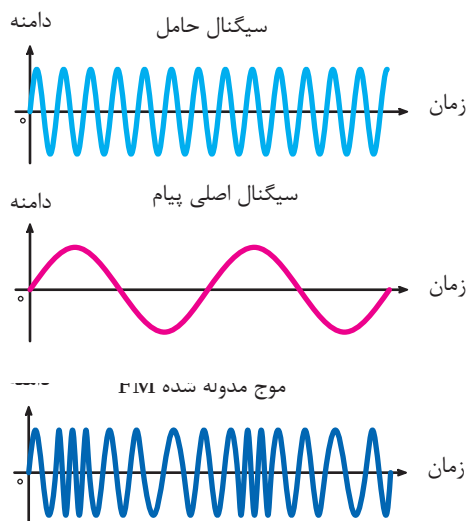
۵ سیگنال ژنراتور را روی موج مربعی و فرکانس ۱ KHZ قرار دهید و درصد مدولاسیون را روی ۵۰ درصد تنظیم کنید و شکل موج خروجی مدار را در نمودار شکل ۸۰ رسم کنید.



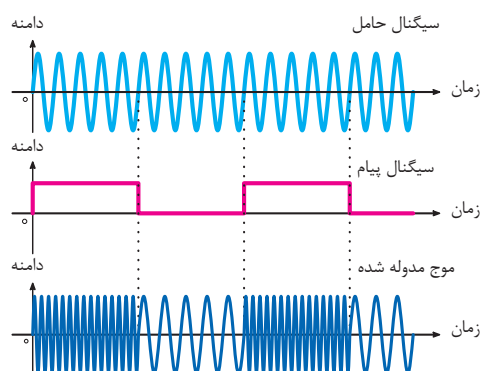
شکل ۷۹



شکل ۸۰



شکل ۸۱- سیگنال مدوله شده FM با پیام سینوسی



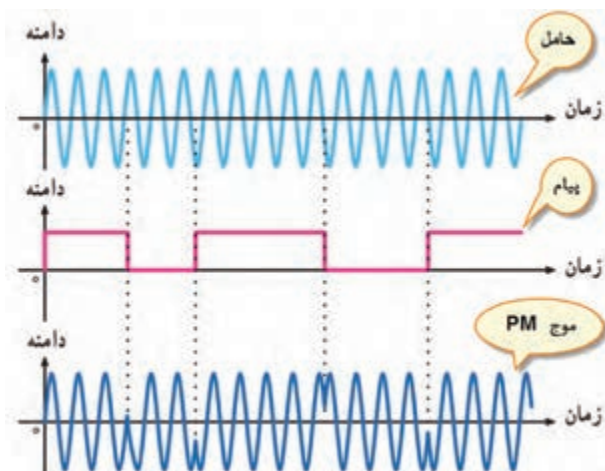
شکل ۸۲- سیگنال مدوله شده FM با پیام مربعی

مدولاسیون فرکانس (Frequency Modulation):

در صورتی که فرکانس سیگنال حامل، متناسب با تغییرات دامنه پیام تغییر کند مدولاسیون فرکانس ایجاد می شود. در این حالت سرعت تکرار تغییرات فرکانس موج حامل متناسب با فرکانس پیام خواهد بود. مدولاسیون فرکانس را با FM نشان می دهند. در شکل ۸۱ مدولاسیون FM با پیام سینوسی نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، هنگامی که دامنه پیام صفر است، فرکانس موج مدوله شده برابر با موج حامل می شود. با افزایش دامنه سیگنال پیام، فرکانس حامل افزایش می یابد (فشرده می شود) و با کاهش دامنه پیام، فرکانس حامل کم می شود. شکل ۸۲ پیام مربعی که روی سیگنال حامل سینوسی به صورت FM مدوله شده است را نشان می دهد.

مدولاسیون فاز (Phase Modulation):

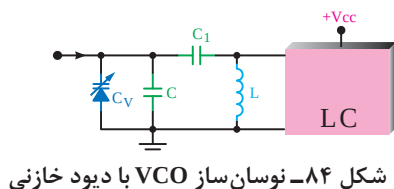
سیگنال حامل متناسب با دامنه سیگنال پیام تغییر کند مدولاسیون فاز به وجود می آید. در این حالت سرعت تکرار تغییرات فاز برابر با فرکانس پیام خواهد بود. مدولاسیون فاز از پاره ای جهات مشابه مدولاسیون FM است. مدولاسیون فاز را با PM نشان می دهند (شکل ۸۳).



شکل ۸۳- سیگنال مدوله شده PM با پیام مربعی

نوسان ساز VCO (Voltage Controlled Oscillator):

اسیلاتور VCO یک نوع نوسان ساز است که فرکانس آن را می توان با استفاده از ولتاژ DC ورودی تغییر داد. در فرکانس های بالا برای کنترل فرکانس معمولاً دیود خازنی (دیود ورکتور-Varactor) به کار می رود. این دیود بخشی از مدار هماهنگ اسیلاتور LC را تشکیل می دهد. در شکل ۸۴ بلوک نوسان ساز LC را همراه با مدار رزونانس آن و دیود خازنی مشاهده می کنید، با تغییر ولتاژ DC ظرفیت دیود خازنی تغییر می کند و در نهایت ظرفیت خازنی معادل مدار تانک را تغییر می دهد. با تغییر ظرفیت خازنی فرکانس نوسان ساز تغییر می کند.



شکل ۸۴- نوسان ساز VCO با دیود خازنی

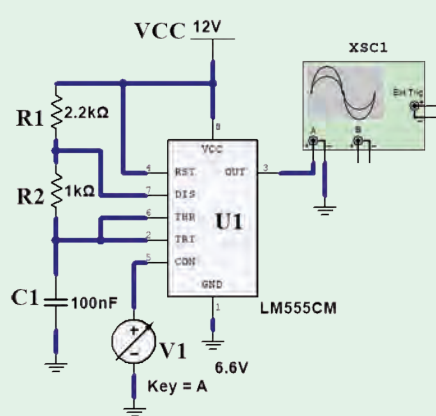
کار عملی ۱۳



بستن مدار نوسان ساز VCO نرم افزار یاب به صورت سخت افزاری هدف: بررسی عملکرد نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ (VCO) مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم افزار مناسب، لوازم التحریر مراحل اجرای کار:

- ۱ نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر را فعال کنید.
- ۲ مدار (شکل ۸۵) را در فضای نرم افزار ببندید.
- ۳ فرکانس متر را به خروجی اتصال دهید و طبق شکل ۸۶ آن را تنظیم کنید.
- ۴ شکل موج خروجی مدار را روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده کنید.
- ۵ ولتاژ DC ورودی مدار را مطابق جدول ۱۳ تغییر دهید. فرکانس خروجی را به کمک فرکانس متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

فکر کنید: آیا تغییر فرکانس توسط ولتاژ در نوسان ساز VCO می تواند شباهتی با تغییر فرکانس توسط دامنه پیام در مدولاسیون FM داشته باشد؟



شکل ۸۵- مدار نوسان ساز VCO



شکل ۸۶- تنظیم فرکانس متر نرم افزار

جدول ۱۳

ردیف	ولتاژ ورودی (V) DC	فرکانس (KHz)
۱	۲	
۲	۴	
۳	۶	
۴	۸	
۵	۱۰	

خود ارزیابی

۱ فرمول درصد مدولاسیون را بنویسید و برای آن مثالی طراحی کنید.

۲ در مورد مدولاسیون AM کدام گزینه صحیح است؟

(۱) دامنه کریر متناسب با فرکانس پیام تغییر می کند.

(۲) سرعت تغییر فرکانس کریر متناسب با دامنه پیام است.

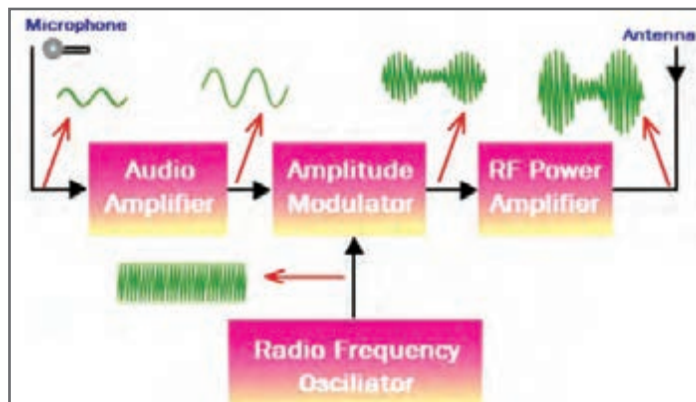
(۳) دامنه کریر متناسب با دامنه پیام تغییر می کند.

(۴) سرعت تغییر دامنه کریر متناسب با دامنه پیام است.

۳ شکل ۸۷ مدولاسیون AM را نشان می دهد. مراحل اجرای کار را به فارسی بنویسید.

۴ در مدولاسیون فرکانس، دامنه کریر..... است و فرکانس کریر متناسب با..... پیام

تغییر می کند.



۵ در مدولاسیون فاز، دامنه و

فرکانس کریر ثابت است و فاز کریر

متناسب با دامنه پیام تغییر می کند.

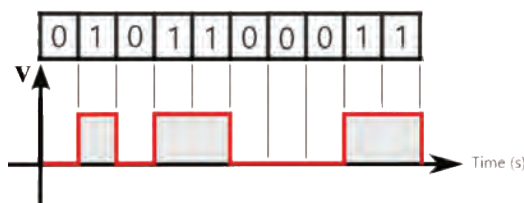
□ غلط □ صحیح

شکل ۸۷

مدولاسیون های پالس و دیجیتال (Pulse and Digital modulation)

در روش های جدید مدولاسیون از مدولاسیون پالس و مدولاسیون دیجیتال استفاده می شود. در این نوع مدولاسیون ها، سیگنال های آنالوگ پیام به نوعی از سیگنال های پالسی یا دیجیتالی تبدیل می شود. عامل این تبدیل موج حامل یا کریر است. این نوع مدولاسیون ها انواع متنوع و گسترده ای دارند که در این قسمت به تشریح آن می پردازیم. اگر سیگنال کریر (حامل) به صورت پالس (به صورت منفصل) باشد، در این صورت مدولاسیون های پالسی شکل می گیرد.

سیگنال های دیجیتال



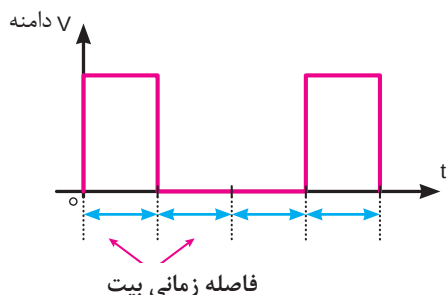
شکل ۸۸- سیگنال دیجیتال

داده ها می توانند به صورت دیجیتال نمایش داده شوند.

به عنوان مثال می توان منطق را به صورت ولتاژ مثبت

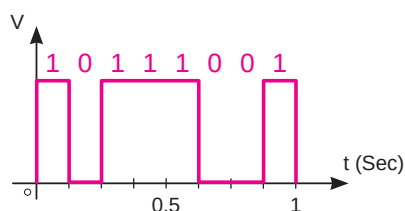
و صفر منطقی را به صورت ولتاژ صفر نمایش داد. شکل

۸۸ یک سیگنال دیجیتال را نشان می دهد.



شکل ۸۹- فاصله زمانی یک بیت

فاصله زمانی بیت Bit Interval: چون اکثر سیگنال‌های دیجیتال غیرتناوبی هستند لذا برای توصیف آنها پریود یا فرکانس مناسب نیست. از فاصله زمانی بیت به جای پریود استفاده می‌شود. فاصله زمانی بیت، زمان لازم برای ارسال یک بیت است. شکل ۸۹ یک نمونه سیگنال دیجیتال و فاصله زمانی یک بیت را نشان می‌دهد.



شکل ۹۰- سیگنال دیجیتالی با هشت BPS

نرخ بیت Bit Rate: به جای فرکانس از نرخ بیت استفاده می‌شود. سرعت انتشار بیت‌ها را نرخ بیت می‌نامند. نرخ بیت تعداد بیت‌های ارسالی در یک ثانیه است. نرخ بیت بر حسب بیت در ثانیه (Bit Per Second) bps می‌باشد. در شکل ۹۰ یک سیگنال دیجیتال با bps برابر ۸ رسم شده است.

مثال



۱) نرخ بیت یک سیگنال دیجیتالی برابر ۲۰۰۰ bps است. فاصله زمانی هر بیت چقدر است؟
پاسخ: فاصله زمانی بیت عکس نرخ بیت است.

$$\text{فاصله زمانی بیت} = \frac{1}{2000} = 0.0005 \text{ sec} = 500 \mu\text{sec}$$

۲) فاصله زمانی یک سیگنال دیجیتالی برابر ۵۰ μsec است. نرخ بیت چقدر است؟
پاسخ: نرخ بیت عکس فاصله زمانی بیت است.

$$\text{نرخ بیت} = \frac{1}{50 \times 10^{-6}} = \frac{1000000}{50} = 20000 \text{ bps} = 20 \text{ kbps}$$

انواع مدولاسیون‌های پالسی

مدولاسیون‌های پالسی به دو دسته تقسیم می‌شوند.

الف) مدولاسیون‌های منفصل: از انواع این مدولاسیون می‌توان PAM، PPM و PWM (PDM) را نام برد که کاربردهای مخابراتی و صنعتی دارند، در کاربردهای مخابراتی PPM برای اندازه‌گیری‌های رادار به کار می‌رود. از کاربردهای صنعتی PWM می‌توان کنترل دور و سرعت موتور را نام برد.

در مورد مدولاسیون PAM، PPM و PWM (PDM) و کاربرد آنها تحقیق کنید و نتایج را ارائه دهید.

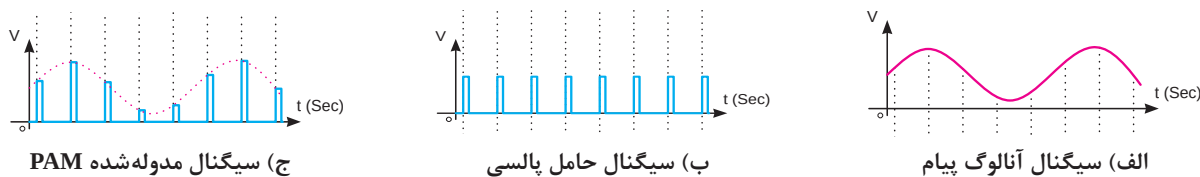
پژوهش کنید



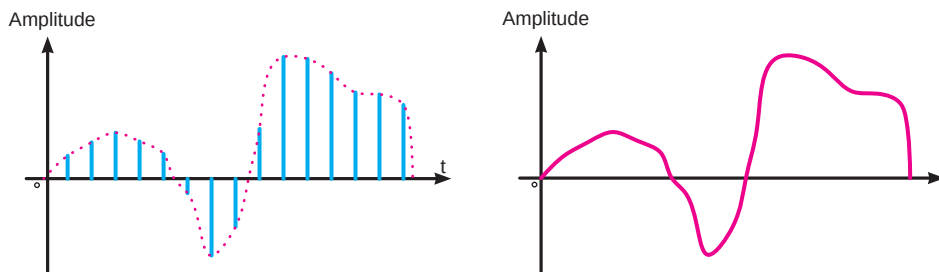
ب) **مدولاسیون‌های دیجیتال:** مدولاسیون دیجیتال بسیار متداول است. یکی از انواع این مدولاسیون PCM است که در سیستم‌های مخابرات دیجیتال (مانند تلفنی، تصویری) به کار می‌رود. در PCM پیام به صورت کدهای دیجیتالی منتقل می‌شود. برای مسافت‌های طولانی‌تر از انواع دیگر مدولاسیون‌های دیجیتال مانند FSK، ASK و PSK استفاده می‌شود

■ سیگنال منفصل (گسسته Discrete)

اگر از سیگنال آنالوگ به صورت پالسی نمونه‌برداری (Sampling) کنیم، سیگنال منفصل به دست می‌آید. این نمونه‌برداری طبق شکل ۹۰ در فواصل زمانی معین که زمان تناوب نمونه‌برداری (Sampling Period) نامیده می‌شود، صورت می‌گیرد. عمل نمونه‌برداری به وسیله پالس‌های سیگنال حامل صورت می‌گیرد. در این حالت دامنه سیگنال حامل (Ac) تحت تأثیر سیگنال پیام قرار می‌گیرد و متناسب با آن تغییر می‌کند. سیگنال منفصل حاصل شده را سیگنال مدوله شده دامنه پالس یا PAM (Pulse Amplitude Modulation) می‌نامند. در شکل ۹۱ یک نمونه سیگنال پیام آنالوگ، حامل پالسی و سیگنال مدوله شده PAM را ملاحظه می‌کنید. در شکل ۹۲ نوع دیگری از پیام را ملاحظه می‌کنید که به صورت PAM درآمده است. در این شکل پهنای پالس‌های حامل بسیار کم است که به آن پالس‌های سوزنی (Impulse) می‌گویند.



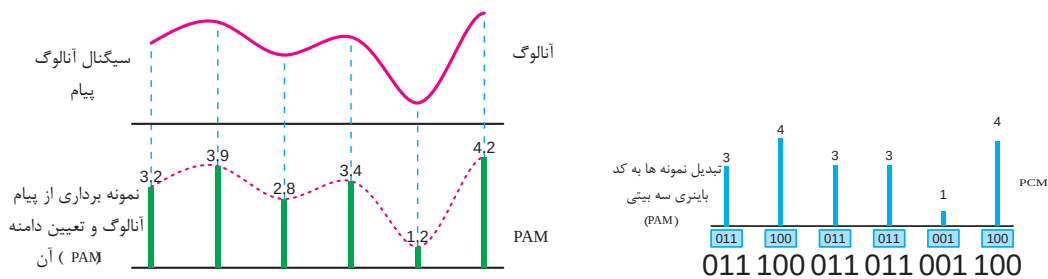
شکل ۹۱- سیگنال پیام، حامل و سیگنال مدوله شده



شکل ۹۲- سیگنال پیام و سیگنال PAM

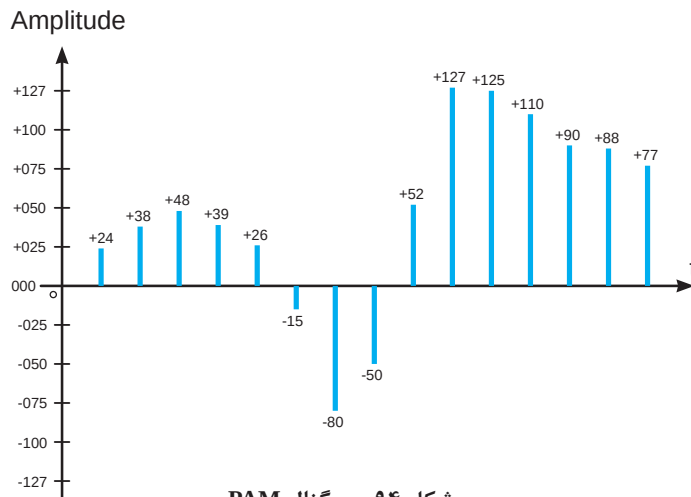
■ مدولاسیون پالسی کدشده PCM (Pulse Code Modulation)

اگر سیگنال منفصل (PAM) را بایک درجه‌بندی مشخص و تعریف شده به کدهای باینری تبدیل کنیم مدولاسیون PCM شکل می‌گیرد. این روش را کوآنتیزه کردن (Quantization) می‌نامند. در شکل ۹۳ سیگنال آنالوگ را مشاهده می‌کنید که ابتدا به سیگنال PAM تبدیل شده است. در مرحله بعد سیگنال PAM را درجه‌بندی کرده‌ایم و کد معادل آن را به دست آورده‌ایم. در این مرحله سیگنال PAM به PCM تبدیل شده است. کد استفاده شده این تبدیل سه بیتی است.



شکل ۹۳- سیگنال پیام و سیگنال PAM و PCM

یک کد سه بیتی $2^3 = 8$ حالت را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر دامنه انتخاب شده در ۸ سطح مختلف تقسیم‌بندی می‌شود. برای دقت بیشتر در مدرج کردن، باید به نمونه برداشته شده، مقادیر صحیح بیشتری اختصاص داد. لذا تعداد بیت‌های کوآنتیزه، افزایش می‌یابد. مثلاً با استفاده از کد ۷ بیتی $2^7 = 128$ حالت را می‌توان نشان داد. در واقع ۱۲۸ سطح ولتاژ مختلف رامی‌توان انتخاب نمود. در شکل ۹۳ یک سیگنال PAM را مشاهده می‌کنید که به نمونه‌های برداشته شده سطوح بیشتری اختصاص داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در ۱۵ نمونه برداشته شده از پیام، سطوح ولتاژ بین حداقل ۱۵ و حداکثر ۱۲۷ وجود دارد. به عبارت دیگر بالاترین سطح ولتاژ اختصاص داده شده در شکل ۹۴، ۱۲۷ است که لزوماً باید یک کد باینری ۷ بیتی باشد.



توجه داشته باشید که عدد ۱۲۷ از نظر کمیت معادل ۱۲۷ ولت نیست، بلکه معادل بیشترین دامنه‌ای است که سیگنال آنالوگ دارد.

توجه

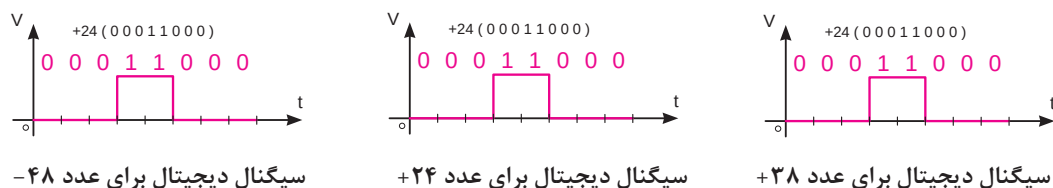


مقادیر صحیح اختصاص داده شده به کد باینری ۷ بیتی تبدیل می‌شود. چون مقادیر نمونه‌برداری شده ممکن است مثبت یا منفی باشند، برای مقادیر مثبت و منفی علامتی در نظر می‌گیرند. برای این منظور بیت هشتمی را در سمت چپ کد ۷ بیتی قرار می‌دهند تا در این حالت مثبت یا منفی بودن دامنه نمونه‌برداری شده را تعیین کنند. اگر مقادیر نمونه‌برداری شده مثبت باشند از بیت (۰) و اگر منفی باشند از بیت (۱) در سمت چپ استفاده می‌شود. مثلاً $+24$ در تبدیل به کد باینری به صورت 0011000 که ۷ بیتی است نشان داده می‌شود.

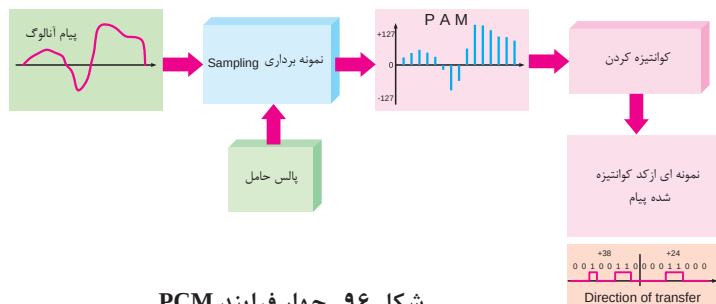


در تبدیل عدد $+24$ به کد باینری، نتیجه صورت 11000 درمی آید که ۵ بیتی است. برای تبدیل آن به کد ۷ بیتی، تعداد دو بیت «۰» در سمت چپ قرار داده ایم. چون ۲۴ علامت مثبت دارد، یک صفر در سمت چپ بیت ها قرار می گیرد و به این ترتیب $+24$ با کد ۸ بیتی به صورت 00011000 نشان داده می شود.

بعد از عمل کدبندی باینری، سیگنال دیجیتال به دست می آید. در شکل ۹۵ سه نمونه سیگنال دیجیتال برای اعداد $+24$ ، $+38$ و -48 داده شده است. همان طور که ملاحظه می کنید، سیگنال خروجی PCM به دست آمده، سیگنال دیجیتال معادل تعدادی از نمونه های برداشته شده از پیام است.



شکل ۹۵- سه نمونه سیگنال دیجیتال



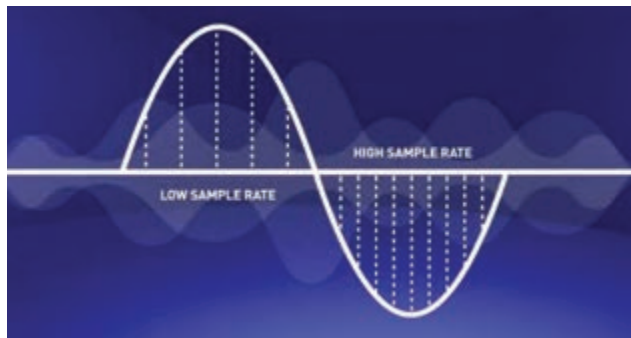
شکل ۹۶- چهار فرایند PCM

در شکل ۹۶ چهار فرایند PCM که شامل، کوانتیزه کردن، کدبندی باینری و کدبندی دیجیتال به دیجیتال است، نشان داده شده است.

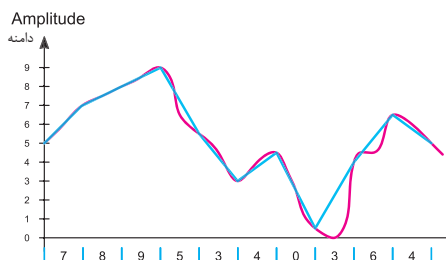
■ فرکانس نمونه برداری (Sampling Rate)

نرخ نمونه برداری (Sampling Frequency) یا سرعت نمونه برداری عبارت از تعداد نمونه هایی است که در یک ثانیه از پیام برداشته می شود. هر قدر تعداد نمونه ها در ثانیه بیشتر شود، هنگام تبدیل و بازسازی نمونه ها (سیگنال منفصل یا PAM) به سیگنال آنالوگ با تغییر شکل موج کمتری روبه رو می شویم.

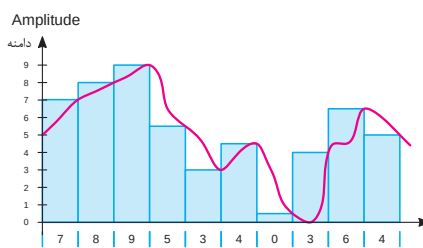
در شکل ۹۷ نمونه برداری کم و زیاد را برای دونیم سیکل مشاهده می کنید. در شکل ۹۸ نمونه برداری از سیگنال آنالوگ و در شکل ۹۹ موج بازسازی شده آن رسم شده است.



شکل ۹۷- نمونه برداری متفاوت

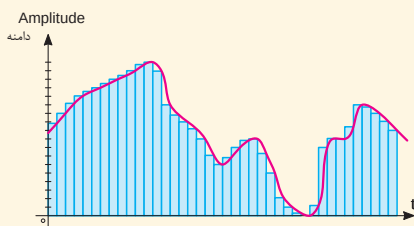


شکل ۹۹- موج بازسازی شده

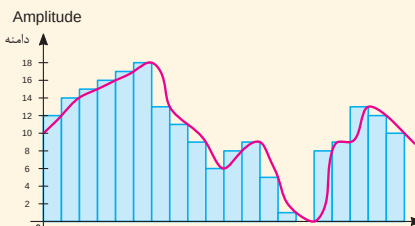


شکل ۹۸- نمونه برداری از سیگنال آنالوگ

در شکل های ۱۰۰ و ۱۰۱ نمونه های برداشته شده در یک ثانیه (سرعت نمونه برداری) و تعداد مقادیر که به هر نمونه اختصاص داده شده (دقت نمونه برداری) متفاوت است. پیام در کدام مورد دقیق تر بازسازی می شود؟.....



شکل ۱۰۱- سرعت و دقت نمونه برداری
چهار برابر



شکل ۱۰۰- سرعت و دقت نمونه برداری
دو برابر

همان طور که مشاهده می شود هر قدر سرعت و دقت نمونه برداری بیشتر شود، سیگنال دیجیتال تهیه شده وقتی به سیگنال آنالوگ تبدیل می شود به سیگنال اصلی آنالوگ شبیه تر است. اثبات شده است به منظور تولید صحیح مجدد سیگنال آنالوگ با استفاده از سیگنال PAM، فرکانس نمونه برداری باید حداقل دو برابر بالاترین فرکانس سیگنال آنالوگ باشد. مثلاً اگر بخواهیم از صدایی که حداکثر ۵۰۰۰ هرتز فرکانس دارد نمونه برداری کنیم باید فرکانس نمونه برداری ۱۰۰۰۰ نمونه در ثانیه باشد. به عبارت دیگر در هر $\frac{1}{10000}$ ثانیه ($100\mu\text{Sec}$) باید یک نمونه از سیگنال برداشته شود.

تعداد بیت در هر نمونه: بعد از تعیین نرخ نمونه برداری باید تعداد بیت ارسالی را برای هر نمونه تعیین کنیم. تعداد بیت طوری انتخاب می شود که دامنه سیگنال اصلی با دقت مطلوب مجدداً بازسازی شود. مثلاً هر نمونه را ۸ بیتی کوانتیزه می کنیم.

محاسبه نرخ بیت: نرخ بیت از رابطه زیر به دست می آید:

تعداد بیت در هر نمونه $\times$ نرخ نمونه برداری = نرخ بیت

اگر سیگنالی دارای فرکانس ۳۰ هرتز تا ۴۰۰۰ هرتز باشد نرخ نمونه برداری و نرخ بیت را محاسبه کنید. هر نمونه ۸ بیتی است.

نمونه در ثانیه $8000 = 4000 \times 2$ = نرخ نمونه برداری
 $64000 \text{ bit/sec} = 8000 \times 8$ = نرخ بیت
 64 Kbps = نرخ بیت

فعالیت گروهی



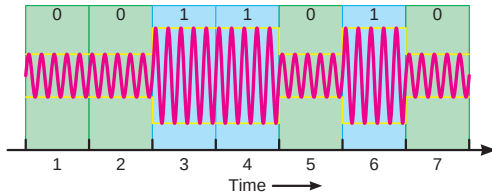
مثال



■ مدولاسیون‌های دیجیتال

برای ارسال علائم صفر و یک منطقی (PCM) بهتر است به منظور کاهش پهنای باند از سیگنال سینوسی استفاده کنیم. در ادامه به شرح این نوع مدولاسیون‌های ASK، FSK و PSK می‌پردازیم. سیگنال مورد استفاده در این نوع مدولاسیون‌ها را سیگنال حامل اولیه می‌نامند.

✓ **مدولاسیون ASK (Amplitude Shift Keying):** در مدولاسیون ASK برای نمایش ۰ یا ۱ باینری دامنه سیگنال حامل تغییر می‌کند و فرکانس و فاز حامل ثابت می‌ماند. مقدار دامنه حامل در مقادیر صفر و یک باینری به عهده طراحان سیستم است. شکل ۱۰۲ یک نمونه سیگنال مدوله شده ASK را نشان می‌دهد. بسیار نویز پذیر است زیرا نویز می‌تواند روی دامنه قرار گیرد و ۰ را به ۱ و ۱ را به ۰ تبدیل کند.



شکل ۱۰۲- یک نمونه سیگنال مدوله شده ASK

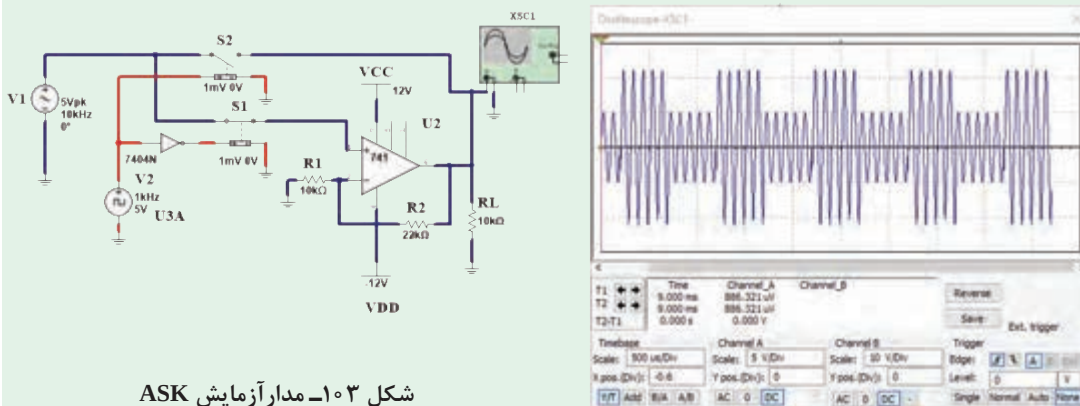
شبیه‌سازی مدولاسیون ASK به صورت نرم‌افزاری

هدف: شبیه‌سازی مدولاسیون ASK

مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم‌افزار مناسب، لوازم التحریر

مراحل اجرای کار:

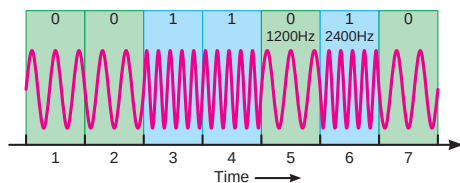
- ۱ نرم‌افزار مولتی سیم یا هر نرم‌افزار مناسب دیگر را فعال کنید.
 - ۲ از مسیر Switch - Voltage Controlled SPST Animated دو کلید قابل کنترل با ولتاژ را به روی میز کار بیاورید.
 - ۳ مدار (شکل ۱۰۳) را در فضای نرم‌افزار ببندید.
 - ۴ مولد سیگنال ۱ و ۲ را مطابق شکل تنظیم کرده و مدار را راه‌اندازی کنید.
- شرح عملکرد مدار:** باتوجه به شکل زمانی که پالس در تراز صفر است کلید ۲ وصل است و سیگنال بدون تقویت در خروجی ظاهر می‌شود. زمانی که پالس در تراز یک است سیگنال V_1 از طریق S_1 به ورودی تقویت کننده اعمال شده و در خروجی سیگنال تقویت شده ظاهر می‌شود و به این ترتیب مدولاسیون ASK شبیه‌سازی می‌شود.



شکل ۱۰۳- مدار آزمایش ASK

کار عملی



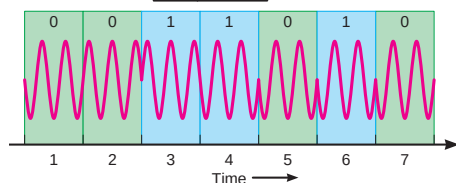


شکل ۱۰۴- یک نمونه سیگنال مدوله شده FSK

مدولاسیون FSK (Frequency Shift Keying):

در مدولاسیون FSK برای نمایش ۰ یا ۱ باینری، فرکانس سیگنال حامل تغییر داده می شود و دامنه و فاز حامل ثابت باقی می ماند. فرکانس حامل در فاصله زمانی هر بیت مقدار ثابتی است. شکل ۱۰۴ مدولاسیون FSK را نشان می دهد. FSK نسبت به نویز مقاوم تر از ASK است.

بیت	اختلاف فاز
1	0°
0	180°



شکل ۱۰۵- یک نمونه سیگنال مدوله شده PSK

مدولاسیون PSK (Phase Shift Keying):

در مدولاسیون PSK فاز سیگنال سینوسی را برای نمایش باینری «۰» و «۱» تغییر می دهند. در این حالت دامنه و فرکانس حامل ثابت است. به عنوان مثال اگر برای نمایش عدد باینری (۱)، سیگنال حامل با فاز صفر درجه شروع شود، می توان فاز سیگنال حامل را ۱۸۰ درجه تغییر داد تا عدد باینری (۰) را ارسال نمود. فاز سیگنال حامل در طول هر بیت باینری ثابت است. در شکل ۱۰۵ مدولاسیون PSK برای یک نمونه سیگنال دیجیتالی رسم شده است.

گیرنده مادون قرمز تک کانال

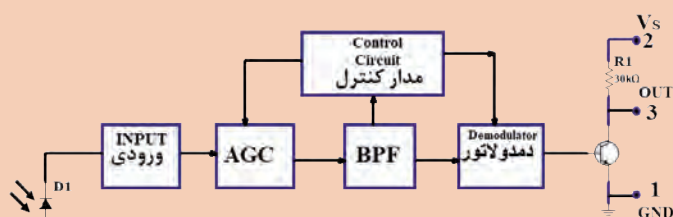
گیرنده مادون قرمز HS۰۰۳۸ که در فرکانس ۳۸ کیلوهرتز کار می کند را در شکل ۱۰۶ مشاهده می کنید. بلوک دیاگرام مدار داخلی این گیرنده در شکل ۱۰۷ رسم شده است.



شکل ۱۰۶- شکل ظاهری گیرنده HS۰۰۳۸

مشخصات گیرنده به شرح زیر است.

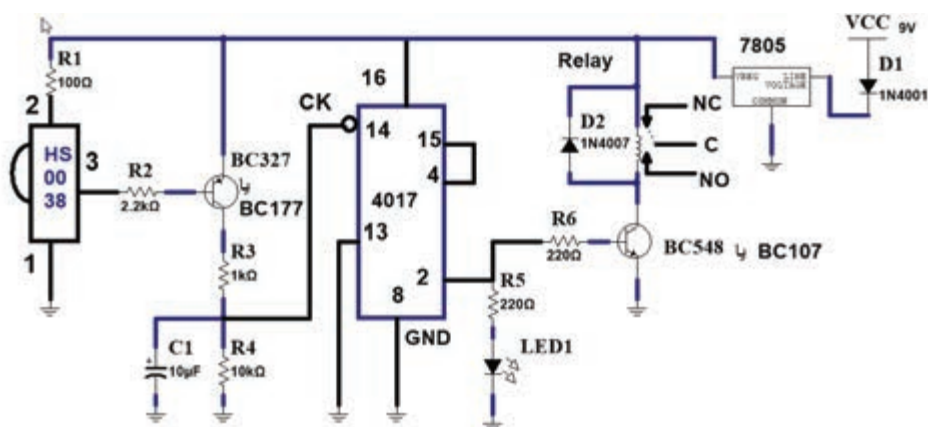
- دارای آشکارساز نوری و پیش تقویت کننده (Pre Amp)
- امنیت بالا در مقابل نور محیط
- فیلتر برای مدولاسیون PCM
- محافظت در مقابل پارازیت های میدان های الکتریکی
- سازگاری با سیستم TTL و CMOS
- خروجی در حالت فعال در وضعیت LOW
- توان تلفاتی کم (۵۰mw)



شکل ۱۰۷- بلوک دیاگرام مدار داخلی گیرنده

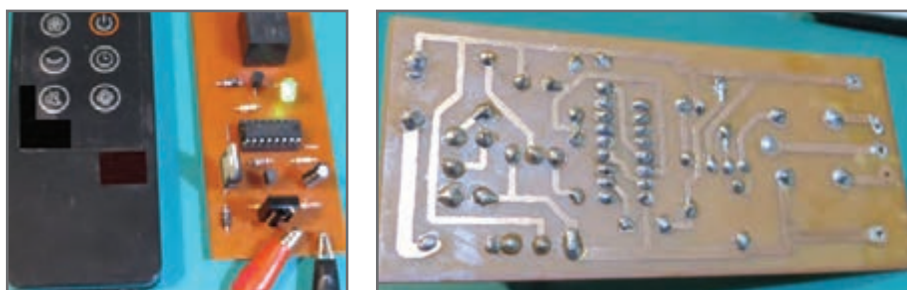


نقشه فنی گیرنده تک کانال: در شکل ۱۰۸ مدار گیرنده را مشاهده می کنید. در حالت عادی با تغذیه ۵ ولت خروجی سنسور در تراز High قرار دارد. با فشردن کلید ریموت کنترل، برای لحظه ای کوتاه خروجی به تراز Low آمده و ترانزیستور PNP فعال می شود و پالسی به آی سی اعمال می گردد. از هر ریموت کنترلی که در فرکانس ۳۸ کیلوهرتز کار می کند می توان استفاده نمود. از کنتاکت های رله به هر مداری می توان فرمان داد.

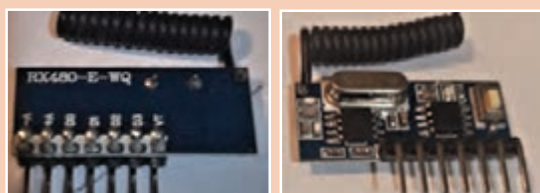


شکل ۱۰۸- مدار گیرنده تک کانال

در شکل ۱۰۹ برد مدار چاپی و مدار ساخته شده را مشاهده می کنید.



شکل ۱۰۹- مدار ساخته شده گیرنده تک کانال



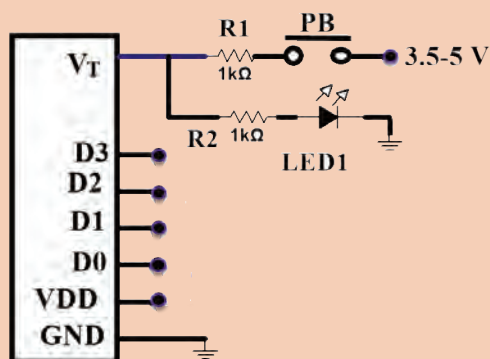
شکل ۱۱۰- ماژول گیرنده چهار کانال

گیرنده ASK برای فرمان به چهار کانال:

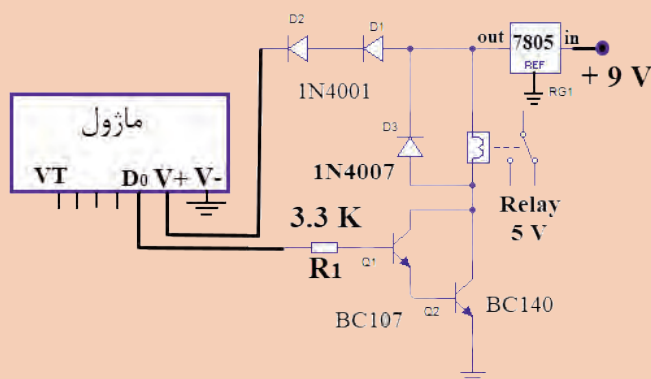
در این پروژه از ماژول با شماره RX486-E-W Q برای فرمان به ۴ کانال استفاده شده است. در شکل ۱۱۰ این ماژول را مشاهده می کنید.

پروژه
پیشنهادی

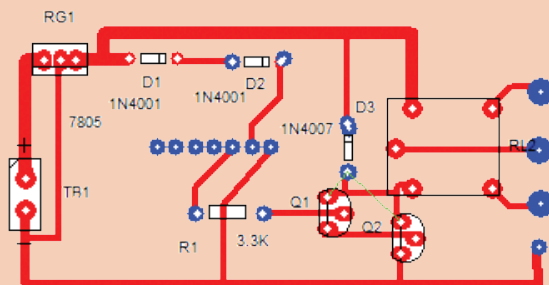




شکل ۱۱۱- پایه‌های ماژول گیرنده چهار کانال



شکل ۱۱۲- مدار تقویت جریان برای یک کانال



شکل ۱۱۴- طرح مدار چاپی و محل قرارگیری قطعات

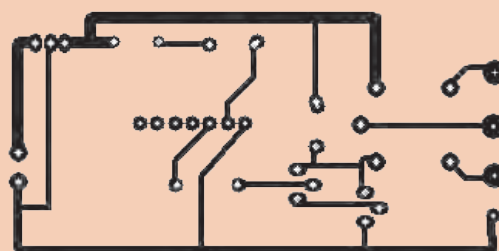
این ماژول یک گیرنده ASK است که در فرکانس ۴۳۳ و ۳۱۵ مگاهرتز کار می‌کند. شکل ۱۱۱ پایه‌های ماژول را نشان می‌دهد. مشخصات ماژول به این شرح است.

- سرعت انتقال داده‌ها ۲/۴ kbps
- جریان مصرفی کم‌تر از ۵ میلی‌آمپر
- جریان خروجی هر کانال کمتر از ۱۰ میلی‌آمپر
- ولتاژ کار ۳/۳ تا ۵ ولت
- نوع آی‌سی گیرنده EEPROM

چون جریان کشیدن بیش از اندازه ممکن است سبب سوختن ماژول گردد، برای راه‌اندازی رله باید جریان خروجی هر کانال را تقویت نمود. شکل ۱۱۲ مدار تقویت‌کننده جریان را نشان می‌دهد. وجود دیود در مسیر تغذیه ماژول، آن را در مقابل پلاریته معکوس تغذیه محافظت می‌کند. چون ماژول نسبت به اضافه ولتاژ تغذیه حساس است، توسط دو دیود ولتاژ کاهش یافته است.

در شکل ۱۱۳ یک نمونه طرح مدار چاپی برای یک کانال و در شکل ۱۱۴ چیدمان قطعات نشان داده شده است.

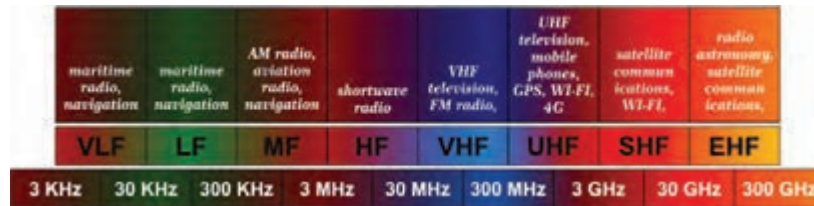
ریموت کنترل مورد استفاده خام بوده و باید برنامه‌ریزی شود. می‌توان چگونگی برنامه‌ریزی را از اینترنت بارگیری نمود.



شکل ۱۱۳- طرح مدار چاپی برای یک کانال

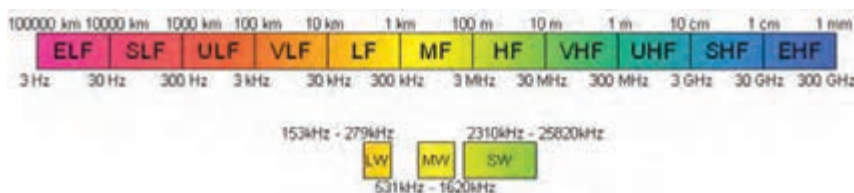
تعمیق و تثبیت یادگیری (۱)

- ۱ اجزای سامانه‌های مخابراتی را نام ببرید و نام هر بخش را به انگلیسی بنویسید.
- ۲ باتوجه به شکل ۱۱۵ کاربردهای باند MF، HF، VHF و UHF را بنویسید.

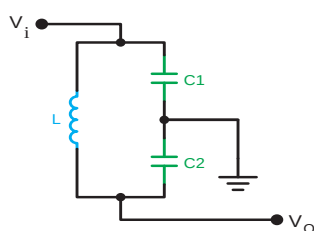


شکل ۱۱۵

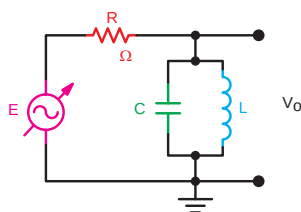
- ۳ باتوجه به شکل ۱۱۶ به پرسش‌ها پاسخ دهید.
- الف- محدوده فرکانسی تا کیلوهرتز LF نام دارد.
- ب- الف) محدوده فرکانسی تا کیلوهرتز VHF نام دارد.
- پ- الف) محدوده فرکانسی تا کیلوهرتز UHF نام دارد.
- ت- فاصله فرکانسی باند MW و SW در رادیو چقدر است؟



شکل ۱۱۶



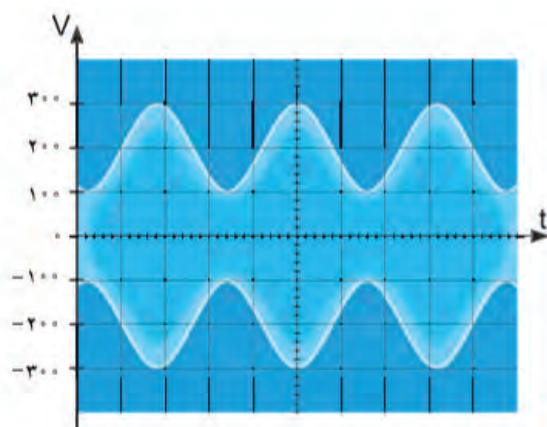
شکل ۱۱۷



شکل ۱۱۸

- ۴ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر بالا گذر را رسم کنید و روی منحنی فرکانس قطع را مشخص کنید.
- ۵ در فیلتر حذف باند، در فرکانس تشدید (رزونانس) دامنه ولتاژ خروجی کم‌ترین مقدار خود را دارد.
- ☐ غلط ☐ صحیح
- ۶ در فیلتر عبور باند با مقدار Q پهنای باند فیلتر کم‌تر می‌شود.
- ۷ نیازهای اولیه برای نوسان‌سازی را فقط نام ببرید.
- ۸ مدار تعیین فرکانس شکل ۱۱۷ مربوط به کدام نوع نوسان‌ساز است؟

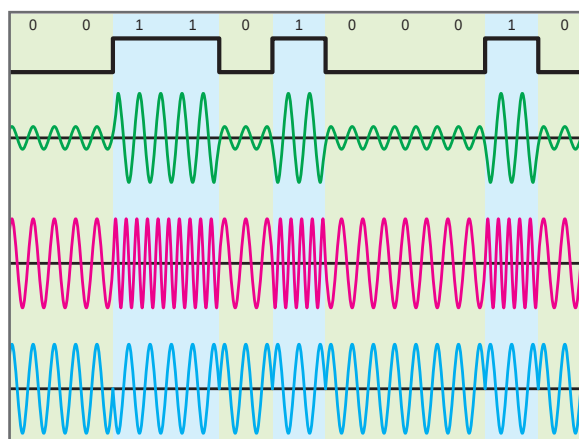
- ۱) پل‌وین ۲) کول‌پیتس
- ۳) هارتلی ۴) آرمسترانگ
- ۹ نام فیلتر شکل ۱۱۸ را بنویسید و منحنی پاسخ فرکانسی آن را رسم کنید.



شکل ۱۱۹

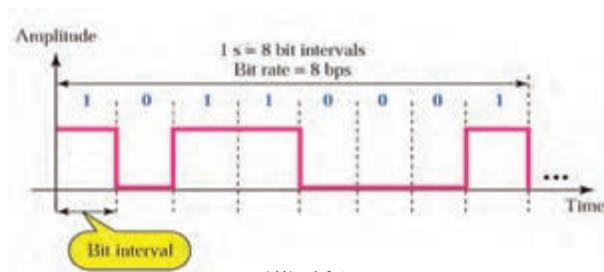
۱۰ VCO اول چه کلمات انگلیسی است؟ کلمات انگلیسی را بنویسید و به فارسی معنی کنید. بامراجعه به اسناد مختلف، شماره فنی یک نمونه آی سی VCO را بنویسید.

۱۱ درصد مدولاسیون را در شکل ۱۱۹ محاسبه کنید.



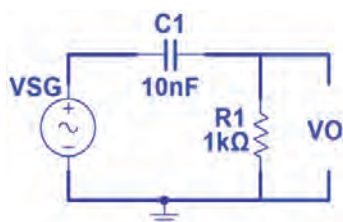
شکل ۱۲۰

۱۲ نام هر سیگنال در شکل ۱۲۰ را جلوی هر شکل بنویسید.



شکل ۱۲۱

۱۳ در شکل ۱۲۱ فاصله زمانی بیت و نرخ بیت را محاسبه کنید.



شکل ۱۲۲

تعمیق و تثبیت یادگیری (۲)

- ۱** نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر را فعال کنید.
- ۲** مدار شکل ۱۲۲ را در فضای نرم افزار ببندید.
- ۳** سیگنال ژنراتور را روی موج سینوسی و دامنه ۸ ولت پیک (۸ Vpk) تنظیم کنید.

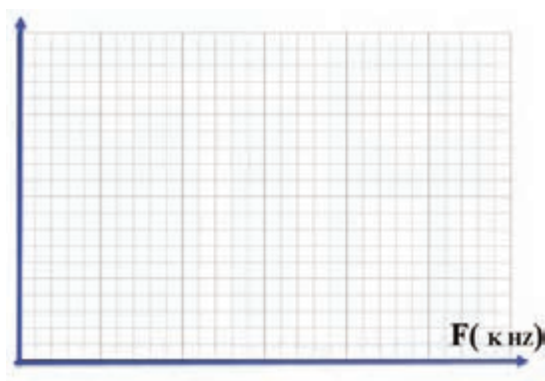
۴ فرکانس قطع فیلتر را با فرمول محاسبه و یادداشت نمایید.

