بسم الله الرحمن الرحیم

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰی مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

# ساخت بردهای الکترونیکی

رشتهٔ الکترونیک

گروه برق و رایانه

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

پایهٔ یازدهم دورهٔ دوم متوسطه

**وزارت آموزش و پرورش**
**سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی**

**نام کتاب:** ساخت بردهای الکترونیکی ـ ۲۱۱۲۷۵
**پدیدآورنده:** سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
**مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف:** دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش
**شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف:** شهرام نصیری سوادکوهی، محمود شبانی، احمد توکلی و شهرام خدادادی (اعضای شورای برنامه‌ریزی) شهرام نصیری‌سوادکوهی، محمود شبانی و احمد توکلی (اعضای گروه تألیف) ـ محمود شبانی و شهرام خدادادی (ویراستار فنی)
**مدیریت آماده‌سازی هنری:** ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
**شناسه افزوده آماده‌سازی:** احمدرضا امینی (مدیر امور فنی و چاپ) ـ جواد صفری (مدیر هنری) ـ شهرزاد قنبری (صفحه‌آرا) ـ مریم کیوان (طراح جلد) ـ فاطمه رئیسیان‌فیروزآباد (رسام) ـ فاطمه‌سادات مهدوی‌مقدم، فاطمه صغری ذوالفقاری، کمند مهری، نیلوفر حکیم‌جوادی و سیما لطفی (امورآماده‌سازی)
**نشانی سازمان:** تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
**تلفن:** ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، **دورنگار:** ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، **کد پستی:** ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
**وب‌سایت:** www.irtextbook.ir، www.chap.sch.ir
**ناشر:** شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش) **تلفن:** ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، **دورنگار:** ۴۴۹۸۵۱۶۰،
**صندوق پستی:** ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵
**چاپخانه:** شرکت چاپ ونشر 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 به‌صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، 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.

**شابک ۸- ۳۸۷۰ - ۰۵ - ۹۶۴ - ۹۷۸** **ISBN 978 - 964 - 05 -3870-8**



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 «قُدِّسَ سِرُّهُ»**

# فهرست


**پودمان اول : ساخت تقویت کننده** ..... **۱**

**واحد یادگیری ۱**: راه‌اندازی تقویت‌کننده سیگنال با ترانزیستور BJT ..... ۲

**واحد یادگیری ۲**: راه‌اندازی تقویت‌کننده سیگنال با ترانزیستور FET ..... ۳۱

**پودمان دوم : ساخت پروژه‌های آنالوگ** ..... **۵۱**

**واحد یادگیری ۱**: تقویت‌کننده‌های چند طبقه ..... ۵۲

**واحد یادگیری ۲**: ساخت مدارهای تقویت‌کننده عملیاتی ..... ۷۵

**پودمان سوم : ساخت پروژه مخابراتی** ..... **۹۵**

**واحد یادگیری ۱**: آماده‌سازی سیگنال پیام و حامل ..... ۹۶

**واحد یادگیری ۲**: راه‌اندازی مدارهای فرستنده و گیرنده ..... ۱۲۷

**پودمان چهارم: ساخت مدارهای الکترونیکی با ابزار دقیق** ..... **۱۴۹**

**واحد یادگیری ۱**: تبدیل کمیت‌های فیزیکی به الکتریکی ..... ۱۵۰

**واحد یادگیری ۲**: راه‌اندازی مدار کنترل کمیت‌های فیزیکی با حسگرها ..... ۱۸۱

**پودمان پنجم : ساخت پروژه الکترونیک صنعتی** ..... **۲۱۳**

**واحد یادگیری ۱**: تست عملکرد قطعات الکترونیک صنعتی ..... ۲۱۴

**واحد یادگیری ۲**: اجرای پروژه الکترونیک صنعتی ..... ۲۴۰

**منابع** ..... **۲۵۳**

# 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 فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی‌وحرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخه فنی‌وحرفه‌ای 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 دراین 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**

# سخنی با هنرآموزان گرامی

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 هریک 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 بستهٔ 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.

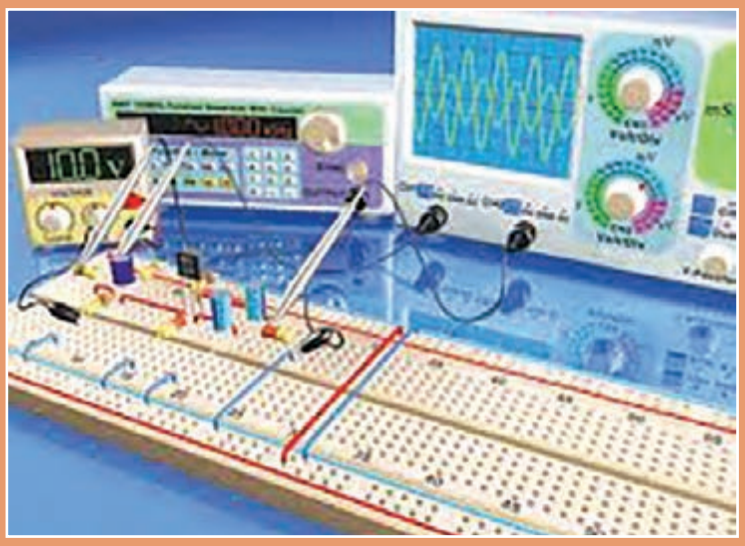
امید است که با تلاش و کوشش شما همکاران گرامی اهداف پیش‌بینی شده برای این درس محقق گردد.

**دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش**

نظرسنجی کتاب درسی

# پودمان اول

## ساخت تقویت‌کننده



ترانزیستور یک قطعهٔ نیمه‌هادی سه‌پایه‌ای و فعال است که در اکثر دستگاه‌های الکترونیکی استفاده می‌شود. ما می‌توانیم از ترانزیستور به‌عنوان سوئیچ و یا تقویت‌کننده 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 سه پایه 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 بسیارمهم 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.

به‌دلیل آن‌که 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 : راه‌اندازی تقویت‌کننده سیگنال با ترانزیستور BJT

## آیا تا به حال فکر کرده‌اید

- چرا تحلیل تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری امیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک اهمیت دارند؟
- آیا ترانزیستورهای پایه در دنیای امروز کاربرد عملی دارند یا فقط در آی‌سی‌ها (IC) استفاده می‌شوند؟
- تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری چه نقشی در آی‌سی‌های (IC) مدرن دارند؟
- چرا دانش بایاس ترانزیستورها برای تعمیرکاران دستگاه‌های الکترونیکی و تکنسین‌ها ضروری است؟
- آیا تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری پایه منسوخ شده‌اند یا همچنان کاربرد دارند؟

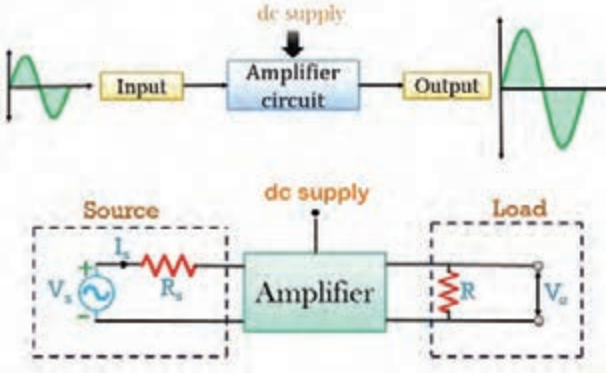
هنگامی‌که از ترانزیستور به عنوان تقویت‌کننده استفاده می‌شود، اعمال یک سیگنال ورودی کوچک در پایه بیس باعث ایجاد یک سیگنال خروجی بزرگ‌تر متناسب بین کلکتور و امیتر می‌گردد.
تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری امیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک، ستون فقرات تقویت‌کننده‌های آنالوگ هستند.
این مدارها کمک می‌کنند تا سیگنال‌های‌الکتریکی ضعیف به شکل کنترل‌شده تقویت شوند و بهره ولتاژ و جریان تقویت‌کننده‌ها بهینه شود. حتی با پیشرفت آی‌سی‌ها (IC)، درمدارهای خاص، حسگرها و پیش‌تقویت‌کننده‌ها، استفاده از ترانزیستورهای جداگانه ضروری است. درک نحوه بایاس و عملکرد این سه آرایش ترانزیستور، پایه تحلیل، طراحی و تعمیرسامانه‌های الکترونیکی است.
بنابراین، تسلط برعملکرد تقویت‌کننده‌های CE، CB و CC مهارت عملی و دانش فنی مهندسین و تکنسین‌ها را تقویت می‌کند.
یادآوری می‌شود که برای تحلیل، بررسی و اجرای عملی یک مدار کاربردی، باید درتمام مراحل، نکات ایمنی و بهداشتی و توجه به مهارت‌های غیرفنی مانند کارگروهی، مسئولیت‌پذیری، پایبندی به نظم و ترتیب که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، رعایت شود.

## استاندارد عملکرد

شبیه‌سازی و بستن مدارهای عملی تقویت‌کننده‌های تک‌ترانزیستوری، اندازه‌گیری پارامترهای مهم AC (بهره ولتاژ، بهره جریان، مقاومت ورودی و خروجی و اختلاف فاز) در سه آرایش تقویت‌کننده‌های BJT، مقایسه نتایج با جدول استاندارد، بررسی عملکرد مدارهای تقویت‌کننده.

## تقویت دامنه سیگنال‌های الکتریکی

امروزه در سامانه‌های الکترونیکی، تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری مانند امیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک هم‌چنان از اهمیت بسیار بالایی برخوردارند. این تقویت‌کننده‌ها اساس رفتار سیگنال‌های آنالوگ را توضیح می‌دهند و هنرجویان با یادگیری عملکرد آنها، منطق شکل‌گیری تقویت شکل ۱، محاسبه، امپدانس‌ها و نحوه کنترل بهره را به طور بنیادین درک می‌کنند. اگرچه ساختارهای پیشرفته‌تری مانند تقویت‌کننده‌های مجتمع (IC) بسیار رایج شده‌اند، اما اصول عملکرد آنها دقیقاً بر پایه همین اتصالات ترانزیستوری بنا شده است. با وجود گسترش آی‌سی‌ها، طراحان و تکنسین‌ها همچنان در بسیاری از کاربردهای عملی مانند پیش‌تقویت‌کننده‌های کوچک، فیلترهای آنالوگ، حسگرها و طبقات ابتدایی تقویت از ترانزیستورهای مجزا استفاده می‌کنند.




شکل ۱ـ بلوک دیاگرام تقویت‌کننده سیگنال الکتریکی

همچنین در تعمیرات، عیب‌یابی و درک عملکرد سیستم‌های الکترونیکی، دانستن نحوه بایاس و رفتار هریک از این سه اتصال بسیار ضروری است. بنابراین تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری پایه نه‌تنها منسوخ نشده‌اند، بلکه پایه تحلیل و طراحی در تمام سامانه‌های الکترونیکی مدرن محسوب می‌شوند.