۵ فرکانس موج سینوسی را مطابق جدول ۱۴ تغییر دهید و دامنه موج خروجی را به کمک اسیلوسکوپ نرم افزار اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۶ در فرکانس قطع دامنه موج خروجی فیلتر چند درصد دامنه موج ورودی است؟

۷ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۱۲۳ رسم کنید. روی منحنی، فرکانس قطع را مشخص کنید.

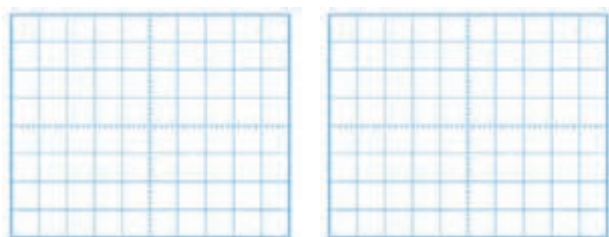
$$\frac{V_O}{V_I} \times 100\%$$



شکل ۱۲۳

جدول ۱۴

ردیف	فرکانس KHZ	ولت V_{OPP}
۱	۱	
۲	۵	
۳	۱۰	
۴	f_c	
۵	۲۵	
۶	۵۰	



شکل ۱۲۴

الگوی آزمون عملی با قطعات واقعی

پایان واحد یادگیری

۱ مدار شکل ۱۲۲ را روی برد بپنید.

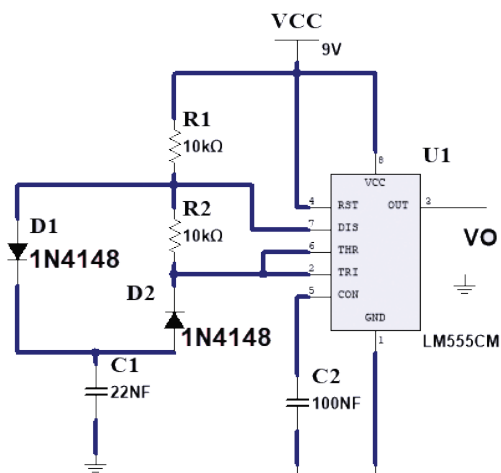
۲ منبع تغذیه را روی ۹ ولت تنظیم کنید و به مدار وصل نمایید.

۳ مدار را راه اندازی کنید.

۴ شکل موج خروجی و دو سر خازن C_1 را در نمودارهای شکل ۱۲۴ رسم کنید.

۵ زمان تناوب موجها را اندازه بگیرید و فرکانس موجها را محاسبه و یادداشت کنید.

۶ سیکل وظیفه موج خروجی را اندازه بگیرید.



شکل ۱۲۵

ارزشیابی شایستگی راه اندازی مدارهای فرستنده و گیرنده

نام و نام خانوادگی:		شماره ملی:		تاریخ ارزشیابی:	
کد حرفه	۸۲۱۲۳۳	حرفه	مونتاژکاران تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی	کد پیمانانه/پودمان	۸۲۱۲۱۳۰۱۳
کد وظیفه شغل	۸۲۱۲۳۳۰۱	وظیفه شغل	ساخت بردهای الکترونیکی	سطح صلاحیت	۳
کد کار	۸۲۱۲۳۳۰۱۳۱	کار	راه اندازی مدارهای فرستنده و گیرنده	سطح شایستگی	مهارت
				استاندارد عملکرد:	
				بررسی انواع مدولاسیون و راه اندازی و عیب یابی پروژه کاربردی مخابراتی با رعایت استانداردهای تعریف شده.	

دیف	مراحل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص ها/داوری /نمره دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	تشخیص صحیح و انتخاب انواع مدولاسیون پیوسته (AM/FM) و پالس (PAM, PPM, PWM)، شبیه سازی با نرم افزار و تعیین پارامترهای اولیه	نرم افزار شبیه سازی، رایانه، نقشه یا کتاب مدارها، فرم ثبت نتایج در زمان تعیین شده و کارگاه الکترونیک	قابل شبیه سازی، چک لیست مهارتی، مشاهده عملکرد و مقایسه نتایج با مقادیر تئوری	انتخاب صحیح نوع مدولاسیون و تعیین دقیق پارامترها	۳	
				انتخاب نوع مدولاسیون و تعیین پارامترها با خطای جزئی	۲	
				انتخاب نادرست نوع مدولاسیون و تعیین پارامترها با خطا	۱	
۲	پیاپی سازی صحیح مدار مدولاسیون و دمدولاسیون با اتصال دقیق قطعات، رعایت ترتیب پایه ها و اتصال صحیح به تغذیه	برد برد، قطعات مدار مدولاسیون و دمدولاسیون، منبع تغذیه، مولد سیگنال، اسیلوسکوپ، نقشه مدار، در زمان تعیین شده و کارگاه الکترونیک	بررسی عملکرد مدار، صحت اتصالات و شکل موج های خروجی، چک لیست مهارتی و مقایسه نتایج	پیاپی سازی دقیق مدارها	۳	
				پیاپی سازی صحیح با خطای جزئی	۲	
				پیاپی سازی نادرست یا ناقص مدارها	۱	
۳	تنظیم دقیق پارامترهای مدار شامل فرکانس و عرض پالس ها، عیب یابی و رفع خطاهای ساده به منظور دست یابی به عملکرد صحیح و سیگنال استاندارد	برد برد، منبع تغذیه، مولتی متر، اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور، قطعات مدار و نقشه مدار در زمان تعیین شده و کارگاه الکترونیک	مشاهده عملکرد و عیب یابی مدار، بررسی تنظیم پارامترها، کنترل سیگنال خروجی و تطابق آن با مقادیر استاندارد	تنظیم و عیب یابی صحیح و دست یابی به سیگنال استاندارد	۳	
				تنظیم و عیب یابی قابل قبول با خطای جزئی	۲	
				تنظیم نادرست، عدم رفع خطاها یا تولید سیگنال غیر استاندارد	۱	
۴	اندازه گیری و ثبت داده ها و تهیه گزارش نهایی فنی از عملکرد مدارها	فرم گزارش کار یا کتاب در کلاس یا کارگاه الکترونیک	بررسی گزارش کار، چک لیست مستند سازی، مشاهده نحوه اندازه گیری و ثبت و ارزیابی صحت نتایج ثبت شده	اندازه گیری، ثبت و گزارش صحیح	۳	
				اندازه گیری، ثبت و گزارش دهی قابل قبول با نقص یا خطای جزئی	۲	
				اندازه گیری نادرست، ثبت و ارائه گزارش ناقص	۱	
ملاحظات کلی و ارزشیابی نهایی						
۵	ملاحظات کلی و ارزشیابی نهایی	ملاحظات کلی و ارزشیابی نهایی	ملاحظات کلی و ارزشیابی نهایی	ملاحظات کلی و ارزشیابی نهایی	رعایت کامل ایمنی، بهداشت و محیط زیست، رفتار حرفه ای، نظم و مسئولیت پذیری بالا	۲
					رعایت نسبی ایمنی و بهداشت با خطاهای جزئی، رفتار کاری مناسب	۱

ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)		☐ بلی ☐ خیر
----------------------------------	--	--

توضیحات:

معیار شایستگی انجام کار:

– کسب حداقل نمره ۲ در تمامی مراحل اجرای کارهای عملی شامل بستن صحیح مدار، تنظیم دقیق پارامترهای مدار، عیب یابی و رفع خطا، اندازه گیری صحیح، ثبت نتایج و ارائه گزارش از عملکرد مدارها (مراحل بحرانی).

– کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش

– کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه ای انجام می شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

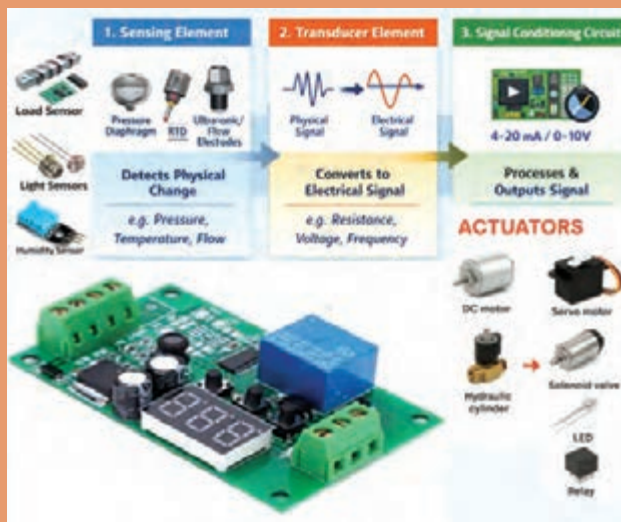
مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه ریزی و تحلیل، پاسخ گویی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت ها

تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.



پودمان چهارم

ساخت مدارهای الکترونیکی با ابزار دقیق



ابزار دقیق در صنعت به مجموعه‌ای از تجهیزات و مدارهای الکترونیکی گفته می‌شود که برای اندازه‌گیری، تبدیل، ارسال و کنترل کمیت‌های فیزیکی مانند نور، دما، فشار، جریان، سطح، سرعت و رطوبت به کار می‌روند. این ابزارها نقش کلیدی در کنترل فرایندهای صنعتی دارند. تصور کنید در یک کارخانه بزرگ هستید. برای اینکه همه چیز درست پیش برود، باید بدانیم دما چقدر است، فشار چقدر است یا مایعات چقدر پر شده‌اند. «ابزار دقیق» همان دستگاه‌ها و ابزارهایی هستند که این اطلاعات را برای ما می‌خوانند و ثبت می‌کنند.

این ابزارها مثل چشم و گوش مهندسان هستند و کمک می‌کنند تا:

– کارخانه ایمن تر باشد و خطری افراد را تهدید نکند.

– کیفیت محصولات بهتر شود.

– هزینه‌ها کاهش یابد و اتلاف انرژی نداشته باشیم.

در این پودمان، برخی از اصول اساسی ابزار دقیق صنعتی مورد بررسی قرار می‌گیرد و همچنین یاد می‌گیریم که چگونه با استفاده از ابزارهای ساده و هوشمند، کمیت‌هایی مانند نور، دما، فشار، سرعت و سطح مایعات را اندازه‌گیری و کنترل کنیم و چطور یک فرایند صنعتی را دقیق تر و هوشمندتر اجرا کنیم.

واحد یادگیری ۱: تبدیل کمیت‌های فیزیکی به الکتریکی

آیا تا به حال فکر کرده‌اید

- طراحی مدارهای منطقی پیشرفته براساس یک اصول واحد صورت می‌گیرد؟
- سیستم ابزار دقیق چه کاربردی در صنایع مختلف دارد و چه کمیت‌هایی را اندازه‌گیری می‌کند؟
- حسگرها و مبدل‌ها چگونه کمیت‌های فیزیکی را قابل اندازه‌گیری می‌کنند؟
- سیگنال‌های حاصل از حسگرها پس از پردازش به کجا منتقل می‌شوند و چه عملی روی آنها انجام می‌شود؟
- واحد کنترل و وسیله نهایی کنترل چه نقشی در سیستم ابزار دقیق دارند؟
- بازخورد (فیدبک) در سیستم ابزار دقیق چه عملکردی دارد؟

به مجموعه فعالیت‌های متنوعی که از وظایف و فعالیت‌ها متوالی و منظم به صورت مکرر و دوره‌ای تا رسیدن به نتیجه مطلوب انجام می‌شوند فرایند «پروسه»^۱ گفته می‌شود. مانند: پخت نان، کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی و

سیستم ابزار دقیق شامل دستگاه‌ها و اجزائی است که برای اندازه‌گیری، پایش و کنترل کمیت‌های فیزیکی در صنایع مختلف استفاده می‌شود. کمیت‌هایی مانند دمای محیط، نور، فشار، جریان و سطح مایعات با استفاده از حسگرها و مبدل‌ها به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌شوند. سیگنال‌های حاصل پس از پردازش (تقویت، فیلتر و تبدیل) از طریق سیستم انتقال سیمی یا بی‌سیم به نمایشگر یا واحد کنترل ارسال می‌شوند.

نمایشگرها و نشان‌دهنده‌ها مقدار کمیت‌ها را قابل خواندن می‌کنند و واحد کنترل با استفاده از داده‌ها، فرایند را کنترل می‌کند. وسیله نهایی کنترل مانند شیر کنترلی، موتور یا گرم‌کن الکتریکی مقدار کمیت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بازخورد (فیدبک) نیز شرایط فرایند را در وضعیت مطلوب حفظ می‌کند.

در این واحدا یادگیری، هنرجویان با مفهوم کمیت‌های فیزیکی مانند دما، نور، فشار، رطوبت و ... آشنا می‌شوند و می‌آموزند که چگونه این کمیت‌ها به سیگنال‌های الکتریکی قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌شوند. در این راستا، انواع مبدل‌های ساده معرفی شده و نحوه عملکرد آنها به زبان ساده بررسی می‌گردد. هنرجویان با ابزار دقیق پایه مانند مولتی‌متر و منبع تغذیه کار کرده و مدارهای ساده‌ای را برای تبدیل کمیت‌های فیزیکی به ولتاژ یا جریان الکتریکی پیاده‌سازی می‌کنند. هدف این واحد ایجاد درک اولیه از فرایند اندازه‌گیری و آماده‌سازی هنرجویان برای کار عملی با مدارهای الکترونیکی است.

بدیهی است برای تحلیل و بررسی و اجرای عملی یک مدار کاربردی در تمام مراحل کار رعایت نکات ایمنی و بهداشتی و توجه به مهارت‌های غیرفنی مانند کارگروهی، مسئولیت‌پذیری، پایبندی به نظم و ترتیب از مواردی است که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و باید رعایت شود.

استاندارد عملکرد

با درک اصول اولیه اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی و شناخت مبدل‌های ساده، مدارهای تبدیل کمیت‌های فیزیکی به سیگنال الکتریکی را پیاده‌سازی و آزمایش کند.

فرایندهای صنعتی

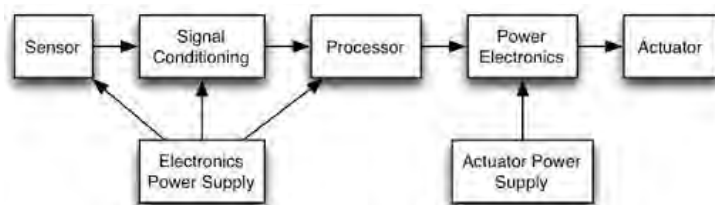
در قلب هر کارخانه، پالایشگاه یا خط تولید مدرن، صدای خاموش اما قدرتمند ابزارهای اندازه‌گیری شنیده می‌شود. ابزار دقیق ستون فقرات صنعت مدرن است؛ مجموعه‌ای از تجهیزات و مدارهای الکترونیکی که چشم و گوش مهندسان را به دنیای فیزیکی متصل می‌کنند. از اندازه‌گیری دمای سوزان کوره‌ها گرفته تا حس کردن فشار گازها و کنترل سطح مایعات.

ابزار دقیق، علمی است که به اندازه‌گیری و کنترل خودکار می‌پردازد و اطلاعات حیاتی را جمع‌آوری کرده و به فرمان‌های کنترلی تبدیل می‌کند.

کاربردهای این علم در تحقیقات مدرن، صنعت و زندگی روزمره بسیار گسترده است. از سیستم‌های کنترل موتور خودرو گرفته تا ترموستات‌های خانگی، سیستم‌های هدایت خودکار هواپیما، تولید داروهای داروسازی، اتوماسیون در اطراف ما حضور دارد. این واحد یادگیری برخی از اصول پایه‌ای ابزار دقیق صنعتی را توضیح می‌دهد.

نیاز به فرایند و کنترل در صنعت

در دنیای صنعت، کارخانه‌ها وظایف مختلفی بر عهده دارند؛ مثلاً ممکن است بخواهند یک مایع را با دمای دقیق جابه‌جا کنند، یا گازی با فشار مشخص تولید کنند. به فعالیتهایی که منجر به تولید یک محصول می‌شوند پروسه^۱ یا فرایند گفته می‌شود.



شکل ۱

حالا برای اینکه این فرایندها دقیقاً همان‌طور که ما می‌خواهیم پیش بروند و نتیجه مطلوب حاصل شود، نیاز به یک سیستم «کنترل»^۲ است. در شکل ۱ بلوک دیاگرام ساده سامانه کنترل فرایند را مشاهده می‌کنید.

کنترل فرایند صنعتی

به زبان ساده، کنترل فرایند یعنی استفاده از ابزارها و روش‌های هوشمندانه برای اینکه مطمئن شویم یک فرایند صنعتی (مانند تولید، انتقال مواد، مخلوط کردن، یا گرم/سرد کردن) همیشه در شرایط ایده‌آل و درست خود باقی بماند.

یک مثال ساده: تصور کنید در حال رانندگی با خودرو هستید و می‌خواهید سرعت خود را روی ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت ثابت نگه دارید. در این حالت، پدال گاز و ترمز، ابزارهای کنترلی شما هستند که با تنظیم آنها، سرعت خودرو را کنترل می‌کنید. در صنعت هم همین‌طور است، اما با ابزارهای پیچیده‌تر و خودکار.

برای آشنایی با اجرای سامانه کنترل فرایند داخل بلوک‌های شکل ۱ را ترجمه کنید.

فعالیت



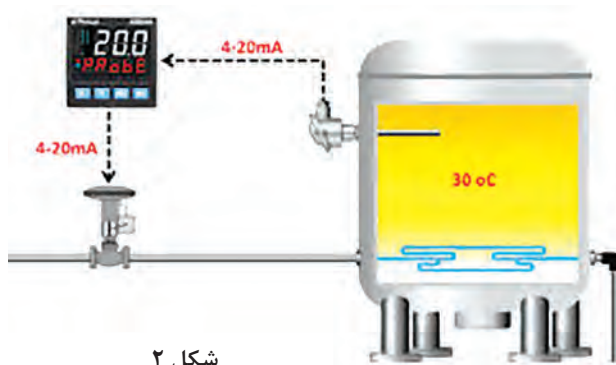
■ اهمیت کنترل فرایند در صنعت

– **کیفیت محصول:** کنترل دقیق فرایند باعث می‌شود، محصول نهایی کارخانه (مثل دارو، غذا، قطعات صنعتی) همیشه باکیفیت یکسان و مطابق استانداردها باشند.

– **ایمنی:** بسیاری از فرایندهای صنعتی اگر خارج از کنترل باشند، می‌توانند بسیار خطرناک شوند (مثل احتمال انفجار، آتش‌سوزی یا نشت مواد سمی) سیستم‌های کنترلی از بروز چنین حوادثی جلوگیری کرده و سیستم با ایمنی بیشتر کار خواهد کرد.

– **صرفه‌جویی اقتصادی:** با کنترل دقیق، از هدر رفتن مواد اولیه، انرژی (برق، گاز) و زمان جلوگیری می‌شود. در واقع این موضوع مستقیماً به کاهش هزینه‌های تولید و صرفه‌جویی اقتصادی کمک می‌کند.

– **اتوماسیون و کارایی:** امروزه بسیاری از عملیات صنعتی توسط سیستم‌های کنترلی به‌صورت خودکار انجام می‌شوند. این امر باعث افزایش سرعت، دقت و کاهش نیاز به دخالت مداوم انسان می‌شود.



شکل ۲

فرض کنید می‌خواهیم دمای یک کوره صنعتی، شکل ۲ را همیشه روی ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه داریم. برای این کار اول باید بدانیم دمای فعلی کوره چقدر است. یک دماسنج مخصوص صنعتی که به آن سنسور^۱ دما (حسگر دما) می‌گویند این کار را برای ما انجام می‌دهد. این سنسور، دما را اندازه گرفته و آن را به یک سیگنال الکتریکی (مثلاً ولتاژ یا جریان) تبدیل می‌کند.

یک سامانه کنترلی هوشمند (مانند کامپیوترهای صنعتی کوچک) دمای فعلی (سیگنال دریافتی از حسگر) را با دمای مطلوب ما (همان ۲۰۰ درجه) مقایسه می‌کند. اگر دمای فعلی کمتر از ۲۰۰ درجه باشد، کنترل‌کننده دستور می‌دهد که گرما بیشتر شود. اگر دما بیشتر از ۲۰۰ درجه باشد، دستور می‌دهد گرما را کاهش دهد. برای این منظور از یک وسیله به نام عملگر^۲ استفاده می‌شود تا دستورات صادر شده از طرف کنترل‌کننده را اجرا کند. در مورد کوره، عملگر می‌تواند یک شیر گازی باشد که میزان ورود گاز به مشعل را تنظیم می‌کند، یا یک المنت برقی که قدرت گرمادهی آن کم و زیاد می‌شود. کنترل‌کننده به این عملگر سیگنال می‌دهد تا دما را تنظیم کند. به عملیاتی که درون کوره رخ می‌دهد (یعنی تولید گرما و تغییر دما) فرایند^۳ می‌گویند. به این مراحل کاری بین (حسگر، کنترل‌کننده، عملگر و فرایند) که با هم در یک چرخه مداوم کار می‌کنند، چرخه کنترل یا حلقه بازخورد^۳ یا فیدبک می‌گویند، یعنی:

■ حسگر دما را می‌خواند.

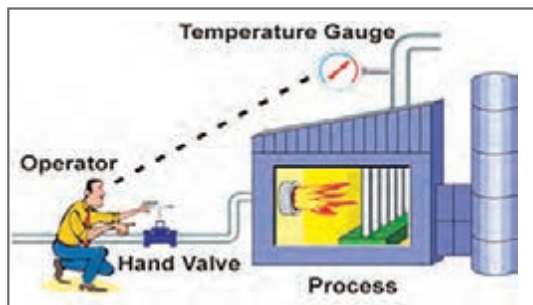
■ کنترل‌کننده دما را با مقدار مطلوب مقایسه کرده و تصمیم می‌گیرد.

■ عملگر دستور را اجرا می‌کند (مثلاً شیر گاز را تنظیم می‌کند).

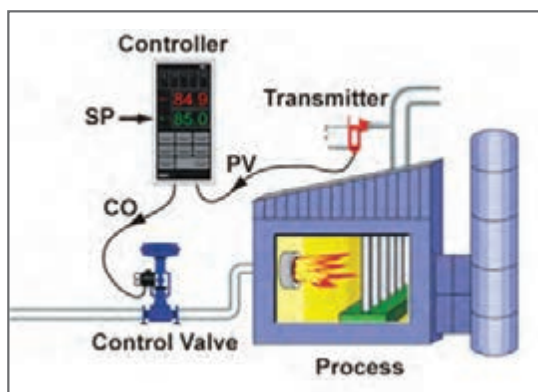
■ فرایند (دما) تغییر می‌کند.

■ حسگر دوباره دمای جدید را می‌خواند و...

این چرخه همین‌طور ادامه پیدا می‌کند تا دمای کوره در همان ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد باقی بماند.



شکل ۳



شکل ۴

انواع روش‌های کنترل

کنترل دستی^۱: در این روش، یک اپراتور با مشاهده مستقیم نمایشگر دما، به صورت دستی شیر گاز یا سایر تنظیمات را کم و زیاد می‌کند. این روش ساده است اما دقت و سرعت کمتری دارد (شکل ۳).

کنترل خودکار^۲: سیستم‌هایی که اجزای سنسور، کنترل‌کننده و عملگر را دارند و به طور مداوم و خودکار فرایند را تنظیم می‌کنند. امروزه در اکثر صنایع به دلیل دقت، سرعت، اطمینان و صرفه‌جویی بیشتر از کنترل خودکار استفاده می‌شود (شکل ۴).

خودارزیابی

۱ در یک سامانه کنترل دمای کوره، وظیفه تبدیل دمای فعلی به یک سیگنال الکتریکی (مانند ولتاژ یا جریان) بر عهده کدام بخش است؟

- الف) کنترل‌کننده (Controller) ب) عملگر (Actuator)
ج) حسگر (Sensor) د) فرایند (Process)

۲ کدام یک از موارد زیر، مستقیماً به «صرفه‌جویی اقتصادی» در کنترل فرایند صنعتی کمک می‌کند؟
الف) افزایش سرعت تولید تنها ب) جلوگیری از هدر رفتن مواد اولیه و انرژی
ج) حذف کامل نقش انسان در صنعت د) استفاده از دستگاه‌های پیچیده‌تر

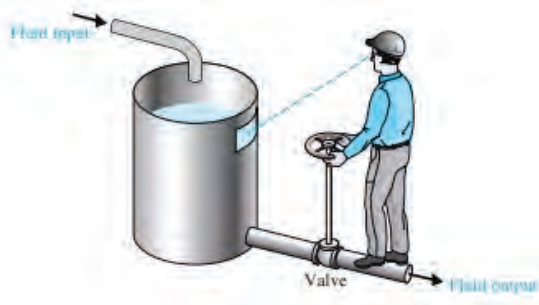
۳ در کنترل فرایند، «عملگر» (Actuator) وظیفه مقایسه دمای فعلی با دمای مطلوب را بر عهده دارد.
☐ صحیح ☐ غلط

۴ به چرخه مداوم کارکرد حسگر، کنترل‌کننده، عملگر و فرایند، حلقه بازخورد (فیدبک - Feedback Loop) گفته می‌شود. ☐ صحیح ☐ غلط

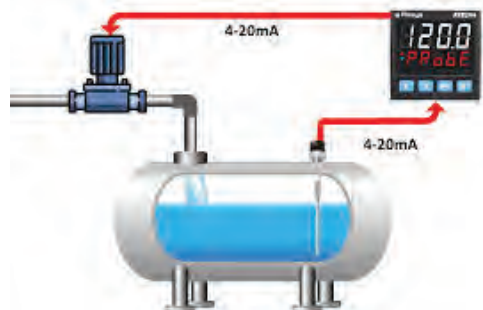
۵ فعالیت‌های تولیدی و انتقالی در صنعت (مانند کنترل دما، جابه‌جایی، سطح مایعات یا تولید گاز با فشار مشخص) را چه می‌نامند؟

۶ در مثال کنترل دمای کوره، شکل ۲ اگر دمای فعلی از مقدار مطلوب کمتر باشد، کنترل‌کننده چه دستوری به عملگر صادر می‌کند؟

۷ در شکل ۵ کدام فرایند به صورت خودکار کنترل می شود؟
 ۸ کنترل فرایند در شکل ۶ از نوع است.



شکل ۶

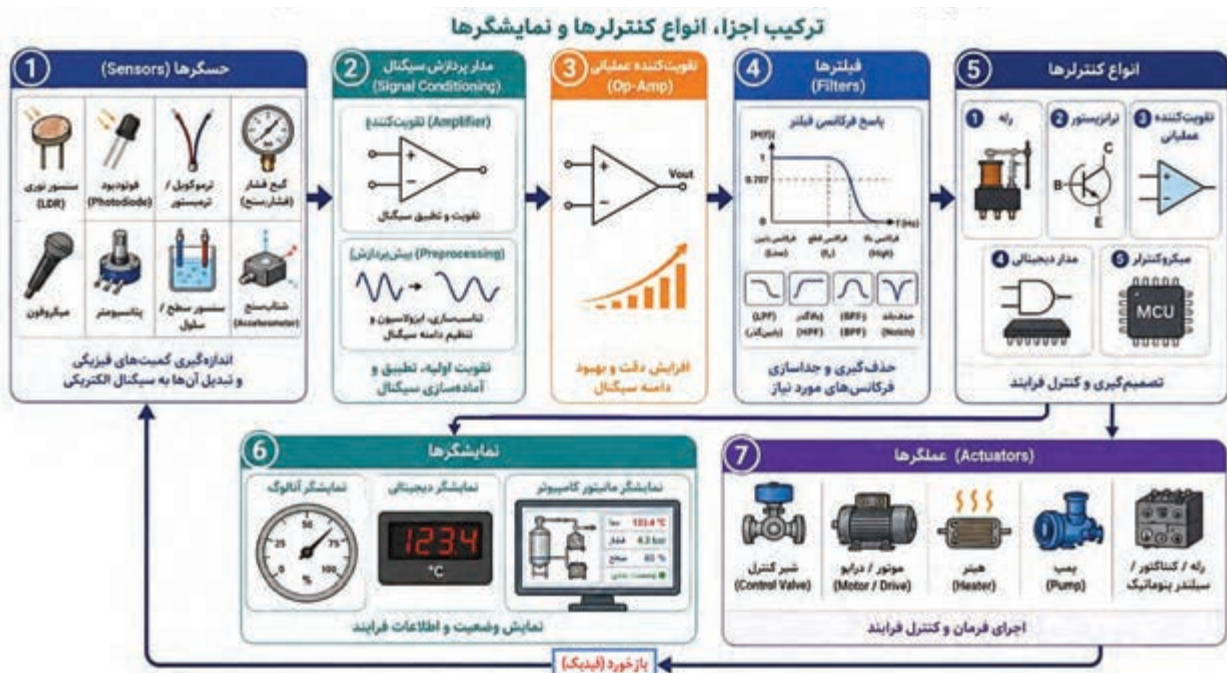


شکل ۵

اجزا و عملکرد سامانه های کنترل فرایند صنعتی

سامانه های کنترل فرایند صنعتی، مجموعه ای از تجهیزات (شامل حسگر، کنترل کننده و عملگر) هستند که به طور خودکار وضعیت تولید را دنبال کرده و با مقایسه آن با مقادیر استاندارد، تغییرات لازم را برای حفظ کیفیت و ایمنی انجام می دهند.

عملکرد این سامانه بر پایه یک چرخه مداوم است که در آن ابتدا داده ها اندازه گیری شده، سپس در واحد پردازش تحلیل می شوند و در نهایت دستورات لازم برای اصلاح رفتار دستگاه ها صادر می گردد. در شکل ۷ اجزای تشکیل دهنده یک سامانه کنترل فرایند صنعتی به صورت یکپارچه نمایش داده شده است که ارتباط میان حسگر، کنترل کننده و عناصر نهایی را نشان می دهد.



شکل ۷ - اجزا و عملکرد سامانه های کنترل فرایند صنعتی

۱ حسگرها (Sensors)

عنصر حسگر اولیه (Primary Sensing Element-PSE): این بخش، مستقیماً کمیت یا متغیر فرایند را اندازه‌گیری می‌کند و آن را به یک سیگنال آنالوگ (مانند ولتاژ، جریان، تغییر مقاومت الکتریکی، نیرو، یا جابه‌جایی مکانیکی) تبدیل می‌کند.

برای مثال از مقاومت وابسته به نور LDR (برای تشخیص شدت نور محیط)، دیود نوری Photo Diode (برای تشخیص نور و تبدیل آن به جریان الکتریکی)، ترموکوپل (برای اندازه‌گیری دما)، ترمیستور (برای دما)، لوله بوردون (برای فشار)، میکروفون (برای صدا)، پتانسیومتر (برای جابه‌جایی)، سلول الکتروشیمیایی (برای غلظت مواد)، شتاب‌سنج (برای شتاب و لرزش) استفاده می‌شود.

عملکرد کلی حسگرها: حسگرها که گاهی آشکارساز (Detector) نیز نامیده می‌شوند، از قطعات الکترونیکی یا مواد حساس ساخته شده‌اند. وظیفه اصلی آنها تشخیص وجود یک جسم، رویداد، یا اندازه‌گیری یک کمیت فیزیکی خاص است.

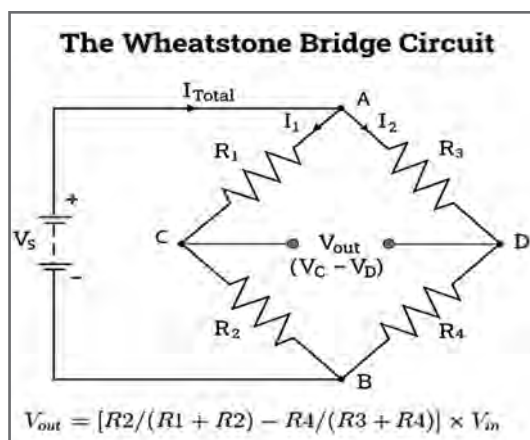
تبدیل کمیت‌ها: حسگرها قادرند کمیت‌های فیزیکی مانند نور، دما، جابه‌جایی، حرکت، سرعت، فشار، یا نیرو را به کمیت‌های الکتریکی (مانند جریان، ولتاژ) یا سیگنال‌های دیگر تبدیل کنند تا قابل پردازش و استفاده توسط سیستم‌های دیگر باشند.

۲ مدار پردازش سیگنال (Signal Conditioning Circuit): سیگنال خروجی اولیه حسگر (Sensor) معمولاً

ضعیف، نویزی یا به فرمت نامناسبی است. این مدار سیگنال را تقویت، فیلتر و گاهی به فرمت دیگری (مانند ولتاژ یا جریان استاندارد) تبدیل می‌کند. برای تبدیل مقدار کمیت فیزیکی به ولتاژ یا جریان از تجهیزاتی به نام مبدل (TRANSDUCER) استفاده می‌شود.

در شکل ۸ یک مدار الکتریکی که اغلب به عنوان یک مبدل در انواع حسگرها استفاده می‌شود تا تغییر کوچک مقاومت را به یک تغییر ولتاژ قابل اندازه‌گیری تبدیل کند، نشان می‌دهد. به این مدار پل وِستون (Wheatstone Bridge) گفته می‌شود. اغلب مدار الکتریکی یک حسگر مانند فشار/نیرو، دما و نور در یکی از شاخه‌های پل وِستون قرار می‌گیرد و با تغییر مقاومت بر اثر تغییرات کمیت فیزیکی نیرو، دما و نور ولتاژ خروجی پل تغییر می‌کند.

این مدار براساس مقایسه کار می‌کند، یعنی مقاومت مجهول با تعدادی مقاومت معلوم مقایسه می‌شود. وقتی پل در حال تعادل قرار می‌گیرد که رابطه $R_1 \times R_4 = R_2 \times R_3$ برقرار باشد.



شکل ۸- مدار پل وِستون

در این حالت پتانسیل $V_D = V_C$ می‌شود. اگر مقدار یکی از مقاومت‌ها که وابستگی به سنسور مورد نظر دارد، تغییر کند پل از تعادل خارج شده و اختلاف پتانسیل در دوسر C و D ایجاد می‌شود.

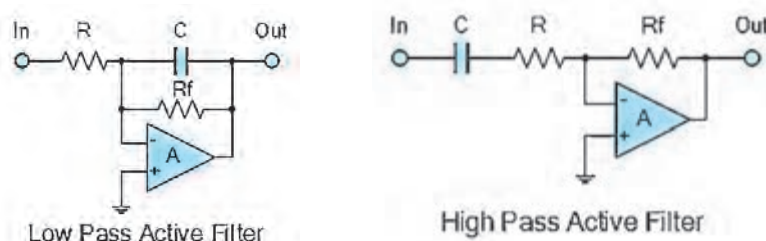
این پل دارای چهار بازو است که در یک بازوی آن کمیت مورد نظر قرار می‌گیرد و در سه بازوی دیگر آن کمیت‌های معلوم (مقاومت‌های با مقدار مشخص شده و استاندارد) قرار دارند.

۳ تقویت کننده های عملیاتی (Operational Amplifiers Op-Amps)

برای تقویت سیگنال ضعیف سنسور استفاده می شوند.

۴ فیلترها (Filters)

برای حذف ریزموج های مزاحم و ناخواسته سیگنال (نویزهای سیگنال) در مدارها به کار می روند شکل ۹ تصویر چند نمونه فیلتر را نشان می دهد.



شکل ۹

۵ کنترل کننده (Controller)

کنترل کننده مانند «مغز» یک سیستم خودکار عمل می کند. وظیفه اش این است که با دریافت اطلاعات از «حواس» سیستم (یعنی حسگرها)، وضعیت فعلی فرایند را بفهمد و سپس این وضعیت را با آن چیزی که باید باشد (مقدار مطلوب *Setpoint*): مقداری از پیش تعیین شده یا حد آستانه ای که روی دستگاه تنظیم می کنیم تا وقتی شرایط به آن رسید سویچ فعال (قطع یا وصل شود) مقایسه می کند. در نهایت، بر اساس این مقایسه، یک دستور به «دست های» سیستم (یعنی عملگرها) بدهد تا فرایند را به حالت ایده آل برگرداند یا در همان حالت نگه دارد.

چند مثال از انواع کنترل کننده

ترموستات: یکی از ساده ترین انواع کنترل کننده ها ترموستات است. در یک آبگرمکن برقی ساده، ترموستات (که خودش یک نوع کنترل کننده با حسگر دما است) با استفاده از یک رله، هیتر را زمانی که دما پایین است روشن و زمانی که دما به حد مطلوب رسید، خاموش می کند.

رله های قابل برنامه ریزی (PLR): یکی از انواع کنترل کننده ها رله های قابل برنامه ریزی است که امروزه استفاده از آنها در مدارهای الکترونیکی و الکتریکی رایج شده است.

به عنوان مثال کنترل روشنایی راه پله مجتمع های مسکونی بزرگ یا کنترل کارکرد موتور پمپ آب مزارع کشاورزی و پارک ها و یا دریافت یک سیگنال (مثلا از یک حسگر دما)، که بتواند هیتر را در زمان های مشخصی روشن یا خاموش کند.

میکروکنترلر (Microcontroller): میکروکنترلرها، کامپیوترهای کوچکی هستند که درون خود پردازنده، حافظه و ورودی/خروجی دارند. آنها می توانند برنامه های پیچیده تری را اجرا کنند و وظایف کنترلی دقیق تر و انعطاف پذیرتری را نسبت به رله ها انجام دهند. میکروکنترلرها قادرند چندین حسگر را بخوانند، محاسبات پیچیده تر انجام دهند و چندین عملگر را به طور هم زمان کنترل کنند.

برای مثال در یک ماشین لباسشویی مدرن، یک میکروکنترلر وظیفه کنترل همه چیز (از تنظیم زمان شست و شو، دما، سرعت چرخش موتور، تاباز و بسته کردن شیر آب و تخلیه دیگ) را بر عهده دارد. این میکروکنترلر اطلاعات را از حسگرهای مختلف (مانند حسگر سطح آب، حسگر دما، و سنسور تعادل دیگ) دریافت کرده و بر اساس برنامه شست و شو، دستورات لازم را به موتور، پمپ، شیرهای برقی و هیتر صادر می کند.

مثال



۶ مدار نمایش یا خروجی (Display or Output Circuit)

این بخش، سیگنال پردازش شده را به شکلی قابل فهم برای کاربر نمایش می‌دهد یا به مدار دیگری ارسال می‌کند.

– **نمایشگرهای آنالوگ (Analog Displays):** مانند عقربه‌های ولت‌متر یا آمپر متر که مستقیماً مقدار فشار (یا متناسب با آن) را نشان می‌دهند.

– **نمایشگرهای دیجیتال ساده (Simple Digital Displays):** مانند نمایشگرهای ۷-قسمتی (۷Seg) که ولتاژ یا جریان پردازش شده را به صورت عددی نشان می‌دهند. این نمایشگرها معمولاً توسط یک درایور ساده (بدون میکروکنترلر) کنترل می‌شوند.

۷ عملگرها (Actuators)

بعد از اینکه سیستم کنترل تشخیص داد که چه تغییری باید در فرایند ایجاد شود، نوبت به عملگرها می‌رسد. عملگرها مانند «دست‌های» سیستم کنترل هستند که وظیفه اجرای دستورات را بر عهده دارند. آنها سیگنال الکتریکی دریافتی از کنترل کننده را به یک اقدام فیزیکی تبدیل می‌کنند که مستقیماً بر فرایند تأثیر می‌گذارد.

عملگرها انرژی دریافتی (معمولاً الکتریکی) را به انرژی مکانیکی، حرارتی یا شکلی دیگر تبدیل می‌کنند تا پارامترهای فرایند (مانند نور، دما، فشار، جریان، سطح) را تغییر دهند. برخی از این عملگرها عبارتند از:

– **شیر برقی (Solenoid Valve):** یک شیر که با دریافت سیگنال الکتریکی، باز یا بسته می‌شود تا جریان مایع یا گاز را کنترل کند.

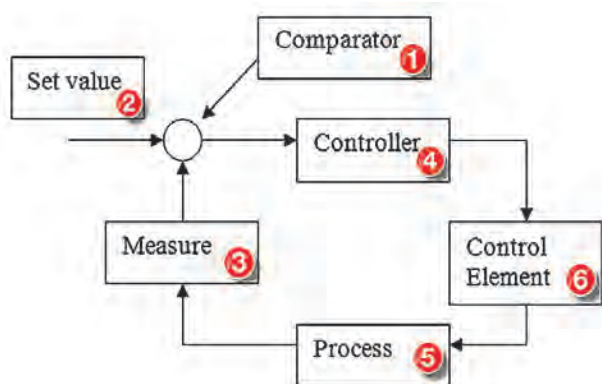
– **موتور الکتریکی (Electric Motor):** که می‌تواند پمپ‌ها، تسمه نقاله‌ها، یا فن‌ها را راه‌اندازی کند و سرعت آنها را تنظیم کند.

– **گرم‌کن (Heater):** که با دریافت سیگنال، روشن شده و دما را افزایش می‌دهد.

– **دمپر (Damper):** دریچه‌ای در کانال هوا که میزان عبور هوا را تنظیم می‌کند.

خودارزیابی

۱ با توجه به شکل ۱۰ عنوان هر بلوک را ترجمه کنید و در جدول ۱ بنویسید.



شکل ۱۰

جدول ۱

ردیف	ترجمه واژه	واژه انگلیسی
۱		
۲		
۳		
۴		
۵		
۶		

۲ وظیفه اصلی «حسگرها» در یک سامانه کنترل فرایند چیست؟

الف) تصمیم‌گیری بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده

ب) تبدیل مقادیر مطلوب (Set-Point) به سیگنال الکتریکی

ج) اندازه‌گیری متغیرهای فیزیکی و تبدیل آنها به سیگنال استاندارد

د) اعمال تغییرات فیزیکی در خط تولید

۳ کدام جزء سامانه، نقش «مغز» سیستم را ایفا می‌کند و مقادیر کنترلی را پردازش می‌نماید؟

الف) عنصر نهایی (مانند شیر کنترلی)

ب) کنترل‌کننده (Controller)

ج) حسگر (Sensor)

د) نمایشگر (Monitor)

۴ در یک سامانه کنترل، «شیر کنترلی» در کدام دسته از اجزا قرار می‌گیرد؟

الف) حسگر و فرستنده

ب) کنترل‌کننده مرکزی

ج) عنصر نهایی یا عملگر

د) واحد نمایش و پایش

۵ هدف اصلی از عملکرد یک سامانه کنترل فرایند چیست؟

الف) افزایش مصرف انرژی در خط تولید

ب) حذف کامل نیاز به حسگرها

ج) حفظ پایداری، کیفیت و ایمنی تولید با تطبیق متغیرها با مقدار مطلوب

د) تبدیل دستی سیگنال‌های الکتریکی به متغیرهای فیزیکی

۶ کنترل‌کننده با مقایسه سیگنال حسگر با مقدار مطلوب (Set-point)، تصمیم به تغییر خروجی می‌گیرد.

☐ صحیح ☐ غلط

۷ حسگرها وظیفه دارند فرمان‌های صادر شده از کنترل‌کننده را به متغیرهای فیزیکی تبدیل کنند.

☐ صحیح ☐ غلط

۸ عناصر نهایی (مانند شیرها) وظیفه دارند فرمان‌های کنترل‌کننده را به تغییرات فیزیکی در فرایند تبدیل کنند.

☐ صحیح ☐ غلط

۹ در یک سامانه کنترل، چرخه اندازه‌گیری و پردازش به‌صورت مداوم و خودکار انجام می‌شود.

☐ صحیح ☐ غلط

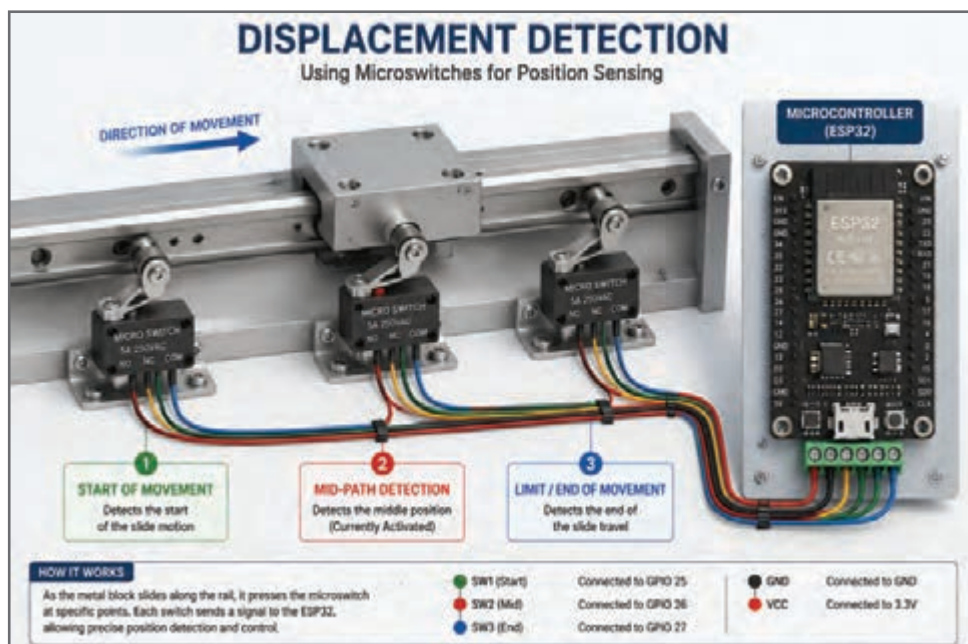
۱۰ تفاوت اصلی نقش «حسگر» و «کنترل‌کننده» را بنویسید.

۱۱ منظور از مقدار مطلوب (Set-point) در سامانه‌های کنترل را شرح دهید.

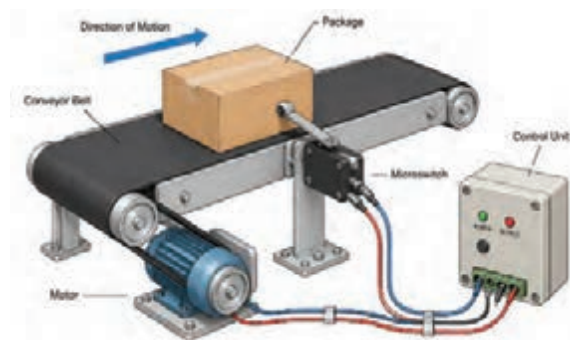
۱۲ وظیفه عنصر نهایی (Final Control Element) در سامانه کنترل را بنویسید.

تشخیص جابه‌جایی (Displacement Detection)

تشخیص جابه‌جایی به فرایند شناسایی و اندازه‌گیری تغییر موقعیت یک جسم یا قطعه نسبت به یک نقطه مرجع ثابت گفته می‌شود. این فرایند شامل تشخیص لحظه «شروع حرکت» (خروج از حالت سکون)، «پایش مسیر» (تعیین مقدار یا جهت تغییر مکان) و «تشخیص پایان حرکت» (توقف در نقطه مقصد یا حد مجاز) است که به منظور کنترل دقیق عملکرد در سیستم‌های خودکار و مدارهای الکترونیکی انجام می‌شود (شکل ۱۱).



شکل ۱۱

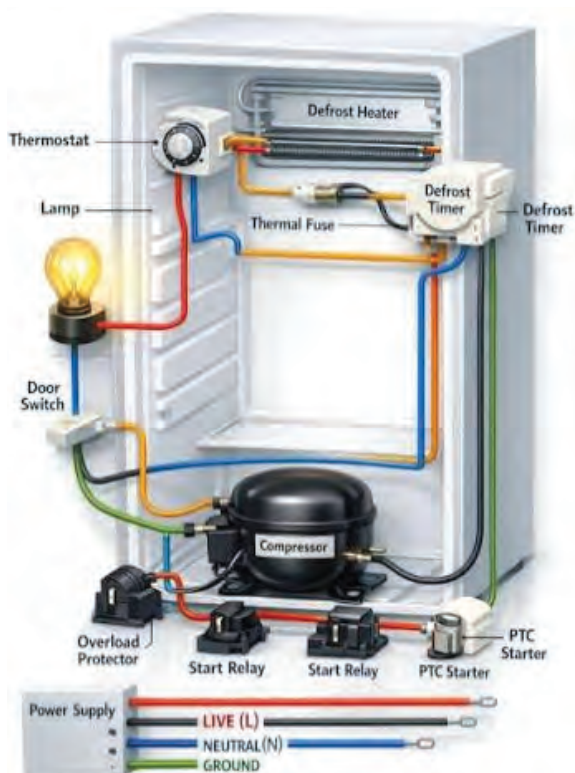


شکل ۱۲

روش مکانیکی (میکروسوییچ‌ها)

این روش ساده‌ترین روش تشخیص جابه‌جایی است. میکروسوییچ یک کلید فشاری کوچک است که وقتی قطعه متحرک به آن برخورد می‌کند، با یک «تیک» مکانیکی، مدار را قطع یا وصل می‌کند (شکل ۱۲).

در این تشخیص فقط می‌خواهیم بدانیم «آیا حرکت یک جسم شروع شده است؟» مثال کاربردی آن درب یخچال است، که وقتی درب بسته است، لبه شستی سوئیچ را فشار می‌دهد (مدار خاموش است). به محض باز کردن درب، شستی آزاد شده و مدار لامپ وصل می‌شود که تشخیص باز شدن و شروع حرکت درب را اعلام می‌کند.



شکل ۱۳

این مدار شامل یک کلید فشاری (Limit Switch) است که به صورت سری با لامپ قرار گرفته و در محل لولای درب نصب می شود. هنگامی که درب بسته است، فشار درب، کلید را در وضعیت قطع نگه می دارد، اما با باز شدن درب، فنر کلید آزاد شده و مسیر جریان الکتریکی برای روشن شدن لامپ برقرار می شود. این سیستم ساده ترین نوع «کنترل موقعیت» است که وضعیت مصرف کننده را با تغییر فیزیکی وضعیت درب فعال می کند (شکل ۱۳).

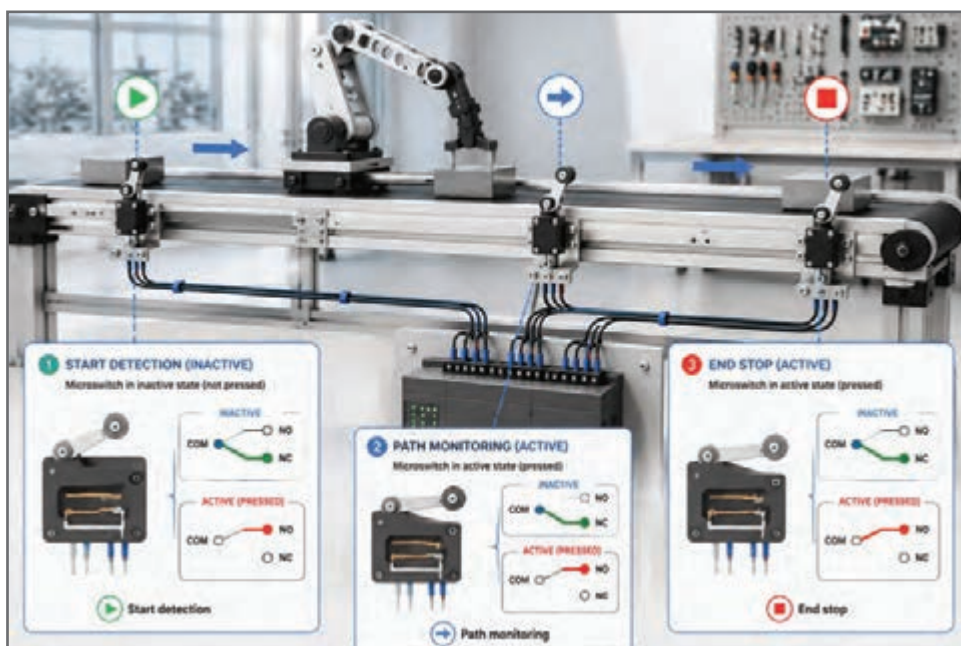
حسگرهای میکروسوئیچی در مدارهای الکتریکی دارای دو عملکرد هستند:

۱ Normally Open (NO) در حالت عادی باز

یعنی در حالت عادی کلید باز است و هیچ جریانی عبور نمی کند. وقتی حرکت انجام شد، سنسور فعال شده و مدار را می بندد.

۲ Normally Closed (NC) در حالت عادی بسته

یعنی در حالت عادی مدار کلید وصل است. وقتی حرکت انجام شد، حسگر مدار را قطع می کند. شکل ۱۴ وضعیت عملکرد میکروسوئیچ ها را در حالت فعال نشان می دهد.



شکل ۱۴

نکته



برای ایمنی دستگاه، همیشه از سنسورهای NC استفاده می‌کنیم؛ چون اگر سیم سنسور قطع شود، مدار بلافاصله متوقف می‌شود (ایمنی Fail-Safe).

نکته



به دلیل محدودیت‌های فیزیکی و هزینه‌ای تامین تجهیزات صنعتی ابزار دقیق، رویکرد یادگیری در این پودمان بر تلفیق «تحلیل مجازی» و «اجرای مدار الکترونیکی پایه» استوار است. فعالیت‌های عملی بر سه محور اصلی تمرکز دارند:

- ۱ شبیه‌سازی فرایندهای کنترل برای درک عمیق منطق سامانه‌ها،
 - ۲ تحلیل مستندات و تصاویر فنی جهت کسب مهارت در انتخاب هوشمندانه تجهیزات،
 - ۳ پیاده‌سازی مدارهای پایه حسگرها برای عینیت بخشی به دانش نظری.
- این رویکرد، مسیر تبدیل دانش نظری به خروجی‌های عملکردی و توانایی تصمیم‌گیری فنی در پروژه‌های واقعی را برای هنرجویان هموار می‌کند.

کار عملی ۱



شکل ۱۵

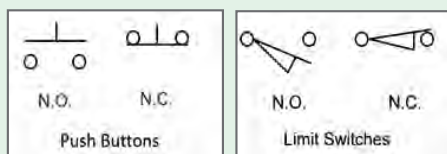
هدف: تشخیص پایه‌های NC و NO و عملکرد میکروسوئیچ

مواد، ابزار و تجهیزات: میزکار آزمایشگاهی الکترونیک، مولتی‌متر، یک نمونه میکروسوئیچ، رایانه، نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هر نرم‌افزار مناسب دیگر

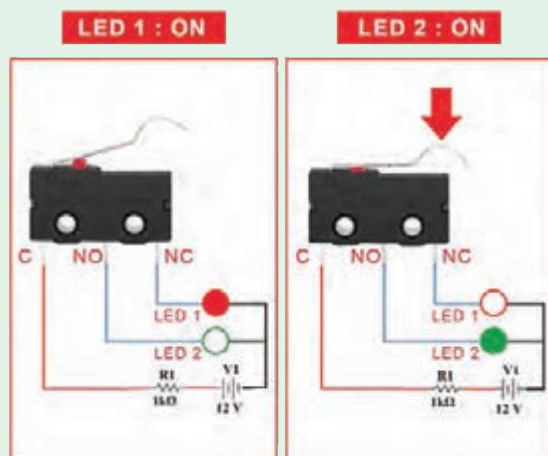
مراحل اجرای کار:

۱ یک نمونه میکروسوئیچ در اختیار بگیرید و پایه‌های NC و NO آن را با اهم‌متر مطابق شکل ۱۵ شناسایی کنید.

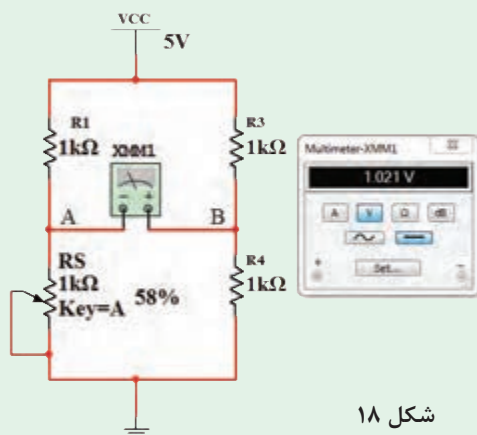
۲ با توجه به نقشه فنی در شکل ۱۶ علائم استاندارد میکروسوئیچ و لمیت سوئیچ را شناسایی کرده و آنها را در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز (مانند Multisim یا Circuit Wizard) جست‌وجو کنید.



شکل ۱۶



شکل ۱۷



شکل ۱۸

۳ مطابق شکل ۱۷ یک مدار ساده روشنایی با LED و میکروسوئیچ بر روی برد برد ببندید. رفتار مدار را در دو حالت بسته و باز بودن NO و NC بررسی کنید.

۴ عملکرد مدار حالت (NO و NC) شرح دهید.

۵ مدار پل و تستون شکل ۱۸ را در نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار شبیه ساز مناسب دیگر ببندید.

۶ پتانسیومتر را به عنوان حسگر متغیر اهمی در یکی از بازوهای پل قرار دهید.

۷ مقدار مقاومت متغیر را از مقدار حداقل تا حداکثر تغییر دهید و مقدار ولتاژ خروجی پل (دو سر AB) را در هر مرحله با مولتی متر نرم افزاری اندازه گیری کرده و یادداشت کنید.

۸ مقدار مقاومت متغیر را در سه مرحله مطابق جدول زیر به گونه ای تغییر دهید که ولتاژهای خواسته شده به دست آید.

۹ در هر یک از حالات مقدار مقاومت متغیر را به دست آورید و جدول ۲ را کامل کنید.

جدول ۲

ردیف	مقدار ولتاژ خروجی پل V_{AB}	مقدار مقاومت R_s
۱	حداکثر	
۲	صفر ولت (پل در حال تعادل)	
۳	حداقل	

در بسیاری از دستگاه های صنعتی، ما نیاز داریم بدانیم یک قطعه (مثل بازوی ربات یا درب اتوماتیک) چه زمانی شروع به حرکت می کند، چه مسیری را طی می کند و چه زمانی به پایان مسیر می رسد. به این فرایند «تشخیص جابه جایی» می گوئیم. برای این کار از روش های مختلفی مانند حسگرهای نوری، انکودر (شمارش دور و مسیر) و روش اندازه گیری ولتاژ (پتانسیومتر) استفاده می شود.

۱ با استفاده از حسگرهای نوری

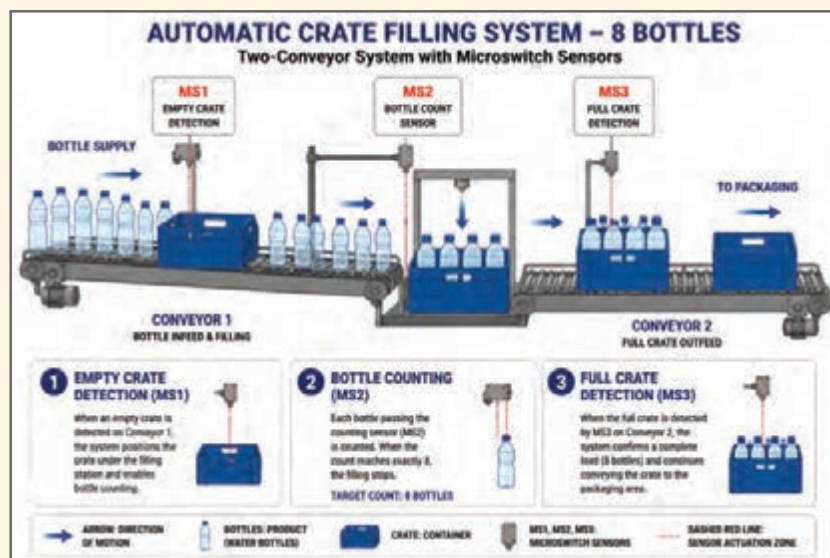
در این روش از سنسورهایی که تابع نور هستند استفاده می شود. این سنسورها با استفاده از پرتو نور، وجود قطعات یا اجسام کدر را بدون تماس مستقیم روی نوار نقاله تشخیص می دهند. با عبور قطعه و قطع یا بازتاب پرتو نور، سنسور یک پالس الکتریکی به کنترلر ارسال می کند تا فرمان های لازم برای شمارش، توقف یا حرکت سیستم صادر شود (شکل ۱۹).

در چنین سامانه هایی به دلیل آن که قطعات با حسگرهای نوری برخورد نمی کنند استهلاک ندارند و عمرشان در محیط های صنعتی بسیار طولانی است.

نکته



در شکل ۱۹ سامانه پر کردن اتوماتیک جعبه بطری دارای دو نوار نقاله است و با سنسور میکروسوییچ نشان داده شده است، هریک از وضعیت های ۱ الی ۳ را ترجمه کنید و در جدول ۳ بنویسید.



شکل ۱۹

جدول ۳

ترجمه	۱	۲	۳

هدف: کنترل موقعیت و حرکت ظرف (محصول تولید شده) روی نوار نقاله با استفاده از سنسورها و شمارنده
توجه: در این آزمایش، بررسی و پیاده سازی عملکرد یک سامانه اتوماسیون صنعتی برای کنترل حرکت نوار نقاله، موقعیت ظرف محصول، شمارش محصولات و انتقال به مرحله بسته بندی مطابق شکل ۲۰ است. اما از آنجایی که امکان اجرای آن به صورت سخت افزاری در هنرستان مشکل است، لذا سعی شده تا با استفاده از نرم افزار Multisim شبیه سازی شود.

با انجام این کار عملی هنرجو با نحوه عملکرد شستی های فرمان، میکروسوییچ ها، حسگر نوری، شمارنده، موتورهای نوار نقاله و منطق کنترلی آشنا خواهد شد.

مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم افزار مناسب، نوشت افزار

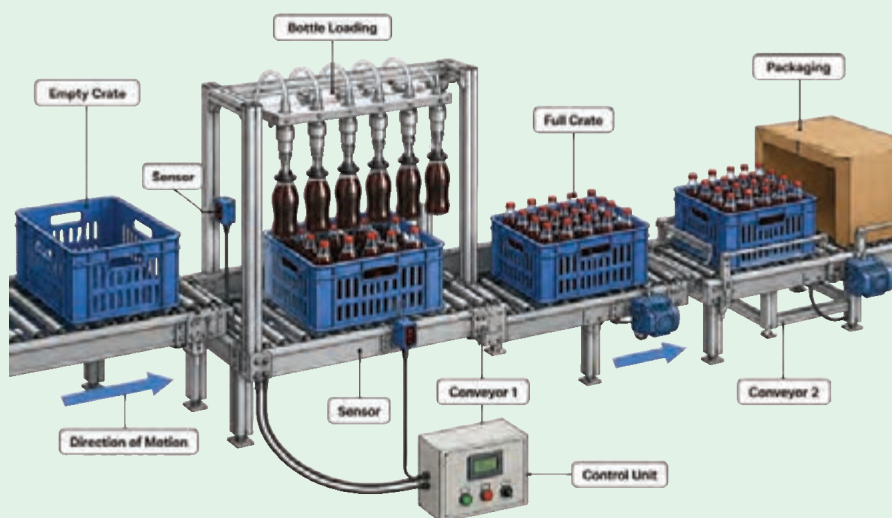
مراحل اجرای کار:

حالت اول: کنترل موقعیت محصول و فرایند پر کردن ظرف

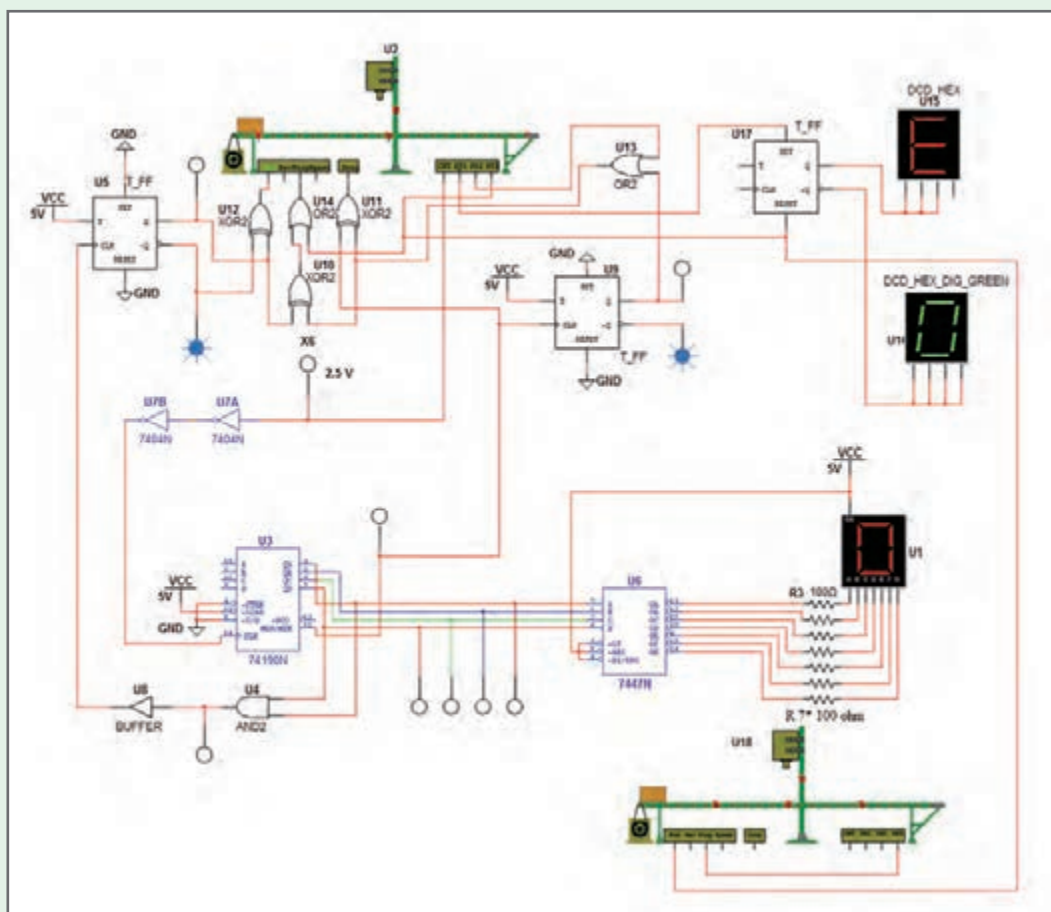
۱) نرم افزار مولتی سیم را راه اندازی کنید.

۲) مدار شکل ۲۱ را در فضای نرم افزار ببندید.





شکل ۲۰



شکل ۲۱

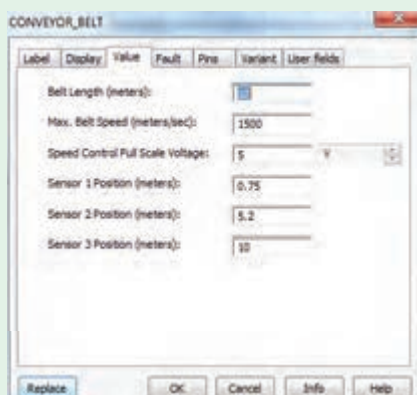
شرح عملکرد سیستم

- (الف) با فشردن شستی Start، موتور نوار نقاله شماره ۱ روشن شده و ظرف خالی از نقطه A به سمت ایستگاه پرکن حرکت می‌کند.
- (ب) با رسیدن ظرف به نقطه B، میکروسوییچ شماره ۲ (LS۲) فعال شده و موتور نوار نقاله خاموش می‌شود تا ظرف دقیقاً زیر دستگاه پرکن قرار گیرد.
- (ج) پس از توقف ظرف، دستگاه پرکن روشن می‌شود و شروع به ریختن محصول داخل ظرف می‌کند.
- (د) یک حسگر نوری (Photo Sensor) عبور هر محصول را تشخیص داده و برای هر قطعه یک پالس به مدار شمارنده ارسال می‌کند.
- (هـ) شمارنده تعداد محصولات را با مقدار تنظیم‌شده (SP) مقایسه می‌کند. مقدار SP می‌تواند برابر ۶ یا ۸ باشد.
- (و) هنگامی که تعداد محصولات شمارش شده برابر مقدار SP شود:
- دستگاه پرکن خاموش می‌شود.
 - موتور نوار نقاله مجدداً روشن شده و ظرف به سمت ایستگاه بسته‌بندی حرکت می‌کند.
- (ز) با رسیدن ظرف به نقطه C، میکروسوییچ شماره ۳ (LS۳) فعال شده و موتور نوار نقاله متوقف می‌شود تا عملیات بسته‌بندی نهایی انجام گیرد.

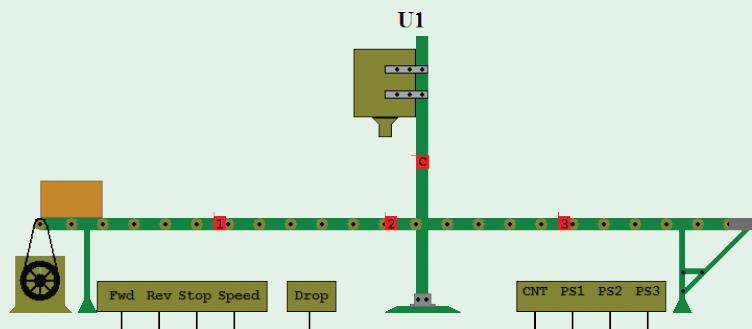
- ۳ از بخش Place Advanced Peripherals شکل ۲۲ نوار نقاله یا کانوایر (CONVEYOR_BELT) شکل ۲۳ را انتخاب و بر روی میز کار نرم‌افزار بیاورید.
- ۴ روی نوار نقاله دوبار کلیک کنید. مشخصات نوار نقاله شامل طول، سرعت حرکت قطعه روی نوار نقاله، فاصله و موقعیت قرارگیری میکروسوییچ‌ها را از یکدیگر مطابق شکل ۲۴ تنظیم کنید.



شکل ۲۲



شکل ۲۴



شکل ۲۳

- ۵ شروع سامانه: با وصل کلید Start (SPST) (فلیپ‌فلاپ T) است، که خروجی موتور نوار نقاله (M۱) فعال می‌شود.
- ۶ در ایستگاه B: وقتی ظرف به میکروسوییچ (MS۲) می‌رسد، مدار کنترلی موتور M۱ را قطع می‌کند.
- ۷ عملیات پرکن: فعال‌ساز دستگاه پرکن (Drop) توسط یک گیت OR متصل است، فعال می‌شود.

۸ شمارش و توقف: حسگر نوری به ورودی Clock یک شمارنده (Counter ۷۴۱۹۲) متصل است. که پالس ساعت شمارش کالا را تأمین می‌کند. وقتی خروجی شمارنده با مقدار تنظیم شده (SP) برابر شد، توسط یک گیت AND، یک سیگنال به مدار فلیپ‌فلاپ T ارسال می‌شود و آن را خاموش می‌کند.

۹ ایستگاه نهایی: ظرف از نقطه B حرکت کرده و به سمت بسته‌بندی نقطه C می‌رود در این حال با فعال شدن MS_3 ، موتور M_1 متوقف می‌شود.

۱۰ نتیجه مورد انتظار در پایان این مرحله شبیه‌سازی:

- ظرف محصول در محل پرکن به صورت خودکار متوقف می‌شود.

- دقیقاً تعداد تعیین شده محصول (۱۰ یا ۸ عدد) دریافت می‌شود.

- پس از تکمیل شمارش، به سمت ایستگاه بسته‌بندی حرکت کرده و در محل مناسب متوقف می‌شود.

حالت دوم: چگونه می‌توان در نقطه C نوار نقاله اول بعد از بسته‌بندی کالا، یک نوار نقاله دیگری را راه‌اندازی کرد که کالای بسته‌بندی شده روی نوار نقاله دوم قرار بگیرد و به سمت انبار حرکت کند؟ (مدار را شبیه‌سازی کنید).

تحقیق کنید: درباره عملکرد سنسورهای مجاورتی (القایی) شکل ۲۵ تحقیق کنید و گزارشی کاربردی از نحوه تشخیص بدون تماس تهیه نمایید؛ در این گزارش، تفاوت عملکرد سنسور القایی در تشخیص فلز و سنسور اثر هال در تشخیص میدان مغناطیسی را تحلیل کنید.



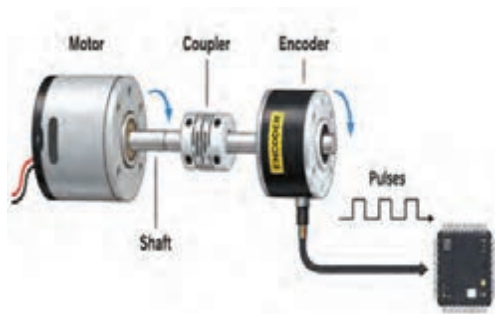
شکل ۲۵

■ با استفاده از انکودر

انکودرها دو نوع هستند که در ادامه به بررسی هر یک از آنها می‌پردازیم:

الف) انکودرهای مکانیکی (Mechanical Encoders): انکودرهای مکانیکی قطعاتی هستند که پشت شفت موتور نصب می‌شوند و با چرخش موتور، پالس‌های الکتریکی تولید می‌کنند. هرچه موتور بیشتر بچرخد، پالس بیشتری تولید می‌شود. انکودرها اطلاعات لازم برای کنترل حرکت (شامل موقعیت (Position)، سرعت (Speed) و جهت حرکت (Direction)) را به صورت پالس (Count) در اختیار کنترلر قرار می‌دهند.

نمودار پالس (Wave form) نمایش چگونگی تبدیل چرخش مکانیکی به سیگنال‌های الکتریکی که توسط مدارکنترلر شمارش می‌شوند را نشان می‌دهد (شکل ۲۶).



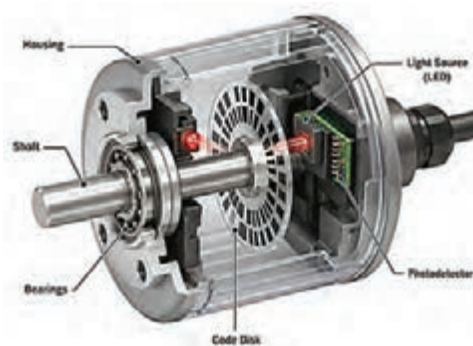
شکل ۲۶



شکل ۲۷

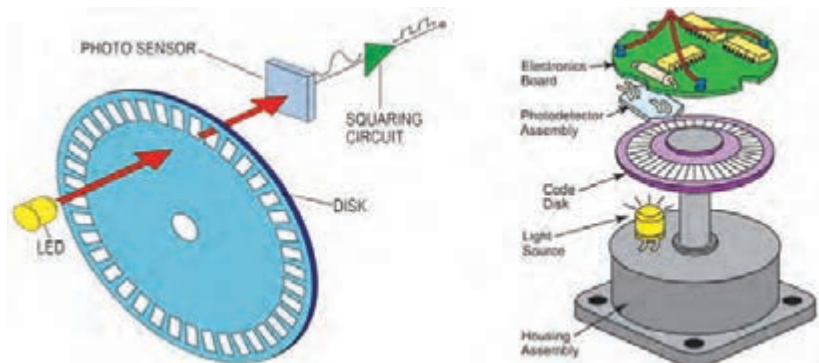
از انکودرهای مکانیکی در بازوی ربات‌ها مشابه شکل ۲۷ استفاده می‌شود.

ب) انکودرهای نوری (Optical Encoders): در بسیاری از کاربردهای رایج کامپیوتری، صنعتی و خودرویی، گزینه ایده‌آل محسوب می‌شوند. همچنین، انکودرهای نوری از قابلیت سفارشی‌سازی آسان و سازگاری با محیط‌های مختلف برخوردارند و تحت تأثیر میدان‌های مغناطیسی مزاحم قرار نمی‌گیرند (شکل ۲۸).



شکل ۲۸

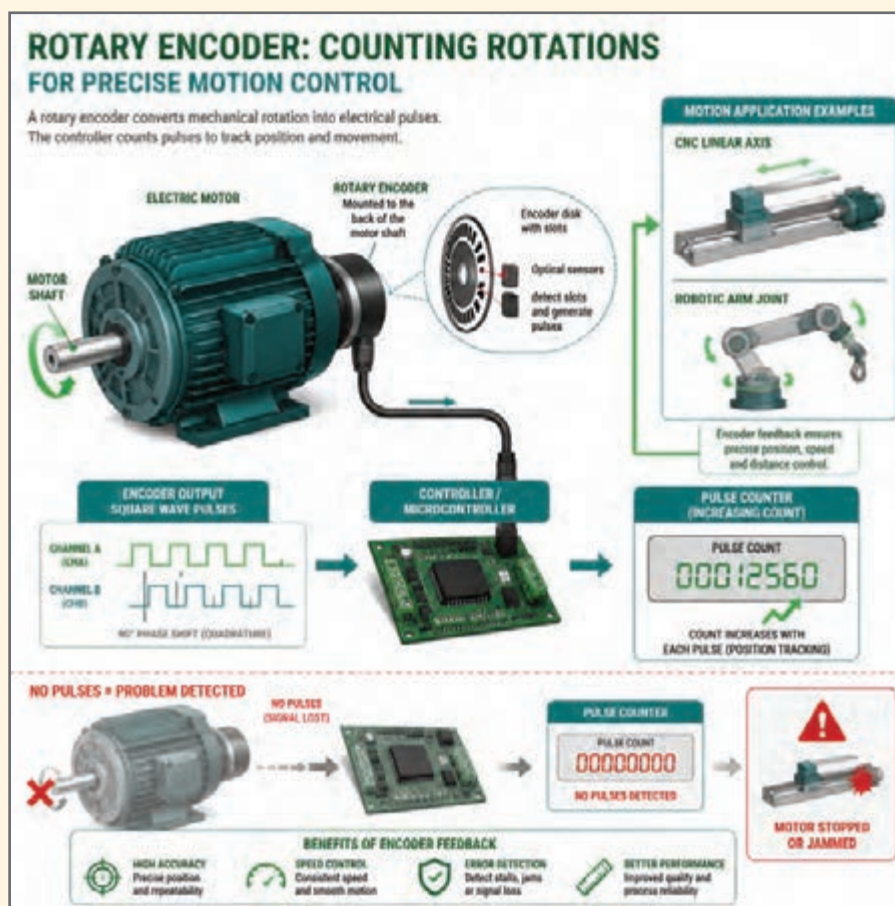
ساختار اصلی یک انکودر نوری به این صورت است پرتو نوری ساطع شده از یک LED دیسک شفاف که با خطوط کدر (غیرشفاف) الگوسازی شده عبور کرده و توسط آرایه‌ای از فوتودیودها (که سنسور نوری نیز نامیده می‌شود) دریافت می‌شود (شکل ۲۹). آرایه فوتودیود با تولید یک شکل موج سینوسی پاسخ می‌دهد، سپس به یک موج مربعی یا قطار پالس (Pulse Train) تبدیل می‌گردد. انکودر که اغلب به آن تاکومتر (Tachometer) نیز گفته می‌شود، معمولاً در سامانه‌هایی که فقط در یک جهت می‌چرخند و فقط به اطلاعات ساده‌ای از موقعیت و سرعت نیاز دارند، استفاده می‌شود.



شکل ۲۹

شکل ۳۰ نحوه کنترل موقعیت با انکودرهای نوری را نشان می‌دهد. اتصال انکودر به پشت شفت موتور باعث تولید سیگنال‌های الکتریکی به صورت پالس‌های مربعی دیجیتال هم‌زمان با چرخش مکانیکی می‌شود که توسط مدار کنترلر شمارش می‌شوند. متن مراحل انجام کنترل موتور با انکودر را ترجمه کنید.

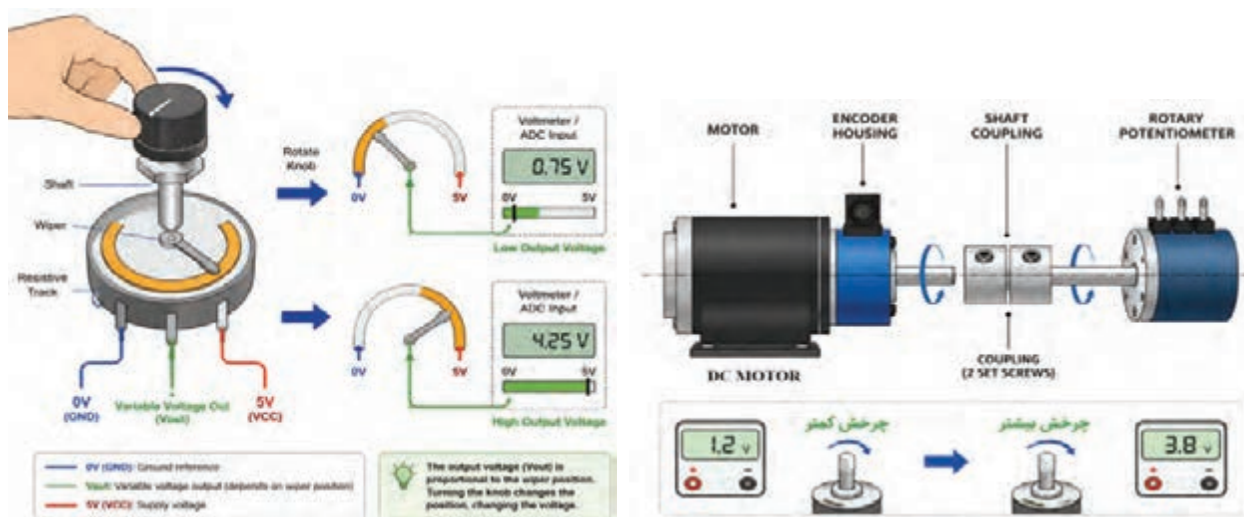
فعالیت



شکل ۳۰

۲ با اندازه گیری ولتاژ (به کمک پتانسیومتر)

در این روش، از یک مقاومت متغیر (در حالت پتانسیومتری) استفاده می کنیم که به قطعه متحرک وصل است. با جابه جایی قطعه، ولتاژ خروجی تغییر می کند. با خواندن میزان ولتاژ توسط دستگاه، می توانیم بفهمیم قطعه در چه موقعیت (زاویه یا فاصله) دقیقی قرار دارد (شکل ۳۱).



شکل ۳۱

خود ارزیابی

۱ هدف از مفهوم «ایمنی Fail-Safe» در استفاده از سنسورهای NC چیست؟

- (الف) افزایش سرعت پاسخ دهی مدار در زمان حرکت
- (ب) جلوگیری از آسیب دستگاه در صورت قطع شدن اتفاقی سیم سنسور
- (ج) کاهش مصرف انرژی مدار در حالت عادی
- (د) امکان کنترل وضعیت سنسور از راه دور

۲ در میکروسوییچ با عملکرد NO (Normally Open)، مدار در چه زمانی جریان را عبور می دهد؟

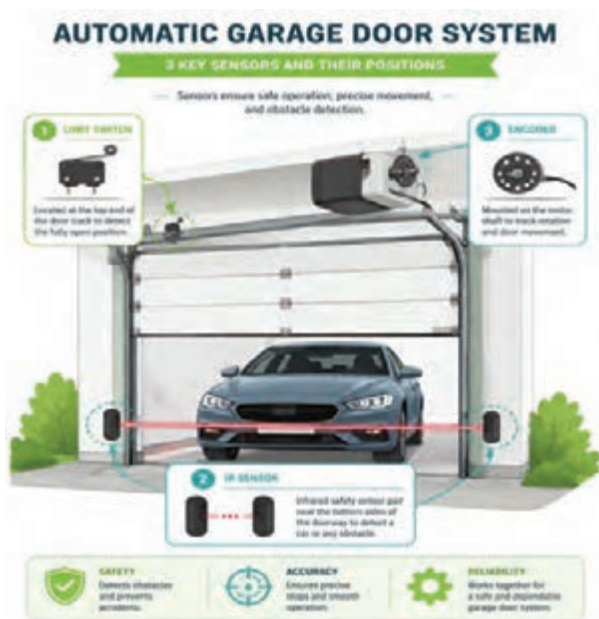
- (الف) همیشه جریان را عبور می دهد.
- (ب) فقط زمانی که قطعه متحرک به سنسور برخورد کرده و آن را فعال کند.
- (ج) فقط در حالت سکون و قبل از برخورد قطعه
- (د) هیچ گاه جریان را عبور نمی دهد.

۳ تشخیص جابه جایی تنها شامل تعیین جهت حرکت است و شروع یا پایان حرکت در آن نقشی ندارد.

- ☐ صحیح
- ☐ غلط

۴ در روش اندازه گیری جابه جایی با استفاده از پتانسیومتر، برای تعیین موقعیت دقیق قطعه، میزان تغییرات جریان الکتریکی خروجی توسط دستگاه پایش می شود.

- ☐ صحیح
- ☐ غلط



شکل ۳۲

۵ تفاوت عملکردی اصلی بین سنسورهای NO و NC را در یک جمله بیان کنید.

۶ سه مرحله اصلی فرایند تشخیص جابه‌جایی را نام ببرید.

۷ با مشاهده تصویر شکل ۳۲ سامانه درب اتوماتیک پارکینگ، جدول ۴ را کامل کنید.

جدول ۴

ردیف	نام قطعه / حسگر Sensor	محل نصب در تصویر	وظیفه در سامانه درب اتوماتیک	نوع پاسخ حسگر
۱	لیمیت سوئیچ / میکروسوئیچ	انتهای مسیر حرکت درب یا روی ریل	تشخیص رسیدن درب به انتهای مسیر و جلوگیری از ادامه حرکت موتور	(تماسی) تماس با قطعه
۲	حسگر مادون قرمز / چشمی			
۳	انکودر			
۴	موتور			
۵	مدار کنترلر	داخل جعبه کنترل سیستم		

کمیت‌های نیرو (Force) و فشار (Pressure)

کمیت نیرو

نیرو در فیزیک همان عامل تغییر وضعیت حرکتی یا تغییر شکل یک جسم است (قانون دوم نیوتن: $F=ma$). در دنیای واقعی، نیرو همیشه دارای یک جهت مشخص است و وقتی به یک جسم اعمال می‌شود، تمایل دارد آن را شتاب دهد یا اگر جسم ساکن باشد، باعث ایجاد تنش داخلی و تغییر شکل در ساختار آن شود. به همین دلیل، سنسورهای نیرو (مثل لودسل) با اندازه‌گیری همین «تغییر شکل‌های بسیار کوچک و میکرونی» در یک قطعه فلزی استاندارد، مقدار نیروی وارد شده را محاسبه می‌کنند.

برای مشاهده محتوای تکمیلی و انجام تمرین‌های بیشتر، رمزینه سریع پاسخ ابتدای پودمان را پویش کنید.

اندازه‌گیری نیرو (وزن)

اصل اندازه‌گیری وزن (توزین Weighing)

در صنعت، وزن را اندازه می‌گیرند تا مقدار دقیق مواد (برای تولید، بسته‌بندی و انبارداری) کنترل شود و دستگاه‌ها به صورت خودکار و بدون خطای انسانی در زمان درست قطع و وصل شوند. در صنعت، ما مستقیماً «جرم» را اندازه نمی‌گیریم، بلکه نیروی وزن ($W = m \times g$) که در آن m جرم جسم و $g = 10 \text{ m/s}^2$ شتاب جاذبه زمین) را که به یک حسگر وارد می‌شود اندازه‌گیری می‌کنیم.

لودسل (Load Cell): عنصر اصلی تمام ترازوها و باسکول‌های صنعتی است. لودسل یک قطعه فلزی است که استرین گیج‌ها (کرنش سنج‌ها) روی آن چسبانده شده‌اند (شکل ۳۳)

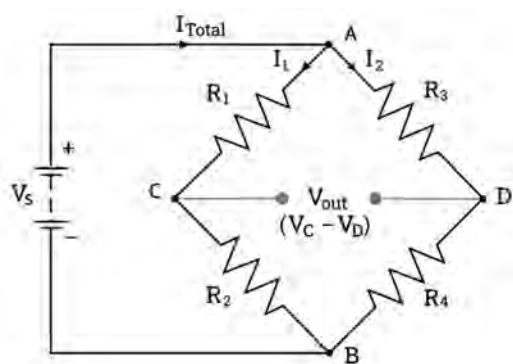


شکل ۳۳

نحوه عملکرد

وقتی جسمی روی لودسل قرار می‌گیرد، بدنه فلزی لودسل به مقدار بسیار ناچیزی (در حد میکرون) تغییر شکل می‌دهد؛ این تغییر شکل باعث تغییر مقاومت استرین گیج‌ها و نهایتاً تغییر سیگنال الکتریکی می‌شود که توسط نمایشگر به عدد «کیلوگرم» تبدیل می‌گردد.

استرین گیج‌ها در مدار پل وتستون و روی یکی از بازوهای پل بسته می‌شوند (شکل ۳۴). وقتی پل با یک منبع ولتاژ ثابت تغذیه شود، با وارد شدن نیرو به المان الاستیک (قطعه فنری/کشسان)، مقدار کرنش تغییر می‌کند و در نتیجه مقاومت استرین گیج‌ها تغییر کرده و پل از حالت تعادل خارج می‌شود. این عدم تعادل باعث ایجاد یک ولتاژ خروجی متغیر می‌گردد که مقدار آن متناسب با نیروی وارد شده است. بنابراین کمیت ورودی مکانیکی (نیرو) به یک کمیت خروجی الکتریکی (ولتاژ) تبدیل می‌شود.



شکل ۳۴

در لودسل‌های میله‌ای با استرین‌گیج، بدنه لودسل معمولاً به شکلی طراحی می‌شود که مسیر انتقال نیرو حالت Z پیدا کند. (شکل ۵۳-الف) این آرایش باعث می‌شود هنگام اعمال نیرو، در میله گشتاور و خمش ایجاد شود. در نتیجه، چهار استرین‌گیج نصب شده روی لودسل این تغییر شکل خمشی را اندازه‌گیری می‌کنند:

- دو گیج در ناحیه فشاری (Compression) قرار می‌گیرند،

- دو گیج در ناحیه کششی (Tension).

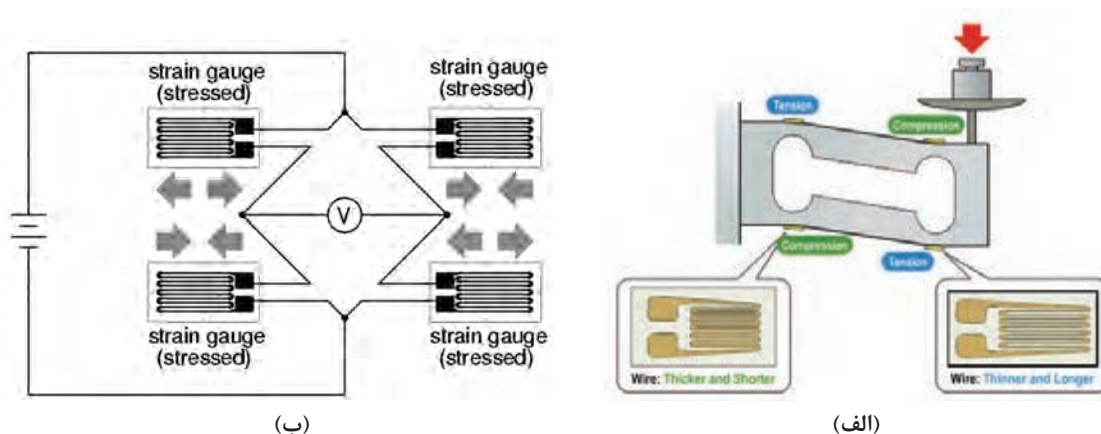
وقتی این چهار استرین‌گیج به صورت پل و تستون به هم متصل شوند، اندازه‌گیری تغییرات بسیار کوچک مقاومت آنها با دقت بالا امکان‌پذیر می‌شود. (شکل ۳۵-ب) این آرایش چند مزیت مهم دارد:

۱ افزایش حساسیت چون اثر کشش و فشار با هم جمع می‌شود.

۲ جبران دمایی بهتر زیرا تغییرات دما روی همه گیج‌ها تقریباً مشابه اثر می‌گذارد.

۳ دقت بالاتر در تبدیل تغییر شکل مکانیکی به ولتاژ خروجی الکتریکی.

بنابراین در این نوع لودسل، نیروی مکانیکی ابتدا باعث خمش میله می‌شود، خمش باعث تغییر مقاومت استرین‌گیج‌ها می‌گردد و در نهایت پل و تستون این تغییرات کوچک مقاومت را به یک سیگنال ولتاژ قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌کند.



شکل ۳۵

انواع کاربردهای لودسل در صنعت

- تبدیل وزن به سیگنال الکتریکی.

- نشان‌دهنده (Indicator): تقویت سیگنال و تبدیل به عدد وزن.

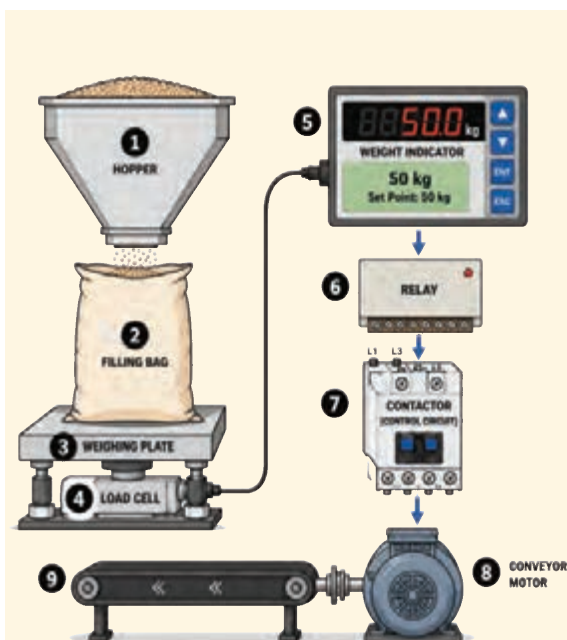
توزین ثابت (ترازوهای باسکول‌های کفی): استفاده در انبارها و خطوط بسته‌بندی برای اطمینان از وزن دقیق محصول قبل از خروج.

توزین در حال حرکت (نوار نقاله Belt Scale): سنسور وزن زیر نوار نقاله نصب می‌شود تا بدون توقف حرکت، مقدار مواد (مثلاً شن یا ذغال سنگ) که در هر دقیقه عبور می‌کند را اندازه بگیرد.

توزین مخازن (Tank Weighing): پایه‌های مخازن مایعات یا مواد پودری روی لودسل قرار می‌گیرند تا سطح مخزن بدون تماس با مواد داخل آن و فقط با وزن کردن کل مخزن مشخص شود (کاربرد در صنایع شیمیایی و غذایی) (شکل ۳۶).



شکل ۳۶ - کاربرد انواع لودسل



شکل ۳۷

در شکل ۳۷، نمونه‌ای از یک سامانه کنترل وزن برای پر کردن کیسه نشان داده شده است. در این سامانه، وزن کیسه توسط لودسل اندازه‌گیری و به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌شود. نمایشگر وزن، این سیگنال را دریافت کرده، مقدار آن را نمایش می‌دهد و با مقدار تنظیم‌شده مقایسه می‌کند. هنگامی که وزن کیسه به مقدار تعیین‌شده برسد، رله خروجی نمایشگر فعال شده، عملیات پر کردن کیسه را متوقف می‌کند و با روشن کردن موتور نوار نقاله، کیسه را جهت انجام مراحل بعدی (مانند دوخت) به بخش مربوطه منتقل می‌کند.

با مشاهده شکل ۳۷ که یک سامانه پرکن کیسه است، اجزای اصلی مدار کنترل وزن را شناسایی کنید و عملکرد آنها را توضیح دهید.

۱ با توجه به شکل ۳۷، اطلاعات را از تصویر استخراج کرده، سپس جدول ۵ را کامل کنید.

فعالیت



جدول ۵

شماره	بخش یا تجهیز در تصویر	وظیفه تجهیز	نوع سیگنال یا عملکرد
۱	مخزن مواد		
۲	کیسه		
۳	صفحه توزین	انتقال وزن کیسه به لودسل	مکانیکی
۴	لودسل		
۵	نمایشگر وزن		
۶	Set Point		
۷	رله خروجی نمایشگر		
۸	کنتاکتور موتور		کنترل توان موتور
۹	موتور نوار نقاله		

۲ با توجه به تصویر و نتایج جدول، جمله‌های زیر را کامل کنید.

الف) وظیفه لودسل چیست؟

لودسل وزن وارد شده به صفحه توزین را به ... تبدیل می‌کند.

ب) چرا سیگنال لودسل مستقیماً برای قطع و وصل موتور استفاده نمی‌شود؟

زیرا سیگنال خروجی لودسل ... است و برای استفاده در مدار فرمان باید ابتدا توسط ... تقویت و پردازش شود.

ج) مقدار Set Point در تصویر چند کیلوگرم تنظیم شده است؟

مقدار Set Point برابر با ... کیلوگرم است.

د) وقتی وزن کیسه به مقدار تنظیم شده برسد، چه اتفاقی می‌افتد؟

وقتی وزن کیسه به ۵۰ کیلوگرم برسد، ... نمایشگر وزن فعال شده و مدار فرمان نوار نقاله را ... می‌کند.

ه) نتیجه قطع شدن مدار فرمان چیست؟

با قطع شدن مدار فرمان، کنتاکتور موتور ... شده و موتور نوار نقاله ... می‌شود.

۳ با تحلیل عملکرد وضعیت‌های سامانه، جدول ۶ را کامل کنید.

جدول ۶

وضعیت وزن کیسه	وضعیت رله خروجی نمایشگر	وضعیت موتور نوار نقاله	نتیجه
کمتر از ۵۰ کیلوگرم			کیسه در حال پر شدن است
برابر با ۵۰ کیلوگرم			پر شدن کیسه متوقف می‌شود
بیشتر از ۵۰ کیلوگرم			

۴ چرا در این سامانه از لودسل استفاده شده است؟

الف) برای روشن کردن مستقیم موتور ب) برای تبدیل وزن کیسه به سیگنال الکتریکی

پ) برای کاهش سرعت نوار نقاله ت) برای باز و بسته کردن دستی دریچه مواد

۵ نمایشگر وزن در این سامانه چه کاری انجام می‌دهد؟

الف) فقط موتور را روشن می‌کند. ب) وزن را اندازه‌گیری، نمایش و با مقدار تنظیم شده مقایسه می‌کند.

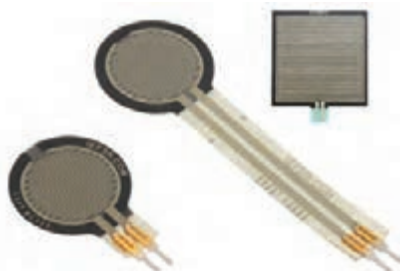
ج) وزن کیسه را زیاد می‌کند. د) نوار نقاله را مکانیکی حرکت می‌دهد.

۶ اگر مقدار Set Point روی ۴۰ کیلوگرم تنظیم شود، سامانه در چه وزنی نوار نقاله را متوقف می‌کند؟

۷ اگر رله خروجی نمایشگر عمل نکند، چه مشکلی در سامانه به وجود می‌آید؟

مقاومت حسگر نیرو (FSR) Force Sensing Resistor

مقاومت‌های حساس به نیرو (Force Sensitive Resistor) که به اختصار FSR نامیده می‌شوند به عنوان حسگر نیرو یا فشار نیز شناخته می‌شوند، نوعی حسگر هستند که برای تشخیص و اندازه‌گیری نیروی فیزیکی یا فشار اعمال‌شده بر روی یک سطح طراحی شده‌اند (شکل ۳۸).

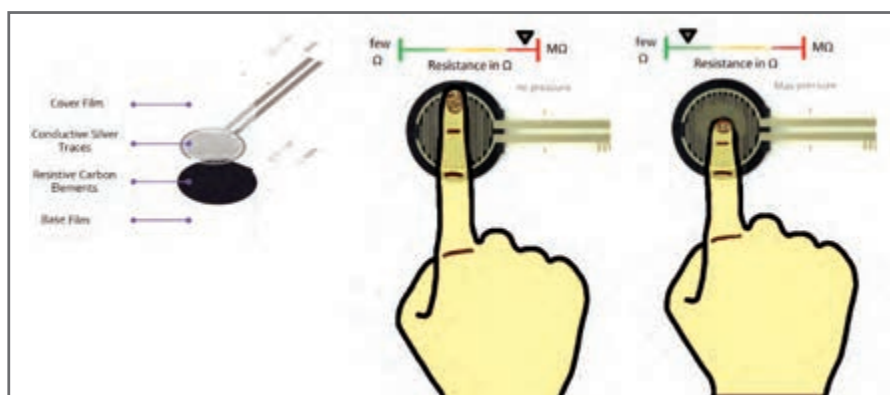


شکل ۳۸

همان‌طور که از نام این قطعات پیداست، مقدار مقاومت الکتریکی بین پایه‌های FSR، در واکنش به نیروی وارد شده به آن تغییر می‌کند. این سنسورها در کاربردهایی که اندازه‌گیری یا پایش (اندازه‌گیری مداوم) شدت نیروی اعمال‌شده بر یک جسم یا سطح ضرورت دارد، بسیار کارآمد هستند.

ساختار و عملکرد مقاومت حساس به نیرو FSR: مقاومت‌های حساس به نیرو یا FSR از یک ماده نازک و انعطاف‌پذیر تشکیل شده‌اند. در ساختار این سنسورها، یک ناحیه مسیر رسانا و یک لایه کربنی مقاومتی قرار دارد. این دو لایه به وسیله یک چسب فاصله‌دهنده از یکدیگر جدا شده‌اند؛ به همین دلیل، فاصله بسیار کمی بین آنها باقی می‌ماند.

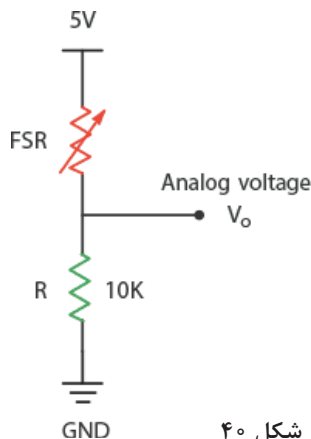
هنگامی که از طریق لایه پوششی به سطح FSR نیرو وارد شود، ناحیه مسیر رسانا به لایه کربنی مقاومتی نزدیک‌تر می‌شود. در نتیجه، مقدار مقاومت الکتریکی سنسور کاهش می‌یابد (شکل ۳۹). تغییر مقدار مقاومت با میزان نیروی واردشده به FSR متناسب است. بنابراین، سنسورهای FSR ابزارهایی قابل اعتماد برای اندازه‌گیری سطح نیرو در انواع سامانه‌های الکترونیکی به شمار می‌آیند.



شکل ۳۹

ساده‌ترین روش برای خواندن مقدار خروجی FSR، اتصال آن به یک مقاومت ثابت و تشکیل مدار تقسیم ولتاژ است (شکل ۴۰).

در این حالت، مدار یک ولتاژ متغیر تولید می‌کند که مقدار آن با تغییر مقاومت FSR تغییر می‌یابد. این ولتاژ



شکل ۴۰

متغیر را می‌توان توسط مبدل آنالوگ به دیجیتال میکروکنترلر خواند. از رابطه زیر برای محاسبه ولتاژ خروجی (V_o) استفاده کنیم.

$$V_o = V_{CC} \frac{R}{R + FSR}$$

در این مدار، ولتاژ خروجی با افزایش نیروی اعمال شده افزایش می‌یابد.

مثال



با یک منبع تغذیه ۵ ولت و یک مقاومت ۱۰ کیلو اهمی، وقتی فشاری وجود ندارد، مقاومت FSR بسیار بالا است (حدود ۱۰ مگا اهم) و ولتاژ خروجی صفر ولت را تولید می‌کند:

$$\begin{aligned} V_o &= 5V \frac{10 \text{ K}\Omega}{10 \text{ K}\Omega + 10 \text{ M}\Omega} \\ &= 0.0005V \\ &\approx 0V \end{aligned}$$

اگر نیروی قابل توجهی به FSR اعمال شود، مقاومت تقریباً به ۲۵۰ اهم کاهش می‌یابد. در نتیجه، ولتاژ خروجی به حدود ۵ ولت خواهد رسید:

$$\begin{aligned} V_o &= 5V \frac{10 \text{ K}\Omega}{10 \text{ K}\Omega + 250 \Omega} \\ &= 4.9V \approx 5V \end{aligned}$$

همان‌طور که مشاهده می‌کنید، مقدار ولتاژ خروجی بسته به نیروی وارد شده به سنسور، در بازه‌ای بین ۰ تا ۵ ولت تغییر می‌کند.