تحقیق کنید

درمنزل، هنرستان یا محیط کار، دستگاه‌هایی را شناسایی کنید که صرفاً دارای سامانه آنالوگ هستند یا از تقویت‌کننده‌های صوتی و تصویری ترانزیستوری بهره می‌برند. یافته‌های خود را در قالب یک گزارش ارائه دهید.

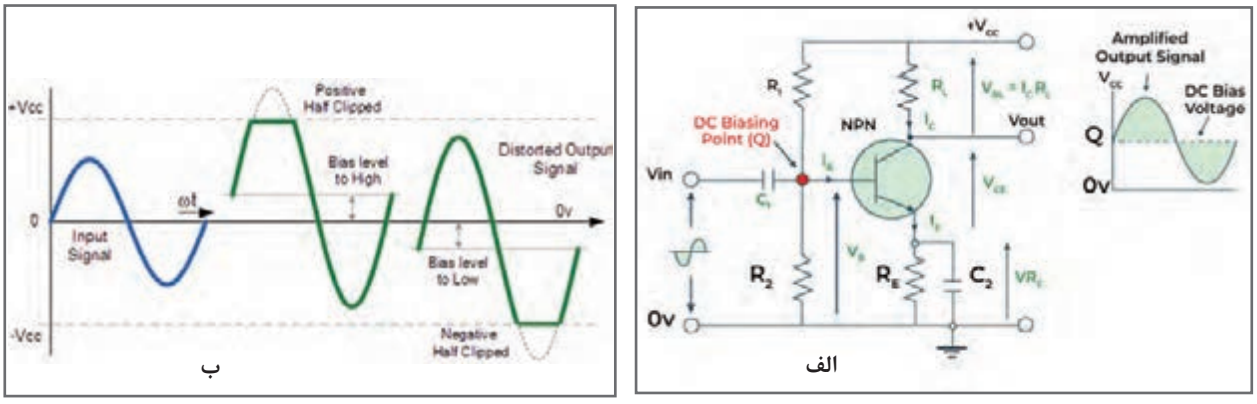
## نحوهٔ تقویت در ترانزیستور

برای این‌که 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 تقویت‌کننده می‌دهیم و از خروجی تقویت‌کننده، سیگنال تقویت شده را دریافت می‌کنیم.

هدف از بایاس ترانزیستور تعیین یک نقطه کار ساکن (Q-point) است تا ترانزیستور بتواند به‌طور مؤثر کار کند و سیگنال خروجی را بدون اعوجاج تولید نماید. وقتی ترانزیستور به‌صورت مدار تقسیم ولتاژ (سرخود) بایاس شود، بایاس مناسب و صحیح DC ترانزیستور این است‌که ولتاژ کلکتور امیتر تقریباً نصف ولتاژ تغذیه باشد تا ترانزیستور در حالت فعال (Active Region) باقی بماند و سیگنال AC بتواند به‌راحتی در دو نیم سیکل مثبت و منفی نوسان کند، بدون این‌که ترانزیستور به حالت قطع یا اشباع برود.

شکل ۲ـ الف تقویت‌کننده و نقطه‌کار مناسب را نشان می‌دهد. در شکل ۲ـ ب اعوجاج موج در دو نیم سیکل را که در اثر بایاس نامناسب ایجاد شده‌اند، مشاهده می‌کنید.




**شکل ۲ـ بایاس ترانزیستور برای قراردادن نقطه‌کار در ناحیه فعال**

## مشخصات تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری

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

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

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

پ) مقاومت ورودی

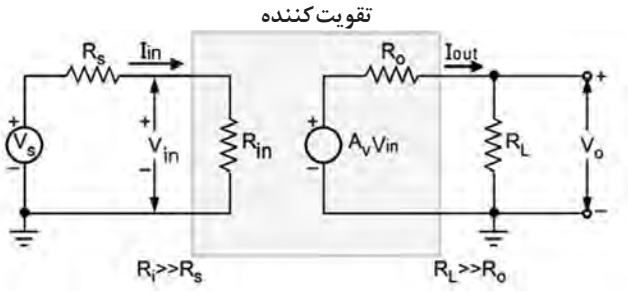
ت) مقاومت خروجی

ث) اختلاف فاز بین سیگنال ورودی وخروجی

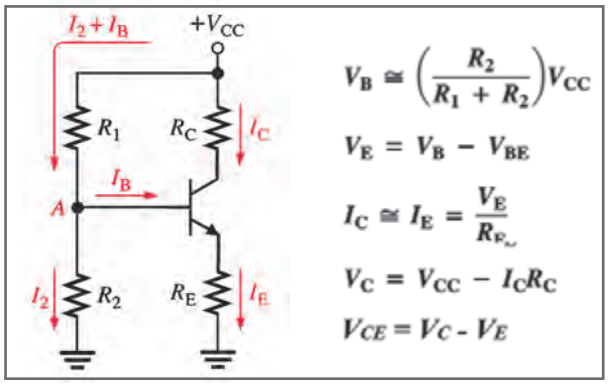
ج) حداقل فرکانس کار (فرکانس قطع پایین)

چ) حداکثر فرکانس کار (فرکانس قطع بالا)

برای تأمین ولتاژهای مورد نیاز برای قسمت‌های مختلف یک تقویت‌کنندهٔ ترانزیستوری، باید از تقسیم‌کننده‌های ولتاژ مقاومتی اهمی استفاده کنیم. برای این منظور مقاومت‌های اهمی به‌صورت‌های مختلف در تقویت‌کننده قرار می‌گیرند و با ایجاد افت ولتاژ کافی، ولتاژ و جریان‌های DC مورد نیاز را برای ترانزیستور تأمین می‌کنند. یادآور می‌شود که انتخاب مقاومت‌ها، هدف‌های دیگری مانند تعیین مقاومت ورودی، مقاومت خروجی، بهرهٔ ولتاژ و جریان را نیز دربرمی‌گیرد. یکی از رایج‌ترین انواع بایاسینگ ترانزیستور، مدار شکل ۳ـ ب است. این مدار را بایاسینگ تقسیم‌کنندهٔ ولتاژ مقاومتی یا سرخود می‌نامند.