جدول ۷

Force (N)	FSR Resistance	Voltage across R
None	Infinite	۰ V
۰.۲N	۳۰KΩ	? V
۱N	۶KΩ	? V
۱۰N	۱KΩ	? V
۱۰۰N	۲۵۰Ω	? V

مطابق شکل ۴۰ یک سنسور FSR در یک مدار تقسیم ولتاژ با یک مقاومت ثابت $R = 10 \text{ K}\Omega$ قرار گرفته است. با اعمال نیرو به سطح سنسور، مقدار مقاومت آن تغییر کرده و در نتیجه ولتاژ خروجی (ولتاژ روی مقاومت ثابت) تغییر می‌کند. با توجه به داده‌های اولیه، جدول ۷ را تکمیل کنید.

تمرین



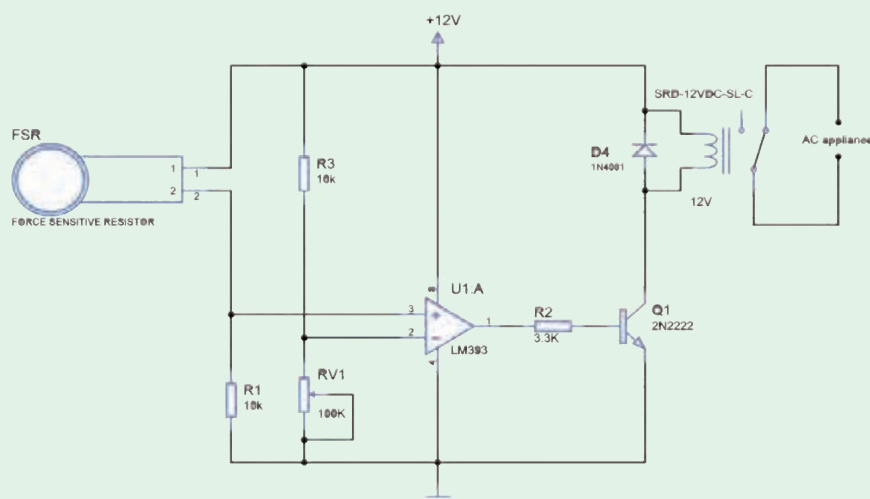


هدف: بستن مدار کلید حساس به نیرو (FSR) بر روی بردبرد و اندازه‌گیری نیرو/فشار

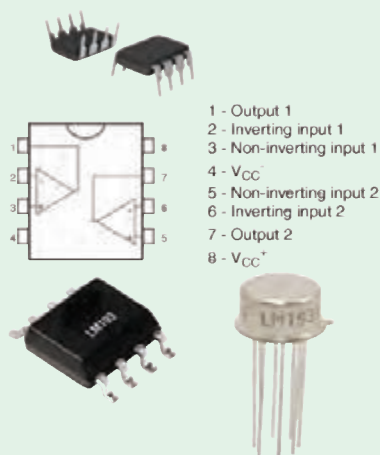
مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم‌افزار مناسب، لوازم‌التحریر، مقاومت $10\text{ k}\Omega$ دو عدد، $3/6\text{ k}\Omega$ یک عدد، پتانسیومتر $10\text{ k}\Omega$ یک عدد، ترانزیستور $2N2222$ یک عدد، دیود $1N4001$ یک عدد، آی‌سی $LM193$ یک عدد، رله ۱۲ ولتی یک عدد، یک وسیله مصرف کننده AC حسگر FSR یک عدد

نکته مهم: سنسور FSR به کار رفته در این مدار در واقع یک مقاومت متغیر است که با اعمال نیرو یا فشار، مقادیر مقاومتی متفاوتی از خود نشان می‌دهد. در حالتی که هیچ نیرویی به حسگر اعمال نشود، مقاومت آن بسیار بالا (در حد مگا اهم) است. به محض اعمال فشار، مقاومت آن به حدود $100\text{ k}\Omega$ کاهش یافته و در صورت اعمال حداکثر فشار بر صفحه سنسور، این مقدار تا حدود $100\text{ }\Omega$ نیز افت می‌کند.

نقشه شماتیک مدار حسگر نیرو در شکل ۴۱ نشان داده شده است. در این مدار از حسگر FSR (مقاومت تابعی از نیرو) استفاده شده است که به عنوان یک کلید حساس به نیرو/فشار برای فعال کردن وسایل مصرف کننده جریان متناوب (AC) عمل می‌کند و برای اندازه‌گیری مداوم (پایش) فشار و نیرو کاربرد دارد.



شکل ۴۱



شکل ۴۲

نکته مهم: $LM393$ یا $LM193$ یک مقایسه‌کننده ولتاژ دقیق با توان مصرفی کم است. محدوده تغذیه آن از ۲ تا ۳۶ ولت و با تغذیه متقارن از ± 1 ولت تا ± 18 ولت است. خروجی این آی‌سی از نوع کلکتور باز (Open Collector) است و برای رسیدن به سطح ولتاژ بالا به یک مقاومت Pull up نیاز دارد. برای عملکرد صحیح بهتر است پایه‌های غیر قابل استفاده به زمین یا منفی تغذیه وصل شوند. شکل ۴۲ نمونه بسته‌بندی این آی‌سی و شماره پایه‌های آن را نشان می‌دهد.

عملکرد مدار کلید حساس به نیرو (FSR)

عملکرد این مدار بسیار ساده است و با اعمال نیرو به صفحه سنسور FSR شروع می‌شود. در این مدار، سنسور نیرو به صورت سری با مقاومت R_1 قرار گرفته و یک مدار تقسیم ولتاژ تشکیل می‌دهد. ولتاژ خروجی این تقسیم ولتاژ (V_x) به پایه غیرمعکوس کننده مقایسه گر LM193 اعمال می‌شود.

از طرف دیگر، یک تقسیم ولتاژ دیگر با استفاده از مقاومت R_3 و مقاومت متغیر RV_1 تشکیل شده است. ولتاژ خروجی (VSP) این بخش به پایه معکوس کننده آی سی مقایسه گر داده می‌شود. مقاومت متغیر RV_1 امکان تنظیم ولتاژ تحریک مدار را فراهم می‌کند؛ به عبارت دیگر، با تنظیم آن می‌توان مشخص کرد مدار در چه مقدار نیرو یا فشار فعال شود.

هنگامی که هیچ نیرویی به حسگر وارد نشود، ولتاژ خروجی حاصل از ترکیب سنسور و مقاومت R_1 (V_x) نسبت به ولتاژ خروجی تقسیم ولتاژ ساخته شده (VSP) کمتر است؛ بنابراین خروجی مقایسه گر فعال نمی‌شود. اما با اعمال نیرو به سنسور، مقاومت آن کاهش می‌یابد و در نتیجه ولتاژ خروجی تقسیم ولتاژ مربوط به (V_x) افزایش پیدا می‌کند.

در این حالت، ولتاژ پایه غیرمعکوس کننده مقایسه گر از ولتاژ پایه معکوس کننده بیشتر می‌شود. در نتیجه خروجی مقایسه گر فعال شده و ترانزیستور 2N2222 را که مشابه یک کلید الکترونیکی است، راه اندازی می‌کند. پس از فعال شدن ترانزیستور، رله ۱۲ ولتی وصل می‌شود و می‌تواند یک وسیله مصرف کننده جریان متناوب AC را با جریان نامی مناسب، روشن کند.

مراحل اجرای کار:

۱ مدار شکل ۴۱ را روی بردبرد ببندید.

۲ منبع تغذیه را به مدار وصل کنید و مدار را راه اندازی کنید.

نکته ایمنی: ولتاژ ۲۲۰ ولت جریان متناوب در ابتدا به برد اتصال ندهید. پس از اینکه از راه اندازی صحیح مدار مطمئن شدید، با نظارت هنرآموز کارگاه ولتاژ ۲۲۰ ولت را به مدار اتصال داده و یک مصرف کننده مانند لامپ را فعال کنید.

۳ تنظیم و کالیبره کردن مدار کلید فشار: برای تنظیم (کالیبره کردن) مدار کلید فشار، ابتدا مقدار ولتاژ خروجی مدار تقسیم ولتاژ (V_x) تشکیل شده از حسگر FSR و مقاومت R_1 را اندازه گیری کنید. این اندازه گیری باید زمانی انجام شود که به سنسور FSR همان مقدار فشاری را وارد کرده اید که می‌خواهید مدار در آن نقطه فعال شود؛ به این مقدار، نقطه تحریک یا Trigger Point گفته می‌شود.

سپس ولتاژ خروجی تقسیم ولتاژ ساخته شده با مقاومت های R_2 و R_3 را کمی کمتر از ولتاژ اندازه گیری شده در مرحله قبل تنظیم کنید. با این تنظیم، وقتی فشار وارد شده به سنسور به مقدار تعیین شده برسد، ولتاژ ورودی پایه غیرمعکوس کننده مقایسه گر (V_x) از ولتاژ مرجع بیشتر شده (V_{sp}) و خروجی مقایسه گر فعال می‌شود. در نتیجه، ترانزیستور راه اندازی شده، رله وصل می‌شود، تا مصرف کننده متصل به مدار را روشن کند. این کار باعث می‌شود مدار دقیقاً در فشار مورد نظر شما عمل کند.

۴ پس از عملکرد صحیح مدار و وصل رله، با حفظ رعایت نکات ایمنی اتصال ولتاژ ۲۲۰ ولت AC برای فعال کردن مصرف کننده مدار را برقرار کنید.

۵ وظیفه ترانزیستور در مدار را شرح دهید.

۶ نقش دیود ۱N4001 را توضیح دهید.

۷ رابطه ولتاژ متغیر Force Sensing Resistor در مدار را بنویسید.

خودارزیابی

- ۱ در فرایند توزین صنعتی، آنچه توسط حسگرها اندازه‌گیری می‌شود عبارت است از:
 - (الف) جرم خالص جسم (m)
 - (ب) شتاب گرانش (g)
 - (ج) نیروی وزن (w)
 - (د) چگالی ماده (s)
- ۲ در لودسل‌های میله‌ای با آرایش Z، هدف از قرارگیری دو استرین‌گیج در ناحیه کششی و دو استرین‌گیج در ناحیه فشاری چیست؟
 - (الف) کاهش مصرف انرژی
 - (ب) افزایش حساسیت و جبران اثرات دمایی
 - (ج) جلوگیری از تغییر شکل فلز
 - (د) ساده‌تر کردن سیم‌کشی پل وتستون
- ۳ ساختار الکتریکی که برای تبدیل تغییرات بسیار کوچک مقاومت استرین‌گیج‌ها به ولتاژ خروجی استفاده می‌شود، نام دارد.
 - (الف) مدار تقسیم ولتاژ ساده
 - (ب) پل وتستون (Wheatstone Bridge)
 - (ج) تقویت‌کننده عملیاتی (Op-Amp)
 - (د) مدار خازنی
- ۴ در سنسور FSR، با افزایش فشار وارد شده بر سطح سنسور، چه اتفاقی در مقاومت الکتریکی آن می‌افتد؟
 - (الف) مقاومت افزایش می‌یابد.
 - (ب) مقاومت ثابت می‌ماند.
 - (ج) مقاومت کاهش می‌یابد.
 - (د) مقاومت به مقدار بی‌نهایت می‌رسد.
- ۵ در سیستم‌های توزین مخازن (Tank Weighing)، مقدار مواد داخل مخزن با اندازه‌گیری مستقیم حجم آنها مشخص می‌شود.
 - ☐ صحیح
 - ☐ غلط
- ۶ در لودسل‌های صنعتی، تغییر شکل بدنه فلزی معمولاً در حد میکرون است.
 - ☐ صحیح
 - ☐ غلط
- ۷ سنسور FSR از طریق یک لایه کربنی مقاومتی و یک لایه رسانا که با فاصله از هم قرار دارند، کار می‌کند.
 - ☐ صحیح
 - ☐ غلط
- ۸ تفاوت اصلی کاربرد توزین در حال حرکت (Belt Scale) با توزین ثابت چیست؟
- ۹ در سنسور FSR، برای تبدیل تغییر مقاومت به ولتاژ متغیر، معمولاً از چه نوع مداری استفاده می‌شود؟
- ۱۰ در هنگام کار با یک سنسور FSR، اگر مشاهده شود که با افزایش فشار، ولتاژ خروجی به جای افزایش، به‌طور ناگهانی افت می‌کند، احتمال وجود کدام یک از موارد زیر در مدار بیشتر است؟
 - (الف) مقاومت سنسور FSR بیش از حد افزایش یافته است.
 - (ب) سنسور در ناحیه کربنی دچار آسیب شده و مقاومت آن ثابت مانده است.
 - (ج) ترتیب قرارگیری سنسور و مقاومت ثابت در مدار تقسیم ولتاژ اشتباه است.
 - (د) منبع تغذیه ولتاژ ورودی را افزایش داده است.

ارزشیابی شایستگی تبدیل کمیت‌های فیزیکی به الکتریکی

نام و نام خانوادگی:		شماره ملی:		تاریخ ارزشیابی:	
کد حرفه	۸۲۱۲۲۳	حرفه	مونتازکاران تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی	کدپیمانه/بودمان	۸۲۱۲۱۳۰۱۴
کد وظیفه شغل	۸۲۱۲۲۳۰۱	وظیفه شغل	ساخت پردهای الکترونیکی	سطح صلاحیت	۳
کد کار	۸۲۱۲۲۳۰۱۴۱	کار	تبدیل کمیت‌های فیزیکی به الکتریکی	سطح شایستگی	مهارت

ردیف	مراحل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص‌ها/داوری/نمره‌دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	شناسایی کمیت‌های فیزیکی (نور، دما، فشار، رطوبت و...) و انتخاب مبدل (ترانس دیوسر) مناسب براساس محدوده و دقت موردنیاز	انواع حسگرها (Reed, LM۳۵, TDR, LDR, Relay و...)، ترانس دیوسرها، مولتی‌متر، رایانه، برگه‌های اطلاعاتی حسگرها و زمان تعیین شده در کارگاه الکترونیک	مشاهده عملکرد، بررسی انتخاب حسگر و تطبیق آن با مشخصات مندرج در برگه‌های اطلاعاتی و پرسش و پاسخ	تشخیص و انتخاب دقیق حسگر/مبدل و انطباق با دیتاشیت	۳	
				انتخاب نسبتاً درست با دقت پایین یا خطای زیاد	۲	
				انتخاب نادرست و ناسازگار	۱	
۲	شبیه‌سازی نرم‌افزاری و پیاده‌سازی دقیق مدارهای تبدیل سیگنال آنالوگ بروی بردبردیا رعایت ایمنی و استفاده صحیح از تجهیزات (مولتی‌متر و منبع تغذیه)	نرم‌افزار شبیه‌سازی مدار، بردبرد، حسگرها، مولتی‌متر، منبع تغذیه، رایانه و زمان تعیین شده در کارگاه الکترونیک	مشاهده عملکرد، میزان تطابق خروجی شبیه‌سازی با مدار فیزیکی، تحلیل و بیان عملکرد و کاربرد مدار	شناسایی و اجرای صحیح مدار	۳	
				شناسایی صحیح با اجرای قابل قبول و رفع خطاهای جزئی	۲	
				خطای اساسی در اجرا و عملکرد نادرست مدار	۱	
۳	اندازه‌گیری دقیق خروجی مدار، عیب‌یابی در صورت وجود خطا، ثبت کامل مستندات و نمودارها، و تکمیل گزارش نهایی همراه با رفع خطاها	مولتی‌متر، منبع تغذیه، بردبرد، حسگرها، نرم‌افزار شبیه‌سازی مدار، رایانه، تجهیزات اندازه‌گیری و ابزارهای مستندسازی و زمان تعیین شده و کارگاه الکترونیک	تنظیم صحیح پارامترهای مدار، دقت در اندازه‌گیری ولتاژ و جریان خروجی، توانایی عیب‌یابی به‌موقع و کیفیت ثبت مستندات فنی همراه با اصلاح خطاها	اندازه‌گیری و عیب‌یابی دقیق، گزارش کامل و رفع خطاها	۳	
				اندازه‌گیری و عیب‌یابی ناقص جزئی و گزارش نسبتاً کامل و رفع خطاها	۲	
				اندازه‌گیری نادرست و عدم عیب‌یابی و گزارش ناقص	۱	

شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: کارگاه الکترونیک مجهز به ابزار و دستگاه‌های شبیه‌سازی مدارها و رایانه، تجهیزات حفاظت فردی و قطعات موردنیاز، انجام فعالیت‌های کارگاهی مطابق با دستورالعمل‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای					
ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)					
☐ بلی ☐ خیر					

توضیحات:

معیار شایستگی انجام کار:

- کسب حداقل نمره ۲ در مراحل عملی نیازمند استفاده ایمن از تجهیزات و حسگرها، اندازه‌گیری دقیق و عیب‌یابی منطقی مدار و همچنین ثبت کامل مستندات، نمودارها و گزارش نهایی برای اثبات درک عمیق و توانایی رفع خطاها الزامی است (مراحل بحرانی).

- کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش

- کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه‌ای انجام می‌شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه‌ریزی و تحلیل، پاسخ‌گویی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت‌ها

تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب‌یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.

واحد یادگیری ۲: راه اندازی مدار کنترل کمیت های فیزیکی با حسگرها

آیا تا به حال فکر کرده اید

- مدار الکترونیکی فتوسل چگونه با تشخیص میزان نور محیط، چراغ های خیابان را در شب به طور خودکار روشن و در روز خاموش می کند.
- ترموستات هوشمند خانه شما چگونه دمای اتاق را همیشه روی عدد دلخواه شما ثابت نگه می دارد؟
- وقتی آب جوش می آید کتری برقی چگونه به طور خودکار خاموش می شود تا از سرریز شدن جلوگیری کند؟
- سیستم های آبیاری خودکار در کشاورزی، چگونه با سنجش رطوبت خاک، زمان مناسب برای آبیاری را تشخیص می دهند؟
- اگر حسگرهای دما و سطح مایع وجود نداشتند، مدیریت انرژی و منابع آب در ساختمان ها و صنایع چقدر دشوار بود؟

در واحد یادگیری اول، با مبانی ابزار دقیق و اصول تبدیل کمیت های فیزیکی به سیگنال های الکتریکی در حسگرهایی نظیر جابه جایی، فشار و نیرو آشنا شدیم. اکنون در این واحد، با هدف انتقال از دانش نظری به مهارت عملی، به پیاده سازی مدارهای کنترل کننده خواهیم پرداخت.

در این بخش، تمرکز بر حسگرهای دما، نور، سطح مایع و رطوبت خواهد بود. هنرجویان با بهره گیری از محتوای دانشی مختصر و راهنمایی های گام به گام، توانایی طراحی و پیاده سازی عملی مدارهای الکترونیکی این حسگرها را کسب خواهند کرد. هدف از این واحد، تقویت مهارت هنرجویان در طراحی، مونتاژ و راه اندازی مدارهای کنترلی پر کاربرد در صنایع مختلف است.

در ادامه، هر یک از این حسگرها به ترتیب، همراه با مدار الکترونیکی راه انداز و یک کار عملی مرتبط معرفی خواهند شد. در نهایت نیز، مجموعه ای از پروژه های پیشنهادی و قابل اجرا برای تثبیت یادگیری در پایان این واحد ارائه شده است.

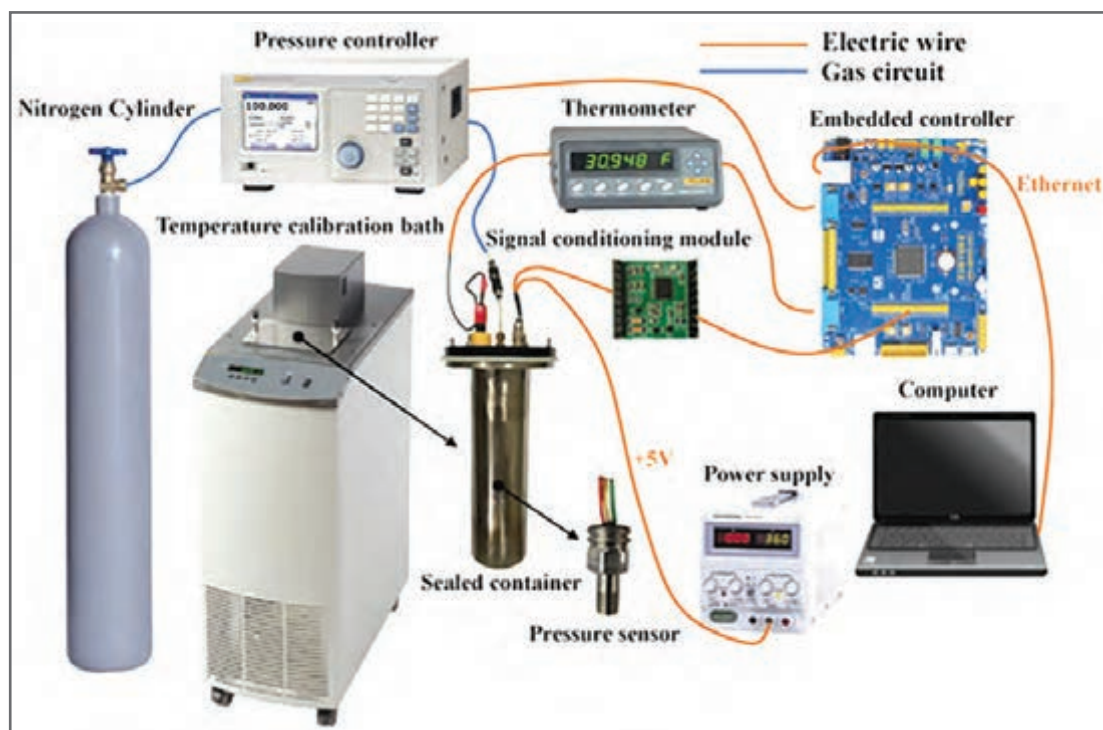
بدیهی است برای تحلیل و بررسی و اجرای عملی یک مدار کاربردی، باید در تمام مراحل کار عملی رعایت نکات ایمنی و بهداشتی و توجه به مهارت های غیرفنی مانند کار گروهی، مسئولیت پذیری، پایبندی به نظم و ترتیب از مواردی است که از اهمیت ویژه ای برخوردار است و باید رعایت شود.

استاندارد عملکرد

مدارهای کنترل کمیت فیزیکی را پیاده سازی کرده و با رعایت استانداردها، پایداری خروجی را بررسی و تست کند.

مدارهای کنترل کمیت فیزیکی

مدار الکترونیکی مجموعه‌ای از قطعات الکترونیکی مانند RLC، دیود، ترانزیستور و آی‌سی‌ها است که به هم متصل شده‌اند تا وظیفه خاصی را انجام دهند. مدار الکترونیکی در واقع بستری برای کنترل و مدیریت دقیق کمیت‌های فیزیکی است که با پردازش سیگنال‌ها، پاسخ مناسب را در برابر تغییرات محیطی تولید می‌کند. مبدل‌ها (Transducers) نیز بخشی از این مدارها هستند که به عنوان اجزای حیاتی در سیستم‌های ابزار دقیق و کنترل انرژی یک کمیت فیزیکی را به سیگنال الکتریکی (در نقش ورودی) و یا سیگنال الکتریکی را به نوع دیگری از انرژی (در نقش خروجی) تبدیل می‌کنند. حسگرها به عنوان ورودی، تغییرات محیطی را «حس» کرده و به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کنند. به عنوان مثال، حسگرهای نوری می‌توانند شدت نور محیط را سنجیده و بر اساس آن، کنترل خودکار چراغ‌های معابر را فعال کنند تا در تاریکی روشن و در روشنایی خاموش شوند. در مقابل، عملگرها (Actuators) به عنوان خروجی، سیگنال الکتریکی را به یک عمل فیزیکی مشخص تبدیل می‌نمایند، مانند به حرکت درآوردن یک موتور یا بازوی رباتیک، یا تولید صدا. برای کنترل دما، حسگرهای حرارتی (مانند ترموکوپل یا ترمیستور) تغییرات دما را تشخیص داده و سیگنال الکتریکی متناسب ارسال می‌کنند. این سیگنال می‌تواند به یک سیستم تهویه مطبوع یا هیتر فرمان دهد تا دما را در حد مطلوب نگه دارد. همچنین، حسگرهای سطح مایع (مانند سنسورهای شناوری یا اولتراسونیک) میزان مایع در مخازن را اندازه‌گیری کرده و با ارسال سیگنال به پمپ‌ها، از سرریز شدن یا خالی شدن کامل مخزن جلوگیری می‌کنند.



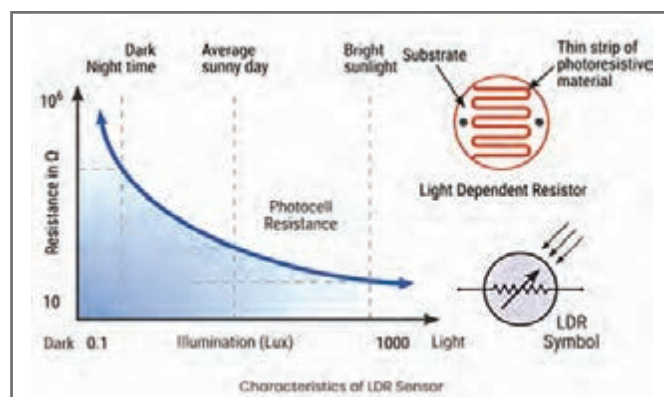
شکل ۴۳

کمیت نور

■ تشخیص نور

LDR یک قطعه الکترونیکی (مقاومت وابسته نور) است که مقدار مقاومت آن بستگی به شدت نور دارد. به مقاومت وابسته به نور (LDR) فتورزیستور نیز گفته می‌شود. این قطعه دو پایه دارد و قطبیت ندارد. ساختمان داخلی آن از مواد نیمه هادی مانند سولفید کادمیوم (Cadmium Sulfide = CdS) یا سلنید کادمیوم (CdSe) ساخته می‌شوند. این مواد دارای خواصی هستند که در پاسخ به قرار گرفتن در معرض نور مقاومت آنها تغییر می‌کنند. مقاومت بین دو پایه در نور کم یا تاریکی بسیار زیاد است و در نور زیاد یا نزدیک منبع نور بسیار کم می‌شود.

■ ساختار و عملکرد LDR



شکل ۴۴

هنگامی که نور بر روی ماده نیمه هادی LDR می‌تابد، انرژی فوتون‌ها الکترون‌ها را تحریک می‌کند. این امر تعداد حامل‌های بار (الکترون‌ها و حفره‌ها) را افزایش داده و مقاومت ماده را کاهش می‌دهد. در تاریکی یا نور کم، مقاومت به دلیل تعداد کمتر حامل‌های بار زیاد است. با افزایش شدت نور، مقاومت کاهش می‌یابد (شکل ۴۴).

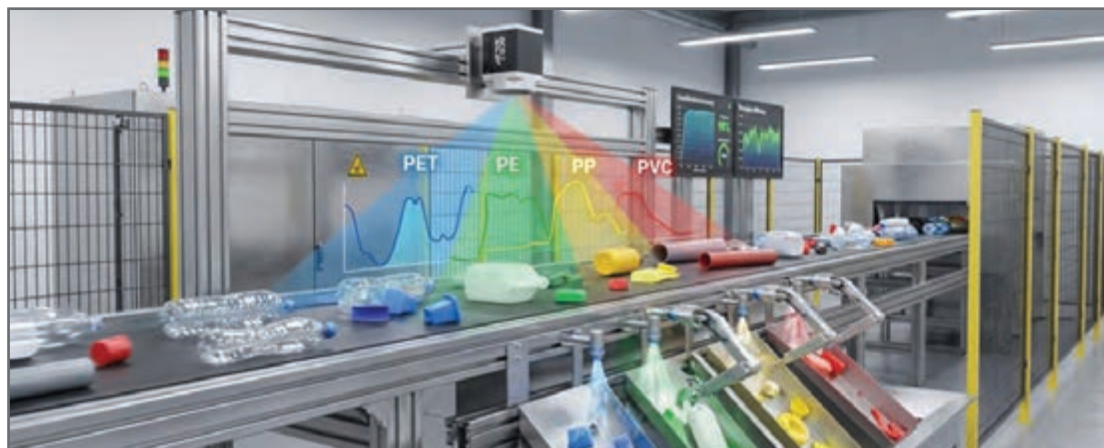
پرکاربردترین سنسور نوری مقاومتی، سلول فتورزیستور (فتوهادی) «سولفید کادمیوم» مدل ORP12 است. پاسخ طیفی این مقاومت وابسته به نور، در محدوده ۶۱۰ نانومتر (نور زرد تا نارنجی) قرار دارد. مقدار مقاومت این سلول در شرایط عدم تابش نور (مقاومت در تاریکی)، بسیار بالا و در حدود ۱۰ مگا اهم ($10\text{ M}\Omega$) است که با تابش کامل نور، به حدود ۱۰۰ اهم ($100\text{ }\Omega$) کاهش می‌یابد (مقاومت در روشنایی).

■ کاربردهای صنعتی و عمومی LDR مقاومت وابسته به نور (LDR)

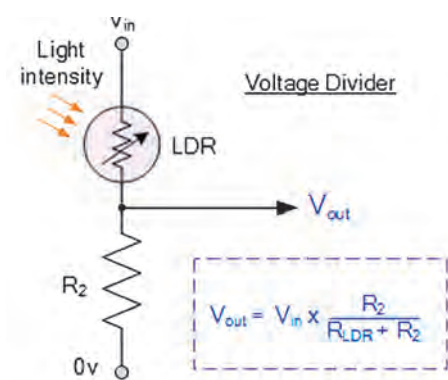
مقاومت‌های وابسته به نور به دلیل سادگی و قیمت پایین، در حوزه‌های گسترده‌ای مانند شکل ۴۵ استفاده می‌شوند: **روشنایی خودکار معابر:** استفاده در سیستم‌های روشنایی هوشمند جهت روشن کردن خودکار چراغ‌ها در هنگام غروب و خاموش کردن آنها در سپیده‌دم. **نورسنج‌های دوربین:** اندازه‌گیری شدت نور محیط و تنظیم خودکار پارامترهای نوردهی برای گرفتن عکس با کیفیت

سیستم‌های دزدگیر: تشخیص تغییرات ناگهانی در شدت نور محیط (مانند باز شدن درب یا پنجره). **ردیاب‌های خورشیدی (Solar Trackers):** هم‌راستا کردن پنل‌های خورشیدی با خورشید، جهت دستیابی به حداکثر راندمان انرژی.

سنجش شدت نور: اندازه‌گیری دقیق نور در محیط‌هایی نظیر آتلیه‌های عکاسی یا محیط‌های باز.



شکل ۴۵



شکل ۴۶

■ تبدیل تغییرات مقاومت LDR به ولتاژ قابل درک برای واحد کنترل

اتصال یک مقاومت وابسته به نور (LDR) به صورت سری با یک مقاومت استاندارد (ثابت) در مسیر یک منبع تغذیه DC، دارای یک مزیت مهم است: با تغییر شدت نور، ولتاژ متفاوتی در محل اتصال این دو مقاومت (گره مشترک) ظاهر می‌شود. میزان افت ولتاژ روی مقاومت سری R_2 ، توسط مقدار مقاومت LDR (R_{LDR}) تعیین می‌شود. این قابلیت تولید ولتاژهای مختلف، منجر به ایجاد یک مدار بسیار کاربردی به تقسیم ولتاژ می‌شود (شکل ۴۶).

همان‌طور که می‌دانید، جریان در یک مدار سری در تمامی نقاط یکسان است؛ بنابراین با تغییر مقدار مقاومت LDR در اثر تغییر شدت نور، ولتاژ خروجی (V_{OUT}) طبق «فرمول تقسیم ولتاژ» تعیین می‌گردد. مقدار مقاومت یک LDR می‌تواند از حدود ۱۰۰ اهم در نور مستقیم خورشید تا بیش از ۱۰ مگا اهم در تاریکی مطلق تغییر کند. این تغییرات مقاومت، مطابق شکل، به تغییرات ولتاژ در خروجی (V_{OUT}) تبدیل می‌شود.

$$V_{OUT} = V_{CC} \times \frac{R_2}{R_{LDR} + R_2}$$

محاسبه در شرایط تاریکی مطلق (Darkness)

در تاریکی مطلق، مقاومت LDR بسیار زیاد است (تقریباً ۱۰ MΩ یا ۱۰/۰۰۰ kΩ).

اگر $R_2 = ۱۰\text{ k}\Omega$ در نظر گرفته شود در این صورت خواهیم داشت:

$$V_{OUT} = 5V \times \frac{۱۰\text{ k}\Omega}{۱۰/۰۰۰\text{ k}\Omega + ۱۰\text{ k}\Omega} = 5V \times \frac{۱۰\text{ k}\Omega}{۱۰/۰۱۰\text{ k}\Omega} = ۰/۰۰۵V \approx ۰V$$

نتیجه: در تاریکی، ولتاژ خروجی به صفر نزدیک می‌شود.

محاسبه در شرایط نور کامل (Bright Light)

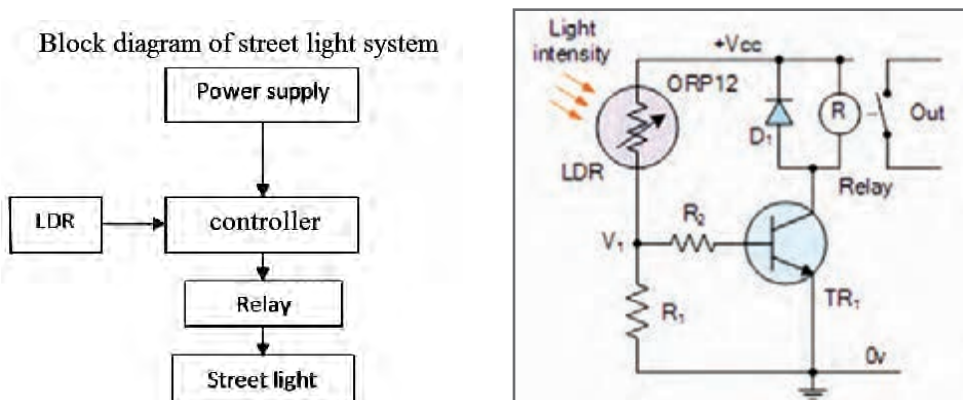
در نور کامل (نور خورشید)، مقاومت LDR بسیار کم است (تقریباً $100\ \Omega$ یا $1\ \text{k}\Omega$).

$$V_{OUT} = 5V \times \frac{1\ \text{k}\Omega}{10\ \text{k}\Omega + 1\ \text{k}\Omega} = 5V \times \frac{1\ \text{k}\Omega}{11\ \text{k}\Omega} = 4/95 \approx 5V$$

نتیجه: در روشنایی، ولتاژ خروجی به ۵ ولت (ولتاژ منبع) نزدیک می‌شود.

■ روشنایی خودکار معابر

در شکل ۴۷ بلوک دیاگرام و یک مدار استاندارد LDR را که به‌عنوان یک کلید نوری (Light-Activated Switch) عمل می‌کند مشاهده می‌کنید. ساختار اصلی این مدار، یک «تقسیم ولتاژ» متشکل از مقاومت نوری (LDR) و یک مقاومت ثابت (R_1) است.

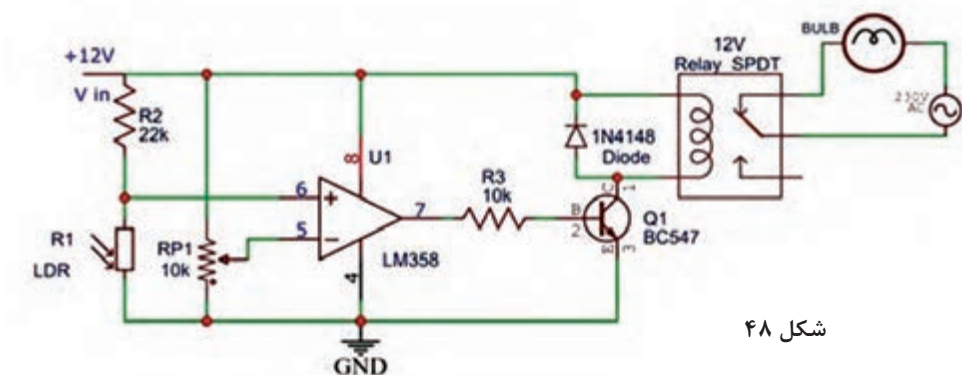


شکل ۴۷

■ بررسی عملکرد مدار سوئیچ نوری (LDR) با تقویت‌کننده عملیاتی

– در شرایط تاریکی

عملکرد این مدار به این صورت است که وقتی نوری وجود ندارد (در شب)، مقاومت سنسور نوری (LDR) افزایش می‌یابد. در نتیجه، ولتاژ دو سر LDR بالا می‌رود و این ولتاژ به پایه غیرمعکوس‌کننده (Non-inverting) تقویت‌کننده عملیاتی اعمال می‌شود. زمانی که این ولتاژ از ولتاژ پایه معکوس‌کننده (Inverting) بیشتر شود، خروجی تقویت‌کننده عملیاتی در وضعیت بالا (High) قرار می‌گیرد. در این حالت، ترانزیستور روشن شده و رله را فعال می‌کند؛ رله نیز فعال شده و لامپ AC را روشن می‌کند.



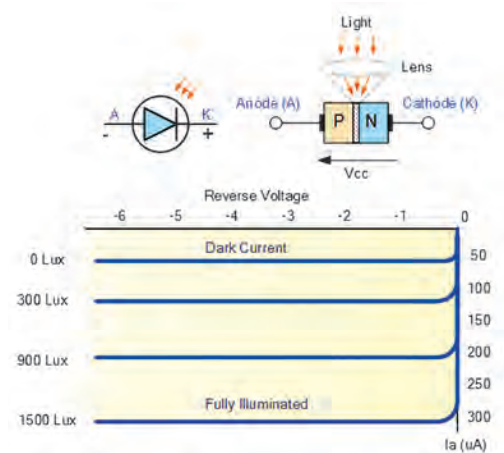
شکل ۴۸

– در شرایط روشنایی

در طول روز، به دلیل وجود نور خورشید، مقاومت LDR کاهش می‌یابد و در نتیجه ولتاژ دو سر آن نیز کم می‌شود. سرانجام، ولتاژ پایه غیرمعکوس کننده عملیاتی کمتر از ولتاژ پایه معکوس کننده می‌شود. و خروجی تقویت کننده عملیاتی به سطح پایین (Low) تغییر وضعیت می‌دهد و باعث خاموش شدن ترانزیستور BJT و در نتیجه قطع شدن رله می‌گردد و لامپ را خاموش می‌کند.

تنظیم (کالیبراسیون): برای اینکه بتوان نقطه کلیدزنی مدار را تنظیم کرد (به عنوان مثال، فعال سازی رله در زمان سحر به جای تاریکی مطلق)، کافی است مقاومت ثابت R_1 با یک پتانسیومتر (VR_1) جایگزین شود. در کاربردهای دقیق، اغلب به جای استفاده از یک ترانزیستور، از یک «تقویت کننده عملیاتی» (Op-Amp) در پیکربندی مقایسه کننده (Comparator) استفاده می‌شود تا سیگنال کلیدزنی دیجیتال دقیق تر و پایدارتری حاصل شود.

■ فتودیود (Photodiode)



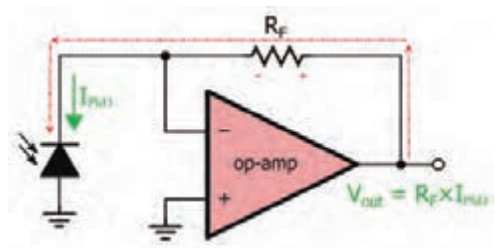
شکل ۴۹

فتودیود یک قطعه نیمه‌هادی است که وقتی نور به آن می‌تابد، جریان الکتریکی کوچکی از خود عبور می‌دهد (یا ولتاژ تولید می‌کند). شدت جریان یا ولتاژ تولید شده، متناسب با شدت نور است. فتودیودها سریع تر از LDRها به تغییرات نور واکنش نشان می‌دهند (شکل ۴۹). مشخصه جریان - ولتاژ (منحنی‌های I/V) یک فتودیود بدون نور در محل اتصال آن (حالت تاریک) بسیار شبیه به یک دیود سیگنال یا یکسو کننده معمولی است. هنگامی که فتودیود نور را حس می‌کند، به دلیل اثر فوتوالکتریک داخلی، یک جریان نوری (I_{ph}) متناسب با شدت تابش تولید می‌شود.

این جریان معمولاً کوچک است و برای استفاده در سامانه‌های اندازه‌گیری باید به یک سیگنال ولتاژی قابل پردازش تبدیل شود. برای این کار از تقویت کننده عملیاتی با نوع کاربری مبدل جریان به ولتاژ (انتقال دهنده امپدانس TIA) استفاده می‌شود تا جریان خروجی فتودیود به ولتاژ خروجی تبدیل گردد. در این مدار فتودیود به ورودی معکوس کننده تقویت کننده عملیاتی متصل شده و با فیدبک مقاومتی R_f جریان در ورودی جمع می‌شود. رابطه ولتاژ خروجی ایده‌آل به صورت زیر است:

$$V_{out} = - I_{ph} \times R_f$$

علامت منفی به دلیل مدار تقویت کننده عملیاتی به صورت معکوس کننده است (شکل ۵۰).



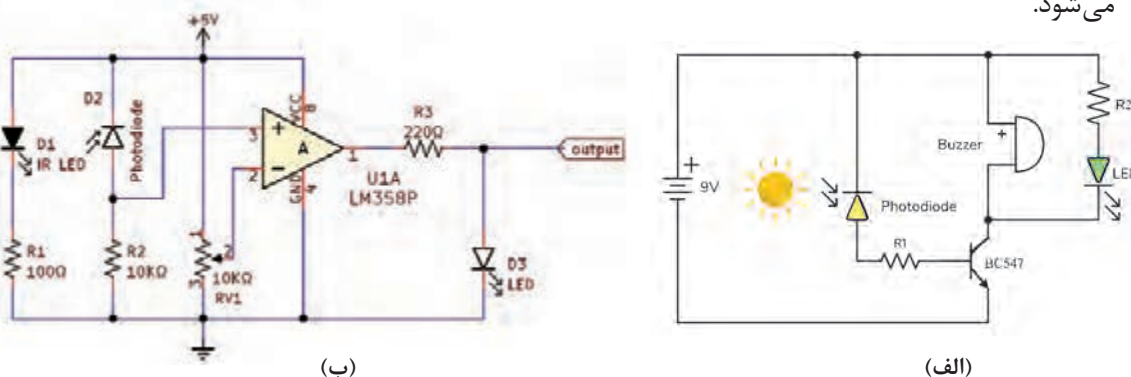
شکل ۵۰

کاربرد عملی فتودیود

کنترل از راه دور (ریموت کنترل): نور مادون قرمز (نامرئی) که توسط دکمه‌های ریموت ارسال می‌شود، توسط فتودیود در دستگاه گیرنده (مثلاً تلویزیون) دریافت و به سیگنال الکترونیکی تبدیل می‌شود. دزدگیرهای نوری: با استفاده از یک پرتو نور (معمولاً مادون قرمز) و یک فتودیود، می‌توان از عبور افراد از یک مسیر خاص جلوگیری کرد. اگر پرتو نور قطع شود، فتودیود جریان تولید نمی‌کند و آژیر فعال می‌شود. دستگاه‌های اندازه‌گیری نور: در دوربین‌های عکاسی برای اندازه‌گیری شدت نور محیط و تنظیم خودکار دیافراگم و سرعت شاتر.

کدهای QR و بارکد خوان‌ها: فتودیودها برای خواندن الگوهای تیره و روشن بارکدها یا کدهای QR استفاده می‌شوند.

در شکل‌های ۵۱، دو نمونه از مدارهای کاربردی فتودیود به عنوان حسگر در سامانه‌های کنترل فرایند مشاهده می‌شود.



در شکل ۵۱-الف وقتی نور مادون قرمز (مثلاً از شعله آتش) به فتودیود با بایاس معکوس می‌تابد، دیود یک جریان خروجی تولید می‌کند. این جریان باعث فعال شدن پایه ترانزیستور می‌شود، در نتیجه ترانزیستور BC547 که قبلاً خاموش بود، روشن شده و بین کلکتور و امیتر جریان عبور می‌دهد. با عبور جریان از بیزر، آلارم به صدا درمی‌آید و هم‌زمان LED نیز روشن می‌شود.

شکل ۵۱-ب یک مدار ساده برای تشخیص مانع است که با LED مادون قرمز (IR)، فتودیود و تقویت‌کننده عملیاتی LM358P ساخته می‌شود.

مدار اجسامی را که نور مادون قرمز را بازتاب می‌دهند تشخیص می‌دهد و برای فاصله‌های کوتاه مناسب است. این خروجی می‌تواند در مدارهای کنترل مستقل یا در کنار میکروکنترلر استفاده شود. با تشخیص مانع، یک LED روشن می‌شود و ولتاژ خروجی افزایش می‌یابد.

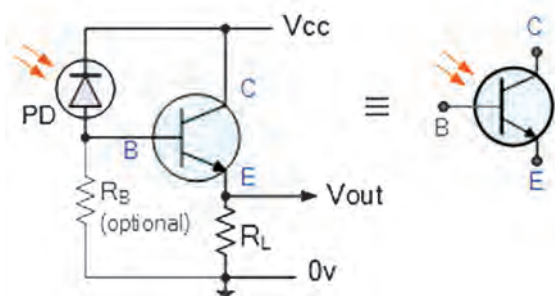
در صورت نیاز می‌توان به خروجی، میکروکنترلر یا عملگرها را برای اجرای فرمان‌های بعدی متصل کرد

چرا برای فواصل زیاد از حسگرهای اولتراسونیک استفاده می‌شود؛ بلوک دیاگرام و شرح مدار آن را از منابع معتبر استخراج نمایید.
گزارش کامل این تحقیق را به کارگاه ارائه دهید.

تحقیق کنید



■ فتوترانزیستور

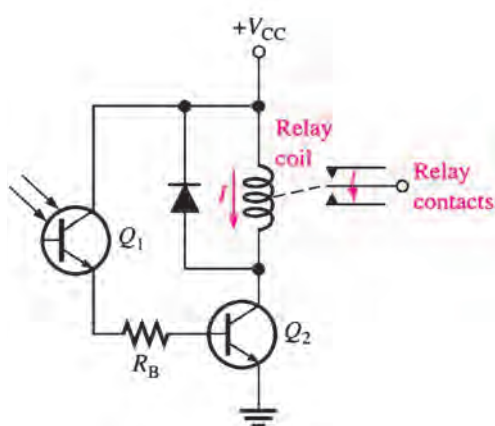


شکل ۵۲

فتوترانزیستور یک قطعه نیمه‌رسانای حساس به نور است که با جذب فوتون‌ها در پیوند بیس، کلکتور، جریان پایه مؤثر ایجاد کرده و جریان کلکتور، امیتر را تقویت می‌کند (شکل ۵۲).

این قطعه نسبت به فتودیود حساسیت و بهره جریان بالاتری دارد، اما معمولاً سرعت پاسخ‌دهی و پهنای باند آن کمتر است و به شرایط بایاس و ظرفیت‌های پیوندی وابسته است.

خروجی فتوترانزیستور متناسب با شدت تابش (در یک بازه مشخص) تغییر می‌کند و در مدارهای اندازه‌گیری به صورت کلید نوری یا حسگر آنالوگ به کار می‌رود (شکل ۵۳).



شکل ۵۳



شکل ۵۴

کاربردهای رایج آن شامل سنجش حضور/قطع نور، شمارنده‌ها و انکودرهای نوری، اپتوکوپلرها برای ایزولاسیون الکتریکی، و کنترل روشنایی و تشخیص موقعیت است (شکل ۵۴).



شکل ۵۵

اجرای مدارهای کاربردی با حسگرهای نور (LDR و Opto_Coupler)

هدف:

برای دستیابی به:

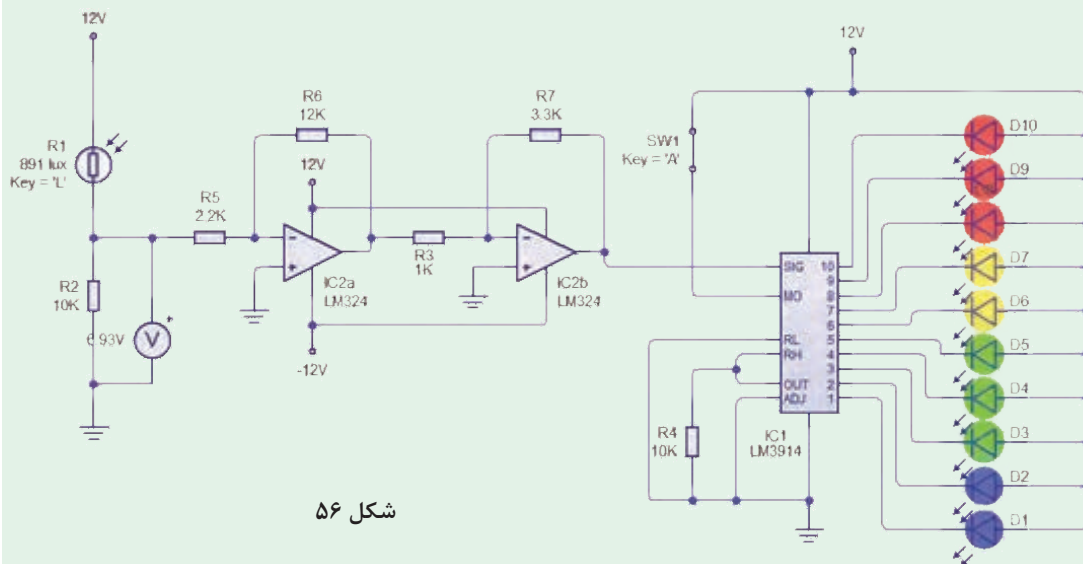
۱ بررسی عملکرد مدار لوکس متر (نورسنج) با نمایشگر LED

۲ بررسی عملکرد مدار تاکومتر (دورسنج) با اپتوکوپلر
مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم افزار، نوشت افزار، منبع تغذیه ۱۲ ولت، IC تقویت کننده عملیاتی LM۳۲۴، IC مقایسه گر LM۳۲۴، IC۷۴۹۳، شمارنده باینری IC۷۴۴۷ رمزگشای ۷ قطعه‌ای،

IC۷۴۱۴ اشmitt ترینگر، ۷ قطعه‌ای (VSeg) آند مشترک هر کدام یک عدد، دیود نورانی LED ده عدد، اپتوکوپلر یو شکل یک عدد، مقاومت‌های LDR، $۱K\Omega$ ، $۱۰K\Omega$ ، $۲/۲K\Omega$ ، $۱۲K\Omega$ ، $۳/۳K\Omega$ ، ۱۵۰Ω ، ۴۷Ω هر کدام یک عدد و مقاومت‌های $۱K\Omega$ ، $۱۰K\Omega$ هر کدام دو عدد برد، سیم‌های رابط لوکس متر (Luxmeter) ابزاری است که شدت روشنایی محیط را اندازه‌گیری می‌کند و مقدار آن را معمولاً بر حسب واحد لوکس (Lux) است تا میزان نور موجود محیط مشخص شود. لوکس متر برای کنترل استاندارد نور در محیط‌های کاری شکل ۵۵ برای سلامت چشم و جلوگیری از خستگی چشم و بهینه‌سازی نور در گلخانه‌ها جهت بهینه‌سازی فرایند فتوسنتز کاربرد دارد. همچنین در عکاسی و فیلم‌برداری جهت تنظیم دقیق نوردهی دوربین و مدیریت نورپردازی حرفه‌ای استفاده می‌شود.

مراحل اجرای کار:

۱ مدار شکل ۵۶ را در محیط نرم‌افزار ببندید.



شکل ۵۶

- ۲ مقاومت تابع نور را تغییر دهید. با تغییر شدت نور (LDR)، تعداد LEDهای روشن شده تغییر می‌یابد که در واقع سطح نور محیط را به صورت بصری نشان می‌دهد.
- ۳ با فعال کردن کلید S_1 ، حالت نمایش از نقطه‌ای (Dot Mode) به نواری (Bar Mode) تغییر می‌کند، کلید را تغییر دهید، و روشن شدن LEDها را مشاهده کنید.
- ۴ مدار را مطابق با نقشه شماتیک شکل ۷۴ بر روی بردبرد با قطعات واقعی ببندید، و اتصالات را برقرار کنید.
- ۵ با پوشاندن یا دور کردن دست از روی LDR، شدت نور تابیده شده به آن را تغییر دهید و تعداد LEDهای روشن شده را مشاهده کنید.