الف ـ بلوک دیاگرام یک تقویت‌کنندهٔ ترانزیستور



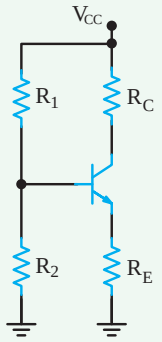

ب ـ بایاسینگ تقسیم‌کنندهٔ سرخود در ترانزیستور

شکل ۳

مثال

در مدار شکل۴ مقادیر مقاومت بایاس به شرح زیر است، نقطهٔ کار ترانزیستور را به دست آورید.

$V_{CC}$ =۱۲ volts, $V_{BE}$ =۰/۶ volts, $R_۱$ =۱۰ kΩ, $R_۲$ = ۳/۳ kΩ, $R_E$ =۲/۷ kΩ, $R_C$ = ۵/۶ kΩ




شکل ۴ـ بایاسینگ سرخود در ترانزیستور

$V_B = V_{CC} \times R۲ / (R۱ + R۲)$

$V_B = ۱۲ \times ۳/۳k / (۱۲+۳/۳)K = ۲/۵۸V$

$V_E = V_B - V_{BE} = ۲/۵۸ - ۰/۶ = ۱/۹۸V$

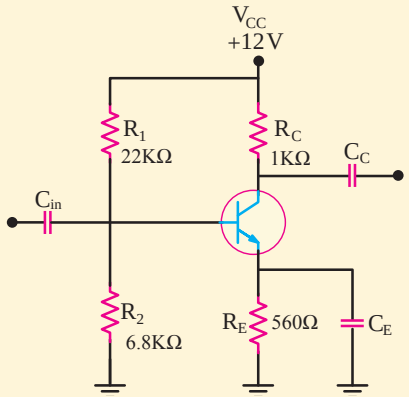
$I_C = I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{۱/۹۸V}{۲/۷K} = ۰/۷۳mA$

$V_C = V_{CC} - I_C.R_C = ۱۲ - (۰/۷۳mA) \times (۵/۶K\Omega) = ۷/۹۱V$

$V_{CE} = V_C - V_E = ۷/۹۱ - ۱/۹۸ = ۵/۹۳V$

تمرین

در مدار شکل ۵ نقطهٔ کار DC تقویت‌کننده را به‌دست آورید.

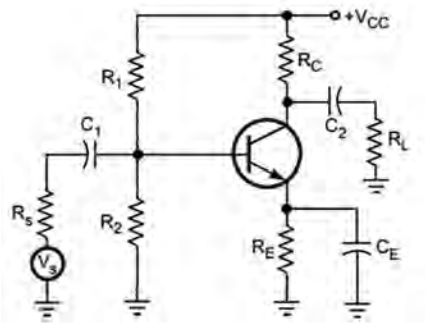



شکل ۵ـ تقویت‌کننده ترانزیستوری

## چگونگی تقویت سیگنال متناوب در تقویت‌کننده ترانزیستوری

درشکل ۶ یک تقویت‌کننده سادهٔ ترانزیستوری نشان داده شده است.

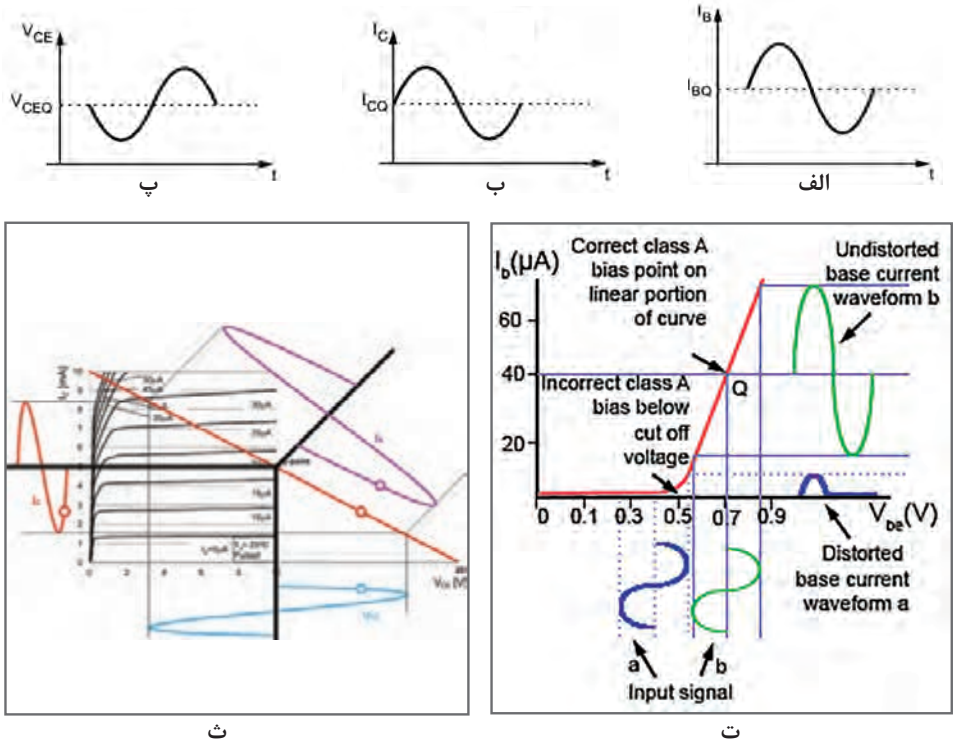
خازن‌هایی‌که درمسیر سیگنال‌های ورودی و خروجی قرارگرفته‌اند مانع عبور مقادیر ولتاژ و جریان DC از طبقه‌ای به طبقه دیگر می‌شوند و فقط سیگنال‌های متغیر را عبور می‌دهند. ظرفیت این خازن‌ها در فرکانس‌های صوتی حدود میکروفاراد است. سیگنال خروجی همان ولتاژ دو سرکلکتور- امیتر ($V_{CE}$) است.




شکل ۶ـ تقویت‌کننده ترانزیستوری

برای درک چگونگی تقویت سیگنال با توجه به نقطهٔ کار، موضوع را از روی منحنی جریان ورودی $I_B$ و جریان خروجی $I_C$مورد بررسی قرار می‌دهیم. سیگنال ورودی به پایه بیس و امیتر اعمال می‌شود. بنابراین به ولتاژ DC بین بیس و امیتر ($V_{BE}$) یک ولتاژ متغیر اضافه می‌شود. این ولتاژ متغیر حول نقطه کار ورودی تغییر می‌کند و باعث تغییر $I_B$ و درنتیجه سبب تغییر در $I_C$ می‌شود و تغییرات $I_C$ باعث ایجاد تغییر در $V_{CE}$ می‌شود. بنابراین خروجی تقویت‌کننده همان ولتاژ دو سرکلکتور و امیتر است. مراحل تقویت سیگنال را در شکل ۷ مشاهده می‌کنید.

در شکل ت نحوه افزایش دامنه جریان بیس ترانزیستور حول نقطه کار مناسب ترانزیستور را نشان می‌دهد. در شکل ث اثر افزایش جریان بیس به‌روی جریان کلکتور و چگونگی ایجاد ولتاژ متناوب $V_{CE}$ را مشاهده می‌کنید.




شکل ۷ـ نحوهٔ تقویت سیگنال متناوب در ترانزیستور

## آرایش ترانزیستور

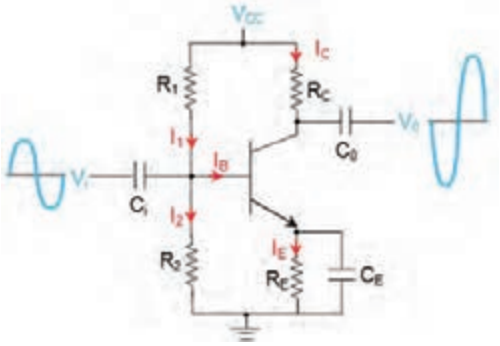
در تقویت‌کننده‌ها، همیشه یک پایه ترانزیستور بین ورودی و خروجی به صورت مشترک قرار می‌گیرد، زیرا ترانزیستور سه پایه دارد و ما نیاز به دو پایهٔ در ورودی و دو پایهٔ در خروجی داریم. لذا باید یکی از پایه‌های ترانزیستور به صورت مشترک بین ورودی و خروجی ترانزیستور قرارگیرد.

نکته

منظوراز مشترک‌بودن یک پایهٔ ترانزیستور اشتراک ازنظر AC است، اگر پایه‌ای ازنظر DC به منبع تغذیه متصل باشد چون منبع تغذیه معادل یک خازن باظرفیت زیاد است ازنظر AC اتصال‌کوتاه بوده وآن پایه بین ورودی و خروجی مشترک می‌شود.

### آرایش امیتر مشترک

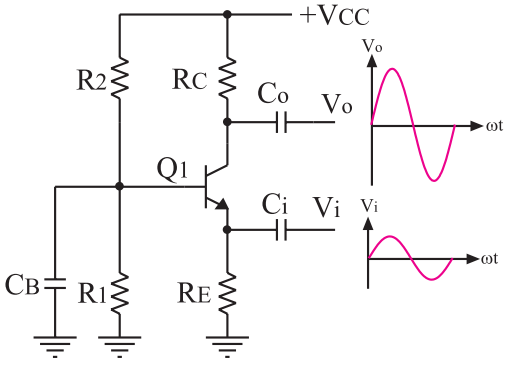
اگر پایه مشترک بین ورودی و خروجی امیتر باشد، تقویت‌کننده را امیتر مشترک می‌نامند، شکل ۸ علت نام‌گذاری این آرایش به خاطر مشترک بودن پایهٔ امیتر است. در این تقویت‌کننده، سیگنال ورودی به پایه بیس اعمال می‌شود و سیگنال خروجی از پایه کلکتور دریافت می‌شود.