سؤال:

- ۱ با تغییر شدت نور، چه تغییری در تعداد LEDها مشاهده می‌کنید؟

.....

.....

- ۲ تفاوت عملکرد نمایشگر در دو حالت Dot و Bar را توضیح دهید.

.....

.....

- ۳ آیا مدار طراحی شده توانایی نمایش دقیق سطح نور محیط واقعی را دارد؟ چرا؟

.....

.....



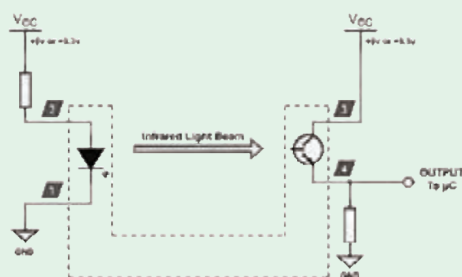
شکل ۵۷

تاکومتر (Tachometer) ابزاری است که برای اندازه‌گیری سرعت چرخش یک شفت یا دیسک (مانند محور موتور در ماشین‌آلات یا ربات‌ها) استفاده می‌شود. این دستگاه معمولاً تعداد دور در دقیقه (RPM) را بر روی یک صفحه مدرج آنالوگ یا یک نمایشگر دیجیتال نشان می‌دهد، (شکل ۵۷). در ساختار این دستگاه، از یک مازول حسگر مادون قرمز (IR Sensor) یو (U) شکل برای تشخیص چرخش استفاده می‌شود. این حسگر با تشخیص گذشتن نقاط مشخص از مقابل خود، سیگنال‌هایی تولید می‌کند که توسط یک مدار شمارنده پردازش شده و در نهایت، سرعت چرخش به صورت عدد روی نمایشگر نمایش داده می‌شود.

- ۶ مدار شکل ۵۸ یک نمونه مدار ساده عملکرد تاکومتر را نشان می‌دهد. برای عمل شبیه سازی چرخش دیسک بین شکاف اپتوکوپلر نوری از یک شاسی در مدار استفاده شده است. مدار را بر روی محیط نرم‌افزار ببندید.

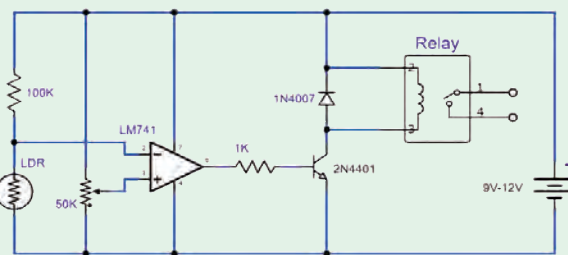
- ۷ شاسی R را بر روی صفحه کلید فشار دهید و ترتیب شمارش را مشاهده کنید.

تحقیق کنید: گیت Not از نوع اشمیت تریگر به چه منظوری در مدار به کار رفته است، نتیجه را در کارگاه به بحث بگذارید.



شکل ۵۹

این مدار با کاهش شدت نور خورشید به زیر حد مشخص، چراغ‌های محوطه حیاط یا یک پارک یا خیابان را روشن می‌کند و با تابش مجدد نور خورشید، چراغ‌ها را خاموش می‌کند. با تنظیم پتانسیومتر و تغییر تابش نور به LDR در تاریکی رله مدار را فعال کنید (شکل ۶۰)



شکل ۶۰

۱) مقاومت LDR در تاریکی چگونه است؟

- (الف) حدود ۱۰۰ اهم
(ب) بسیار کم
(ج) بسیار زیاد (حدود ۱۰ مگا اهم)
(د) صفر اهم

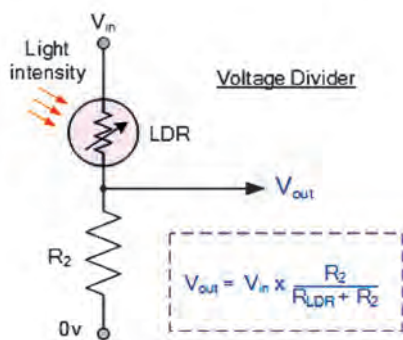
۲) مقاومت LDR با افزایش شدت نور چگونه تغییر می کند؟

- (الف) افزایش می یابد
(ب) ثابت می ماند
(ج) کاهش می یابد
(د) ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد

۳) مهم ترین کاربرد LDR در مدار الکترونیکی روشنایی معابر چیست؟

- (الف) تقویت جریان
(ب) تولید نور
(ج) روشن و خاموش کردن خودکار چراغ ها
(د) ذخیره انرژی

۴) در مدار تقسیم ولتاژ شکل ۶۱، با افزایش شدت نور، ولتاژ خروجی (V_{out}) چه تغییری می کند؟



شکل ۶۱

- (الف) کاهش می یابد
(ب) تقریباً صفر می شود
(ج) به ولتاژ منبع (حدود ۵ ولت) نزدیک می شود
(د) ثابت می ماند.

۵) فتودیود نسبت به LDR چه مزیتی دارد؟

- (الف) قیمت کمتر
(ب) سرعت پاسخ بیشتر
(ج) مقاومت بیشتر
(د) توان مصرفی بیشتر

۶) در مدار مبدل جریان به ولتاژ فتودیود، رابطه ولتاژ خروجی کدام است؟

- (الف) $V_{out} = I_{ph} + R_f$
(ب) $V_{out} = I_{ph} / R_f$
(ج) $V_{out} = -I_{ph} \times R_f$
(د) $V_{out} = R_f / I_{ph}$

۷) کدام قطعه نسبت به فتودیود بهره جریان بیشتری دارد؟

(الف) LED

(ب) مقاومت ثابت

(ج) فتوترانزیستور

(د) خازن

۸) برای تنظیم نقطه کلیدزنی مدار LDR شکل ۶۲،

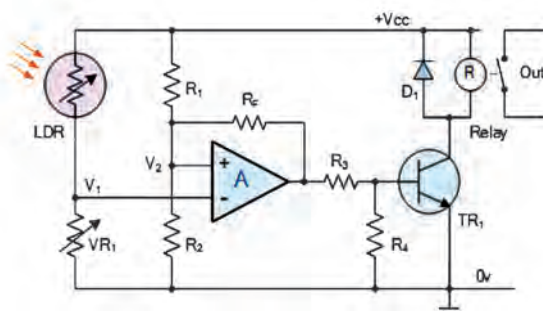
مقاومت ثابت با چه قطعه ای جایگزین می شود؟

(الف) دیود

(ب) پتانسیومتر

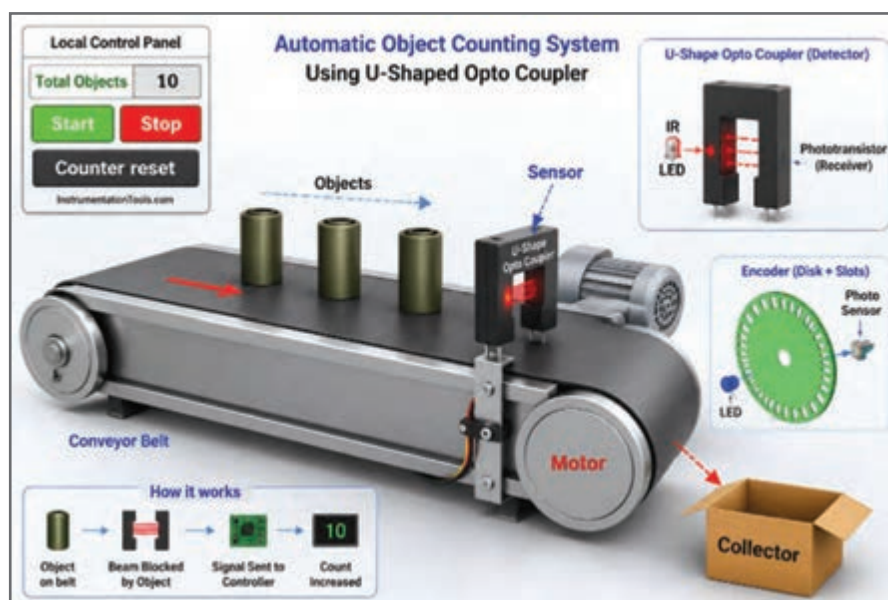
(ج) خازن

(د) سلف



شکل ۶۲

- ۹ مقاومت LDR با افزایش شدت نور کاهش می‌یابد. ☐ صحیح ☐ غلط
- ۱۰ فتودیود می‌تواند نور مادون قرمز ریموت کنترل را تشخیص دهد. ☐ صحیح ☐ غلط
- ۱۱ فتوترانزیستور نسبت به فتودیود سرعت پاسخ‌دهی بیشتری دارد. ☐ صحیح ☐ غلط
- ۱۲ دو کاربرد مهم LDR را نام ببرید.
- ۱۳ در تاریکی مطلق مقدار تقریبی ولتاژ خروجی مدار تقسیم ولتاژ LDR چقدر است؟
- ۱۴ مهم‌ترین تفاوت فتوترانزیستور و فتودیود چیست؟
- ۱۵ در شکل ۶۳ تصویر یک سامانه کنترل فرایند را مشاهده می‌کنید. عملکرد سامانه را در سه سطر شرح دهید.



شکل ۶۳

کمیت دما

تشخیص دما

سنسورهای دما برای زندگی روزمره حیاتی هستند. این قطعات مهم فناوری، میزان گرمایی را که یک جسم یا سیستم ساطع می‌کند، اندازه‌گیری می‌کنند. اندازه‌گیری‌های انجام شده به ما امکان می‌دهد تا تغییر دما را به صورت فیزیکی حس کنیم. یکی از نقش‌های مهم سنسورهای دما، پیشگیری است. سنسورهای دما تشخیص می‌دهند که چه زمانی یک نقطه اوج تعیین شده رخ می‌دهد که زمان لازم برای اقدامات پیشگیرانه را فراهم می‌کند. یک مثال خوب در آشکارسازهای آتش‌سوزی دیده می‌شود.

وجود حسگر دما در صنایع مختلف، دستگاه‌های الکترونیکی سنجش دما در خودرو، مراقبت‌های بهداشتی و ایمنی مواد غذایی ضروری است و جنبه حیاتی دارد با این حال، مانند هر فناوری، حسگرهای دما، از جمله ترمیستورها، می‌توانند با مشکلاتی روبه‌رو شوند که بر دقت و قابلیت اطمینان آنها تأثیر می‌گذارد. برخی از

کاربردها، مانند تجهیزاتی که برای تولید داروهای نجات بخش استفاده می‌شوند، برای کنترل کیفیت حیاتی به حسگرهای دما نیاز دارند که واکنش‌پذیر و دقیق باشند؛ با این حال، برخی از کاربردها، مانند دماسنج خودرو، به حسگرهای دقیق یا واکنش‌پذیر نیازی ندارند. چهار نوع رایج حسگر دما، که از نظر واکنش‌پذیری و دقت از بالا تا پایین متغیر هستند، عبارتند از:

- ترمیستورهای با ضریب دمایی منفی (NTC)

- آشکارسازهای دمای مقاومتی (RTD)

- ترموکوپل‌ها

- سنسورهای مبتنی بر نیمه‌هادی

■ ترمیستور (NTC)

این سنسور مانند یک مقاومت عمل می‌کند که مقدار اهم آن با دما تغییر می‌کند. با گرم شدن، مقاومت آن کم می‌شود و چون این تغییرات بزرگ و حساس هستند، برای اندازه‌گیری دقیق تغییرات دمای کوچک مناسب است، اما خروجی آن خطی نیست و بیشتر در لوازم خانگی استفاده می‌شود.

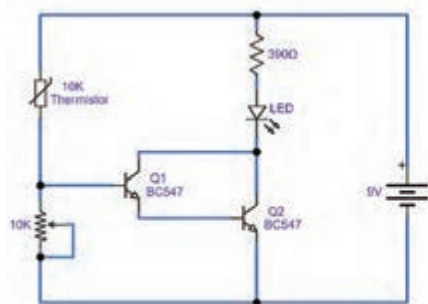
مدار حسگر حرارت با ترمیستور NTC در شکل ۶۴ نشان داده شده است

این مدار یک حسگر ساده دما است که با افزایش دمای محیط، یک LED را روشن می‌کند. در این مدار از یک ترمیستور NTC، مقاومت متغیر، دو ترانزیستور BC۵۴۷ و یک LED استفاده شده است.

ترمیستور NTC یک مقاومت وابسته به دما است که با افزایش دما، مقدار مقاومت آن کاهش می‌یابد. تغییر مقاومت ترمیستور باعث تغییر ولتاژ پایه ترانزیستور Q۱ می‌شود.

در این مدار، دو ترانزیستور Q۱ و Q۳ به صورت زوج دارلینگتون متصل شده‌اند. این اتصال باعث افزایش بهره جریان می‌شود و امکان کنترل LED با جریان بسیار کم ترمیستور را فراهم می‌کند.

در دمای پایین، مقاومت ترمیستور زیاد است و جریان کافی برای روشن شدن ترانزیستورها وجود ندارد؛ بنابراین LED خاموش است. با افزایش دما، مقاومت ترمیستور کاهش یافته و جریان پایه Q۱ افزایش می‌یابد. در نتیجه Q۱ و سپس Q۲ روشن شده و جریان از مسیر LED عبور می‌کند؛ بنابراین LED روشن می‌شود.



شکل ۶۴



با تنظیم مقاومت متغیر می‌توان دمای آستانه روشن شدن LED را تغییر داد. این مدار نمونه‌ای ساده از کاربرد ترمیستور در سیستم‌های کنترل دما است. که بدون نیاز به کنترل دستی، در هنگام افزایش دما خروجی هشدار (روشن شدن LED) ایجاد کند.

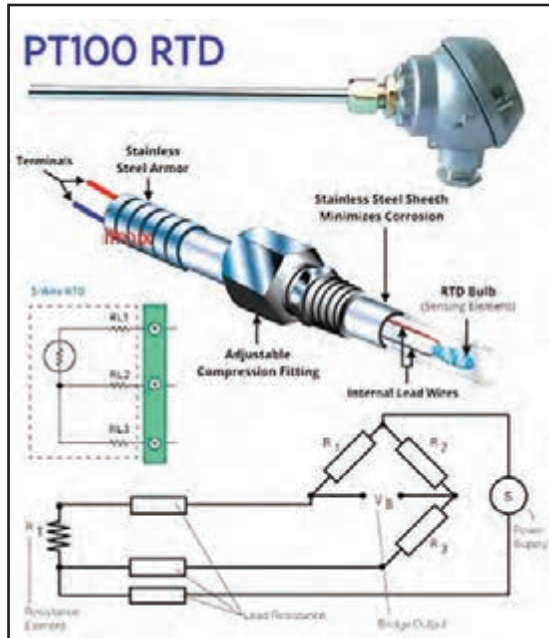
■ آشکارساز دمای مقاومتی (RTD)

(Resistance Temperature Detector) RTD

به معنی آشکارساز مقاومتی دما است.

RTD ها نوعی حسگر دما هستند که در آن یک سیم فلزی یا لایه نازک فلزی به عنوان عنصر حسگر به کار می رود، (شکل ۶۵).

در ساختمان RTD، یک سیم نازک و ظریف به صورت سیم پیچ، دور یک هسته سرامیکی یا شیشه ای پیچیده می شود. این عنصر معمولاً بسیار حساس و شکننده است؛ بنابراین اغلب درون یک محافظ یا غلاف قرار داده می شود. حسگر دمای RTD نسبت به برخی حسگرهای دما مانند ترموکوپل ها و ترمیستورها، دقت و پایداری بیشتری دارد. معمولاً در ساخت RTD ها از سیم های نیکل، پلاتین یا مس استفاده می شود؛ زیرا این مواد دارای ضریب دمایی مثبت هستند، یعنی با افزایش دما، مقاومت آنها نیز افزایش می یابد. رایج ترین نوع RTD، PT۱۰۰ است.



شکل ۶۵

وقتی دما تغییر می کند، مقاومت عنصر حسگر نیز تغییر می کند. با اندازه گیری این مقاومت، می توان مقدار دما را تعیین کرد. رابطه کلی تغییر مقاومت با دما به صورت زیر بیان می شود:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

$$\Delta T = T - T_0$$

که در آن:

■ R_t : مقاومت در دمای مورد نظر T

■ R_0 : مقاومت در دمای مرجع، معمولاً $(T_0)^\circ C$

■ α (alpha): ضریب تغییرات مقاومت نسبت به دما ΔT : تغییرات دما بر حسب درجه سلسیوس

یک حسگر Pt۱۰۰ در دمای (صفر درجه $^\circ C$) دارای مقاومت 100Ω است. اگر دما به $50^\circ C$ برسد، مقدار تغییر مقاومت و مقاومت نهایی RTD را به دست آورید.

حل:

RTD پلاتینی، معمولاً: $\alpha = 0.00385^\circ C^{-1}$ است

$$R_0 = 100\Omega$$

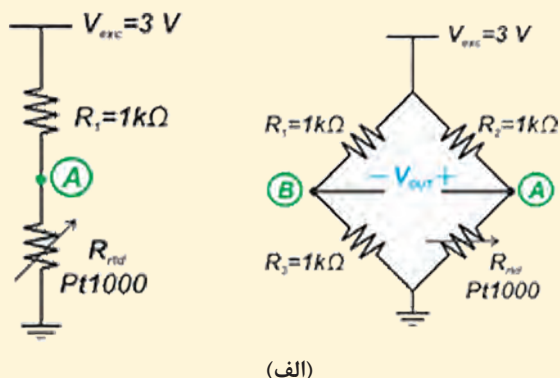
$$\Delta T = T - T_0$$

$$\Delta T = 50 - 0 = 50^\circ C$$

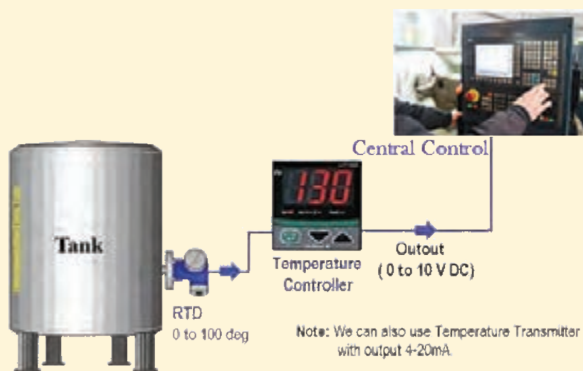
$$R_t = R_0 (1 + \alpha \Delta T) = 100 [1 + (0.00385 \times 50)] = 119.25\Omega$$

مثال





(الف)



(ب)

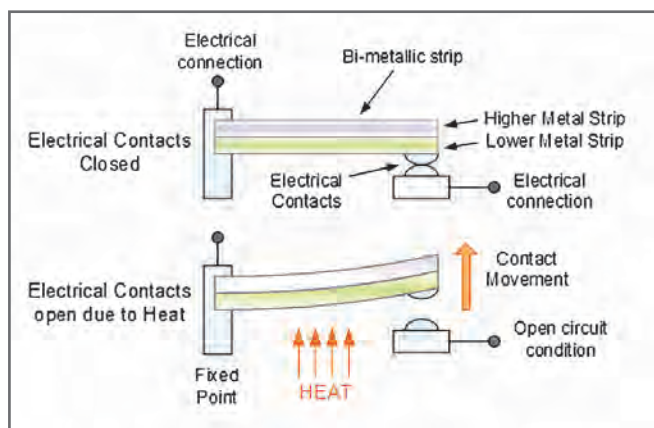
شکل ۶۶

برای تبدیل تغییرات مقاومت آشکارساز دمای مقاومتی (RTD) به یک سیگنال ولتاژ، می‌توان از یک مدار تقسیم‌کننده ولتاژ مقاومتی ساده که در دو بازوی یک پل وتستون قرار می‌گیرد استفاده کرد. همان‌گونه که در شکل الف - ۶۶ نشان داده شده است، یک مدار متداول برای اتصال RTD پلاتینی در مدار با یک مقاومت $1K\Omega$ سری شده است. با تغییر دما، مقدار مقاومت این حسگر تغییر می‌کند و در نتیجه، ولتاژ خروجی مدار تقسیم‌کننده نیز تغییر می‌یابد. این تغییر ولتاژ می‌تواند توسط پل وتستون و سایر مدارهای الکترونیکی برای اندازه‌گیری یا کنترل دما در مخازن مورد استفاده قرار گیرد (شکل ب - ۶۶).

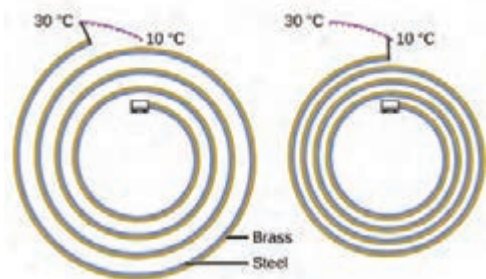
اختلاف ولتاژ دو نقطه AB در مدار پل وتستون را در دمای 50°C محاسبه کنید.

ترموستات: این قطعه یک کلید حرارتی است که از دو فلز با انبساط متفاوت ساخته شده و در دمای تنظیم شده، مدار را قطع یا وصل می‌کند (شکل ۶۷).

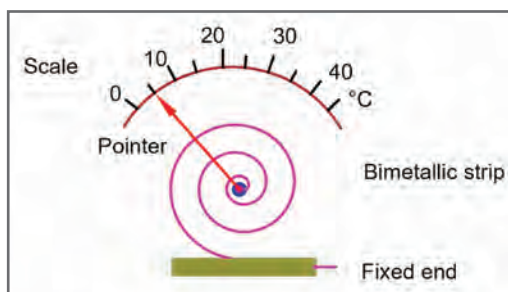
ترموستات‌ها در وسایل خانگی مانند آب‌گرم‌کن و اتو کاربرد دارند و دارای یک محدوده نوسان دما بین قطع و وصل هستند که از کلیدزنی مداوم جلوگیری می‌کنند.



شکل ۶۷



شکل ۶۸



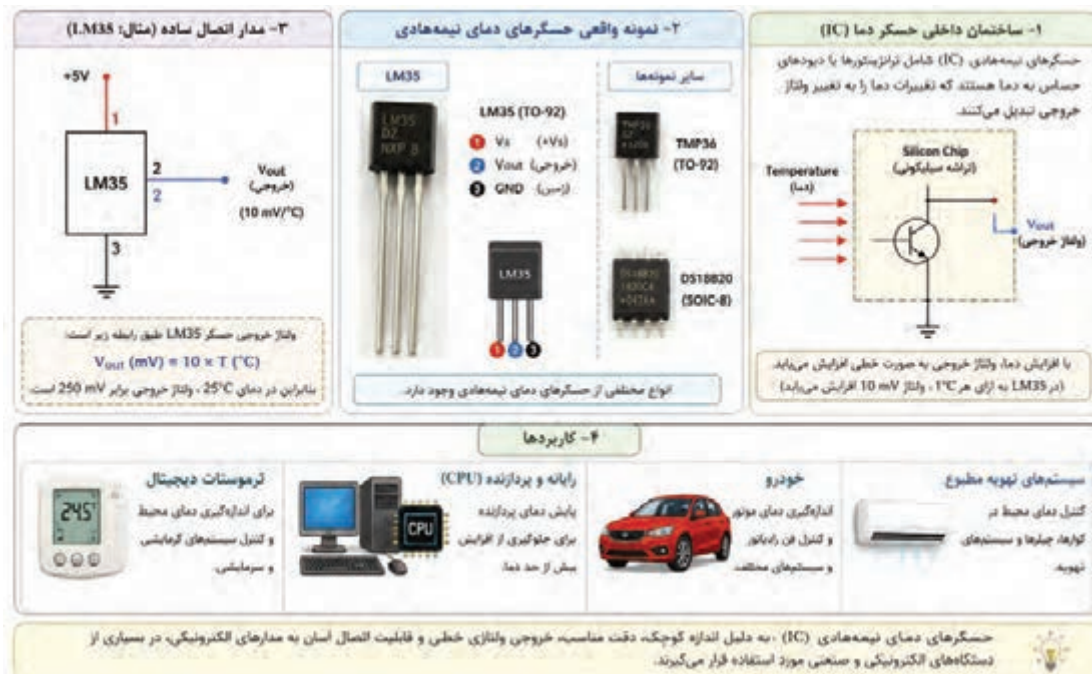
شکل ۶۹

همان‌گونه که در شکل ۶۸ مشاهده می‌شود، دماسنج بی‌متالی مارپیچی از یک نوار فلزی دولایه به شکل مارپیچ برای اندازه‌گیری دما استفاده می‌کند. این نوار از دو فلز با ضرایب انبساط حرارتی متفاوت ساخته شده است. با افزایش دما، هر یک از فلزها به میزان متفاوتی منبسط می‌شوند و در نتیجه، نوار مارپیچی تغییر شکل داده و خم می‌شود. در این حالت، فلزی که ضریب انبساط حرارتی بیشتری دارد، در قسمت بیرونی مارپیچ قرار می‌گیرد.

با کاهش دما، فلزی که ضریب انبساط حرارتی کمتری دارد، در قسمت داخلی مارپیچ قرار می‌گیرد و مارپیچ در جهت مخالف تغییر شکل می‌دهد. این حرکت از طریق یک محور به عقربه منتقل می‌شود و عقربه با حرکت روی صفحه مدرج، مقدار دمای محیط را نشان می‌دهد (شکل ۶۹).

دماسنج‌های بی‌متالی مارپیچی به دلیل حساسیت مناسب نسبت به تغییرات کوچک دما، برای کنترل و تنظیم دمای اتاق و همچنین اندازه‌گیری دمای محیط به کار می‌روند.

همان‌گونه که در شکل ۷۰ نشان داده شده است، با اتصال یک عقربه به مجموعه بی‌متال، می‌توان از آن برای اندازه‌گیری دما استفاده کرد. با تغییر دما، نوار بی‌متالی تغییر شکل می‌دهد و این تغییر شکل به عقربه منتقل می‌شود؛ در نتیجه، عقربه روی صفحه مدرج حرکت کرده و مقدار دما را نمایش می‌دهد.



شکل ۷۰ - ساختمان، نمونه واقعی و کاربرد حسگر دمای نیمه‌هادی (LM۳۵)



حسگرهای نیمه‌هادی (IC): این سنسورها که در درون تراشه‌های الکترونیکی قرار دارند، دمای محیط را با دقت نسبتاً کم اما به صورت خطی اندازه‌گیری می‌کنند. آنها در محدوده دمایی محدودی کار می‌کنند و معمولاً در دستگاه‌های الکترونیکی کوچک و ارزان قیمت به کار گرفته می‌شوند، در شکل ۷۰ نمونه‌هایی از این حسگرها نشان داده شده است.



شکل ۷۱

هدف: کنترل دما با حسگرهای NTC و بی متال ترموستاتی

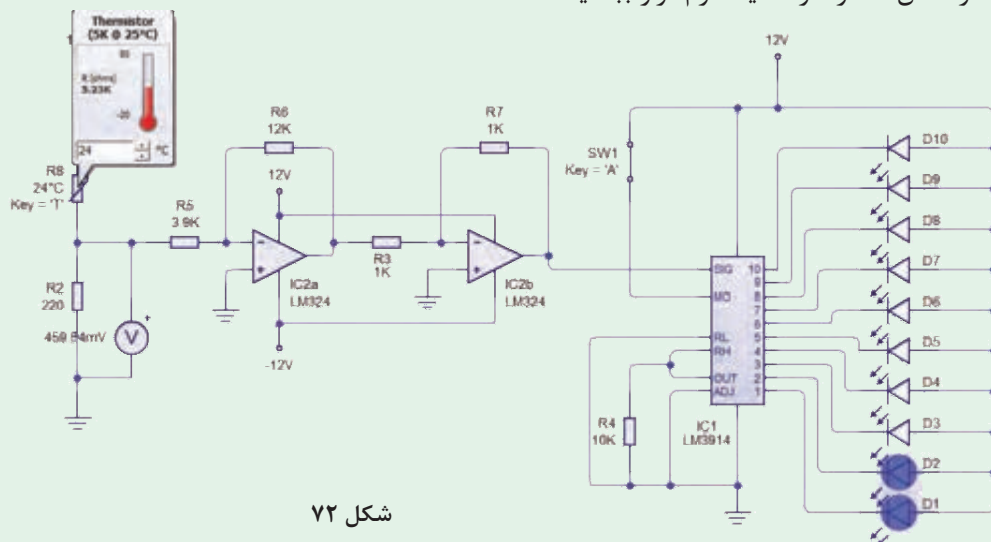
- ۱ بستن مدار الکترونیکی ترمومتر با NTC (شکل ۸۹).
- ۲ کنترل دور فن DC بر اساس دما با استفاده از یک ترمیستور با ضریب دمایی منفی (NTC)
- ۳ کنترل روشن و خاموش شدن متناوب لامپ با یک مدار ساده با استفاده از ترموستات حرارتی (بی‌متال) و لامپ

مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه نرم‌افزار نوشت افزار

منبع تغذیه ۱۲ ولت، IC تقویت‌کننده عملیاتی LM۳۲۴، IC مقایسه‌گر LM۳۲۴، دیود نورانی LED ده عدد، دیود ۱N۴۰۰۷ یک عدد مقاومت‌های NTC، ۲۲۰Ω، ۱۲KΩ، ۳/۹ KΩ، ۱۰ KΩ، ۴/۷ KΩ، ۳۹Ω هر کدام یک عدد و مقاومت ۱KΩ دو عدد، پتانسیومتر ۱۰ KΩ یک عدد، ترانزیستور BC۵۴۷ یک عدد، بُرد، سیم‌های رابط، رله ۱۲ ولت (SPDT) یک عدد، فن ۹ ولتی یک عدد

ترموستات مداری است که با مدیریت هوشمند دما در سیستم‌های سرمایشی/گرمایشی و صنایع غذایی و دارویی، و همچنین با نظارت بر ایمنی موتورهای و باتری‌ها، دقت لازم برای تنظیم دما در لوازم خانگی و تجهیزات پزشکی را فراهم می‌کند.

۱ مدار شکل ۷۲ را در محیط نرم‌افزار ببندید.



شکل ۷۲

- ۲ دمای مقاومت (NTC) را تغییر دهید. با تغییر شدت دما، تعداد LEDهای روشن شده تغییر می‌یابد که در واقع سطح دمای محیط را به صورت بصری نشان می‌دهد.
- ۳ با فعال کردن کلید S1، حالت نمایش از نقطه‌ای (Dot Mode) به نواری (Bar Mode) تغییر می‌کند، کلید را تغییر دهید، و روشن شدن LEDها را مشاهده کنید.
- ۴ مدار را مطابق با نقشه شماتیک شکل (۷۲) بر روی بردبرد با قطعات واقعی ببندید، و اتصالات را برقرار کنید.
- ۵ با نزدیک کردن نوک یک هویه روشن به پایه NTC، شدت حرارت مقاومت NTC را تغییر دهید و تعداد LEDهای روشن شده را مشاهده کنید.

سؤال:

- ۱ با تغییر افزایش حرارت، چه تغییری در تعداد LEDها مشاهده می‌کنید؟

.....

.....

- ۲ تفاوت عملکرد نمایشگر در دو حالت Dot و Bar را توضیح دهید.

.....

.....

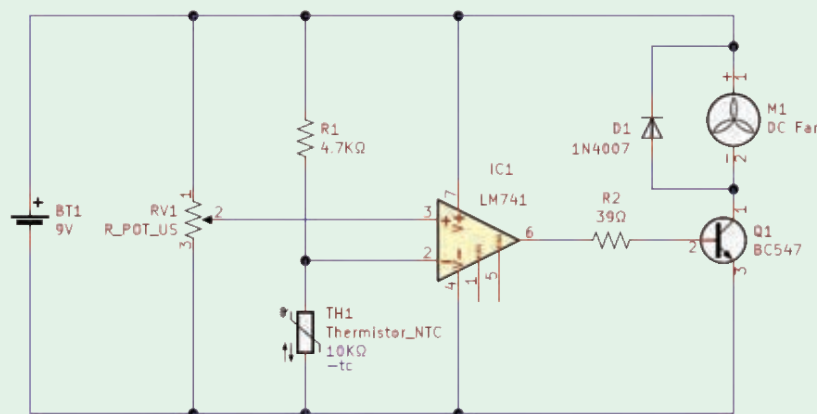
- ۳ آیا مدار طراحی شده توانایی نمایش دقیق حرارت محیط واقعی را دارد؟ چرا؟

.....

.....

نکته مهم: از مدار شکل ۷۲ می‌توان برای فعال‌سازی یک رله در دمای مورد نظر تعیین شده استفاده کرد و آن را به هر یک از پایه‌های آی‌سی که به LED متصل هستند، وصل کرد، تا مصرف‌کننده حرارتی را قطع و وصل کند.

مدار ساده کنترل دور فن DC براساس دما، که با استفاده از یک ترمیستور با ضریب دمایی منفی (NTC) و یک تقویت‌کننده عملیاتی آپ‌امپ طراحی شده است را در شکل ۷۳ مشاهده می‌کنید. مقاومت ترمیستور با تغییر دمای محیط تغییر می‌کند؛ به طوری که با افزایش دما، مقدار مقاومت ترمیستور کاهش می‌یابد و با کاهش دما، مقدار مقاومت آن افزایش پیدا می‌کند. همچنین، با استفاده از مقاومت متغیر (پتانسیومتر) می‌توان آستانه دمای عملکرد مدار را تنظیم کرد.



شکل ۷۳

۶ مدار را مطابق با نقشه شماتیک شکل ۷۳ بر روی بردبرد ببندید و اتصالات را برقرار کنید.

۷ با توجه به تشریح نحوه عملکرد مدار، آن راه اندازی کنید.

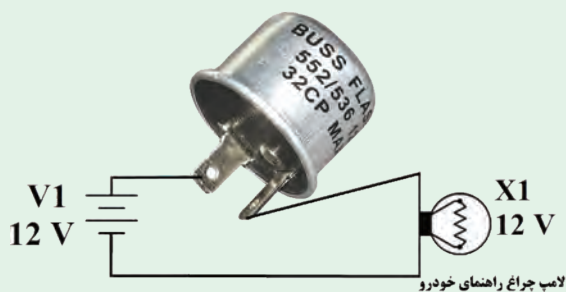
در مدار شکل ۷۳، از یک تقویت کننده عملیاتی (op amp) برای مقایسه کردن ولتاژهای ورودی ($V+$ و $V-$) و از یک ترانزیستور BC547 به عنوان کلید الکترونیکی استفاده شده است. آپ آمپ با مقایسه ولتاژهای ورودی، روشن یا خاموش شدن ترانزیستور را کنترل می کند و در نتیجه، فن DC را به منبع تغذیه متصل یا از آن جدا می سازد. مقاومت متغیر VR1 به منبع تغذیه متصل است و ولتاژ مرجع را برای ورودی غیر معکوس کننده ($V+$) آی سی ۷۴۱ فراهم می کند. از طرف دیگر، ترمیستور NTC به همراه مقاومت R1 یک تقسیم کننده ولتاژ تشکیل می دهند و ولتاژ حاصل به ورودی معکوس کننده ($V-$) آی سی اعمال می شود. خروجی آپ آمپ نیز از طریق مقاومت R2 به پایه بیس ترانزیستور Q1 متصل است.

با افزایش دمای محیط، مقاومت ترمیستور NTC کاهش می یابد و ولتاژ ورودی آپ آمپ تغییر می کند. هنگامی که دما به مقدار آستانه تنظیم شده توسط VR1 برسد، خروجی تقویت کننده عملیاتی (op amp) تغییر کرده و ترانزیستور Q1 روشن می شود. در این حالت، مسیر عبور جریان فن کامل شده و فن شروع به کار می کند.

با کاهش دما و کمتر شدن آن از مقدار آستانه، خروجی آپ آمپ ترانزیستور را خاموش می کند. در نتیجه، جریان فن قطع شده و فن نیز از کار می ایستد.

بنابراین، این مدار می تواند بدون نیاز به دخالت کاربر، فن را متناسب با دمای محیط به طور خودکار روشن و خاموش کند.

فعالیت : در صورت در اختیار داشتن فلاشر ترموستاتی چراغ های راهنمای خودرو و لامپ چراغ راهنما در کارگاه، مدار کنترل دما در شکل ۷۴ را ببندید.



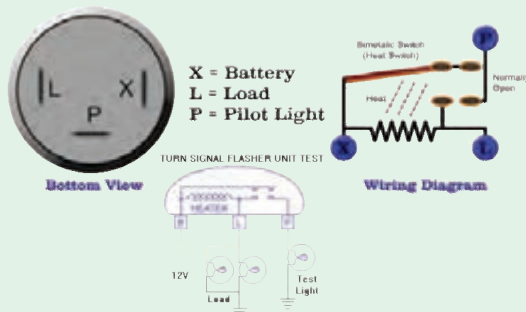
شکل ۷۴

نحوه عملکرد یک نمونه مدار چراغ های راهنمای خودرو با فلاشر سه پایه در شکل ۷۵ نشان داده شده است با وصل شدن تغذیه مدار فلاشر، جریان از باتری به مقاومت گرم کن و سپس از بی متال ترموستات عبور می کند.

عبور جریان باعث افزایش دمای بی متال می شود.

پس از رسیدن به دمای مشخص، تیغه بی متال تغییر شکل داده و مدار را قطع می کند؛ در نتیجه لامپ خاموش می شود. پس از قطع جریان، بی متال سرد شده و دوباره به حالت اولیه بازمی گردد و مدار را وصل می کند.

این عمل به صورت تکراری انجام شده و باعث چشمک زدن لامپ راهنما (فلاشر) می شود.



شکل ۷۵

خودارزیابی

- ۱ وظیفه اصلی سنسور دما چیست؟
 - الف) اندازه گیری فشار
 - ب) اندازه گیری رطوبت
 - ج) اندازه گیری دما
 - د) اندازه گیری نور
- ۲ با افزایش دما، مقاومت ترمیستور NTC چگونه تغییر می کند؟
 - الف) افزایش می یابد
 - ب) ثابت می ماند
 - ج) کاهش می یابد
 - د) ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد
- ۳ کدام حسگر بیشترین دقت و پایداری را دارد؟
 - الف) ترموکوپل
 - ب) سنسور نیمه هادی
 - ج) RTD
 - د) ترموستات
- ۴ رایج ترین نوع RTD کدام است؟
 - الف) Pt50
 - ب) Pt100
 - ج) NTC
 - د) K-Type
- ۵ ترموکوپل از چه چیزی تشکیل شده است؟
 - الف) دو مقاومت
 - ب) دو نیمه هادی
 - ج) دو فلز متفاوت
 - د) یک سیم مسی
- ۶ ترموستات در وسایل خانگی چه کاری انجام می دهد؟
 - الف) برقراری ولتاژ دستگاه
 - ب) قطع و وصل مدار در دمای تنظیم شده
 - ج) اندازه گیری ولتاژ
 - د) ذخیره انرژی
- ۷ با افزایش دما، مقاومت ترمیستور NTC افزایش می یابد.
 - ☐ صحیح
 - ☐ غلط
- ۸ RTD معمولاً از فلزاتی مانند پلاتین، نیکل یا مس ساخته می شود.
 - ☐ صحیح
 - ☐ غلط
- ۹ ترموکوپل نسبت به RTD دقت بیشتری دارد.
 - ☐ صحیح
 - ☐ غلط
- ۱۰ ترموستات دارای هیستریزیس است تا از قطع و وصل مداوم جلوگیری کند.
 - ☐ صحیح
 - ☐ غلط
- ۱۱ حسگرهای نیمه هادی معمولاً در دستگاه های الکترونیکی کوچک و ارزان قیمت استفاده می شوند.
 - ☐ صحیح
 - ☐ غلط
- ۱۲ دو کاربرد مهم سنسورهای دما را نام ببرید.
 - ۱۱ منظور از RTD چیست؟
 - ۱۲ یک مزیت و یک عیب RTD را بنویسید.
 - ۱۳ حسگر RTD برای اندازه گیری دما در صنعت به کار می رود.

■ تشخیص ارتفاع مایعات

اندازه‌گیری دقیق سطح مایعات در صنایع مختلف، از تولید مواد غذایی و دارویی گرفته تا پالایشگاه‌ها و نیروگاه‌ها، اهمیت حیاتی دارد. این کار به کنترل فرایندها، جلوگیری از سرریز شدن یا خالی شدن مخازن، مدیریت منابع و ایمنی کمک شایانی می‌کند. حسگرهای متعددی برای این منظور طراحی شده‌اند که هر کدام مزایا و معایب خود را دارند. انتخاب بهترین حسگر به عواملی مانند نوع مایع (خورنده، چسبناک، شفاف، رسانا)، دما و فشار مخزن، اندازه و شکل مخزن، دقت مورد نیاز و هزینه بستگی دارد.

مثال

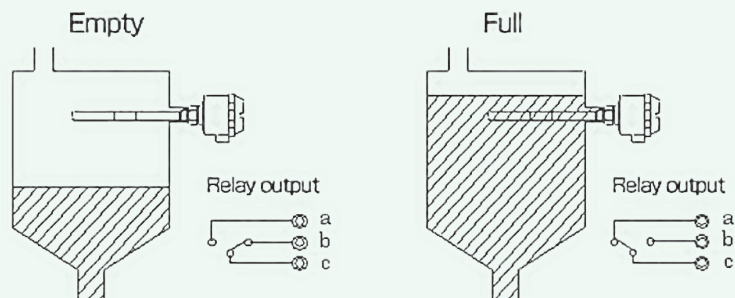


کنترل پمپ در چاه یا مخزن ذخیره آب

در سیستم‌های تامین آب خانگی که از مخزن ذخیره یا چاه استفاده می‌کنند، برای جلوگیری از خشک کار کردن پمپ یا سرریز شدن مخزن، از این حسگرها استفاده می‌شود. یک شناور در داخل مخزن یا کنار چاه نصب می‌شود (شکل ۷۶)

برای جلوگیری از خشک کار کردن پمپ (سطح پایین): وقتی سطح آب مخزن یا چاه به حد پایین می‌رسد، شناور پایین آمده و سوئیچ را قطع می‌کند. این قطع شدن، پمپ را خاموش می‌کند تا از آسیب دیدن آن جلوگیری شود.

برای جلوگیری از سرریز شدن مخزن (سطح بالا): وقتی آب وارد مخزن شده و سطح آن به حد بالا می‌رسد، شناور بالا رفته و سوئیچ را وصل می‌کند. این وصل شدن سوئیچ به سیستم کنترل فرمان می‌دهد که پمپ ورودی آب را خاموش کند.



شکل ۷۶

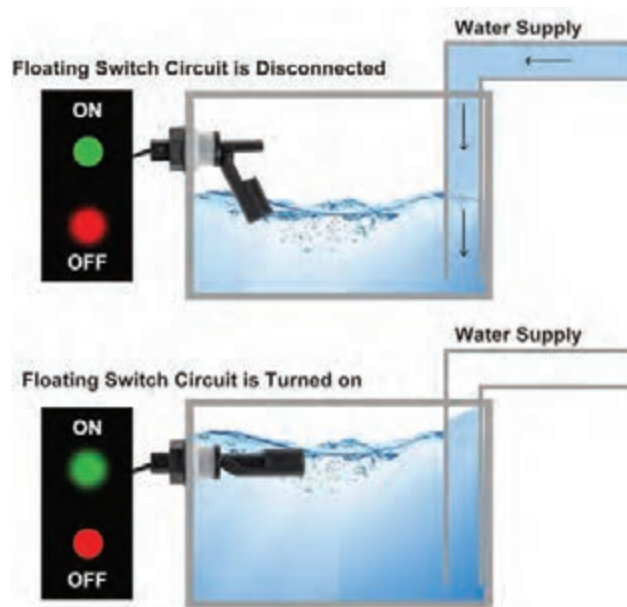
■ حسگرهای سطح مایع و کاربردها

۱ حسگرهای شناوری (Float Switches)

این حسگر دارای یک شناور است که به یک اهرم یا سوئیچ متصل است. وقتی سطح مایع بالا می‌آید، شناور بالا رفته و باعث فعال شدن سوئیچ می‌شود (برای اعلام سطح بالا یا قطع پمپ). اگر سطح مایع پایین برود، شناور پایین آمده و سوئیچ را غیرفعال می‌کند (برای اعلام سطح پایین یا روشن کردن پمپ) (شکل ۷۷).

■ کاربرد حسگرهای شناوری

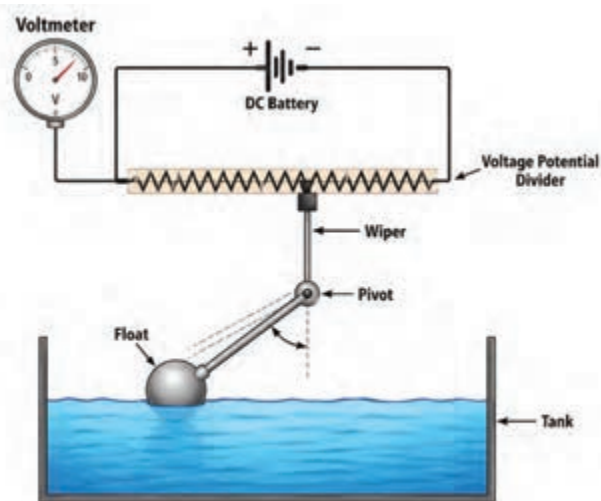
- کنترل سطح آب در مخازن: روشن یا خاموش کردن خودکار پمپ آب.
- لوازم خانگی: مانند ماشین لباسشویی برای کنترل ورود آب.



شکل ۷۷

۲ حسگر پتانسیومتری (Potentiometric Sensor)

به این حسگر شناور مقاومتی (Resistive Float Level Sensor) نیز می‌گویند. در این روش، با بالا و پایین رفتن سطح مایع، شناور نیز حرکت می‌کند و این حرکت از طریق یک اهرم به لغزنده پتانسیومتر منتقل می‌شود (شکل ۷۸).



شکل ۷۸

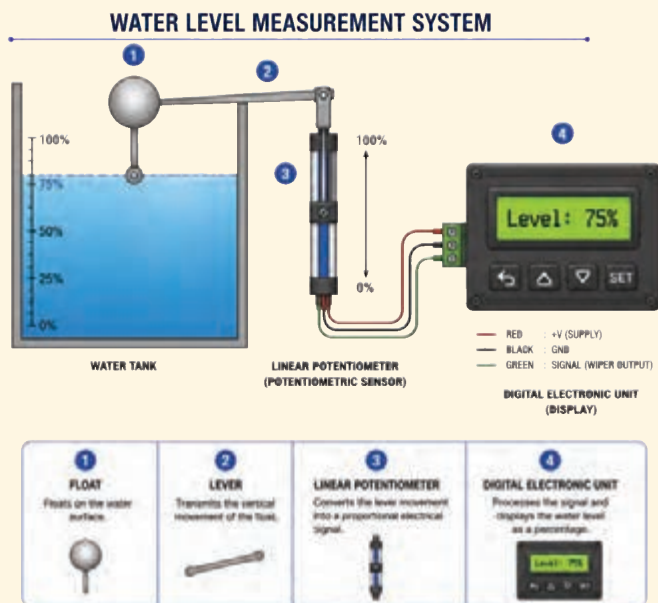
با جابه‌جایی لغزنده، مقدار مقاومت و در نتیجه ولتاژ خروجی مدار تقسیم ولتاژ تغییر می‌کند و این تغییرات می‌تواند مقدار سطح مایع را نشان دهد.

برای مثال، در مخزن سوخت خودروها اغلب از همین روش استفاده می‌شود؛ با کم و زیاد شدن سوخت، شناور حرکت کرده و عقربه یا نمایشگر میزان سوخت را تغییر می‌دهد.

برای مشاهده محتوای تکمیلی و انجام تمرین‌های بیشتر، رمزینه سریع پاسخ ابتدای پودمان را پویش کنید.



در شکل ۷۹ سامانه اندازه‌گیری سطح مایع در مخزن با روش پتانسیومتری نشان داده شده است، هریک از بخش‌های شماره‌گذاری شده ۱ الی ۴ را ترجمه کنید و در جدول شماره ۸ ثبت نمایید.



جدول ۸

ترجمه	
۱	
۲	
۳	
۴	

شکل ۷۹

هدف

کار عملی ۳

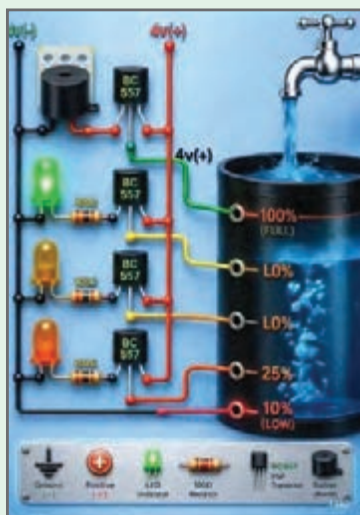


۱] اجرای سخت افزاری ارتفاع سنج مایع (Tank Water Level Indicator)

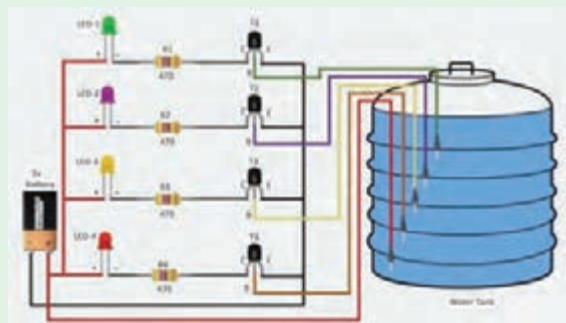
۲] بستن مدار الکترونیکی تشخیص ارتفاع سطح مایع مخزن به صورت نوری

مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم‌افزار مناسب، نوشت افزار

منبع تغذیه ۶ ولت، دیود معمولی ۱N4001 یک عدد، دیود نورانی LED دو عدد، ترانزیستور BC548B یک عدد، مقاومت‌های 560Ω ، $10K\Omega$ هر کدام یک عدد و مقاومت 220Ω دو عدد، برد بُرد، سیم‌های رابط چون آب ذخیره شده در یک مخزن پس از پُر شدن سر ریز نموده و آب به هدر می‌رود لازم است توسط نشانگرهایی سطح آب مخزن تعیین شده و هنگام سر ریز شدن هشدار لازم داده شود و به‌طور خودکار پمپ یا شیر برقی قطع شود. در شکل ۸۰ الف و ب مدار ساده‌ای از نشانگر ارتفاع سطح مایع را مشاهده می‌کنید. مدار ساده‌ای از ارتفاع سنج مایع را در شکل ۸۱ مشاهده می‌کنید. منبع تغذیه مدار ۶ ولت در نظر گرفته شده است. دیود D1 جهت حفاظت مدار در مقابل پلاریته معکوس منبع تغذیه در مدار قرار داده شد. جهت حفاظت در تمام پروژه‌ها می‌توانید از دیود در مسیر تغذیه استفاده کنید. LED1 برقرار بودن تغذیه را نشان می‌دهد. هرگاه ارتفاع مایع به دو نقطه A و B برسد، بیس ترانزیستور بایاس شده و ترانزیستور فعال می‌شود و مانند شکل ۸۲ LED2 روشن می‌شود. می‌توان برای نشان دادن ارتفاع بیش تر، مدار را توسعه داد. مدار شکل ۸۳ شش ارتفاع را مشخص می‌کند. می‌توان مطابق مدار شکل ۸۴ در بالاترین ارتفاع یک بازو در مدار قرار داد تا پُر شدن مخزن اطلاع رسانی شود. در شکل ۸۵ طرح مدار چاپی برای یک ارتفاع و چیدمان قطعات آن نشان داده شده است. در شکل ۸۶ لایه زیرین بُرد را مشاهده می‌کنید.