شکل ۸ـ تقویت‌کننده امیتر مشترک

### آرایش بیس مشترک

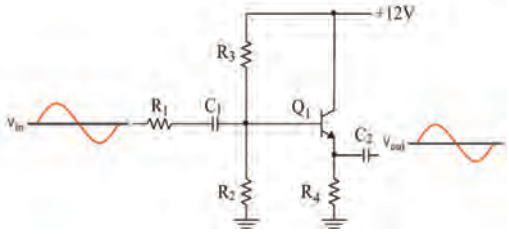
دراین آرایش پایهٔ مشترک بین ورودی و خروجی بیس است، دراین تقویت‌کننده، سیگنال ورودی را به پایه امیتر اعمال می‌کنیم و سیگنال خروجی را از پایه کلکتور می‌گیریم (شکل ۹).




شکل ۹ـ تقویت‌کننده بیس مشترک

### آرایش کلکتور مشترک

چنانچه پایهٔ مشترک بین ورودی و خروجی کلکتور باشد، تقویت‌کننده را کلکتور مشترک می‌نامند. دراین تقویت‌کننده، سیگنال ورودی را به پایه بیس اعمال می‌کنیم و سیگنال خروجی را از پایه امیتر می‌گیریم. در ادامه به بررسی مشخصات کلی و عمومی سه تقویت‌کننده معرفی شده می‌پردازیم.




شکل ۱۰ـ تقویت‌کننده کلکتور مشترک

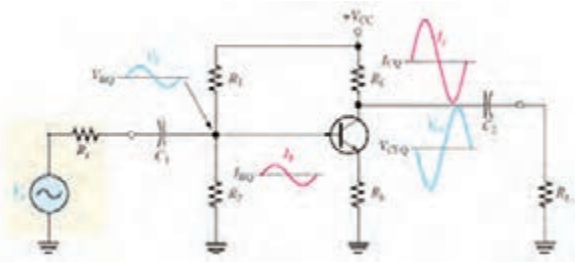
توجه

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

## بررسی تقویت‌کننده امیتر مشترک (CE)

درشکل ۱۱ یک نمونه تقویت‌کننده امیتر مشترک نشان داده شده است.

دراین تقویت‌کننده، سیگنال ورودی را به پایه بیس اعمال می‌کنیم و سیگنال خروجی را از پایه کلکتور می‌گیریم.



شکل ۱۱ ـ تقویت‌کننده امیتر مشترک

### مشخصات تقویت‌کننده امیتر مشترک

الف) بهرهٔ ولتاژ $Av = \frac{Vo}{Vin}$ متوسط و بیشتر از یک

ب) بهرهٔ جریان $A_I = \frac{Io}{Iin}$ متوسط و بیشتر از یک

پ) مقاومت ورودی آن متوسط است (درحدود چندکیلواهم)

ت) مقاومت خروجی آن متوسط است (درحدود چندکیلو اهم)

مقاومت خروجی درحالت AC از موازی شدن دو مقاومت RC و مقاومت داخلی کلکتور امیتر ترانزیستور به‌دست می‌آید.

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

ث) بین سیگنال ورودی و خروجی آن ۱۸۰ درجه اختلاف فاز وجود دارد.

دلیل وجود اختلاف فاز ۱۸۰ 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 $V_{CC}$ درحلقهٔ 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. این‌کاهش ولتاژ به معنی وجود اختلاف فاز ۱۸۰ درجه بین ورودی وخروجی است. درصورتی‌که $V_{BE}$ کم شود عمل عکس اتفاق می‌افتد.

**کاربرد تقویت‌کننده:** تقویت‌کننده امیتر مشترک، بیشترین کاربرد را در بین انواع تقویت‌کننده‌ها دارد. تقویت‌کننده امیتر مشترک علاوه بر تقویت جریان، تقویت ولتاژ را نیز انجام می‌دهد و به همین‌دلیل، دربسیاری از موارد، نسبت به تقویت‌کننده‌های دیگر برتری دارد.

تقویت‌کننده امیتر مشترک درمقایسه با سایر آرایش‌ها دارای مقاومت ورودی و خروجی متوسطی است. بنابراین ازاین مدار می‌توان در تقویت‌کننده‌های انتهایی، میانی و ابتدایی مدارهای الکترونیکی استفاده کرد.

کار عملی ۱

**بستن تقویت‌کننده امیتر مشترک**

**هدف :** بررسی مقادیر کمیت‌ها در تقویت‌کنندهٔ امیتر مشترک

**مواد، ابزار و تجهیزات:** منبع تغذیه یک دستگاه، سیگنال ژنراتور صوتی یک دستگاه، اسیلوسکوپ دوکاناله یک دستگاه

بردبُرد آزمایشگاهی یک قطعه، مولتی‌متر دیجیتالی یک دستگاه، سیم رابط تغذیه به تعداد، سیم رابط بردبُرد به تعدادکافی

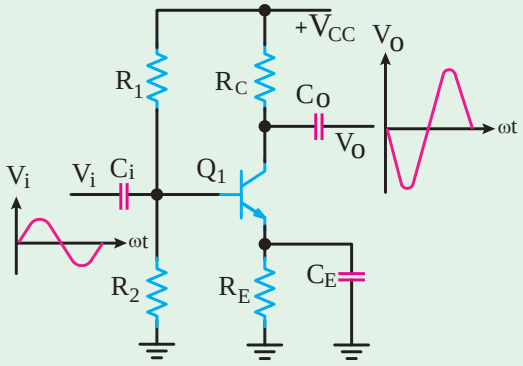
رایانه، نرم‌افزار مولتی سیم، نوشت‌افزار، ترانزیستور BC ۵۴۷ یا BC ۱۰۷ یک عدد

مقاومت به $R_1 = ۱۰\ k\Omega, R_2 = ۳/۳\ k\Omega, R_E = ۱\ k\Omega, Rc = ۴/۷\ k\Omega$ خازن $Rs=۲۲K\Omega, R_L=۲/۲K\Omega$ ۴۷ µF یک عدد

خازن ۱۰۰ µF دو عدد

هدف از اجرای این کار عملی، اندازه‌گیری بهرهٔ ولتاژ، بهرهٔ جریان، مقاومت ورودی، مقاومت خروجی و اختلاف فاز بین سیگنال ولتاژ ورودی و سیگنال ولتاژ خروجی است.