ب

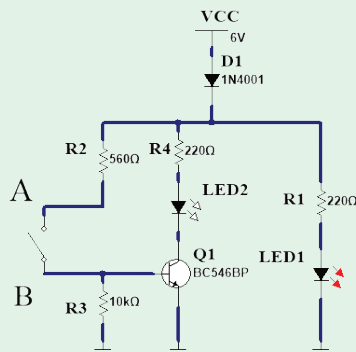


الف

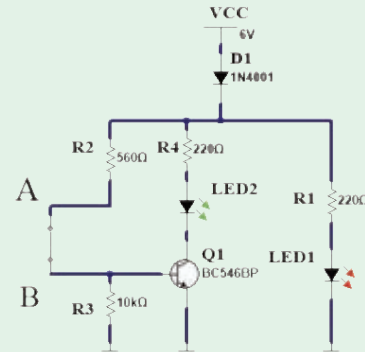
شکل ۸۰- یک نمونه مدار نشانگر ارتفاع مایع در مخزن



شکل ۸۳- مدار برای سنجش ۶ ارتفاع



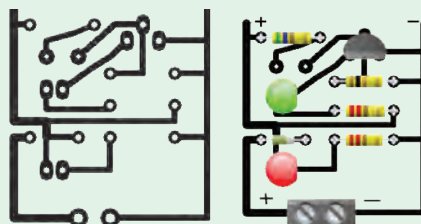
شکل ۸۲- مدار تعیین ارتفاع سنج مایع



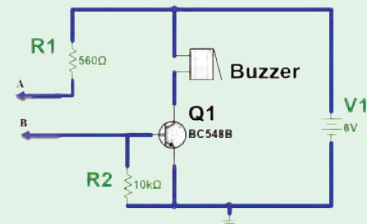
شکل ۸۱- فعال شدن ترانزیستور



شکل ۸۶- لایه زیرین

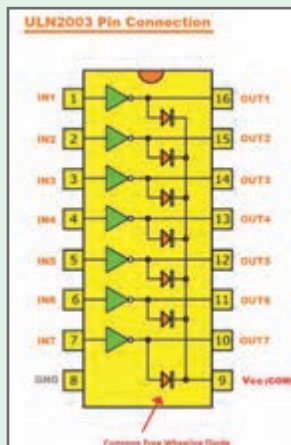


شکل ۸۵- طرح مدار چاپی و چیدمان قطعات یک ارتفاع

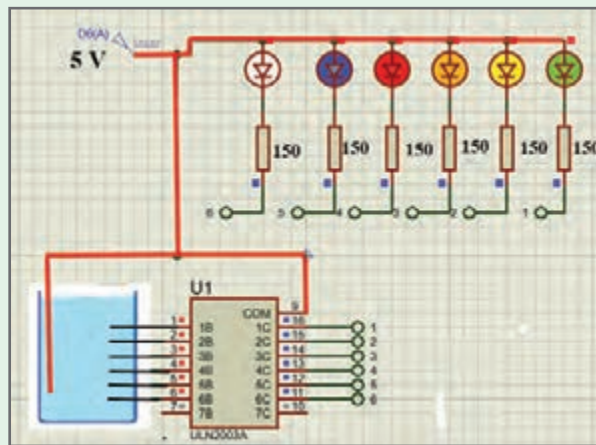


شکل ۸۴- مدار با بازر

می‌توان از آی‌سی ULN۲۰۰۳ که یک آی‌سی درایور است جهت تعیین ارتفاع مایع استفاده نمود. در شکل ۸۷ مدار نشانگر رسم شده است (شکل ۸۸). پایه‌ها و مدار داخلی آی‌سی را نشان می‌دهد. پایه شماره ۸ باید به زمین وصل شود. ورودی آی‌سی می‌تواند در دو تراز مثبت V_{CC} (۵ ولت) یا زمین (۰ ولت) قرار گیرد. اگر هر پایه ورودی آی‌سی در ولتاژ بالا قرار گیرد خروجی متناظر پایه ورودی زمین می‌شود.



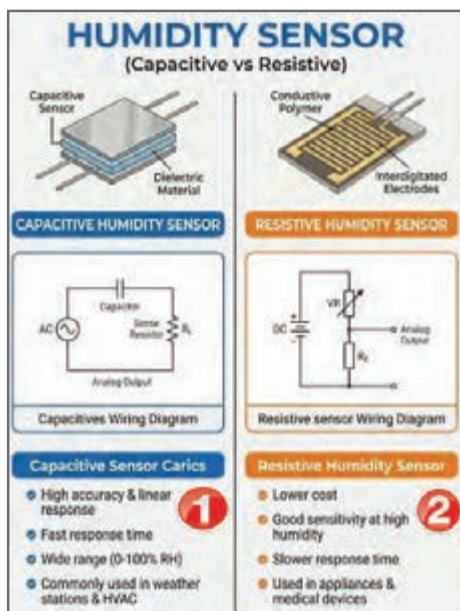
شکل ۸۸- پایه‌های آی‌سی



شکل ۸۷- مدار نشانگر

فعالیت: در مورد مشخصات آی‌سی‌های درایور با شماره فنی ULN XXXX جست‌وجو کنید و نتایج را در قالب یک گزارش ارائه دهید.

رطوبت



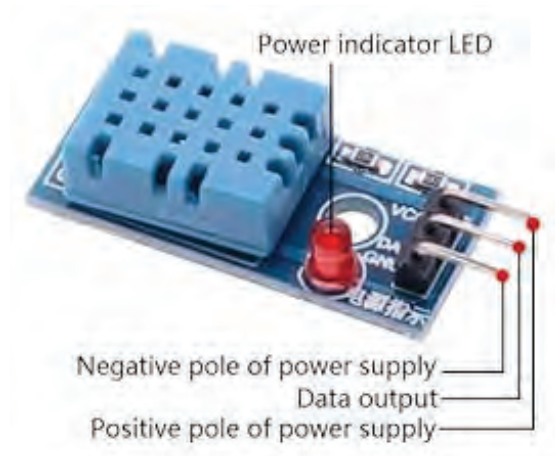
شکل ۸۹

حسگر رطوبت، قطعه‌ای است که میزان بخار آب موجود در هوا را اندازه‌گیری کرده و سطح رطوبت را تعیین می‌کند. این قطعات در حوزه‌هایی مانند ایستگاه‌های هواشناسی، سامانه‌های تهویه مطبوع، خانه‌های هوشمند و فرایندهای صنعتی برای حفظ رطوبت بهینه، کاربرد گسترده‌ای دارند. کنترل دقیق رطوبت در صنایع داروسازی برای جلوگیری از فساد مواد شیمیایی و حفظ کیفیت داروها حیاتی است. در صنایع نساجی نیز، حفظ رطوبت بهینه مانع از تغییر خواص الیاف، شکستگی آنها و بروز الکتریسیته ساکن در فرایند تولید می‌شود. بنابراین، به‌کارگیری حسگرهای رطوبت برای پایش مستمر محیط در این صنایع، تضمین‌کننده کیفیت نهایی محصول و جلوگیری از خسارات تولید است.

عملکرد این حسگرها مبتنی بر تغییر خواص فیزیکی مواد در مواجهه با بخار آب است که معمولاً از طریق تغییر در ظرفیت خازنی، مقاومت الکتریکی یا رسانایی حرارتی سنجیده می‌شود. برای نمونه، در حسگرهای خازنی، رطوبت از طریق تغییر در ظرفیت خازنی سنسور شناسایی می‌شود؛ در حالی که حسگرهای رسانایی حرارتی، تغییرات هدایت گرمایی هوا را برای اندازه‌گیری رطوبت به کار می‌گیرند.

قسمت ۲۱ و شکل ۸۹ را ترجمه کنید، سپس ویژگی‌های حسگرهای رطوبت را باهم مقایسه کنید.

ترجمه کنید



شکل ۹۰

در شکل ۹۰ یک برد الکترونیکی (ماژول) حسگر DHT11، که یک حسگر دیجیتال دما و رطوبت است نشان داده شده است.

این حسگر دارای مشخصات فنی به شرح زیر است. این حسگر یک ماژول ارزان قیمت با پروتکل ارتباطی One-Wire است که از طریق یک پایه داده (Data Pin) با میکروکنترلر ارتباط برقرار می‌کند.

■ پارامترهای عملکردی

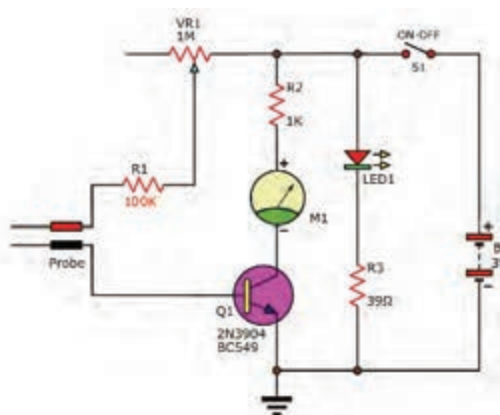
محدوده رطوبت: ۲۰ تا ۹۰٪ (با دقت $\pm 5\%$ RH)
محدوده دما: ۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد (با دقت $\pm 2^\circ\text{C}$)

ولتاژ کاری: ۳/۳ تا ۵/۵ ولت (پیشنهادی: ۵ ولت؛ حداکثر ۵/۵ ولت)

جریان مصرفی: حداکثر ۲/۵ میلی‌آمپر

نکته فنی: جهت برقراری ارتباط پایدار، پایه داده باید با یک مقاومت ۱۰ کیلو اهمی به سطح ولتاژ Pull-up متصل شود.

شکل ۹۱ یک نمونه مدار ساده رطوبت سنج است هدف از این مدار، سنجش میزان رطوبت خاک است. مقدار مقاومت R_p برای تنظیم جریان مرجع (۱ میلی‌آمپر) در نمایشگر انتخاب می‌شود. عملکرد این مدار بر پایه رابطه مستقیم رطوبت و جریان است؛ به طوری که با افزایش میزان رطوبت خاک، مقدار جریان عبوری و در نتیجه عدد نمایش داده شده در آمپر متر افزایش می‌یابد. برای الکتروادهای (Probe) حسگر از سیم مسی یا میخ‌های بلند تمیز می‌توان استفاده کرد.



شکل ۹۱

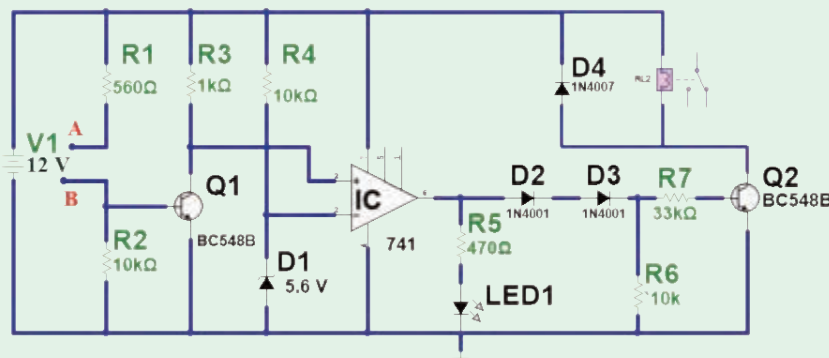


هدف: رطوبت سنج خاک (Moisture Sensor Soil) بستن یک مدار الکترونیکی تشخیص رطوبت

مواد، ابزار و تجهیزات: رایانه، نرم افزار مناسب، نوشت افزار

منبع تغذیه ۱۲ ولت، IC تقویت کننده عملیاتی LM۷۴۱ یک عدد، دیود معمولی ۱N۴۰۰۱ ۴ عدد - دیود ۱N۴۰۰۷ یک عدد، دیود نورانی LED یک عدد، دیود زبر ۵/۶ ولت یک عدد، ترانزیستور BC۵۴۸B دو عدد، مقاومت های 560Ω ، $1K\Omega$ ، 470Ω ، 560Ω ، $33K\Omega$ هر کدام یک عدد و مقاومت $10K\Omega$ دو عدد برد بُرد، سیم های رابط رله ۱۲ ولت (SPDT) یک عدد

با توجه به اهمیت مدیریت صحیح آبیاری، استفاده از سنسور رطوبت خاک، یکی از روش های کنترل مصرف آب در کشاورزی و نگهداری گیاهان است. استفاده از رطوبت سنج یک روش آبیاری هوشمند است و سیستم زمانی فعال می شود که خاک به آب نیاز دارد به این ترتیب از هدر رفت منابع جلوگیری می کند و زمان و مقدار آبیاری بهینه می شود. با توجه به آموخته ها در این مقطع تحصیلی یک نمونه مدار جهت اجرای یک پروژه ساده معرفی می شود. شکل ۹۲ مدار رطوبت سنج را نشان می دهد.



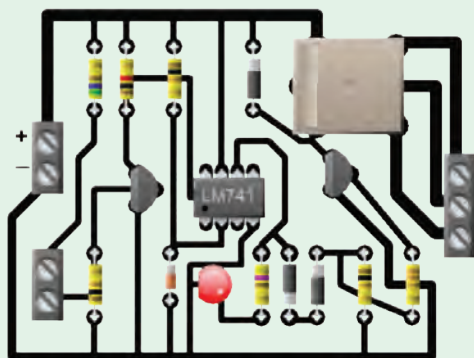
شکل ۹۲- مدار رطوبت سنج

در مدار از مقایسه گر ۷۴۱ استفاده شده است. به دو نقطه A و B پروب (میله حسگر) اتصال داده می شود. شکل ۹۳ میله حسگر را نشان می دهد.

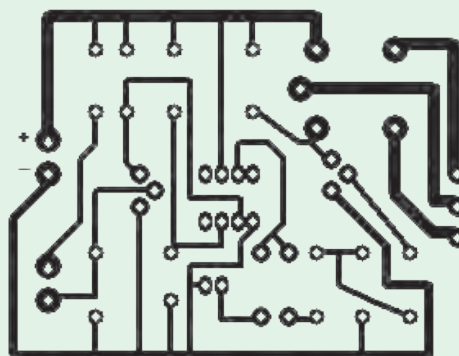


شکل ۹۳- میله حسگر

زمانی که خاک رطوبت ندارد ترانزیستور Q۱ قطع و خروجی مقایسه گر در تراز ولتاژ بالا قرار دارد و ترانزیستور Q۲ وصل و رله عمل می کند و پمپ یا شیر برقی عمل آبیاری را انجام می دهند. با مرطوب شدن خاک ترانزیستور Q۱ فعال شده و خروجی مقایسه گر در تراز ولتاژ کم قرار گرفته و ترانزیستور Q۲ قطع شده و رله غیر فعال می گردد. در شکل ۹۴ یک نمونه طرح مدار چاپی و در شکل ۹۵ چیدمان قطعات را مشاهده می کنید. در شکل ۹۶ یک نمونه مدار ساخته شده نشان داده شده است



شکل ۹۵- چیدمان قطعات



شکل ۹۴- طرح مدار چاپی



شکل ۹۶- مدار ساخته شده

مراحل اجرای کار:

- ۱ بررسی تئوری مدار
 - مفهوم کنترل رطوبت سطح را مرور کنید.
 - مدار پروژه، با یک خروجی فعال تحلیل کنید.
- ۲ بستن مدار رطوبت‌سنج
 - نقشه مدار الکترونیکی شکل در نرم‌افزار مناسب ببینید و با شبیه‌سازی آن از صحت عملکرد مدار اطمینان حاصل کنید.
- ۳ فهرست قطعات موردنیاز را تهیه کنید.
- ۴ مدار الکترونیکی پروژه شکل ۹۲ را بر روی برد بُرد ببندید و آن را آزمایش کنید.
- ۵ نقشه الکترونیکی مدار را به محیط نرم‌افزار آلیتوم دیزاینر انتقال دهید سپس با رعایت استانداردها و نکات طراحی، نقشه PCB آن را رسم کنید.
- ۶ فیبر مدار چاپی (اندازه فیبر مدار چاپی با پیشنهاد هنرآموز کارگاه تعیین شود) تهیه شود.
- ۷ تمامی قطعات بر روی برد نصب و لحیم‌کاری پایه‌های آنها صورت گیرد.
- ۸ با تنظیم مقدار ولتاژ تغذیه مدار، آن را به ورودی مدار اتصال دهید و خروجی مدار را با آزمایش یک سطح مرطوب مشاهده کنید.
- ۹ نتایج مورد انتظار از اجرای پروژه را بررسی کنید و در گزارش کار خود بیاورید.
- ۱۰ گزارش کار انجام پروژه را به صورت فایل رایانه‌ای مستندسازی کنید و آن را برای ارزشیابی به هنرآموز خود ارائه دهید.

- ۱ کاربرد اندازه‌گیری سطح مایعات چیست؟
 الف) تغییر رنگ مایع ب) کنترل فرایندها و جلوگیری از سرریز
 ج) افزایش دمای مایع د) کاهش وزن مخزن
- ۲ انتخاب حسگر مناسب به کدام عامل بستگی دارد؟
 الف) رنگ مخزن ب) نوع مایع
 ج) نام کارخانه د) ساعت کارکرد حسگر
- ۳ در سیستم آب‌رسانی، برای جلوگیری از خشک کار کردن پمپ از چه چیزی استفاده می‌شود؟
 الف) شیر برقی ب) شناور
 ج) فن د) ترموستات
- ۴ وقتی سطح آب به حد پایین برسد، چه اتفاقی می‌افتد؟
 الف) پمپ روشن می‌شود ب) پمپ خاموش می‌شود
 ج) شیر باز می‌شود د) چراغ روشن می‌شود.
- ۵ حسگر شناوری با بالا آمدن سطح مایع چه کاری انجام می‌دهد؟
 الف) سوئیچ را فعال می‌کند ب) مقاومت را کم می‌کند
 ج) دما را افزایش می‌دهد د) فشار را کاهش می‌دهد.
- ۶ حسگر پتانسیومتری بیشتر در کجا استفاده می‌شود؟
 الف) مخازن ذخیره نفت خام ب) مخزن سوخت خودرو
 ج) کولر د) مخازن آزمایشگاهی یا دارویی
- ۷ حسگر فشار معمولاً در کدام قسمت مخزن نصب می‌شود؟
 الف) بالای مخزن ب) وسط مخزن
 ج) کف مخزن د) کنار مخزن

۸ حسگر اولتراسونیک از چه نوع موجی استفاده می کند؟

- الف) نور
ب) رادیو
ج) صوت با فرکانس بالا
د) مادون قرمز

۹ مزیت مهم حسگر اولتراسونیک چیست؟

- الف) تماس مستقیم با مایع
ب) اندازه گیری غیرتماسی
ج) تولید گرما
د) افزایش فشار

۱۰ کدام یک از موارد زیر، دلیل اصلی استفاده از حسگر رطوبت در صنایع نساجی است؟

- الف) جلوگیری از فساد مواد شیمیایی
ب) جلوگیری از تغییر خواص الیاف و بروز الکتریسیته ساکن
ج) کنترل دمای محیط برای فرایند تولید
د) کاهش هزینه های انرژی در سامانه های تهویه

۱۱ عملکرد حسگرهای رطوبت بر پایه تغییر در ظرفیت خازنی، مقاومت الکتریکی یا رسانایی حرارتی مواد در مواجهه با بخار آب است.

- ☐ صحیح ☐ غلط

۱۲ در صنایع داروسازی، چرا کنترل دقیق رطوبت اهمیت حیاتی دارد؟

۱۳ کدام یک از روش های زیر برای اندازه گیری رطوبت، بر پایه تغییر در میزان عبور حرارت در هوا استوار است؟

- الف) روش خازنی
ب) روش مقاومتی
ج) روش رسانایی حرارتی
د) روش دیجیتال (One-Wire)

۱۴ یکی از کاربردهای مهم حسگر رطوبت در «خانه های هوشمند» را بنویسید؟

ارزشیابی شایستگی راه اندازی مدار کنترل کمیت های فیزیکی با حسگرها

نام و نام خانوادگی :		شماره ملی:		تاریخ ارزشیابی:	
کد حرفه	۸۲۱۲۲۳	حرفه	مونتازکاران تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی	کد پیمان/پودمان	۸۲۱۲۱۳۰۱۴
کد وظیفه شغل	۸۲۱۲۲۳۰۱	وظیفه شغل	ساخت بردهای الکترونیکی	سطح صلاحیت	L۳
کد کار	۸۲۱۲۲۳۰۱۴۲	کار	کنترل کمیت های فیزیکی با حسگرها	سطح شایستگی	مهارت

ردیف	مراحل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص ها/ داوری /نمره دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	ترسیم و شبیه سازی مدار کنترل کمیت فیزیکی در نرم افزار و بررسی اولیه عملکرد آن	رایانه، نرم افزار شبیه سازی مدار (مانند Multisim)، برگه اطلاعات قطعات و زمان ۶۰ تا ۱۲۰ دقیقه در کارگاه الکترونیک	مشاهده عملکرد، بررسی فایل شبیه سازی مدار، چک لیست مهارتی و پرسش شفاهی	ترسیم دقیق مدار، شبیه سازی صحیح و بررسی کامل عملکرد مدار	۳	
				ترسیم، شبیه سازی و تحلیل عملکرد اولیه قابل قبول مدار با خطای جزئی	۲	
				ترسیم نادرست یا شبیه سازی ناموفق و بررسی ناقص عملکرد مدار	۱	
۲	انتخاب قطعات مناسب و مونتاژ صحیح مدار روی بردبورد با ایمنی و آرایش صحیح پایه ها	بردبورد، قطعات الکترونیکی، سیم رابط، ابزار مونتاژ، مولتی متر، منبع تغذیه، نقشه مدار و زمان تعیین شده در کارگاه الکترونیک	مشاهده عملکرد فراگیر هنگام مونتاژ مدار، بررسی صحت اتصالات و استفاده از چک لیست ارزیابی مهارتی	انتخاب صحیح قطعات و مونتاژ اصولی مدار با رعایت ایمنی و آرایش پایه ها	۳	
				انتخاب و مونتاژ قابل قبول با خطای جزئی	۲	
				انتخاب نادرست یا مونتاژ با خطاهای اساسی	۱	
۳	راه اندازی مدار و اندازه گیری کمیت های الکتریکی (ولتاژ، جریان یا سیگنال خروجی) با تجهیزات اندازه گیری	مدار مونتاژ شده روی بردبورد، منبع تغذیه، مولتی متر، اسیلوسکوپ و زمان تعیین شده در کارگاه الکترونیک	راه اندازی صحیح مدار، دقت در اندازه گیری، استفاده درست از تجهیزات و ثبت نتایج	راه اندازی صحیح مدار و اندازه گیری دقیق	۳	
				راه اندازی و اندازه گیری با خطاهای جزئی	۲	
				راه اندازی نادرست مدار یا اندازه گیری اشتباه	۱	
۴	بررسی پایداری خروجی مدار در شرایط مختلف، ثبت نتایج، مستند سازی مراحل و ارائه گزارش کار	مدار راه اندازی شده، منبع تغذیه، اسیلوسکوپ، مولتی متر، فرم گزارش کار و زمان تعیین شده در کارگاه الکترونیک	بررسی گزارش کار، مشاهده عملکرد، تحلیل داده های ثبت شده و استفاده از چک لیست مستند سازی	بررسی دقیق پایداری، ثبت کامل و تحلیل درست نتایج و ارائه گزارش کامل	۳	
				بررسی و ثبت قابل قبول با نقص جزئی	۲	
				تحلیل نادرست و گزارش ناقص	۱	
	شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: کارگاه الکترونیک مجهز به ابزار و دستگاه های شبیه سازی مدارها و رایانه، تجهیزات حفاظت فردی و قطعات مورد نیاز، انجام فعالیت های کارگاهی مطابق با دستورالعمل های ایمنی و بهداشت حرفه ای		مشاهده رفتار هنرجو در حین انجام فعالیت، میزان رعایت اصول ایمنی و نظم، فعالیت های گروهی، مدیریت زمان و مسئولیت پذیری	رعایت کامل ایمنی، بهداشت و محیط زیست ، رفتار حرفه ای، نظم و مسئولیت پذیری بالا	۲	
				رعایت نسبی ایمنی و بهداشت با خطاهای جزئی، رفتار کاری مناسب	۱	
☐ بلی ☐ خیر						
ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)						

توضیحات:

معیار شایستگی انجام کار:

- کسب حداقل نمره ۲ در همه شاخص ها و اجرای صحیح شامل مونتاز اصولی، راه اندازی ایمن، اندازه گیری دقیق، بررسی پایداری خروجی و ثبت و ارائه گزارش کار (مراحل بحرانی).

- کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش

- کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه ای انجام می شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه ریزی و تحلیل، پاسخ گویی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت ها

تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.



پودمان پنجم

ساخت پروژه الکترونیک صنعتی



الکترونیک صنعتی تلفیقی از الکترونیک، قدرت و کنترل است که زیر شاخه‌ای از علم الکترونیک محسوب می‌شود. این صنعت جایگاه بسیار مهمی در فناوری‌های نوین دارد. موضوع آن کاربرد قطعات نیمه‌هادی برای کنترل و تبدیل انرژی الکتریکی است. این فرایند براساس خاصیت کلیدزنی عناصر نیمه‌هادی قدرت پایه‌گذاری شده است. برای مثال در کنترل‌کننده‌های دما، روشنایی، دور موتور الکتریکی و سیستم‌های حفاظتی از مدارهای الکترونیک صنعتی استفاده می‌شود. در این پودمان درباره ساختمان قطعات مورد استفاده در الکترونیک صنعتی، مشخصات فنی قطعات و چگونگی به‌دست آوردن آن از برگه‌های اطلاعات بحث می‌کنیم. همچنین چند مدار کاربردی را به‌صورت نرم‌افزاری و سخت‌افزاری مورد آزمایش قرار می‌دهیم. در نهایت پروژه کاربردی الکترونیک صنعتی را اجرا خواهیم کرد.

واحد یادگیری ۱: تست عملکرد قطعات الکترونیک صنعتی

آیا تا به حال فکر کرده‌اید

- کلیدهای الکترونیکی با کلیدهای مکانیکی چه تفاوتی دارند؟
- چه روش‌هایی برای کم یا زیاد کردن روشنایی یک لامپ وجود دارد؟
- چگونه دور موتور جاروبرقی و ماشین لباسشویی تغییر می‌کند؟
- شارژرهای اتوماتیک بر چه اساسی کار می‌کنند؟
- جایگزین کنتاکتورها کدام قطعات الکترونیکی هستند؟
- دمای بالای کوره‌های صنعتی چگونه کنترل می‌شود؟

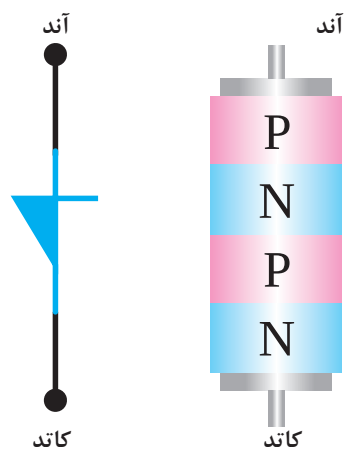
قطعات الکترونیک صنعتی، معادل کلید عمل می‌کنند. کلیدی که حرکت مکانیکی ندارند، در نتیجه عمر آن‌ها طولانی است. برخی از این قطعات قادر هستند ولتاژهای زیاد تا حدود چند هزار ولت و جریان‌های زیاد تا حدود چند صد آمپر را با سرعت زیاد قطع و وصل کنند. لذا این قطعات به جای رله‌های الکترومغناطیسی و کنتاکتورها در صنایع کاربرد وسیعی دارند. در این واحد یادگیری، ساختمان داخلی، نماد فنی، نقشه‌مداری و کاربرد قطعات متداول الکترونیک صنعتی شرح داده می‌شود. همچنین برخی از مدارهای کاربردی با این قطعات را به صورت نرم‌افزاری و سخت‌افزاری آزمایش می‌کنیم. در ادامه چند پروژه کاربردی با قطعات الکترونیک صنعتی را اجرا می‌کنیم. در تمام مراحل انجام کار، رعایت نکات ایمنی و بهداشتی و شایستگی‌های غیر فنی مانند کار گروهی، رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها، دقت و تمرکز در اجرای کار باید مورد توجه قرار گیرد.

استاندارد عملکرد

شناخت قطعات الکترونیک صنعتی و آزمایش عملکرد قطعات با رعایت استانداردهای تعریف شده.

معرفی قطعات الکترونیک صنعتی

تریستور (Thyristor) یک کلمه یونانی به مفهوم در است. تریستورها به مجموعه‌ای از عناصر الکترونیکی نیمه‌هادی گفته می‌شود که در مدارهای کنترل قدرت به کار می‌روند و مانند یک کلید الکترونیکی عمل می‌کنند. برخی از این عناصر قادر هستند ولتاژهای زیاد تا حدود هزارولت و جریان‌های زیاد تا حدود چندصدآمپر را با سرعت زیاد قطع و وصل کنند. این موضوع سبب شده است که تریستورها به جای کنتاکتورها و رله‌های الکترومکانیکی در صنعت به کار برده شوند. این عناصر برای کنترل دور موتورهای الکتریکی، کنترل دمای المان‌های حرارتی پر قدرت، سیستم‌های روشنایی و وسایلی از این نوع در حد گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این فصل به شرح قطعاتی مانند دیود چهارلایه (FLD)، یکسوساز کنترل شده سیلیکونی



الف ساختمان کریستالی ب نماد FLD

شکل ۱- ساختمان کریستالی و نماد FLD

(SCR)، SCR قابل کنترل با نور (LA SCR)، دیاک یا دیود جریان متناوب (DIAC)، تریاک یا عنصر سه قطبی قابل کنترل با جریان متناوب (TRIAC)، ترانزیستور تک اتصالی (UJT) و ترانزیستور تک اتصالی قابل برنامه‌ریزی (PUT) می‌پردازیم.

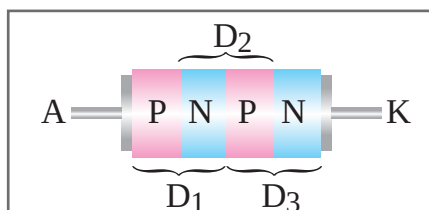
دیود چهارلایه Four Layer Diode یا FLD

دیود چهارلایه را اغلب به نام دیود شاکلی (Shockley Diode) یا SuS (Silicon universal Switch) می‌شناسند. این قطعه نوعی تریستور است که با استفاده از چهارلایه نیمه‌هادی PNPN ساخته می‌شود. دیودهای چهارلایه مانند دیودهای معمولی دارای یک آند و یک کاتد هستند. در شکل ۱-الف ساختمان کریستالی و در شکل ۱-ب نماد دیود شاکلی نشان داده شده است.

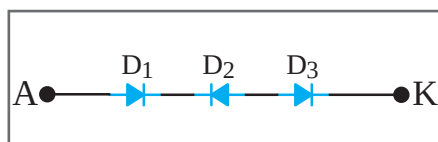
■ **مدار معادل دیودی FLD:** در دیود چهارلایه (FLD) می‌توان هر اتصال PN را معادل یک دیود در نظر گرفت، لذا دیود چهارلایه مطابق شکل ۲ به سه اتصال PN تقسیم می‌شود. به این ترتیب مدار معادل دیودی FLD با استفاده از سه دیود به صورت شکل ۳ در می‌آید.

■ **چگونگی بایاس کردن دیود چهارلایه:** اتصال ولتاژ به دو سر دیود چهارلایه به دو صورت امکان پذیر است.

الف) آند به قطب مثبت و کاتد آن به قطب منفی باتری وصل شود، در این شرایط اصطلاحاً می‌گویند دیود چهارلایه در بایاس موافق قرار دارد، زیرا باتوجه به شکل ۴ دو دیود D_1 و D_3 در بایاس موافق و تنها دیود D_2 در بایاس مخالف قرار می‌گیرد. در این حالت فقط جریان ناشی از دیود عبور می‌کند.



شکل ۲- هر اتصال PN معادل یک دیود



شکل ۳- مدار معادل دیودی FLD

ب) اگر آند به قطب منفی و کاتد به قطب مثبت باتری وصل شود، در این حالت اصطلاحاً می‌گویند دیود چهارلایه در بایاس مخالف قرار دارد، زیرا باتوجه به شکل ۵ در این شرایط، دو دیود D_1 و D_3 در بایاس مخالف و تنها دیود D_2 در بایاس موافق است. در این حالت تنها جریان ناشی از دیود عبور می‌کند.

به چه دلیل در شکل ۴ و ۵ فقط جریان ناشی از مدار عبور می‌کند؟

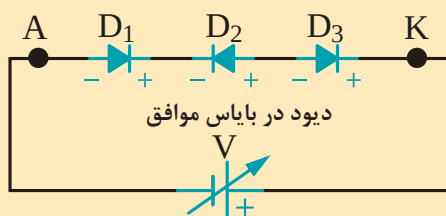
بحث کنید



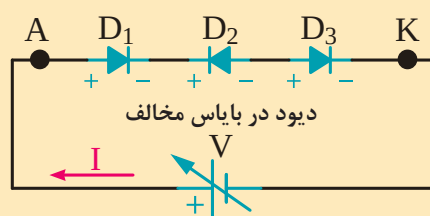
نکته



توجه داشته باشید که اصطلاح بایاس موافق و بایاس مخالف برای دیود چهارلایه مشابه دیود معمولی نیست و تنها تعداد دیودهایی که در بایاس موافق یا مخالف قرار دارند شرایط مدار را تعیین می‌کند.



شکل ۵- دیود چهارلایه در بایاس مخالف



شکل ۴- دیود چهارلایه در بایاس موافق



شکل ۶- چند نمونه دیود شاکلی

■ **هدایت در دیود چهارلایه (دیود FLD):** دیود چهارلایه زمانی مانند کلید وصل عمل می‌کند که ولتاژ دوسر آن به ولتاژ شکست موافق (V_{BRF} = Forward Breakover Voltage) برسد. همچنین برای این که FLD در حالت هدایت موافق بماند باید جریان عبوری آن از جریان نگهدارنده (I_H = Holding Current) کمتر نباشد. مقدار V_{BRF} و I_H را در برگه اطلاعات می‌نویسند. این اطلاعات توسط کارخانه سازنده داده می‌شود. در بایاس مخالف، FLD مانند یک کلید باز عمل می‌کند. در شکل ۶ چند نمونه دیود شاکلی نشان داده شده است.

در ساعتهای غیردرسی بامراجعه به رسانه‌های مختلف، یک نمونه برگه اطلاعات FLD را پیدا کنید و مقادیر ولتاژ شکست موافق (V_{BRF}) و جریان نگهدارنده (I_H) آن را به دست آورید. نتیجه را در قالب یک گزارش کوتاه ارائه دهید.

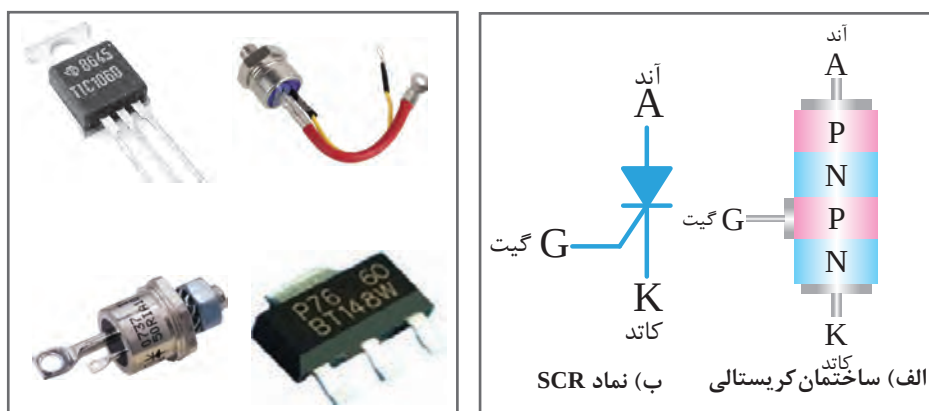
فعالیت



یکسوساز کنترل شده سیلیکونی (Silicon Controlled Rectifier) SCR

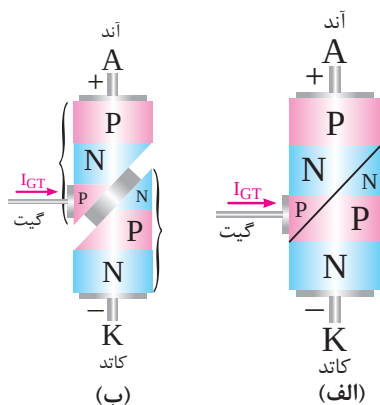
در بین قطعات چهارلایه، یکسوساز کنترل شده سیلیکونی یکی از پرمصرف‌ترین قطعات است. از موارد کاربردهای SCR می‌توان کنترل سرعت موتورهای (درايوها)، راه‌اندازهای نرم الکترونیکی، منابع تغذیه با ولتاژ DC متغیر، مدارهای کنترل رله، تأخیر زمان، منبع تغذیه تثبیت شده، کلید استاتیک و کنترل کننده فاز را نام برد. در سال‌های اخیر، SCRهایی طراحی و ساخته شده‌اند که قادرند جریان و توان بسیار بالایی را کنترل کنند.

■ **ساختمان SCR:** یک قطعه چهارلایه PNPN شبیه دیود چهارلایه است با این تفاوت که علاوه بر دو پایه آند و کاتد یک پایه گیت نیز دارد. در شکل ۷-الف و ب ساختمان کریستالی و نماد SCR نشان داده شده است. نحوه بسته‌بندی (Typical package) و شکل ظاهری چند نمونه SCR را در شکل ۸ مشاهده می‌کنید.



شکل ۸- بسته‌بندی چند نمونه SCR

شکل ۷- ساختمان کریستالی و نماد SCR



شکل ۹- ساختمان کریستالی برش خورده SCR

■ مدار معادل SCR (SCR Equivalent Circuit) و عملکرد آن:

برای درک بهتر عملکرد SCR لازم است با مدار داخلی آن تا حدودی آشنایی داشته باشید. برای این منظور می‌توان ساختمان کریستالی آن را مطابق شکل ۹-الف برش داد و آن را به دو نیمه جداگانه مانند شکل ۹-ب تقسیم کرد.

با توجه به شکل ۹-ب مدار معادل ترانزیستوری SCR را در شکل ۱۰ رسم کنید و در مورد چگونگی روشن شدن ترانزیستورها (معادل SCR) با هم گروهی خود بحث کنید و نتیجه را به طور خلاصه بنویسید.

پاسخ:

.....

.....

.....

شکل ۱۰- محل ترسیم مدار معادل ترانزیستوری SCR

فعالیت





شکل ۱۱- مدار آزمایش

■ **روشن کردن SCR:** برای روشن کردن SCR باید آند آن را نسبت به کاتد در بایاس موافق قرار دهیم و به طور همزمان یک سیگنال راه انداز به پایه گیت آن متصل کنیم. به منظور تشریح بهتر عملکرد SCR چند حالت مختلف را در قالب کار عملی مورد تجزیه و تحلیل قرار می دهیم.

کار عملی ۱



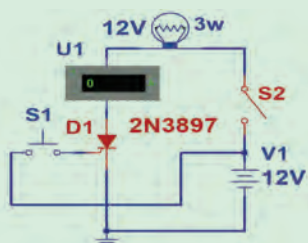
روشن کردن SCR در نرم افزار

هدف: چگونگی تحریک گیت SCR و راه اندازی آن

مواد، ابزار و تجهیزات: نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر - رایانه - لوازم التحریر

مراحل اجرای کار:

- ۱ نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر را راه اندازی کنید.
- ۲ مدار (شکل ۱۱) را در محیط نرم افزار ببندید. از کلیدهای (PB - NO و SPST) در نرم افزار استفاده کنید.
- ۳ کلید S_1 را وصل کنید. در این حالت پایه های آند و کاتد SCR بایاس شده است. آیا لامپ روشن می شود؟ جریان عبوری از لامپ و ولتاژ دو سر SCR (ولتاژ آند نسبت به کاتد) چقدر است؟ شرح دهید.
 $I_A = \dots\dots\dots \text{mA}$ $V_{AK} = \dots\dots\dots \text{V}$
- ۴ کلید S_2 را برای لحظه ای وصل و سپس قطع کنید. آیا لامپ روشن می شود و همواره روشن باقی می ماند؟ جریان عبوری از لامپ و ولتاژ دوسر SCR چقدر است؟ شرح دهید.
 $I_A = \dots\dots\dots \text{mA}$ $V_{AK} = \dots\dots\dots \text{V}$

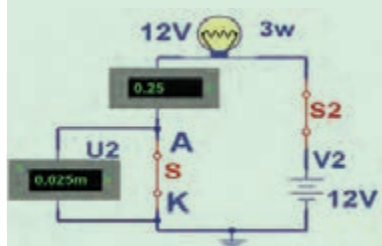


شکل ۱۲- مدار آزمایش

نکته: برای تحریک گیت می توانید به جای استفاده از یک باتری جداگانه از همان باتری ۱۲ ولت مطابق شکل ۱۲ استفاده کنید.

۵ آیا پس از تحریک گیت و وصل شدن SCR، اتصال بین آند و کاتد آن در حالت ایده آل مانند یک کلید بسته (کلید S در شکل ۱۳) عمل می کند؟ شرح دهید.

۶ باتوجه به نتایج حاصل از این آزمایش، چگونگی روشن کردن SCR را به طور خلاصه بنویسید.



شکل ۱۳- مدار معادل



باتوجه به بخشی از برگه اطلاعات تریستور C106D در شکل ۱۴، به سوالات زیر پاسخ دهید.

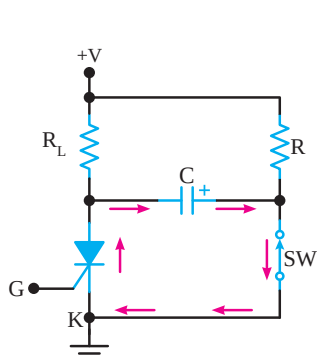
Thyristors logic level		C106D	
GENERAL DESCRIPTION		QUICK REFERENCE DATA	
Passivated, sensitive gate thyristor in a plastic envelope, intended for use in general purpose switching and phase control applications. This device is intended to be interfaced directly to microcontrollers, logic integrated circuits and other low power gate trigger circuits.		SYMBOL	PARAMETER
		V_{DRM}	Repetitive peak off-state voltages
		V_{RRM}	Average on-state current
		$I_{T(AV)}$	RMS on-state current
		$I_{T(RMS)}$	Non-repetitive peak on-state current
		I_{TSM}	
MAX.	UNIT		
400	V		
2.5	A		
4	A		
38	A		

شکل ۱۴- قسمتی از برگه اطلاعات

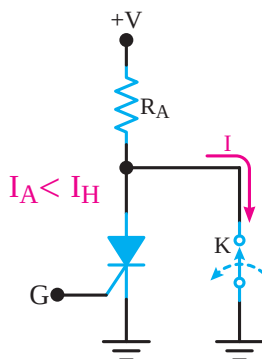
- ۱ ولتاژ قابل تحمل در حالت قطع چندولت است؟.....
- ۲ معدل جریان قابل تحمل در حالت وصل چندآمپر است؟.....
- ۳ جریان لحظه‌ای قابل تحمل در حالت وصل چندآمپر است؟.....

■ **روش‌های خاموش کردن SCR:** در یک SCR روشن، اگر ولتاژ و جریان تحریک گیت SCR را قطع کنیم، SCR خاموش نمی‌شود و هم‌چنان در ناحیه هدایت موافق، باقی می‌ماند. زمانی می‌توانیم SCR را خاموش کنیم که جریان آن را به مقداری کمتر از جریان نگهدارنده (I_H) برسانیم. لذا برای خاموش کردن SCR، ابتدا ولتاژ و جریان تحریک گیت را قطع می‌کنیم. سپس با استفاده از یکی از روش‌های زیر SCR را خاموش می‌کنیم.

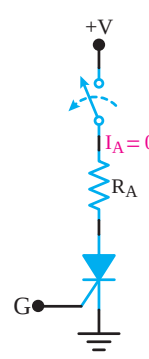
■ در زمانی که V_G قطع است ولتاژ آند را برای لحظه‌ای به صفر می‌رسانیم. برای این منظور مطابق شکل ۱۵ کلیدی را با آند SCR به صورت سری می‌بندیم. با باز نمودن کلید، جریان آند را برای لحظه‌ای به صفر می‌رسانیم. در این حالت باید V_G قطع باشد.



شکل ۱۷- ایجاد جریان برخلاف جریان اصلی



شکل ۱۶- صفر شدن ولتاژ آند کاتد



شکل ۱۵- صفر شدن جریان آند

■ مطابق شکل ۱۶ پس از قطع ولتاژ V_G کلید K را بین آند و کاتد SCR به صورت موازی قرار می‌دهیم. با وصل کردن کلید، آند SCR به کاتد آن اتصال کوتاه می‌شود و I_A را به صفر می‌رساند. با صفر شدن I_A ، SCR خاموش می‌شود.

■ راه دیگر برای خاموش کردن SCR، ایجاد جریانی برخلاف جریان اصلی عبوری از SCR است. این جریان سبب می‌شود، جریان آند (I_A) به مقداری کمتر از جریان نگهدارنده (I_H) برسد. در شکل ۱۷ مدار مربوط به این روش رسم شده است.

باتوجه به شکل ۱۷ هنگامی که SCR روشن است کلید SW که معمولاً یک کلید ترانزیستوری است در حالت قطع قرار دارد. در این شرایط خازن C از طریق R تا ولتاژ منبع V شارژ می‌شود. با بسته شدن کلید SW ولتاژ دو سر خازن C مطابق شکل ۱۷ در دوسر SCR قرار می‌گیرد و جریانی برخلاف جریان اصلی در SCR ایجاد می‌کند.

کار عملی ۲



خاموش کردن SCR روشن در نرم افزار

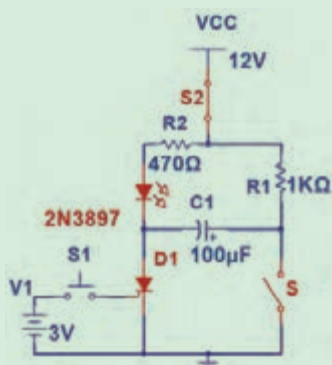
هدف: اجرای نرم افزاری روش های خاموش کردن SCR روشن

مواد، ابزار و تجهیزات: نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر - رایانه - لوازم التحریر

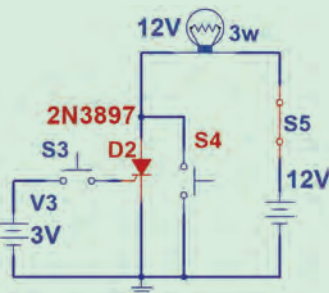
مراحل اجرای کار:

- ۱ نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر را راه اندازی کنید.
- ۲ مدار (شکل ۱۸) را در محیط نرم افزار ببندید.
- ۳ SCR را روشن کنید. برای خاموش کردن SCR ابتدا ولتاژ تحریک گیت را قطع کنید، سپس با قطع کلید S_4 جریان آند صفر می‌شود و SCR به حالت خاموش می‌رود. این موضوع را تجربه کنید.
- ۴ مدار (شکل ۱۹) را در محیط نرم افزار ببندید. سپس SCR را روشن کنید.
- ۵ اگر کلید S_4 را برای لحظه ای وصل و سپس قطع کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟ چرا؟ این موضوع را تجربه کنید سپس نتایج را یادداشت کنید.

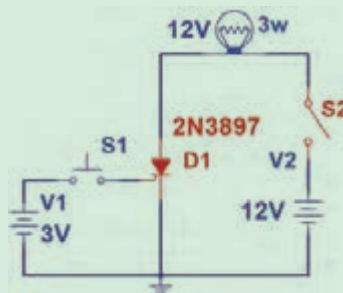
- ۶ مدار شکل ۲۰ را در محیط نرم افزار ببندید. سپس SCR را روشن کنید.
- ۷ اگر کلید S را وصل کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟ چرا؟ این موضوع را تجربه کنید سپس نتایج را یادداشت کنید.



شکل ۲۰- مدار آزمایش



شکل ۱۹- مدار آزمایش



شکل ۱۸- مدار آزمایش

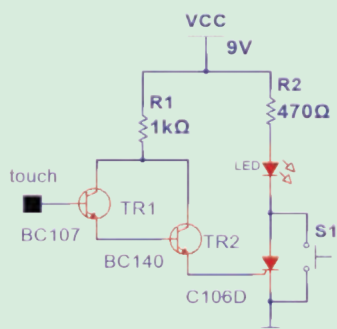


روشن خاموش کردن SCR با قطعات واقعی

هدف: روشن کردن SCR به صورت لمسی

مواد، ابزار و تجهیزات: منبع تغذیه - بردبرد - ترانزیستور BC107 و BC140 از هر کدام یک عدد - SCR با شماره فنی C106 یک عدد - مقاومت $1K\Omega$ و 470Ω و $\frac{1}{4}$ وات از هر کدام یک عدد LED یک عدد سیم‌های رابط - کلید PB-NO یک عدد

مراحل اجرای کار:



شکل ۲۱- مدار آزمایش

۱ مدار (شکل ۲۱) را روی بردبرد ببندید.

۲ منبع تغذیه ۹ ولت را به مدار وصل کنید.

۳ بیس ترانزیستور TR_1 را لمس کنید. در این حالت گیت

SCR تحریک شده، SCR وصل و LED روشن می‌شود.

سؤال: کلید S_1 را برای لحظه‌ای وصل و سپس قطع

کنید. چه اتفاقی رخ می‌دهد؟ شرح دهید

.....

.....

.....

می‌توانید یک موتور DC یا رله را با این مدار و به صورت لمسی راه‌اندازی کنید.

نکته



۱ ترانزیستور به مفهوم است.

۲ ساختمان کریستالی و نماد فنی FLD را رسم کنید.

۳ با اتصال پالس منفی به گیت SCR روشن می‌توان آن را خاموش نمود. درست □ نادرست □

۴ اگر ولتاژ تحریک گیت SCR روشن را قطع کنیم و آند آن را برای یک لحظه به کاتد، اتصال کوتاه کنیم،

SCR خاموش می‌شود. درست □ نادرست □

پرسش



کاربردهای SCR

SCR در مدارهای DC و AC کاربردهای زیادی دارد. در این بخش چند کاربرد مهم آن را معرفی می‌کنیم.

■ **کلید استاتیکی:** در شکل ۲۲ یک کلید استاتیک سری نیم موج نشان داده شده است. اگر طبق شکل ۲۲

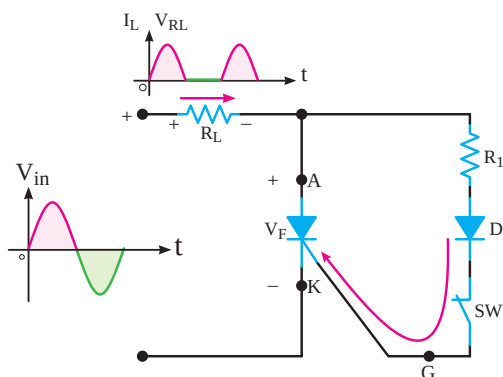
کلید SW را ببندیم جریان گیت از طریق R_1 و دیود D_1 در نیم‌سیکل مثبت سیگنال ورودی جاری می‌شود

و SCR را روشن می‌کند. مقاومت R_1 جریان گیت را محدود می‌سازد. وقتی که SCR روشن می‌شود، مانند

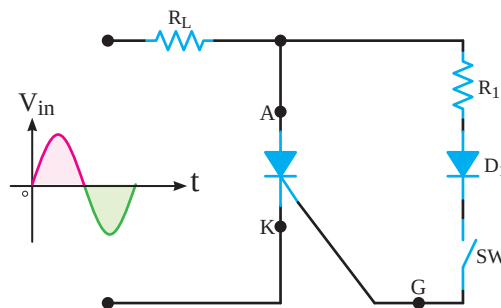
یک کلید وصل عمل می‌کند و جریان بار که همان جریان عبوری از SCR است افزایش می‌یابد. برای قسمت

منفی سیگنال ورودی، SCR خاموش خواهد شد. زیرا آند نسبت به کاتد منفی است. دیود D_1 مانع اعمال

ولتاژ منفی به گیت می‌شود. در شکل ۲۳ موج‌های ولتاژ و جریان بار نشان داده شده است.



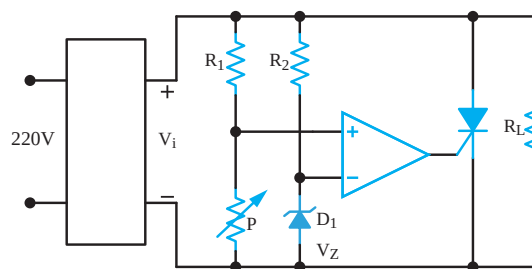
شکل ۲۳- شکل موج ولتاژ و جریان دوسر بار



شکل ۲۲- مدار کلید استاتیکی سری نیم موج

به چه دلیل وقتی نیم سیکل منفی ولتاژ متناوب به SCR می رسد، SCR به حالت خاموش می رود؟ با مراجعه به رسانه های مختلف موارد کاربرد این مدار را بیابید و در قالب یک گزارش ارائه دهید.