همانطورکه گفته شد دراین‌تقویت‌کننده سیگنال ورودی به امیتر اعمال می‌شود و خروجی از کلکتور ترانزیستور گرفته می‌شود (شکل ۱۲).



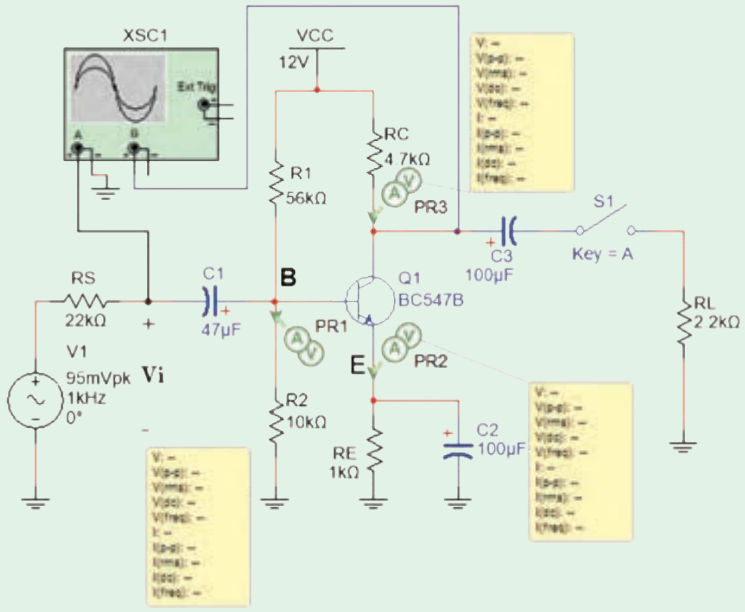

**شکل ۱۲ـ مدار کار عمل تقویت‌کننده امیتر**

منبع تغذیهٔ $V_{CC}$ به‌وسیلهٔ دو مقاومت تقسیم‌کنندهٔ ولتاژ $R_1$ و $R_2$ ولتاژ بیس ترانزیستور را تأمین می‌کند. مقاومت‌های $R_C$ و $R_E$ مقاومت‌های بایاس کلکتور و امیتر ترانزیستور هستند. برای آن‌که ولتاژ متناوب روی $R_E$ افت نکند، دو سر مقاومت $R_E$ به‌وسیلهٔ خازن $C_E$ که خازن «بای پاس» نام دارد، برای ولتاژ متناوب اتصال کوتاه می‌شود.

$C_i$ و $C_o$ نیز خازن‌های کوپلاژ هستند.

**مراحل اجرای کار**

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




**شکل ۱۳ــ مدار تقویت‌کنندهٔ امیتر مشترک**

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

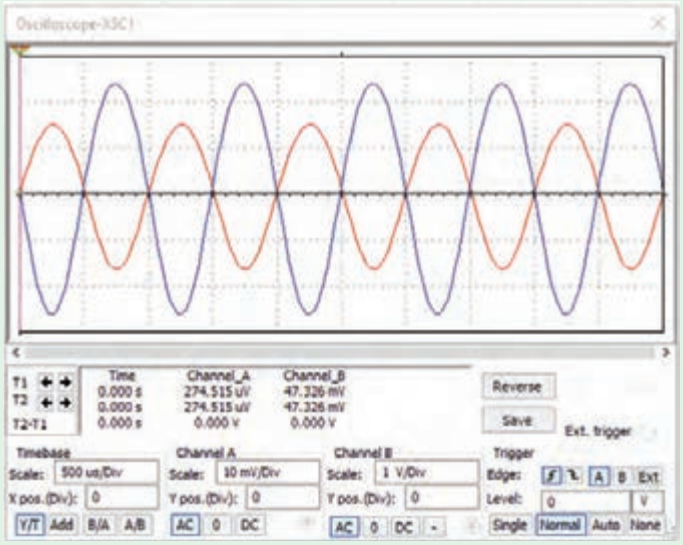
۲ نرم‌افزار را فعال کنید با استفاده از پراب‌ها ($probe_۱$ و $probe_۲$ و $probe_۳$) مشخصات نقطهٔ کار مدار را اندازه‌گیری کنید و مقادیر را بنویسید.

| اندازه‌گیری مقادیر (DC) نقطه‌کار با نرم افزار | |
|---|---|
| $I_C$ =..... mA | $I_B$ =..... mA |
| $I_E$ =..... mA | $V_B$ =.....V |
| $V_C$=.....V | $V_E$=.....V |
| $V_{CE}$ =.....V | $V_{BE}$ =.....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 آن‌قدر تغییر دهید تا دامنهٔ سیگنال خروجی (بدون اعوجاج) روی ۵ ولت پیک‌تاپیک تنظیم شود (شکل ۱۴).

**توجه:** در این حالت مقاومت بار ۲/۲ kΩ را به مدار اتصال ندهید (کلید سری با آن باز باشد).




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

۴ مقادیر ولتاژ خروجی $Vo_{pp\,(NL)}$ و ولتاژ ورودی $Vin_{pp}$ را از روی پراب‌های اندازه‌گیری یادداشت کنید.

$Vin_{pp}$ = ..... $Vo_{pp\,(NL)}$ = .....

۵ با استفاده از رابطهٔ بهرهٔ ولتاژ، مقدار بهرهٔ ولتاژ را درحالت بی‌باری به دست آورید.

$$Av = \frac{Vo_{pp\,(NL)}}{Vin_{pp}} = .....$$

**نکته مهم:** $Vo_{pp\,(NL)}$ ولتاژ خروجی در حالت بی‌باری (NO Load) است.

۶ مقاومت بار $R_L$ = ۲/۲ kΩ را به مدار متصل کنید (کلید سری با آن را وصل کنید) دراین مرحله باید $Vo_{PP(FL)}$ و $Vin_{pp}$ مجدداً با اسیلوسکوپ و پراب‌ها اندازه‌گیری شود.

$Vin_{pp}$ =..... $Vo_{PP(FL)}$ =.....

**نکته مهم:** مقدار $Vo_{PP\,(FL)}$ را ولتاژ خروجی درحالت بارداری (Full Load) می‌نامند. آن را با $V_{OFL}$ نشان می‌دهند. درضمن قراردادن بار در مدار تأثیر چندانی در $V_{iPP}$ ندارد.

۷ بهرهٔ ولتاژ مدار را درحالت بارداری از رابطهٔ مقابل محاسبه کنید:

$$A_{VL} = \frac{Vo_{PP(FL)}}{Vin_{pp}} = ..... .$$

ـ مقادیر بهره ولتاژ اندازه‌گیری شده درحالت بارداری و بی‌باری را با هم مقایسه کنید و درمورد آن توضیح دهید.

.....

۸ با اندازه‌گیری ولتاژ دو سر بار به وسیلهٔ اسیلوسکوپ $I_L$ را از رابطهٔ محاسبه کنید.

$$V_{RL} = Vo_{PP(FL)} = .....$$

$$I_L = \frac{Vo_{PP(FL)}}{R_L} = .....$$

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

اختلاف فاز $\varphi$= .....

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

$$R_{Out} = \frac{Vo_{PP(NL)} - Vo_{pp(FL)}}{Vo_{pp(FL)}} \times R_L = .....$$

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

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

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

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

۱۳ با مقادیر $V_{in}$ و $I_{in}$ مقدار مقاومت ورودی تقویت‌کننده را از رابطه زیر به‌دست آورید.

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

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

**جدول ۱**

| اختلاف فاز $\varphi$ | مقاومت خروجی $R_o$ | مقاومت ورودی $R_{in}$ | بهرهٔ جریان $A_I$ | بهرهٔ ولتاژ $A_V$ |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

.....

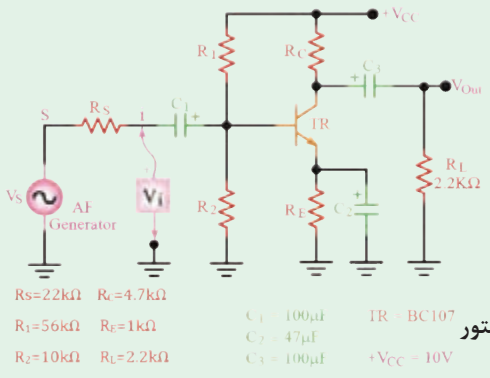
.....

.....

**مراحل اجرای کار سخت افزاری**

۱۵ مدار شکل۱۵ را روی بردبرُد ببندید.

دراین مرحله $R_L$ و سیگنال ژنراتور به مدار اتصال ندارد.




**یا هر نوع ترانزیستور عمومی**

**شکل ۱۵ـ مدار عملی امیتر مشترک**

۱۶ با استفاده از مولتی‌متر مشخصات نقطهٔ کار مدار ($V_{CE}$، $I_C$، $V_{BE}$) را اندازه بگیرید و مقادیر آن را یادداشت کنید.
**توجه:** اگرمقدار $V_{CE}$ حدوداً نصف$V_{CC}$ باشد، (بین۴ تا ۷ ولت) قابل قبول است.

| اندازه‌گیری مقادیر (DC) نقطه‌کار به صورت عملی | |
|---|---|
| $V_C$ =.....V<br>$V_{CE}$ =.....V | $V_B$=.....V<br>$V_E$=.....V<br>$V_{BE}$ =.....V |

**تنظیم اولیه دستگاه اسیلوسکوپ برای افزایش دقت در اندازه‌گیری:**
- به کمک ولوم INTENT نور اشعه را به مقدارکافی تنظیم کنید.
- به کمک ولوم FOCUS اشعه را تاحدممکن نازک(باریک) کنید.
- ولوم Level را روی صفر بگذارید.
- ولوم variable time را در حالت cal قراردهید.
- ولوم Volt variable هردو کانال را درحالت صفر قرار دهید.
- کلید AC GND DC هردوکانال را درحالت GND قراردهید و برای هردوکانال نقطه صفر درمرکز صفحه حساس تنظیم کنید.

۱۷ سیگنال ژنراتور را روی فرکانس یک‌کیلوهرتز تنظیم کنید.
کانال دوم ($CH_۲$) اسیلوسکوپ رابه خروجی مدار وصل کنید (دراین‌حالت باری به مدار وصل نیست).
دامنهٔ سیگنال ورودی را آن‌قدر تغییر دهید تا دامنهٔ سیگنال خروجی بدون اعوجاج (حدوداً) روی ۵$V_{PP}$ تنظیم شود.

$Vo_{pp\