تحقیق کنید



شکل ۲۴- مدار محافظ بار با SCR منبع تغذیه مقایسه گر بار

■ محافظ بار در مقابل اضافه ولتاژ: (Load protector)

اکثر مدارهای مجتمع دیجیتالی قادر به تحمل افزایش ولتاژ تغذیه نیستند. برای جلوگیری از خراب شدن این نوع مدارهای مجتمع، که اغلب گران قیمت نیز هستند، می توانیم از محافظ SCR استفاده کنیم. در شکل ۲۴ یک نمونه مدار محافظ بار با استفاده از مدار مقایسه گر و SCR نشان داده شده است. این مدار دارای سرعت

عمل نسبتاً بالایی است. در این مدار با استفاده از دیود زنر D_1 و مقاومت R_2 ، ولتاژ مرجع V_Z برای ورودی منفی مقایسه کننده تأمین می شود. پتانسیومتر P و مقاومت R_1 نیز ولتاژ ورودی مثبت مقایسه کننده را تأمین می کنند. به کمک پتانسیومتر P می توان سطح ولتاژ ورودی مثبت مقایسه گر را تغییر داد. اگر ولتاژ ورودی مثبت مقایسه کننده از V_Z بیشتر باشد، خروجی آن مثبت می شود و گیت SCR را تحریک می کند. در حالت عادی SCR قطع است. زیرا به وسیله پتانسیومتر ولتاژ ورودی مثبت مقایسه کننده روی مقداری کمتر از ولتاژ V_Z تنظیم شده است. لذا خروجی مقایسه کننده نمی تواند SCR را به کار اندازد. اگر به هر دلیلی ولتاژ خروجی منبع تغذیه (V_i) افزایش یابد، ولتاژ ورودی مثبت مقایسه کننده از V_Z بیشتر می شود. ولتاژ خروجی تقویت کننده عملیاتی (مقایسه گر) به حدود ولتاژ تغذیه (ولتاژ اشباع) می رسد و SCR هادی می شود. با هادی شدن SCR، دوسر بار اتصال کوتاه می شود و منبع تغذیه را خاموش می کند. منابع تغذیه مجهز به محافظ SCR به نوعی محدود کننده جریان نیاز دارند تا در هنگام هدایت SCR، جریان به مقدار بیش از حد افزایش نیابد.

با مراجعه به رسانه های مختلف، بررسی کنید آیا مدار شکل ۲۴ کاربرد عملی دارد؟ موارد را بیابید و در قالب یک گزارش ارائه دهید.

پژوهش



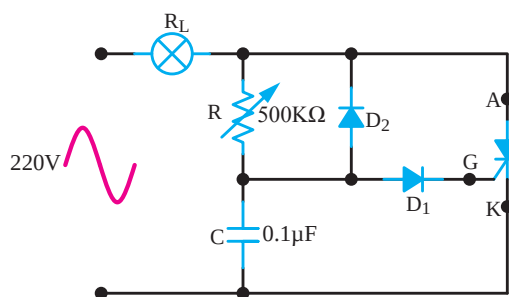
فکر کنید



چگونه دوریک موتور مثلاً دوریک ماشین لباسشویی و یا نور چراغ مانند شکل ۲۵ را کم و زیاد می کنند؟



شکل ۲۵



شکل ۲۶- مدار دایمر

■ مدار دایمر یا تاریک کننده (Dimmer):

به مدارهایی که می توانند نور لامپ را کنترل کنند، تاریک کننده یا دایمر می گویند. در (شکل ۲۶) مدار دایمر نشان داده شده است. در این مدار با تغییر پتانسیومتر R می توان لحظه روشن شدن SCR را کنترل کرد. به این ترتیب میزان توان داده شده به لامپ کنترل می شود. ولتاژ ورودی مدار، ولتاژ 220 ولت برق شهر است که یک لامپ 60 وات را تغذیه می کند.

در نیم سیکل منفی موج سینوسی برق شهر، SCR قطع است و جریانی از لامپ عبور نمی کند. بنابراین فقط می توانیم در نیم سیکل مثبت موج سینوسی، جریان لامپ را کنترل کنیم. در نیم سیکل مثبت، خازن C از طریق پتانسیومتر R و لامپ R_L شارژ می شود. وقتی ولتاژ دوسر خازن به $1/4$ ولت می رسد، دیود D_1 درولتاژ موافق قرار می گیرد و جریان درمسیر گیت SCR برقرار می شود. از این لحظه به بعد SCR به صورت کلید بسته عمل کرده و درحالت روشن باقی می ماند.

سوال

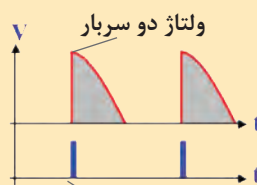


چرا وقتی ولتاژ خازن به $1/4$ ولت می رسد، SCR وصل می شود؟

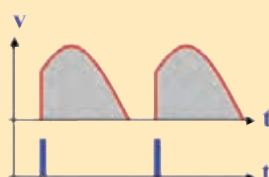
نکته



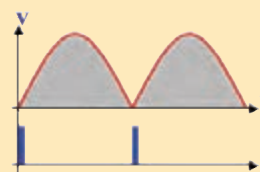
اگر موج یکسوسده شکل ۲۷- الف را به ورودی مدار شکل ۲۶ بدهیم و درلحظات نشان داده شده در شکل ۲۷ گیت SCR را تحریک کنیم، درلحظات تحریک SCR روشن شده، جریان از بار می گذرد. اگر به زمان های تحریک در شکل های ۲۷- الف، ب و پ دقت کنیم درمی یابیم که درحالت الف قدرت بیش تری درمقایسه با حالت ب به بار می رسد. همچنین کم ترین قدرت درحالت پ در دوسر بار قرار می گیرد. لحظه وصل یا روشن شدن SCR را زاویه آتش SCR (زاویه بُرش) می نامند.



لحظه تحریک گیت SCR
(پ) کم ترین توان



لحظه تحریک گیت SCR
(ب) توان کمتر در مقایسه با الف
شکل ۲۷- لحظه تحریک گیت SCR



(الف) بیش ترین توان

زمان رسیدن ولتاژ خازن به $1/4$ ولت (زاویه بُرش ولتاژ) به مقدار مقاومت پتانسیومتر (R) و ظرفیت خازن (C) بستگی دارد. پس از گذشت 180° درجه (پایان نیم سیکل مثبت)، ولتاژ دوسر SCR ابتدا صفر می‌شود. در شروع نیم سیکل منفی، ولتاژ دوسر مدار در جهت عکس افزایش می‌یابد. لازم به یادآوری است که درست در لحظه صفر شدن ولتاژ در نیم‌پریود مثبت، SCR قطع می‌شود، بنابراین در نیم‌پریود منفی SCR خاموش است و جریانی از بار (لامپ 60 وات) عبور نمی‌کند. در شروع نیم سیکل منفی خازن C از طریق دیود D_2 در جهت عکس شارژ می‌شود. به این ترتیب در نیم‌پریود مثبت می‌توانیم با استفاده از مقاومت R ، مقدار شارژ خازن را در محدوده وسیعی کنترل کنیم و زاویه برش‌های بزرگتری داشته باشیم. دیود D_1 مانع اتصال ولتاژ منفی به گیت SCR می‌شود. این مدار می‌تواند جریان عبوری از بار را تقریباً بین صفر تا 180° درجه کنترل کند.

به چه دلیل ولتاژ منفی شارژ شده در خازن در نیم‌سیکل منفی سبب بزرگ‌تر شدن زاویه برش می‌شود؟

در (شکل ۲۷) در کدام یک از حالات، زاویه برش بزرگ است؟ شرح دهید.

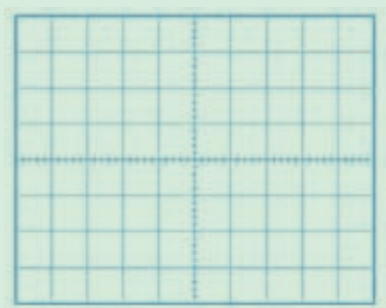
عملکرد دیمر در نرم‌افزار

هدف: بررسی زاویه بُرش در مدار دیمر

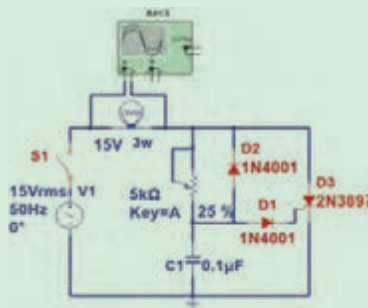
مواد، ابزار و تجهیزات: نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هر نرم‌افزار مناسب دیگر - رایانه - لوازم التحریر

مراحل اجرای کار:

- ۱ نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هر نرم‌افزار مناسب دیگر را راه‌اندازی کنید.
- ۲ مدار (شکل ۲۸) را در محیط نرم‌افزار ببندید.
- ۳ کلید مدار را وصل کنید. شکل موج دو سر لامپ را توسط اسیلوسکوپ نرم‌افزار به صورت پایدار ظاهر کنید.
- ۴ سر متغیر پتانسیومتر نرم‌افزار را تغییر دهید و تغییر زاویه بُرش سیگنال دوسر بار را مشاهده کنید.
- ۵ مقدار پتانسیومتر را در حالت 50° درصد بگذارید و شکل موج دوسر بار را در این حالت با مقیاس مناسب و تعیین T/D و V/D روی محورها در نمودار شکل ۲۹ رسم کنید.



شکل ۲۹- شکل موج دوسر بار



شکل ۲۸- مدار دیمر

- ۶ وات‌متر نرم‌افزار را به دوسر لامپ وصل کنید و با تغییر سرمتغیر پتانسیومتر نرم‌افزار، کم‌ترین و بیش‌ترین توان بار را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

جست‌وجو



سوال



کار عملی ۴





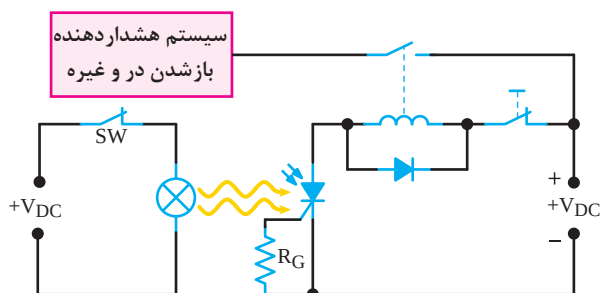
شکل ۳۰- نماد LASCR

SCR نوری (Light Activated SCR = LASCR)

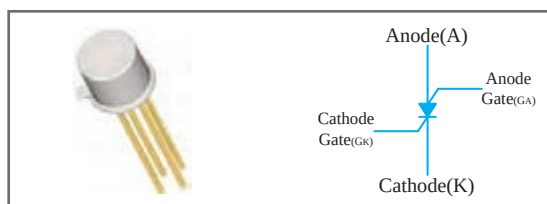
SCR نوری یک نیمه هادی چهارلایه (تریستور) است که مانند یک SCR معمولی عمل می‌کند، با این تفاوت که توسط نور تحریک می‌شود. در صورتی که SCR نوری به طور صحیح بایاس شده باشد و نور کافی به آن بتابد، به حالت روشن می‌رود و جریان را در یک جهت از خود عبور می‌دهد. هدایت LASCR تا زمانی که جریان آن به حدی کمتر از مقدار تعریف شده در برگه اطلاعات برسد، ادامه می‌یابد. در شکل ۳۰ نماد LASCR نشان داده شده است.

پژوهش کنید

بامراجعه به رسانه‌های مختلف جست‌وجو کنید و ببینید آیا در نرم‌افزارهایی که تاکنون با آن کار کرده‌اید، امکان اجرای آزمایش با LASCR وجود دارد؟ نتیجه را در قالب یک گزارش ارائه دهید.



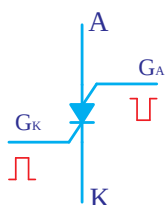
شکل ۳۱- مدار کاربردی با LASCR



(ب) یک نمونه SCS

الف) نماد SCS

شکل ۳۲- SCS و نماد آن



شکل ۳۳- روشن کردن SCS

■ یک نمونه کاربرد LASCR: شکل ۳۱

مدار LASCR را برای راه‌اندازی یک رله نشان می‌دهد. با وصل کلید SW، لامپ روشن می‌شود. نور لامپ سبب تحریک LASCR می‌شود و آن را وصل می‌کند. با روشن شدن LASCR، جریان I_A برقرار می‌شود و جریان مورد نیاز سیم‌پیچ رله را تأمین می‌کند و سبب تحریک آن می‌شود. با تحریک رله، کنتاکت‌های آن وصل شده و مدار دیگری را به کار می‌اندازد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این مدار، ولتاژ تحریک ورودی، با سایر قسمت‌های مدار ارتباط الکتریکی ندارد.

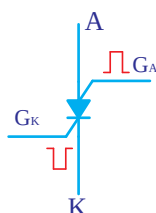
کلید قابل کنترل سیلیکونی Silicon (controlled Switch) SCS

SCS تریستوری است که چهار پایه دارد. دو پایه SCS را گیت می‌نامند. با تحریک یکی از گیت‌ها می‌توان SCS را وصل یا قطع کرد. نماد این قطعه و نام پایه‌های آن در شکل ۳۲- الف نشان داده شده است. در شکل ۳۲- ب شکل ظاهری یک نمونه SCS را مشاهده می‌کنید.

■ **چگونگی روشن نمودن SCS:** هرگاه به گیت کاتدی SCS (G_K) ولتاژی مثبت نسبت به کاتد آن اعمال کنیم، SCS روشن می‌شود. توسط گیت آندی SCS (G_A) نیز می‌توان SCS را روشن کرد. برای این منظور لازم است پالسی منفی به گیت آندی (G_A) بدهیم. شکل ۳۳ روشن کردن SCS را با پالس‌های مثبت و منفی نشان می‌دهد.



به چه دلیل باید به G_K ولتاژ مثبت و به G_A ولتاژ منفی بدهیم تا SCS روشن شود؟ نتیجه را از طریق بارش فکری جمع بندی کنید.



شکل ۳۴- خاموش کردن SCS روشن

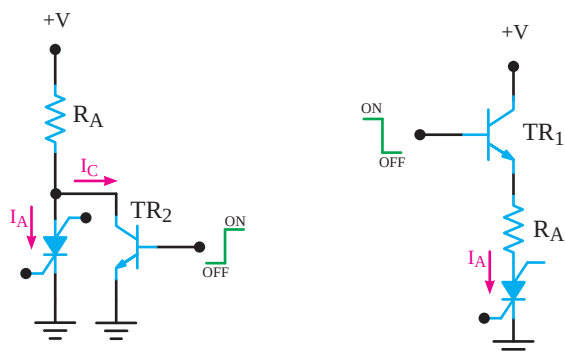
■ روش های خاموش کردن SCS: SCR

را پس از روشن کردن نمی توانیم از طریق گیت آن خاموش کنیم ولی امکان خاموش کردن SCS از طریق گیت وجود دارد. خاموش کردن SCS بادوروش به شرح زیر امکان پذیر است:

■ می توان پالس مثبتی را به گیت آندی (G_A) متصل کرد. این پالس SCS را خاموش می کند.

■ همچنین می توان با اعمال پالسی منفی به گیت کاتدی (G_K) SCS را به حالت خاموش بُرد. شکل ۳۴ روش های خاموش کردن SCS روشن را نشان می دهد.

■ می توان مطابق شکل ۳۵- الف و ب، از یک ترانزیستور به عنوان کلید، به صورت سری یا موازی با SCS استفاده کرد.



الف) ترانزیستور به عنوان کلید سری ب) ترانزیستور به عنوان کلید موازی

شکل ۳۵- خاموش کردن SCS روشن با استفاده از کلید الکترونیکی



چگونگی خاموش شدن SCS را در مدارهای شکل ۳۵ تشریح کنید و در قالب یک گزارش کوتاه بنویسید.

.....

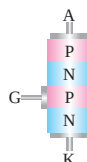
.....

.....

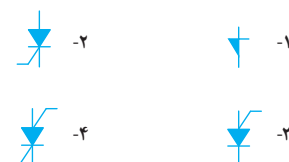
خود ارزیابی

۱ SCS روشن را می توان با اتصال پالس مناسب به گیت آن خاموش نمود. صحیح □ غلط □

۲ نماد مداری مربوط به ساختمان کریستالی شکل ۳۶ کدام است؟



شکل ۳۶



۳ نماد  مربوط به کدام قطعه است؟

LASCR □ ۴

SCS □ ۳

SCR □ ۲

۱ دیود شاکلی

۴ نماد SCS را رسم کنید و پایه‌های آن را نام‌گذاری نمایید.

۵ روش‌های خاموش کردن SCS روشن را شرح دهید.

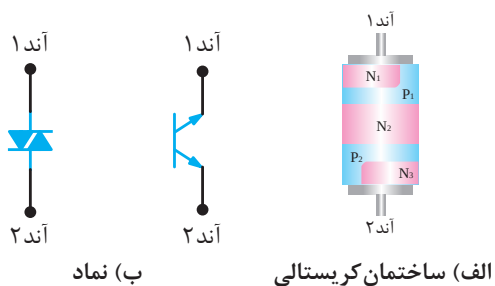
۶ متن انگلیسی زیر مربوط به SCR نشان داده شده در شکل ۳۷ است. متن را به فارسی ترجمه کنید

An SCR rated about ۱۰۰ amperes, ۱۲۰۰ volts mounted on a heat sink-the two small wires are the gate trigger lead



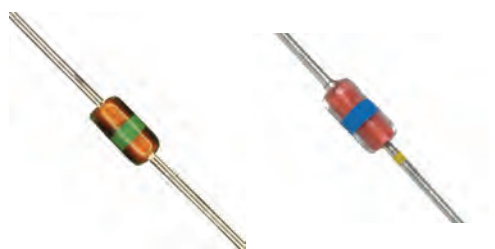
شکل ۳۷

دیاک (Diode Alternating Current) DIAC



شکل ۳۸- ساختمان کریستالی و نمادهای مداری دیاک

دیاک یک قطعه نیمه‌هادی چهارلایه است که دو پایه دارد. این قطعه در هر دو جهت تحریک می‌شود و حالت روشن به خود می‌گیرد. بزرگترین مزیت کاربرد دیاک، هدایت آن در هر دو نیم‌سیکل مثبت و منفی است. در شکل ۳۸- الف ساختمان کریستالی و در شکل ۳۸- ب نمادهای آن نشان داده شده است. در شکل ۳۹ شکل ظاهری دو نمونه دیاک را مشاهده می‌کنید. در دیاک پایه‌ای به نام کاتد وجود ندارد و پایه‌های آن با آند شماره ۱ (الکتروود ۱) و آند شماره ۲ (الکتروود ۲) شناخته می‌شود.



شکل ۳۹- شکل ظاهری دیاک

ولتاژ شکست دیاک‌های متداول ۳۰ تا ۴۰ ولت است.

نکته





باتوجه به ساختمان کریستالی شکل ۳۸- الف، دیاک معادل دو دیود چهارلایه است. مدار معادل آن را در شکل ۴۰ رسم کنید و درمورد چگونگی روشن شدن دیاک با هم گروهی خود بحث کرده و نتیجه را یادداشت کنید.

پاسخ:

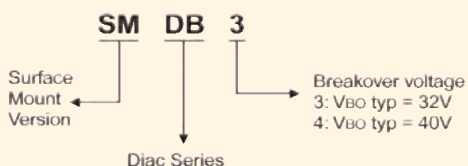
شکل ۴۰- مدار معادل دیاک



باتوجه به بخشی از برگه اطلاعات دیاک در شکل ۴۱ به پرسش های زیر پاسخ دهید.

۱) ولتاژ شکست دیاک با شماره فنی DB۳ چندولت است؟

۲) ماکزیمم جریان تکراری در حالت وصل و درنوع نصب سطحی آن چندآمپر است؟

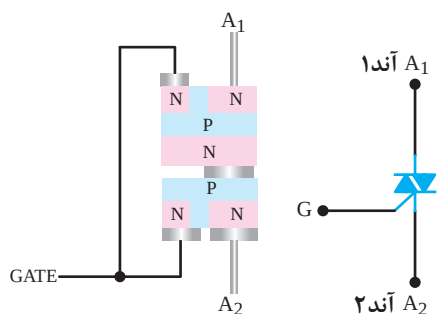


ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (limiting values)

Symbol	Parameter	Value	Unit
I_{RM}	Repetitive peak on-state current $t_p \leq 20 \mu s$ $F = 120 \text{ Hz}$	SMDB3: 1.00 DB3 / DB4: 2.00	A
T_{stg} T_j	Storage temperature range Operating junction temperature range	-40 to +125	$^{\circ}\text{C}$

شکل ۴۱- بخشی از برگه اطلاعات یک نوع دیاک

ترایاک (Triode Alternating current) TRIAC



الف) نماد مداری

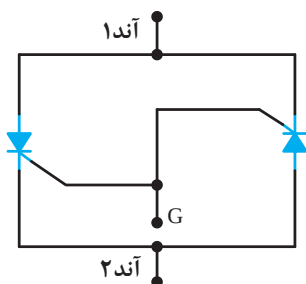
ب) ساختمان کریستالی

شکل ۴۲- ساختمان کریستالی و نماد مداری تریاک

ساختمان کریستالی تریاک مانند دیاک است با این تفاوت که پایه سومی نیز به نام گیت دارد. نماد تریاک همراه با نام پایه های آن و ساختمان کریستالی تریاک در شکل الف و ب ۴۲ نشان داده شده است. در شکل ۴۳ چند نمونه تریاک را مشاهده می کنید.



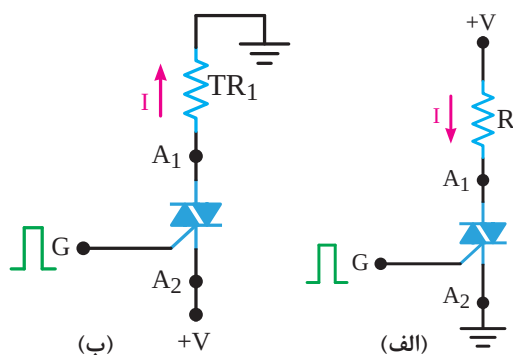
شکل ۴۳- چند نمونه ترایاک



شکل ۴۴- معادل ترایاک

■ **مدار معادل ترایاک:** ترایاک را می‌توانیم معادل دو SCR که به‌طور موازی و در جهت مخالف به هم وصل شده‌اند و گیت‌های آن‌ها نیز مشترک است در نظر بگیریم. شکل ۴۴ ترایاک را به صورت معادل دو SCR نشان می‌دهد.

■ **چگونگی تحریک ترایاک:** برای راه‌اندازی ترایاک طبق شکل ۴۵- الف باید شرایط زیر حاکم باشد. ولتاژ به‌گونه‌ای به مدار اتصال داده شود که پتانسیل A_1 نسبت به A_2 مثبت شود و گیت نسبت به A_2 با پالس مثبت تحریک شود، با برقراری این شرایط ترایاک روشن می‌شود و جریان را در مدار برقرار می‌کند. همچنین می‌توان مطابق شکل ۴۵- ب، A_2 را نسبت به A_1 با پالس مثبت تحریک نمود. در این حالت نیز ترایاک وصل شده و جریان در مدار برقرار می‌شود. بنابراین نتیجه می‌گیریم ترایاک در هر دو جهت هدایت می‌کند.



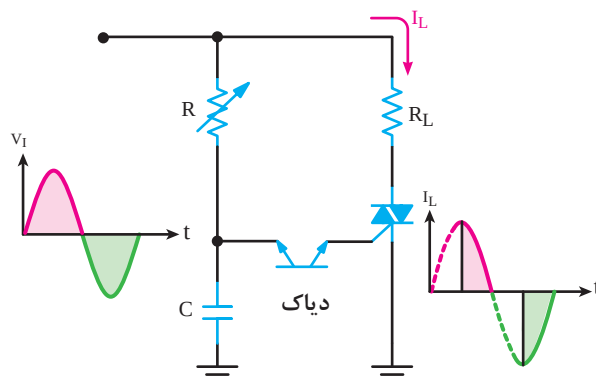
شکل ۴۵- شیوه‌های تحریک ترایاک

کوادرک (Quadrac) ترکیبی از دیاک و ترایاک در یک بسته‌بندی است. در مورد آن تحقیق کنید و نتایج را به کارگاه ارائه دهید.

پژوهش



■ **مدار کنترل فاز (توان) توسط دیاک و ترایاک:** در شکل ۴۶ مدار کنترل فاز توسط دیاک و ترایاک رسم شده است.



۴۶- مدار کنترل فاز توسط دیاک و ترایاک



در نیم سیکل مثبت، خازن C از طریق مقاومت R شارژ می‌شود. وقتی ولتاژ شارژ خازن به اندازه ولتاژ شکست دیاک رسید، دیاک روشن شده و گیت ترایاک را تحریک می‌کند. با تحریک گیت، ترایاک روشن می‌شود و جریان از بار عبور می‌نماید. در نیم سیکل منفی سیگنال ورودی، خازن در جهت منفی شارژ می‌شود و دیاک را روشن کرده و ترایاک را در مسیر معکوس فعال می‌کند. شکل موج ورودی و شکل موج جریان عبوری از بار RL را در شکل ۴۷ مشاهده می‌کنید. زاویه هدایت ترایاک با تغییر مقاومت R، قابل کنترل است.

روشن کردن ترایاک

هدف: تعیین پایه‌های ترایاک و روش‌های روشن کردن آن:

مواد، ابزار و تجهیزات: منبع تغذیه، مولتی متر، پردبرد، سیم‌های پردبرد، سیم‌های رابط منبع تغذیه ترایاک BT136، مقاومت ۱۰۰ اهم و ۳۳۰ اهم از هر کدام یک عدد، LED دو عدد

مراحل اجرای کار:

۱) برگه اطلاعات شکل ۴۷ را مطالعه کنید و برخی از اطلاعات مربوط به ترایاک سری BT136 را استخراج کنید و در جدول ۱ بنویسید.

Product Specification					
Triacs			BT136 series		
Quick Reference Data					
Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
	BT136-	500	600	800	
	BT136-	500F	600F	800F	
	BT136-	500G	600G	800G	
V_{DRM}	Repetitive peak off-state voltage	500	600	800	V
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	4	4	4	A
I_{TSM}	Non-repetitive peak on-state current	25	25	25	A

Pinning - TO220AB		Pin Configuration
Pin	Description	
1	Main terminal 1	
2	Main terminal 2	
3	Gate	
tab	Main terminal 2	
Symbol		

شکل ۴۷- قسمتی از برگه اطلاعات ترایاک

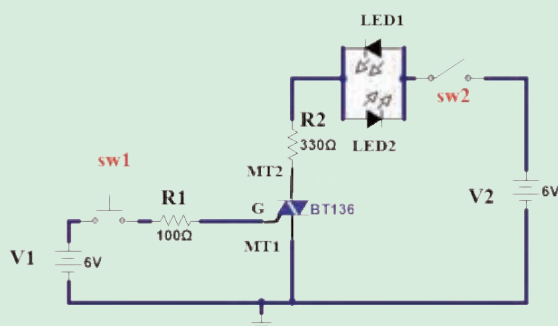
جدول ۱

ردیف	کمیت مورد نظر	معنی فارسی	مقدار	واحد
۱	V_{DRM}			
۲	$I_{T(RMS)}$			
۳	I_{TSM}			

۲) اگر بخواهیم توسط اهم متر پایه‌های ترایاک را تشخیص دهیم، با توجه به ساختمان کریستالی ترایاک، گیت نسبت به پایه MT_1 از هر دو طرف مقاومت کمی را نشان می‌دهد. لذا نمی‌توان این دو پایه را از هم تشخیص داد. MT_2 نسبت به MT_1 و گیت از هر دو طرف مقاومت بی‌نهایت را نشان می‌دهد و فقط این پایه با اهم‌متر قابل تشخیص است. با استفاده از اهم‌متر پایه MT_2 را تعیین کنید.

۳) آیا پایه‌ای را که تعیین کرده‌اید با پایه مشخص شده در برگه اطلاعات تطابق دارد؟

۴) مدار شکل ۴۸ را روی پردبرد ببندید.



شکل ۴۸- مدار آزمایش

۵ SW_۲ را وصل کنید. برای یک لحظه SW_۱ را وصل سپس قطع کنید. با تحریک گیت، ترایاک وصل شده و LED_۱ روشن می‌شود.

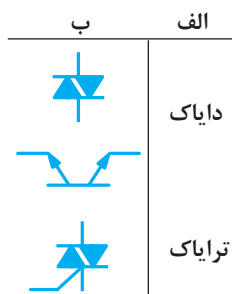
۶ برای قطع کردن ترایاک SW_۲ را قطع کنید.

۷ پلاریته V_۲ را عوض کنید (MT_۲ منفی - MT_۱ مثبت). مجدداً گیت را توسط SW_۱ تحریک کنید. باید ترایاک وصل کند و LED_۲ روشن شود. این موضوع را تجربه کنید و نتایج را یادداشت نمایید.

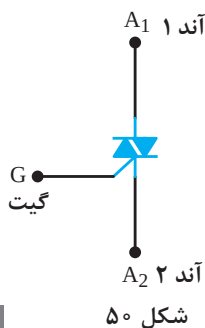
۸ پلاریته V_۱ را تغییر دهید و مراحل ۵ و ۶ و ۷ را تکرار کنید.

۹ به چند روش می‌توانیم ترایاک قطع را وصل کنیم؟ شرح دهید.

خودارزیابی



شکل ۴۹



شکل ۵۰

۱ DIAC اول کلمات انگلیسی و به معنی است.

۲ هنگام تحلیل عملکرد ترایاک می‌توان آن را معادل که به طور موازی و در جهت به هم وصل شده‌اند در نظر گرفت. ۳ در شکل ۴۹ قطعات ستون الف را با خط به نماد آنها درستون ب اتصال دهید.

۴ دایاک یک قطعه سه پایه است.

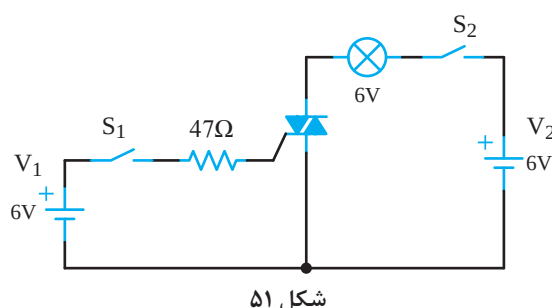
صحيح ☐ غلط ☐

۵ نماد شکل ۵۰ مربوط به ترایاک است.

صحيح ☐ غلط ☐

۶ با اتصال پالس منفی به گیت ترایاک روشن می‌توان آن را خاموش کرد.

صحيح ☐ غلط ☐



۷ در شکل ۵۱ مدار تحریک یک ترایاک نشان داده شده است.

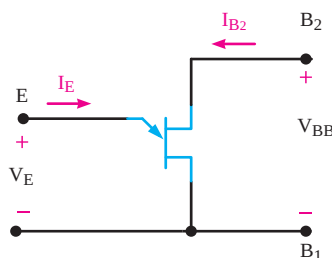
الف) اگر کلید S_1 را ببندیم و کلید S_2 را لحظه‌ای فشار دهیم، آیا لامپ روشن می‌شود؟
 ب) کلید S_2 را باز کنید آیا لامپ خاموش می‌شود؟
 پ) اگر پلاریته V_1 و V_2 هردو معکوس شوند، چندان برای روشن کردن لامپ وجود دارد؟ شرح دهید.

ترانزیستور تک‌اتصال‌ی UJT (Uni Junction Transistor)

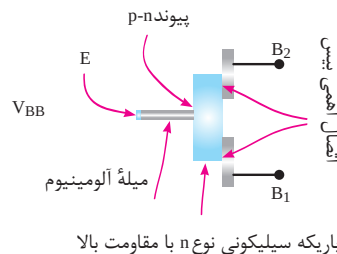
ترانزیستور تک‌اتصال‌ی یا تک‌پیوندی (UJT) یک قطعه سه پایه است. در شکل ۵۲-الف و ب ساختمانی کریستالی و نماد UJT و در شکل ۵۳ شکل ظاهری UJT نشان داده شده است. ترمینال‌های UJT را امیتر (E)، بیس یک (B_1) و بیس دو (B_2) نام‌گذاری کرده‌اند.



شکل ۵۳- یک نمونه UJT



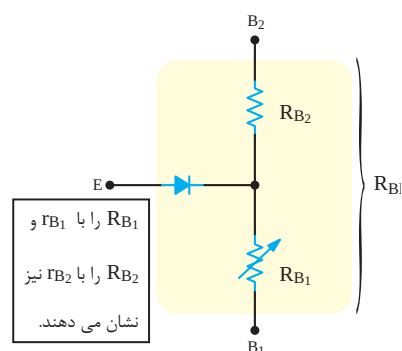
ب - علامت اختصاری



الف - ساختمان کریستالی

شکل ۵۲- ساختمان کریستالی و علامت اختصاری UJT

همان‌طور که در شکل ۵۲ مشاهده می‌کنید، میله‌ای از کریستال سیلیکونی با ناخالصی کم و مقاومت زیاد، ساختار اصلی UJT را تشکیل می‌دهد. به دوطرف این میله، دو میله آلومینیومی اتصال دارد که پایه‌های بیس یک (B_1) و بیس دو (B_2) را تشکیل می‌دهد. در قسمت وسط یک میله آلومینیومی متصل است که آن را امیتر (E) می‌نامند. به این ترتیب، یک پیوند PN در محل اتصال میله آلومینیومی و میله سیلیکونی نوع N به وجود می‌آید. وجود همین پیوند PN دلیل نام‌گذاری این قطعه به عنوان ترانزیستور تک‌پیوندی (UJT) است. در شکل ۵۴ مدار معادل UJT نشان داده شده است. یک مقاومت ثابت، یک مقاومت متغیر و یک دیود مدار معادل آن را تشکیل می‌دهد. متناسب با مقدار I_E مقدار R_{B1} و R_{B2} (مقاومت



شکل ۵۴- مدار معادل UJT

بین امیتر (E) و بیس دو (B_2) تغییر می‌کند. مقاومت کل بین دو بیس از مجموع R_{B1} و R_{B2} به دست می‌آید. مقاومت بین دو بیس را (Inter Base Resistance) می‌نامند. مقدار آن از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$R_{BB} = R_{B1} + R_{B2}$$

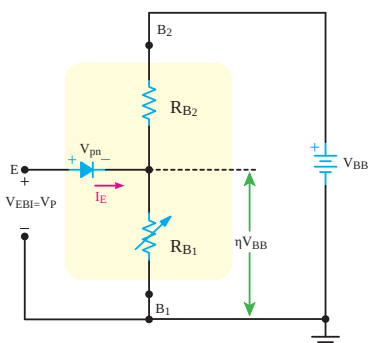


یک عدد UJT را در اختیار بگیرید. با استفاده از مولتی متر، پایه های آن را تشخیص دهید. مقدار مقاومت R_{B1} و R_{B2} را اندازه بگیرید و یادداشت کنید. سپس از برگه اطلاعات (Data Sheet) کمیت های ذکر شده را استخراج کنید و با مقادیر اندازه گیری شده مقایسه نمایید. نتیجه را در قالب یک گزارش ارائه دهید.

■ بایاس کردن UJT

هرگاه مطابق شکل ۵۵ منبع ولتاژ V_{BB} را بین دو بیس اتصال دهیم، ولتاژ V_{BB} بین دو مقاومت R_{B1} و R_{B2} تقسیم ولتاژ می شود و در دوسر مقاومت R_{B1} ولتاژی افت می کند که مقدار آن از رابطه زیر به دست می آید.

$$V_{RB1} = \frac{V_{BB} \times R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{V_{BB} \times R_{B1}}{R_{BB}}$$



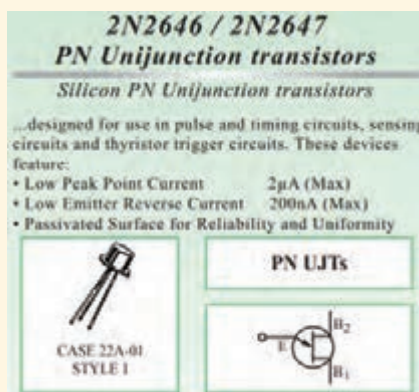
شکل ۵۵- چگونگی بایاس نمودن UJT

اگر به شکل ۵۵ توجه کنیم، در مسیر امیتر و B_1 افت ولتاژهای دوسر R_{B1} و ولتاژ پتانسیل سد دیود EB (V_{PN}) وجود دارد. اگر این ولتاژ را با V_P نشان دهیم، مقدار ولتاژ مورد نیاز برای هدایت دیود EB از رابطه زیر به دست می آید.

$$V_P = V_{RB1} + V_{PN}$$

V_P ولتاژ هدایت دیود EB است. این ولتاژ را ولتاژ نقطه اوج نیز می نامند. وقتی ولتاژ امیتر بیس یک (V_{EB1}) به V_P می رسد، اتصال PN هادی شده و جریان امیتر (I_E) برقرار می شود و هدایت بین امیتر و بیس یک افزایش می یابد و مقاومت R_{B1} را کاهش می دهد.

برگه اطلاعات شکل ۵۶ را مطالعه کنید و برخی از اطلاعات مربوط به UJT با شماره سری ۲N۲۶۴۶/۲N۲۶۴۷ را استخراج کنید و در جدول ۲ بنویسید.



*Maximum Ratings (TA=25°C unless otherwise noted)			
Rating	Symbol	Value	Unit
Power Dissipation	P_D	300	mW
RMS Emitter Current	$I_{E(RMS)}$	60	mA
Peak Pulse Emitter Current	I_E	2	Amps
Emitter Reverse Voltage	V_{B2E}	30	Volts
Interbase Voltage	V_{B2B1}	35	Volts
Operating Junction Temperature Range	T_J	-65 to +125	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	°C

*Indicates JEDEC Registered Data.

۵۶- قسمتی از برگه اطلاعات UJT

جدول ۲

ردیف	کمیت مورد نظر	معنی فارسی	مقدار	واحد
۱	P_D			
۲	$I_{E(RMS)}$			
۳	I_E			
۴	V_{B_2E}			
۵	$V_{B_2B_1}$			

■ کاربردهای UJT

از ترانزیستور UJT در نوسان‌سازها، مدارهای تریگر، کنترل‌کننده‌های فاز و مدارهای تایمر استفاده می‌شود، در این قسمت یک مورد از کاربردهای مهم UJT را توضیح می‌دهیم.

■ **نوسان‌ساز UJT:** در شکل ۵۷ مدار یک نوسان‌ساز با ترانزیستور UJT نشان داده شده است. طرز کار مدار به شرح زیر است:

■ با وصل شدن خط تغذیه V ، جریان از طریق مقاومت R_1 ، خازن C به آهستگی شارژ می‌کند.

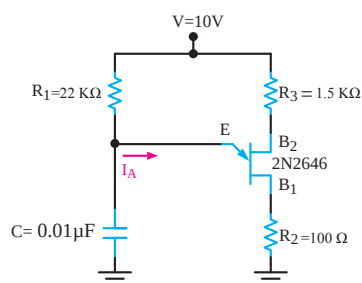
■ با شارژ خازن، ولتاژ امیتر UJT (ولتاژ دوسر خازن) افزایش می‌یابد.

■ به محض این که V_E به حدی می‌رسد که بتواند UJT را هادی کند، خازن C از طریق EB_1 و مقاومت R_2 به سرعت خالی می‌شود.

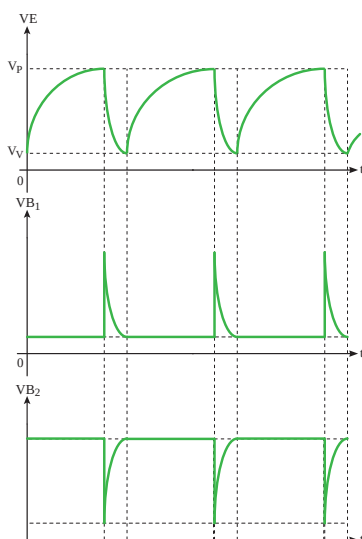
■ این جریان ممکن است ترانزیستور را بسوزاند. لذا مقاومت R_2 جریان ناشی از خالی شدن خازن را محدود می‌کند.

■ شکل موج پایه‌های E ، B_1 و B_2 در شکل ۵۸ نشان داده شده است.

■ مقاومت R_2 در تغییر فرکانس نقش کمی دارد، لذا به علت کم بودن این نقش، از آن صرف‌نظر شده است.



شکل ۵۷- مدار نوسان‌ساز با UJT



شکل ۵۸- شکل موج پای‌های UJT

فرکانس موج‌های مدار نوسان‌ساز به چه عواملی بستگی دارد؟ با همکار گروه خود بحث کنید و نتیجه را یادداشت کنید.

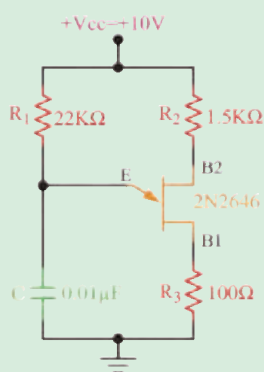
بحث کنید





از شکل موج‌های ایجاد شده در چه مدارهایی استفاده می‌شود؟ تحقیق کنید و نتیجه را به کارگاه ارائه دهید.

مدار نوسان ساز UJT با قطعات واقعی



شکل ۵۹- مدار نوسان ساز

هدف: بررسی شکل موج‌های تولیدی توسط نوسان ساز UJT
مواد، ابزار و تجهیزات: منبع تغذیه - اسیلوسکوپ - پرذبرد - UJT با

شماره ۲N۲۶۴۶ یک عدد - مقاومت‌های ۱۰۰Ω ، $۱/۵K\Omega$ ، $۲۲K\Omega$ - خازن ۱۰nf یک عدد - سیم‌های رابط

۱ مدار (شکل ۵۹) را روی پرذبرد ببندید.

۲ ولتاژ تغذیه را به مدار وصل کنید.

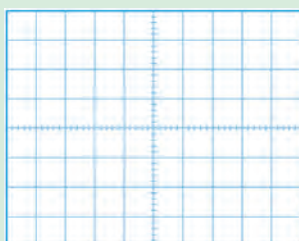
۳ به وسیله اسیلوسکوپ، شکل موج ولتاژ پایه‌های E، B_۱ و B_۲ را با مقیاس مناسب و درج V/D و T/D روی محورهای مختصات در نمودارهای شکل ۶۰ ترسیم کنید.

۴ زمان تناوب موج‌ها را اندازه بگیرید و فرکانس موج‌ها را محاسبه و یادداشت کنید.

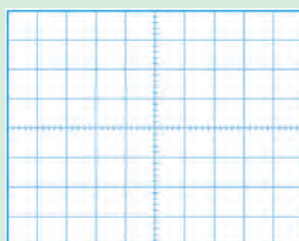
TE=
FE=

TB_۱=
FB_۱=

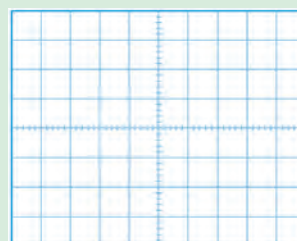
TB_۲=
FB_۲=



پ) شکل موج B_۲



ب) شکل موج B_۱



الف) شکل موج E

شکل ۶۰- شکل موج پایه‌های UJT

خودارزیابی

۱ UJT اول کلمات انگلیسی و به معنی است.

۲ UJT را می‌توان معادل یک و دو مقاومت در نظر گرفت.

۳ ساختمان کریستالی و معادل دیودی UJT را رسم کنید.

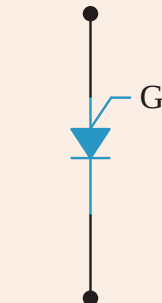
ترانزیستور تک قطبی قابل برنامه ریزی PUT (Programmable UniJunction Transistor)

PUT یک ترانزیستور تک قطبی قابل برنامه ریزی است. ساختمان داخلی آن از چهار لایه نیمه هادی نوع P و N تشکیل شده است. برخلاف تشابه اسمی که بین PUT و UJT وجود دارد، ساختمان داخلی و شیوه کار آنها کاملاً متفاوت و تاحدودی مشابه دیودهای چهار لایه است. در شکل ۶۱-الف ساختمان کریستالی PUT نشان داده شده است. در شکل ۶۲-ب نماد (علامت اختصاری) PUT را مشاهده می کنید. دو نمونه PUT را در شکل ۶۱-پ مشاهده می کنید.

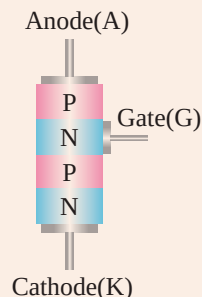
با مراجعه به رسانه های مختلف، علت نام گذاری این ترانزیستور تحت عنوان قابل برنامه ریزی را بیابید و در قالب یک گزارش ارائه دهید.



پ) دو نمونه PUT



ب) علامت اختصاری



شکل ۶۱- ساختمان کریستالی و علامت اختصاری و دو نمونه PUT

همان طوری که در شکل ۶-الف مشاهده می شود، این قطعه چهار لایه PNPN و یک گیت دارد که گیت به لایه N میانی متصل است. این قطعه در واقع نوعی SCR از نوع گیت آندی است.

■ بایاس کردن PUT

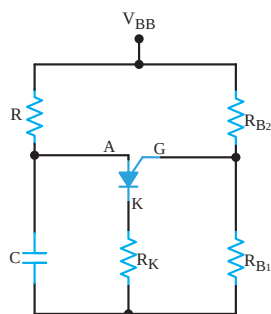
نحوه بایاس کردن PUT در شکل ۶۲ نشان داده شده است. ولتاژ بین دو مقاومت R_{B1} و R_{B2} تقسیم می شود و پتانسیل گیت را نسبت به کاتد همواره مثبت می کند. وقتی ولتاژ آند حدود ۷/۰ ولت بیش تر از پتانسیل گیت شود، اتصال PN موجود بین آند و گیت هادی می شود و PUT را روشن می کند.

■ نوسان ساز PUT

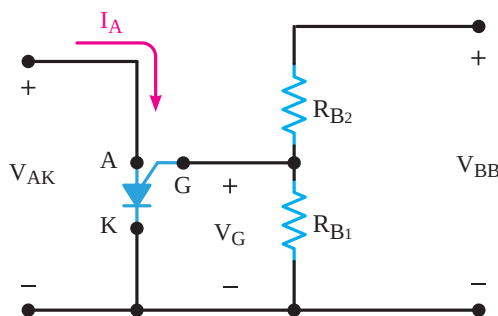
در شکل ۶۳ نوسان ساز PUT را مشاهده می کنید. با وصل کردن منبع تغذیه، خازن C از طریق R شروع به شارژ شدن می کند. وقتی ولتاژ دوسر خازن به ولتاژ وصل PUT برسد آن را روشن می کند. با روشن شدن PUT، خازن به سرعت از طریق PUT و R_K تخلیه می شود. وقتی ولتاژ خازن به یک سطح پایین نزول کرد، PUT باردیگر خاموش می شود و سیکل شارژ دوباره تکرار می گردد. شکل موج پایه های آند، کاتد و گیت این نوسان ساز شبیه نوسان ساز UJT است.

جستجو





شکل ۶۳- مدار نوسان ساز با PUT



شکل ۶۲- چگونگی بایاس نمودن PUT

با مراجعه به رسانه‌های مختلف مشخصات یک نمونه ترانزیستور UJT و PUT را از برگه اطلاعات آنها استخراج کنید و سپس عملکرد آنها را در یک جدول باهم مقایسه کنید. نتیجه را در قالب گزارش ارائه دهید.

فعالیت گروهی



فرکانس موج‌های مدارنوسان ساز به چه عواملی بستگی دارد؟ با همکار گروه خود بحث کنید و نتیجه را یادداشت کنید.

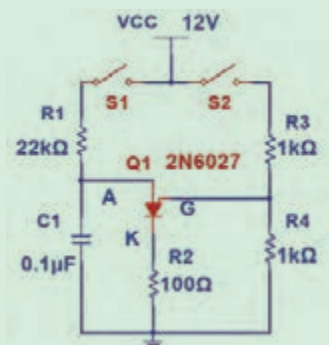
بحث گروهی



مدار نوسان ساز PUT در نرم افزار یا به صورت سخت افزاری

هدف: بررسی شکل موج‌های تولیدی توسط نوسان ساز PUT
مواد، ابزار و تجهیزات: نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر- رایانه - لوازم التحریر

مراحل اجرای کار:



شکل ۶۴- مدار آزمایش

۱) نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر را راه اندازی کنید.

۲) مدار (شکل ۶۴) را در محیط نرم افزار ببندید.

۳) کلید S_2 را وصل کنید و با ولت متر نرم افزار، ولتاژ گیت نسبت به زمین را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

ولت $V_G = \dots\dots\dots$

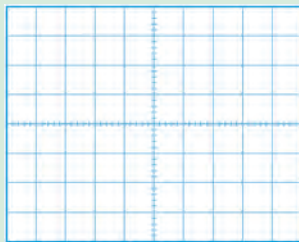
۴) کلید S_1 را وصل کنید ولتاژ آند (ولتاژ دو سر خازن) به حدود چند ولت برسد، PUT هدایت می کند؟

۵) به وسیله اسیلوسکوپ نرم افزار، شکل موج ولتاژ پایه‌های آند (دو سر خازن C_1)، گیت و کاتد نسبت به زمین را مشاهده کنید، سپس در نمودارهای شکل ۶۵ ترسیم کنید.

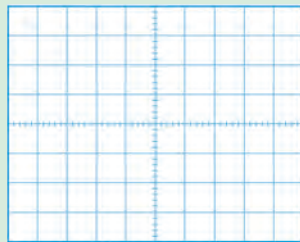
کار عملی ۷



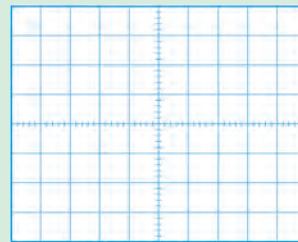
۶ زمان تناوب موج‌ها را اندازه بگیرید و فرکانس موج‌ها را محاسبه و یادداشت کنید.



پ) شکل موج کاتد



ب) شکل موج گیت



الف) شکل موج آند

شکل ۶۵- شکل موج پایه‌های PUT

چگونگی عملکرد مدار شکل ۶۴ را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهید، سپس نحوه تولید شکل موج در این نوسان‌ساز را در قالب یک گزارش ارائه دهید.

$T = \dots\dots\dots$

$F = \dots\dots\dots$

فعالیت گروهی



با جست‌وجو در فضای مجازی، موارد کاربرد PUT را بیاید.

پژوهش کنید



۱ PUT اول کلمات انگلیسی..... و به معنی..... است.

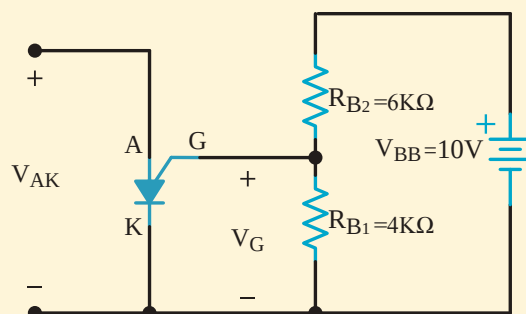
۲ PUT همان SCR از نوع گیت آندی است. ☐ صحیح ☐ غلط

۳ ساختمان کریستالی و نماد مداری PUT را رسم کنید.

۴ مدار نوسان‌ساز شکل ۶۴ چه کاربردی دارد؟

۵ در شکل ۶۶ ولتاژ گیت نسبت به زمین چندولت است؟ محاسبه کنید. ولتاژ آند به چندولت برسد PUT وصل می‌کند؟

خودارزیابی



شکل ۶۶

ارزشیابی شایستگی تست عملکرد قطعات الکترونیک صنعتی

نام و نام خانوادگی:		شماره ملی:		تاریخ ارزشیابی:	
کد حرفه	۸۲۱۲۲۳	حرفه	مونتاز کاران تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی	کد پیمانانه/پودمان	۸۲۱۲۱۳۰۱۳
کد وظیفه شغل	۸۲۱۲۲۳۰۱	وظیفه شغل	ساخت بردهای الکترونیکی	سطح صلاحیت	۳
کد کار	۸۲۱۲۲۳۰۱۵۱	کار	تست عملکرد قطعات الکترونیک صنعتی	سطح شایستگی	مهارت

ردیف	مراحل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص/ها/داوری/نمره دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	ترسیم و شبیه سازی مدار در نرم افزار و بررسی عملکرد قطعات پیش از مونتاز روی بردبرد	نرم افزار شبیه سازی مدار، رایانه، نقشه مدار و برگه اطلاعات قطعات الکترونیکی، بردبرد و زمان تعیین شده در کارگاه الکترونیک	مشاهده عملکرد، چک لیست مهارتی، بررسی صحت ترسیم و نتایج شبیه سازی مدار	ترسیم و شبیه سازی صحیح و بررسی کامل عملکرد قطعات	۳	
				ترسیم و شبیه سازی قابل قبول با خطای جزئی در تحلیل عملکرد	۲	
				ترسیم و شبیه سازی نادرست و عدم بررسی صحیح عملکرد قطعات	۱	
۲	انتخاب قطعات استاندارد، بررسی سلامت آنها و مونتاز صحیح و ایمن مدار روی بردبرد با رعایت ترتیب پایه ها	بردبرد، قطعات الکترونیکی استاندارد، مولتی متر، سیم های اتصال، منبع تغذیه، نقشه مدار و برگه اطلاعات قطعات در زمان تعیین شده و کارگاه الکترونیک	مشاهده عملکرد، بررسی صحت انتخاب و سلامت قطعات و ارزیابی صحت اتصالات روی بردبرد	انتخاب قطعات استاندارد و سالم، مونتاز دقیق و با رعایت ایمنی	۳	
				انتخاب و مونتاز قطعات با خطای جزئی و عملکرد قابل قبول مدار	۲	
				انتخاب نادرست قطعات و مونتاز اشتباه و عملکرد نادرست	۱	
۳	تست عملی مدار با دستگاه های اندازه گیری و رفع خطاهای سیم کشی، اتصالات یا قطعات معیوب	بردبرد منبع تغذیه، مولتی متر، اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور، قطعات مدار و نقشه مدار در زمان تعیین شده و کارگاه الکترونیک	انجام صحیح تست مدار با دستگاه های اندازه گیری، تشخیص دقیق خطاها و رفع کامل آنها	تست دقیق، تشخیص سریع خطاها و رفع کامل آنها	۳	
				تست و رفع خطاهای ساده با دقت متوسط و خطاهای جزئی	۲	
				ضعف در تست مدار و رفع خطاها	۱	
۴	تنظیم و ارائه مستندات و گزارش کار	فرم گزارش کار یا کتاب، داده ها و نتایج آزمایش، نمودارها و تصاویر مدار در زمان تعیین شده و کلاس یا کارگاه الکترونیک	دقت در ثبت مستندات، کامل بودن گزارش، نظم و ساختار ارائه و بررسی توضیح مراحل و نتایج	گزارش و مستندات دقیق و کامل	۳	
				گزارش نسبتاً کامل بانقص های جزئی در توضیحات یا مستندات	۲	
				گزارش ناقص یا بدون مستندات	۱	
	شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:	کارگاه الکترونیک مجهز به ابزار و دستگاه های شبیه سازی مدارها و رایانه، تجهیزات حفاظت فردی و قطعات مورد نیاز، انجام فعالیت های کارگاهی مطابق با دستورالعمل های ایمنی و بهداشت حرفه ای	مشاهده رفتار هنرجو در حین انجام فعالیت، میزان رعایت اصول ایمنی و نظم، فعالیت های گروهی، مدیریت زمان و مسئولیت پذیری	رعایت کامل ایمنی، بهداشت و محیط زیست، رفتار حرفه ای، نظم و مسئولیت پذیری بالا	۲	
				رعایت نسبی ایمنی و بهداشت با خطاهای جزئی، رفتار کاری مناسب	۱	

ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)		بلی ☐
		خیر ☐

توضیحات:

۱- معیار شایستگی انجام کار:

- کسب حداقل نمره ۲ در همه شاخص ها و اجرای صحیح تمامی مراحل شامل شبیه سازی مدار، انتخاب و تست قطعات، مونتاز صحیح روی بردبرد، تست و عیب یابی مدار و ارائه گزارش کار (مراحل بحرانی).

- کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش

- کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

۲- تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر از این که یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه ای انجام می شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

- مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه ریزی و تحلیل، پاسخ گویی برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت ها

- تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.

واحد یادگیری ۲: اجرای پروژه الکترونیک صنعتی

آیا تا به حال فکر کرده‌اید؟

- برای کنترل دور موتور و کنترل میزان روشنایی از چه مدارهایی استفاده می‌شود؟
- رله‌های جامد با رله‌های الکترومغناطیسی چه تفاوتی دارند؟
- MOSFET های قدرت چه نقشی در مدارهای صنعتی دارند؟
- کاربرد IGBT در صنعت چیست؟

الکترونیک قدرت یا صنعتی محدود به ترستورها و ترایاک و سایر قطعات، شناسایی و راه‌اندازی آنها نمی‌شود بلکه به طراحی، ساخت و کاربرد تجهیزات الکترونیکی در محیط‌های صنعتی می‌پردازد. لذا نیروی محرکه تحول در صنایع مدرن است. این فناوری در کنترل دقیق سرعت، گشتاور و موقعیت موتورهای الکتریکی AC و DC، امکان اتوماسیون و رباتیک‌سازی خطوط تولید و پایش صنعتی، در صنایع خودروسازی، اینترنت اشیا و مواردی که به نیروی محرکه بالا نیاز است کاربرد فراوان دارد. برخی مزایای الکترونیک قدرت را می‌توان در افزایش بهره‌وری، افزایش در دقت و کیفیت محصولات صنعتی، کاهش هزینه عملیاتی و افزایش ایمنی نام برد. در این واحد یادگیری با برخی دیگر از قطعات قدرت مانند MOSFET قدرت و IGBT آشنا می‌شوید و به اجرای پروژه صنعتی می‌پردازید. در اجرای پروژه رعایت نکات ایمنی بسیار مهم است. توصیه اکید می‌شود در انتخاب پروژه با هنرآموز محترم مشاوری و پروژه به تأیید ایشان برسد. رعایت شایستگی‌های غیر فنی مانند کارگروهی، رعایت نظم و ترتیب، توجه به فناوری‌های نوین و رعایت نکات ایمنی و زیست محیطی مهم بوده و باید در مراحل انجام کار به آنها توجه شود.

استاندارد عملکرد

راه‌اندازی و عیب‌یابی پروژه کاربردی الکترونیک صنعتی با رعایت استانداردهای تعریف‌شده.

مدار کنترل دور موتور و روشنایی

کار عملی ۱

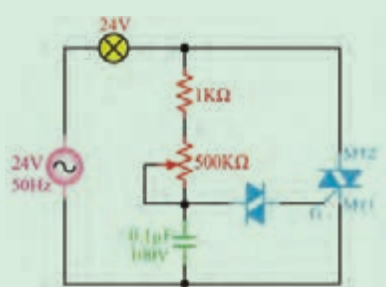


مدار دیمر با قطعات واقعی

هدف: اجرای مدار کنترل فاز توسط دیاک و تریاک با قطعات واقعی

مواد، ابزار و تجهیزات: منبع تغذیه یک دستگاه - اسیلوسکوپ یک دستگاه - بردبرد یک قطعه - دیاک

یک عدد - تریاک شماره BT136 یک عدد - مقاومت $1K\Omega$ $\frac{1}{4}$ وات یک عدد - لامپ ۲۴ ولت ۳ وات
 یک عدد - پتانسیومتر $500K\Omega$ یک عدد - ترانسفورماتور ۲۴-۲۲۰ ولت یک عدد - سیم‌های رابط به
 مقدار کافی



نکته بسیار مهم ایمنی: برای جلوگیری از خطر برق‌گرفتگی، آزمایش مدار دیمر را با ولتاژ ۲۴ ولت انجام دهید. این ولتاژ به وسیله ترانسفورماتور ۲۴-۲۲۰ ولت تأمین می‌شود. هنگام اتصال ترانسفورماتور به برق شهر، کلیه نکات ایمنی را رعایت کنید.

مراحل اجرای کار

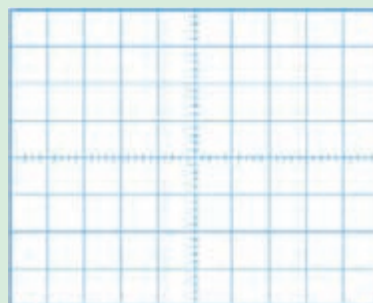
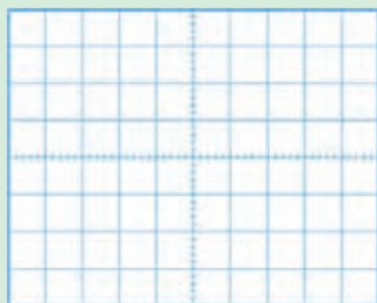
۱ مدار (شکل ۶۷) را روی بردبرد ببندید.

۲ ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور را به مدار وصل کنید.

۳ سرمغیر پتانسیومتر را تغییر دهید. در نور لامپ چه تغییری

ایجاد می‌شود؟ شرح دهید.

۴ شکل موج دو سر بار را به وسیله اسیلوسکوپ در دو حالت، مقدار اهم پتانسیومتر در حداقل و مقدار اهم پتانسیومتر در حد وسط ببینید. شکل موج‌ها را با مقیاس مناسب (T/D و V/D روی محورهای مشخص شود) در نمودارهای شکل ۶۸ ترسیم کنید.



(الف) شکل موج دو سر بار، پتانسیومتر در حداقل (ب) شکل موج دو سر بار، پتانسیومتر در حد وسط

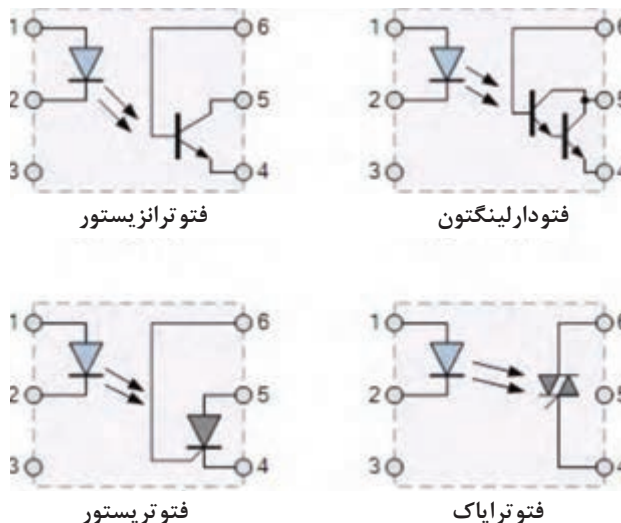
شکل ۶۸ - شکل موج دو سر بار

۵ چون دیاک و تریاک در هر قطع و وصل نویز ایجاد می‌کنند، باید برای حذف نویز از فیلتر L, C استفاده شود.

رله جامد (SSR) (Solid State Relay):

رله جامد یک کلید الکترونیکی نیمه هادی است که بدون هیچ قطعه متحرک مکانیکی، کار یک رله مکانیکی را انجام می‌دهد. SSR از سه بخش تشکیل می‌شود.

۱ بخش ورودی: معمولاً یک اپتوکوپلر بخش ورودی SSR را تشکیل می‌دهد. اپتوکوپلر از LED و حسگر نوری تشکیل شده است. حسگر نوری می‌تواند یک فتوترانزیستور یا فتودیود یا فتوتریستور یا فتوترایاک باشد. شکل ۶۹ چند نمونه مدار اپتوکوپلر و در شکل ۷۰ دو نمونه اپتوکوپلر نشان داده شده است. با ولتاژ کم DC بخش ورودی فعال می‌شود.



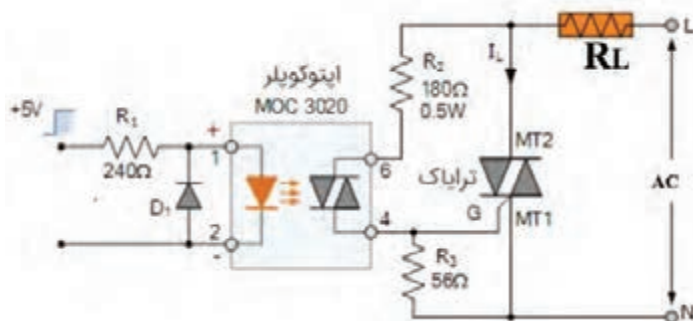
شکل ۶۹ - مدار چند نمونه اپتوکوپلر



شکل ۷۰ - دو نمونه اپتوکوپلر

۲ بخش راه‌انداز (Driver): مدار راه‌انداز سیگنال نوری را به ولتاژ مناسب برای کلید قدرت تبدیل می‌کند.

۳ بخش خروجی: در این بخش کلید قدرت قرار دارد. یک یا چند قطعه نیمه هادی قدرت مانند ترایاک، تریستور یا MOSFET قدرت یا IGBT عمل سوئیچ را انجام می‌دهند. در شکل ۷۱ مدار یک نمونه SSR را مشاهده می‌کنید. در این مدار از یک ترایاک به عنوان سوئیچ قدرت استفاده شده است.



شکل ۷۱ - مدار یک نمونه SSR



شکل ۷۲- یک نمونه SSR

مزایای SSR:

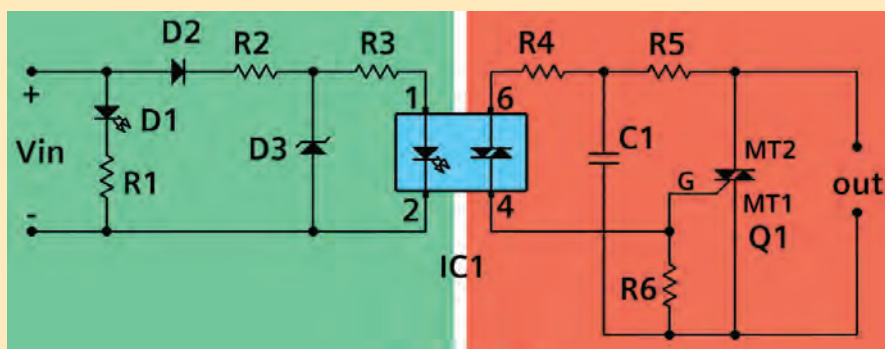
- طول عمر نامحدود
 - قطع و وصل بدون صدا و لرزش
 - سوئیچینگ بسیار سریع
 - عدم ایجاد جرقه و قوس الکتریکی
 - ایزولاسیون کامل بین ورودی کنترل و خروجی قدرت
- در شکل ۷۲ یک نمونه رله جامد صنعتی را مشاهده می کنید.

پروژه ساخت مدار رله جامد صنعتی

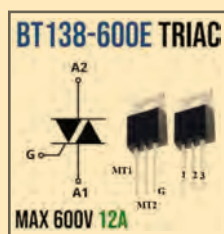
شرح پروژه

نقشه فنی مدار پروژه در شکل ۷۳ رسم شده است. به ورودی مدار ولتاژ DC اعمال می شود و از طریق خروجی می توان به مدارهای مورد نظر فرمان داد. اگر به ورودی کنترل سوئیچ یک ولتاژ مستقیم از ۵ تا ۱۲ وصل کنیم، ترایاک موجود در خروجی رله روشن می شود. در شکل ۷۴ یک نمونه ترایاک و مشخصات آن نشان داده شده است. از آن جایی که از اپتوکوپلر (Opto Coupler) برای جداسازی بین ورودی و خروجی مدار بخش کلیدزنی، استفاده شده است، این دو بخش هیچ گونه ارتباط الکتریکی با یکدیگر ندارند.

برای راه اندازی رله جامد باید حتماً تغذیه AC و بار خروجی به رله وصل باشد تا رله عمل کند. چرا؟



شکل ۷۳- نقشه شماتیک رله جامد



شکل ۷۴- یک نمونه ترایاک

نکته



■ شرح مدار داخلی رله جامد

با اتصال صحیح ولتاژ به ورودی مدار دیود D_1 (LED) روشن می‌شود. اگر ولتاژ ورودی با پلاریته معکوس وصل شود، دیود D_2 مانع آسیب رسیدن به اپتوکوپلر در اثر ولتاژ معکوس می‌شود. مقاومت R_2 و دیود زener D_3 مدار تثبیت‌کننده ولتاژ هستند. این مدار ولتاژ ورودی ۵ الی ۱۲ ولت را به ولتاژ ثابت ۳/۳ ولت تبدیل می‌کند. در صورتی که به ورودی اپتوکوپلر ولتاژی حدود ۱/۲ ولت با جریان بیشتر از ۵ میلی آمپر وصل شود باعث هدایت دیاک داخلی اپتوکوپلر در پایه‌های خروجی (۴ و ۶) اپتوکوپلر می‌شود. با هدایت دیاک داخل اپتوکوپلر، ولتاژ پایه MT_2 ترایاک از طریق مقاومت‌های R_4 و R_5 به گیت G ترایاک می‌رسد و آن را وصل می‌کند. مقاومت R_6 برای جلوگیری از تأثیر نویز بر روی گیت ترایاک به کار رفته است. ترایاک به عنوان قطعه کلیدزنی اصلی بوده و مانند یک کلید، ترمینال‌های خروجی را به هم وصل می‌کند. می‌توان به جای $MOC3021$ از اپتوکوپلرهای $MOC3022$ یا $MOC3023$ نیز استفاده کرد.

بحث کنید



با اعضای گروه خود درباره نقش سایر قطعات موجود در مدار بحث کنید و نتیجه را در قالب یک گزارش ارائه دهید.

■ فهرست قطعات مورد نیاز مدار: قطعات مورد نیاز پروژه در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳

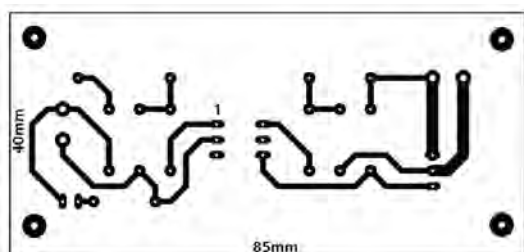
مشخصات	قطعه	مشخصات	قطعه
دیود LED قرمز ۵ میلی متری	D_1	$2/2K\Omega - 1/4W$	R_1, R_5
$1N4007$	D_2	$120\Omega - 1W$	R_2
دیود زener ۳/۳V با توان ۱/۴W	D_3	$240\Omega - 1/4W$	R_3
ترایاک BT138	Q_1	$180\Omega - 1/4W$	R_4
اپتوکوپلر $MOC3021$	IC_1	$10K\Omega - 1/4W$	R_6
ترمینال ۵mm	TB_2, TB_1	$100nF - 400V$	C_1

نکته



در صورتی که بخواهید از رله جهت قطع و وصل جریان‌های بیشتر از ۲ آمپر استفاده کنید، باید ترایاک را مانند شکل ۷۵ روی گرماگیر نصب کنید. توجه داشته باشید که بدنه فلزی ترایاک BT138 از داخل قطعه به پایه MT_2 متصل است. لذا باید قسمت فلزی قطعه با بدنه گرماگیر (Heatsink) توسط طلق مخصوص و خمیر سیلیکونی از نظر الکتریکی عایق شود.

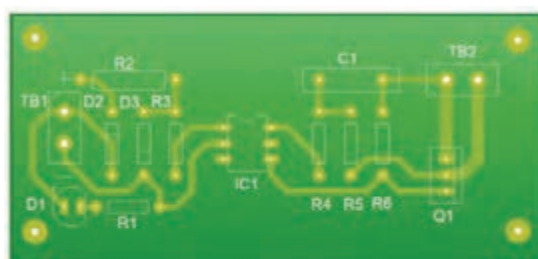
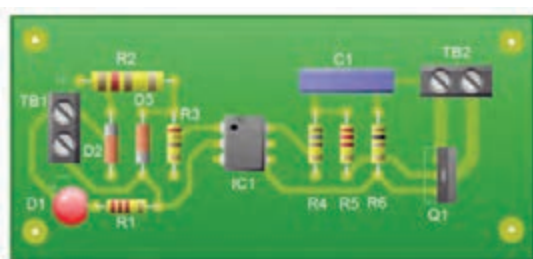
طرح مدار چاپی و نقشه چیدمان قطعات: طرح نمونه فیبر مدار چاپی در ابعاد ۸۵ میلی متر در ۴۰ میلی متر در شکل ۷۶ آورده شده است. در شکل ۷۷ چگونگی چیدمان قطعات بر روی فیبر مدار چاپی را مشاهده کنید.



شکل ۷۶- طرح مدار چاپی پروژه



شکل ۷۵- ترایاک متصل شده به گرماگیر

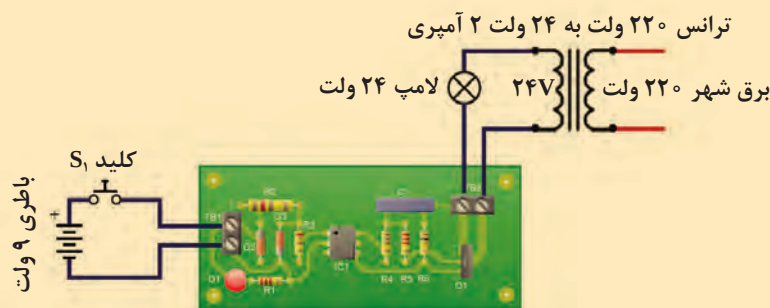


شکل ۷۷- راهنمای چیدمان قطعات روی برد

تست پروژه: بعد از مونتاژ مدار و اتمام لحیم کاری، فیبر را توسط اسپری خشک تمیز کنید تا فیبر از هرگونه روغن لحیم پاک شود سپس اقدام به تست مدار کنید. برای تست مدار از ترانسفورماتور ۲۲۰ ولت به ۲۴ ولت با جریان دهی ۲ آمپر و یک لامپ ۲۴ ولت استفاده کنید. مطابق شکل ۷۸ با استفاده از باتری ۹ ولتی و یک کلید، مدار ورودی را فعال کنید. با وصل کردن کلید S_1 لامپ متصل شده به خروجی رله جامد در خروجی روشن و با قطع کردن کلید لامپ خاموش می شود. قطع و وصل کلید را چندبار تکرار کنید تا از عملکرد صحیح مدار اطمینان حاصل نمایید. قراردادن پروژه درداخل یک جعبه عایق مناسب، می تواند ایمنی بیشتری را فراهم کند و باعث بالا رفتن طول عمر آن شود.

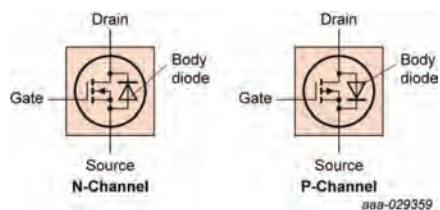
طرح مدارچاپی داده شده یک نمونه طراحی است. برای اجرای پروژه لازم است، طراحی مدارچاپی را با ابعاد تعریف شده، خودتان انجام دهید.

توجه



شکل ۷۸- تست صحت عملکرد مدار

■ MOSFET قدرت



شکل ۷۹- نماد ماسفت با کانال P و N



شکل ۸۰- یک نمونه ماسفت

با ساختمان ترانزیستورهای اثرمیدان و عملکرد آنها آشنا شده‌اید. ماسفت‌های قدرت نوعی ترانزیستور اثرمیدان با ساختار عمودی هستند که برای سوئیچینگ و کنترل توان بالا طراحی شده‌اند. با اعمال ولتاژ به پایه گیت جریان بین درین و سورس کنترل می‌شود. در شکل ۷۹ نماد مداری ماسفت را همراه با دیود مشاهده می‌کنید. در شکل ۸۰ یک نمونه ماسفت نشان داده شده است. درنوع با کانال N اگر ولتاژ گیت سورس صفر یا منفی شود ماسفت قطع نموده و مانند یک کلید باز عمل می‌کند و هیچ جریانی بین درین و سورس برقرار نیست. با اعمال ولتاژ مثبت بین گیت و سورس و قرارگرفتن ماسفت در ناحیه اشباع، ماسفت مانند کلید بسته عمل می‌کند.

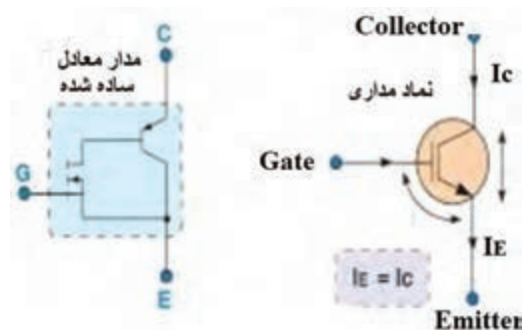
مزایای ماسفت قدرت

- دارای سرعت کلیدزنی (سوئیچینگ) بالا است و می‌تواند در فرکانس‌های بالا تا حدود بالاتر از یک مگاهرتز در حدود نانو ثانیه قطع و وصل کند.
- چون در حالت روشن مقاومت کم دارد تلفات توان آن کم بوده و بازده بالایی دارد.
- امپدانس ورودی زیاد آن سبب می‌شود در ورودی جریان بسیار ناچیز بکشد لذا کنترل شده با ولتاژ بوده و راه اندازی آن ساده است.
- به علت وجود دیود معکوس در مقابل ولتاژ معکوس برگشتی حفاظت می‌شود.
- پایداری حرارتی خوبی دارد.

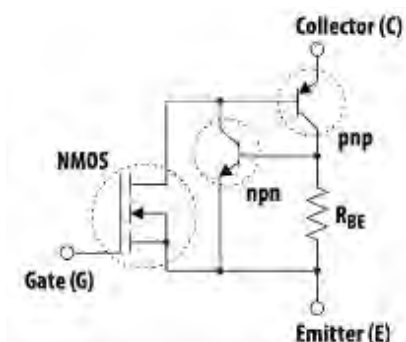
کاربرد: از ماسفت‌های قدرت در کنترل موتورهای صنعتی، منابع تغذیه سوئیچینگ، مبدل‌های DC به DC، اینورترها، کنترل کننده‌های روشنایی، سیستم‌های جوشکاری، سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر، سیستم‌های UPS، کنترل کننده‌های دما و مبدل‌های فرکانس استفاده می‌شود.

IGBT: ترانزیستور IGBT از ترکیب دو ترانزیستور BJT و MOSFET ساخته می‌شود. امپدانس ورودی زیاد و سرعت سوئیچینگ بالای MOSFET و ولتاژ اشباع کم BJT ترانزیستور IGBT را با خواص جدید ایجاد نموده است.

IGBT اول کلمات انگلیسی Insulated Gate Bipolar Transistor به معنی ترانزیستور دوقطبی با گیت عایق شده است. پایه‌های IGBT گیت، کلکتور و امیتر نام دارند. این ترانزیستور مانند یک MOSFET قطعه‌ای کنترل شده با ولتاژ است که قادر به عبور جریان زیادی از کلکتور امیتر می‌باشد. البته ترانزیستور BJT با ولتاژ و جریان بالا در دسترس هستند ولی سرعت سوئیچینگ آنها پایین است. در شکل ۸۱ مدار معادل ساده شده IGBT و نماد فنی آن نشان داده شده است. در شکل ۸۲ مدار معادل دیگری از IGBT رسم شده است. در شکل ۸۳ دو نمونه IGBT را مشاهده می‌کنید.



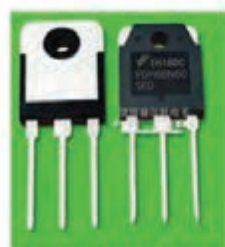
شکل ۸۱- مدار معادل ساده شده و نماد فنی IGBT



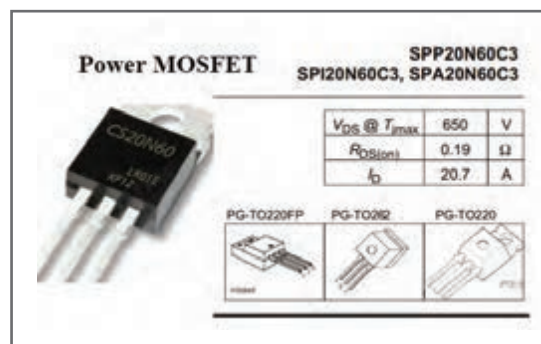
شکل ۸۲- مدار معادل دیگری از IGBT



شکل ۸۳- دو نمونه IGBT



Transistor 60N60Fdi | 60A 600V Igbt |



شکل ۸۴- برخی مشخصات یک نمونه IGBT و یک نمونه MOSFET قدرت

با اعمال ولتاژ مثبت به دو سرگیت و امیتر می‌توان IGBT را روشن نمود و با صفرشدن یا کمی منفی‌شدن ولتاژگیت می‌توان آن را خاموش کرد. درواقع IGBT مانند یک کلید فوق‌العاده سریع عمل می‌کند و با اعمال ولتاژ کم به گیت می‌تواند جریان بسیار بالا تا صدها آمپر و ولتاژ بالا تا چندکیلو ولت را سوئیچ کند. هنگامی که ولتاژ مثبت به گیت داده شود، از کلکتور به امیتر یک کانال رسانا تشکیل شده و جریان از کلکتور به امیتر برقرار می‌شود. با قطع ولتاژگیت، جریان قطع می‌شود. IGBT فقط دریک جهت از کلکتور به امیتر جریان را هدایت می‌کند. برای جریان معکوس نیاز به دیود موازی است.

■ کاربردها

IGBT به‌طور گسترده درالکترونیک قدرت مانند اینورترها، منابع تغذیه (UPS)، اینورترهای خورشیدی و نیروگاه‌های تجدیدپذیر، جوشکاری اینورتری، کوره‌های القایی و دستگاه‌های ذوب فلزات، لوازم خانگی صنعتی، قطارهای برقی، خودروهای الکتریکی و تجهیزات پزشکی کاربرد دارد.

MOSFET قدرت یا IGBT کدام را باید انتخاب نمود؟

اگر فرکانس کلیدزنی (سوئیچینگ) بالاتر از ۵۰ کیلوهرتز تا چند مگاهرتز است و ولتاژ کم‌تر از ۲۵۰ ولت و جریان کم تا متوسط حدود چند ده آمپر و در منابع تغذیه کوچک و مبدل‌های DC به DC و درایورهای LED و شارژرهای سریع MOSFET قدرت ارجحیت دارد.

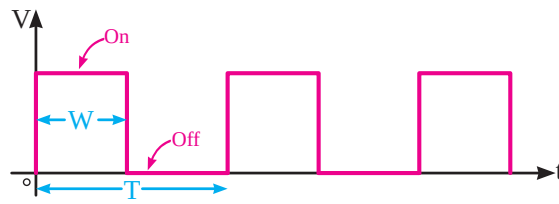
در ولتاژهای بالا بیشتر از ۳۰۰ تا چندکیلوولت و جریان بالا از ده‌ها آمپر تا هزاران آمپر و فرکانس متوسط تا حدود ۲۰ کیلوهرتز استفاده از IGBT توصیه می‌شود. در شکل ۸۴ برخی مشخصات MOSFET قدرت و IGBT برای مقایسه آورده شده است.

■ پروژه کنترل دور موتور با مدولاسیون عرض پالس

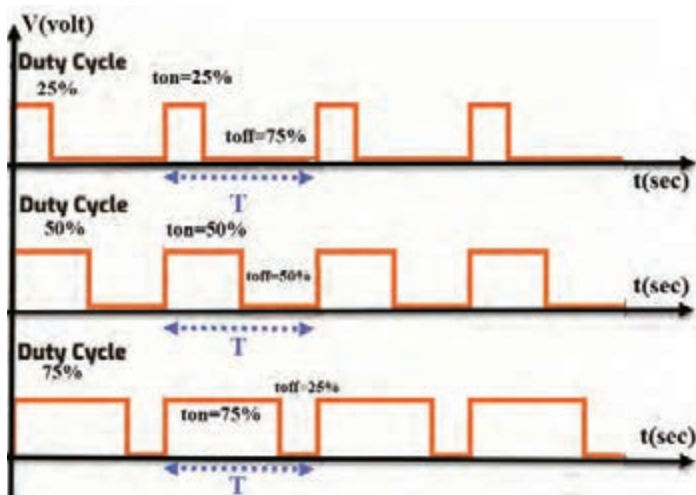
درمدولاسیون عرض پالس زمان تناوب پالس ثابت است ولی چرخه کار یا سیکل وظیفه پالس تغییر می‌کند و قدرت موثر خروجی را تغییر می‌دهد.

چرخه کار (Duty Cycle): دریک پالس مطابق شکل ۸۵ نسبت زمان وصل پالس (W) به زمان تناوب (T) را چرخه کار یا سیکل وظیفه (Duty Cycle) می‌گویند و آن را با D نشان می‌دهند.

$$D = \frac{\text{پهنای پالس}}{\text{زمان تناوب}} = \frac{W}{T}$$



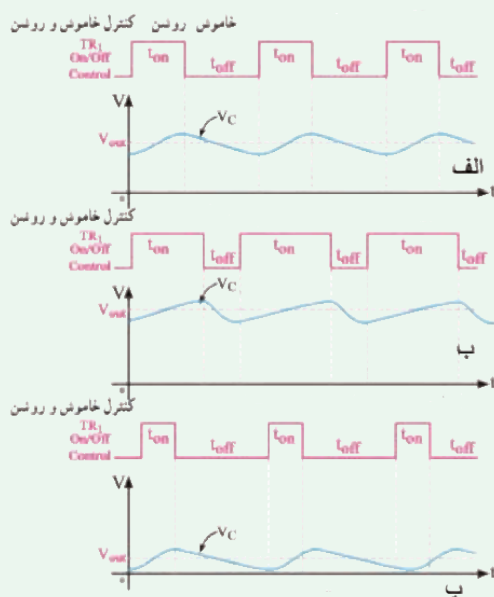
شکل ۸۵- پالس و زمان وصل و قطع آن



شکل ۸۶- پالس‌های با سیکل وظیفه متفاوت

با تغییر چرخه کار پالس، می‌توان ولتاژ خروجی را کنترل نمود. در شکل ۸۶ سه پالس با زمان تناوب یکسان و سیکل وظیفه متفاوت را مشاهده می‌کنید.

پاسخ دهید



شکل ۸۷- پالس‌های با چرخه کار متفاوت و میزان ولتاژ خروجی

اگر سه پالس مطابق شکل ۸۷ را توسط خازن صاف کنیم، ولتاژ خروجی هر پالس را در شکل مشاهده می‌کنید. باتوجه به شکل به سوالات پاسخ دهید.
۱ افزایش چرخه کار پالس، ولتاژ خروجی را افزایش می‌دهد.

☐ غلط ☐ صحیح

۲ ولتاژ خروجی به چرخه کار بستگی دارد.

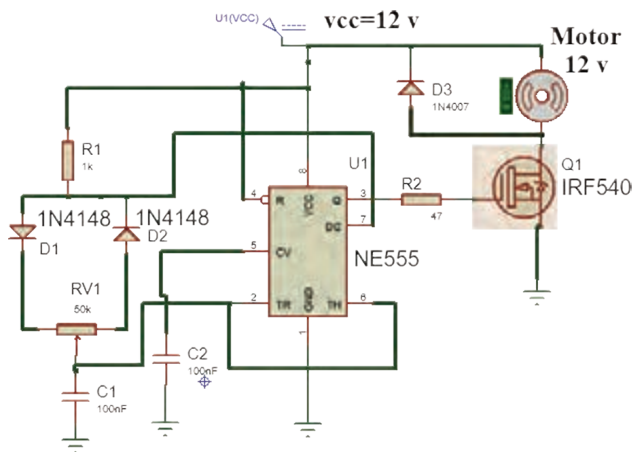
☐ غلط ☐ صحیح

۳ کدام پالس سیکل وظیفه بزرگ‌تری دارد؟

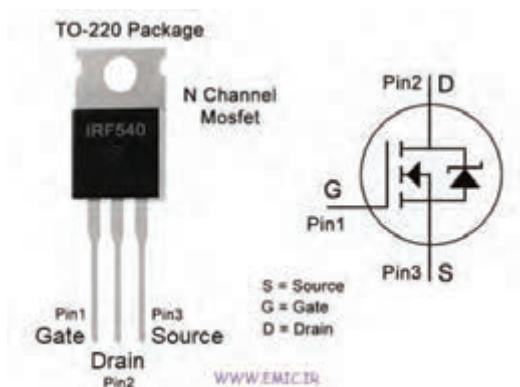
☐ الف ☐ ب ☐ پ

۴ در کدام پالس معدل ولتاژ خروجی کم‌تر است؟

☐ الف ☐ ب ☐ پ



شکل ۸۸- مدار مولد PWM



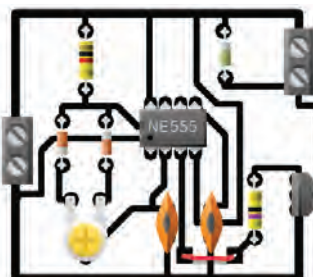
شکل ۸۹- پایه‌های ماسفت



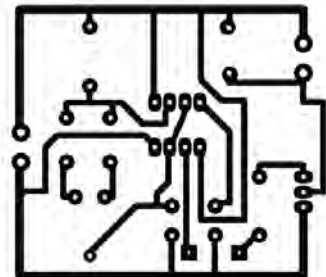
شکل ۹۰- بلوک دیاگرام مدار



شکل ۹۳- یک نمونه مدار ساخته شده



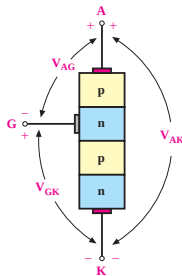
شکل ۹۲- جای قطعات



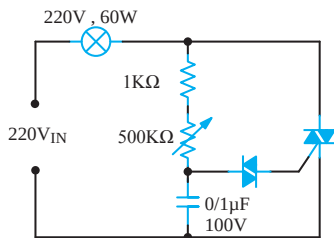
شکل ۹۱- طرح مدار چاپی

■ **شرح مختصر عملکرد مدار پروژه PWM**
در مدار شکل ۸۸ از آی‌سی ۵۵۵ به عنوان مولد پالس استفاده شده است. این آی‌سی می‌تواند به صورت مدولاسیون عرض پالس (PWM=Pulse Width Modulation) به کار گرفته شود. در PWM فرکانس پالس ثابت است و عرض پالس تغییر می‌کند. قدرت مؤثر خروجی بستگی به این دارد که چه درصدی از زمان تناوب، پالس در حالت (۱) یا روشن قرار دارد. با تغییر پتانسیومتر عرض پالس تغییر نموده و دور موتور کم یا زیاد می‌شود. درایور موتور DC ترانزیستور ماسفت قدرت IRF540 است. این ترانزیستور تحمل ولتاژ ۱۰۰ ولت، جریان ۳۳ آمپر و توان تلفاتی ۱۴۰ وات را دارد. مقاومت روشن آن پایین و سرعت سوئیچینگ آن بالا است و پایداری حرارتی خوبی دارد. اغلب در منابع تغذیه سوئیچینگ و درایور موتورهای DC مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۸۹ شکل ظاهری و شماره پایه‌های آن رسم شده است. در شکل ۹۰ بلوک دیاگرام مدار در شکل ۹۱ طرح مدار چاپی و در شکل ۹۲ جای قطعات را مشاهده می‌کنید. یک نمونه مدار ساخته شده در شکل ۹۳ نشان داده شده است.

- ۱ نماد (علامت اختصاری) قطعات زیر را رسم کنید و نام پایه‌های هر قطعه را مشخص کنید.
الف) دیود چهارلایه (ب) ترایاک (پ) PUT (ت) UJT
- ۲ ساختمان کریستالی و علامت اختصاری SCR را رسم کنید و روش روشن کردن آن را شرح دهید.
- ۳ ساختمان کریستالی شکل ۹۴ مربوط به کدام قطعه است؟
الف) دیاک (ب) ترایاک (پ) SCR (ت) PUT
- ۴ فقط SCR در نیم‌سیکل مثبت و ترایاک در هر دو نیم‌سیکل مثبت و منفی وصل می‌شود.



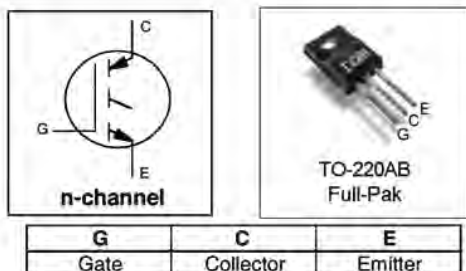
شکل ۹۴



شکل ۹۵

IRG7IC28UPbF

Key Parameters		
$V_{CE \text{ min}}$	600	V
$V_{CE(ON) \text{ typ. @ } I_C = 40A}$	1.70	V
$I_{AP \text{ max @ } T_C = 25^\circ C \text{ ①}}$	225	A
$T_J \text{ max}$	150	$^\circ C$



شکل ۹۶

صحيح □ غلط □

۵ در مدار شکل ۹۵:

الف- نام مدار را بنویسید.

ب- نام قطعات الکترونیک صنعتی به کاررفته

در مدار را بنویسید.

پ- لامپ می‌تواند در هر دو نیم‌سیکل روشن شود.

صحيح □ غلط □

۶ مدار معادل ترایاک را با دو SCR رسم کنید و

روش‌های روشن کردن آن را شرح دهید.

۷ PUT همان SCR گیت آندی است.

صحيح □ غلط □

۸ PUT اول کلمات انگلیسی است

و ولتاژ آن قابل برنامه‌ریزی است.

۹ در PUT هرگاه پتانسیل آند ۰/۷ ولت بیش‌تر از

پتانسیل گیت شود PUT وصل می‌کند.

صحيح □ غلط □

۱۰ SSR اول کلمات انگلیسی.....

..... و به معنی.....

.....است.

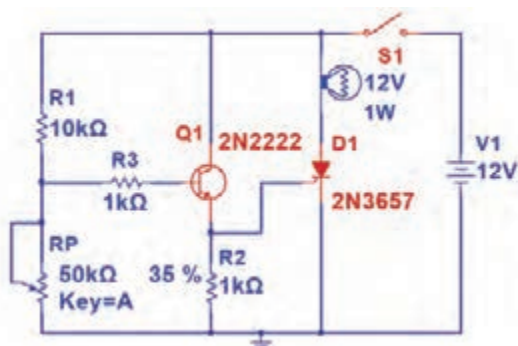
این مدار الکترونیکی جای چه قطعه‌ای به کار

می‌رود؟ نقش اپتوکوپلر را در مدار آن شرح دهید.

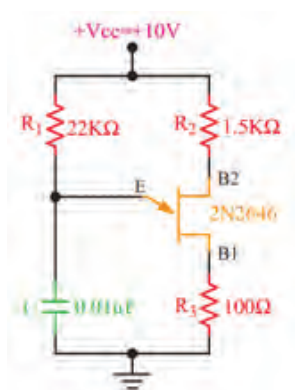
۱۱ باتوجه به شکل ۹۶ V_{CE} در حالت روشن

..... ولت و جریان قابل تحمل

..... آمپر است.



شکل ۹۷



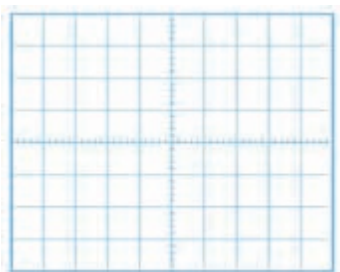
شکل ۹۸- مدار نوسان ساز

تعمیق و تثبیت یادگیری

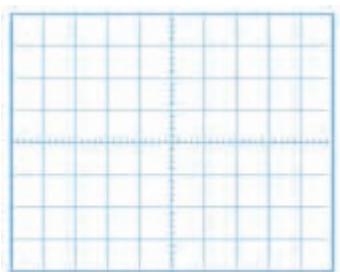
- ۱ نرم افزار مولتی سیم یا هر نرم افزار مناسب دیگر را راه اندازی کنید.
- ۲ مدار شکل ۹۷ را در محیط نرم افزار ببندید.
- ۳ R_p را در صفر درصد قرار دهید سپس کلید S_1 را وصل کنید. آیا لامپ روشن می شود؟ علت را شرح دهید.
- ۴ به تدریج سر متغیر پتانسیومتر را تغییر دهید. در مرحله ای لامپ روشن می شود. علت را شرح دهید.
- ۵ بعد از روشن شدن لامپ، آیا می توان با تغییر مقاومت پتانسیومتر، لامپ را خاموش نمود؟ این موضوع را تجربه کنید و علت را شرح دهید.

الگوی آزمون با قطعات واقعی پایان واحد یادگیری

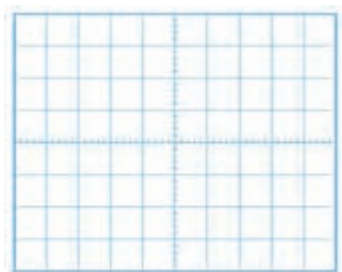
- ۱ مدار شکل ۹۸ را روی برد برد ببندید.
- ۲ ولتاژ تغذیه را به مدار وصل کنید.
- ۳ به وسیله اسیلوسکوپ، شکل موج ولتاژ پایه های E، B_1 و B_2 را در نمودارهای شکل ۹۹ ترسیم کنید.
- ۴ زمان تناوب موج ها را اندازه بگیرید و فرکانس موج ها را محاسبه و یادداشت کنید.



پ) شکل موج کاتد



ب) شکل موج گیت



الف) شکل موج آند

شکل ۹۹

ارزشیابی شایستگی اجرای پروژه الکترونیک صنعتی

نام و نام خانوادگی:		شماره ملی:		تاریخ ارزشیابی:	
کد حرفه	۸۲۱۲۲۳	حرفه	مونتاز کاران تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی	کد پیمانانه / پودمان	۸۲۱۲۱۳۰۱۵
کد وظیفه شغل	۸۲۱۲۲۳۰۱	وظیفه شغل	ساخت بردهای الکترونیکی	سطح صلاحیت	۳
کد کار	۸۲۱۲۲۳۰۱۵۲	کار	اجرای پروژه الکترونیک صنعتی	سطح شایستگی	مهارت

ردیف	مراحل کار	شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...)	ابزارهای ارزشیابی	استاندارد (شاخص ها/ داوری / نمره دهی)	نتایج ممکن	نمره کسب شده
۱	مونتاژ قطعات، بررسی مدار و اطمینان از صحت اتصالات قبل از روشن کردن با رعایت استانداردها	مولتی متر، اسیلوسکوپ، منبع تغذیه، بردبرد، سیم های اتصال، نقشه مدار و ابزار بررسی اتصالات در زمان تعیین شده و کارگاه الکترونیک	مشاهده عملکرد، بررسی صحت مونتاژ قطعات و کنترل اتصالات پیش از روشن کردن مدار	مونتاژ صحیح، بررسی کامل مدار و اطمینان از صحت اتصالات	۳	
				مونتاژ و بررسی قابل قبول با خطاهای جزئی	۲	
				مونتاژ و بررسی ناقص مدار	۱	
۲	راه اندازی اولیه و مشاهده رفتار آن در شرایط عادی عملکرد	مدار مونتاژ شده، منبع تغذیه، مولتی متر و در صورت نیاز اسیلوسکوپ در زمان تعیین شده و کارگاه الکترونیک	مشاهده عملکرد، بررسی نحوه راه اندازی مدار و ارزیابی مشاهده و ثبت رفتار مدار	راه اندازی و مشاهده دقیق و صحیح	۳	
				راه اندازی و مشاهده قابل قبول باخطاهای جزئی در عملکرد یا ثبت	۲	
				راه اندازی نادرست مدار	۱	
۳	پایش ولتاژ و جریان مدار با استفاده از دستگاه های اندازه گیری	مولتی متر یا سایر دستگاه های اندازه گیری، منبع تغذیه، مدار الکترونیک صنعتی، سیم های اتصال، در زمان تعیین شده و کارگاه الکترونیک	مشاهده عملکرد، دقت در اندازه گیری ولتاژ و جریان، استفاده صحیح از دستگاه ها، و ثبت درست نتایج	اندازه گیری دقیق ولتاژ و جریان	۳	
				اندازه گیری قابل قبول باخطاهای جزئی دراستفاده یا ثبت نتایج	۲	
				استفاده نادرست از دستگاه ها یا اندازه گیری غیردقیق	۱	
۴	مقایسه نتایج واقعی با شبیه سازی و ثبت گزارش نهایی عملکرد مدارهای پروژه	ساخت مدار پروژه یا مدار پیاده سازی شده روی بردبرد، رایانه، نرم افزار شبیه سازی، دستگاه های اندازه گیری، ابزار ثبت گزارش در زمان تعیین شده و کارگاه الکترونیک	بررسی گزارش کار، چک لیست مستندسازی، دقت در مقایسه نتایج، تحلیل اختلاف بین شبیه سازی و مدار واقعی	مقایسه دقیق، تحلیل کامل اختلاف ها و ارائه گزارش جامع	۳	
				مقایسه قابل قبول با تحلیل نسبی و نقص های جزئی در گزارش	۲	
				مقایسه نادرست یا ناقص و گزارش غیردقیق بدون تحلیل مناسب	۱	
	شایستگی های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:	کارگاه الکترونیک مجهز به ابزار و دستگاه های شبیه سازی مدارها و رایانه، تجهیزات حفاظت فردی و قطعات مورد نیاز، انجام فعالیت های کارگاهی مطابق با دستورالعمل های ایمنی و بهداشت حرفه ای	مشاهده رفتار هنرجو در حین انجام فعالیت، میزان رعایت اصول ایمنی و نظم، فعالیت های گروهی، مدیریت زمان و مسئولیت پذیری	رعایت کامل ایمنی، بهداشت و محیط زیست، رفتار حرفه ای، نظم و مسئولیت پذیری بالا	۲	
				رعایت نسبی ایمنی و بهداشت باخطاهای جزئی، رفتار کاری مناسب	۱	
☐ بلی						روزشیایی کار (شایستگی انجام کار)
☐ خیر						

توضیحات:

۱- معیار شایستگی انجام کار:

- کسب حداقل نمره ۲ در همه شاخص ها و اجرای صحیح مراحل شامل مونتاز صحیح مدارهای الکترونیک صنعتی و مدارهای پروژه، بررسی اتصالات پیش از روشن کردن، راه اندازی اولیه مدار، استفاده صحیح از دستگاه های اندازه گیری و ثبت و گزارش نتایج (مراحل بحرانی).

- کسب حداقل نمره ۲ از بخش شایستگی های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش

- کسب حداقل میانگین ۲ از مراحل کار

۲- تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر از این که یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه ای انجام می شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

- مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه ریزی و تحلیل، پاسخ گویی در برابر کارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت ها

- تسلط (سطح چهار): خبرگی در انجام کار و آموزش دیگران، ایجاد، نوآوری، سازگاری، عیب یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.

- ۱ برنامه‌درسی ساخت پروژه (برد الکترونیک دستگاه) پایه یازدهم رشته الکترونیک شورای برنامه‌ریزی رشته الکترونیک.
- ۲ کتاب ساخت پروژه (برد الکترونیکی دستگاه) تألیف: شهرام نصیری سوادکوهی، مرتضی کرمی، هادی بیدختی، محمد مرسلی، اکبر نورمحمدی، چاپ ۱۴۰۴ - شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران
- ۳ کتاب الکترونیک عمومی پایه سوم هنرستان، شاخه فنی و حرفه‌ای، تألیف یداله رضازاده، غلام‌حسین نصری، فتح اله نظریان و ... چاپ ۱۳۹۴ - شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- ۴ کتاب مبانی مخابرات و رادیو پایه سوم هنرستان شاخه فنی و حرفه‌ای - سید محمود صموتی، شهرام نصیری سوادکوهی و ... چاپ ۱۳۹۴ - شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- ۵ کتاب الکترونیک کاربردی تألیف: شهرام نصیری سوادکوهی شهرام خدادادی - چاپ ۱۳۸۰ - شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی.
- ۶ راهنمای نصب راه‌اندازی و کاربرد نرم‌افزار آلتیوم دیزاینر (Altium Designer) به زبان اصلی.

- 7 Fun Project for the experiment or by newton C Braga - prompt publication 2012.
- 8 Electronic project book by varun Bansal self publisher 2014.
- 9 Nini Electronic Project with circuit Diagram bebnalh - self publishing -2015



هنرآموزان محترم، هنرجویان عزیز و اولیای آنان می‌توانند نظر اصلاحی خود را درباره مطالب کتاب‌های درسی از طریق سامانه «نظرسنجی از محتوای کتاب درسی» به نشانی «nazar.roshd.ir» یا نامه به نشانی تهران - صندوق پستی ۴۸۷۴-۱۵۸۷۵ ارسال کنند.

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

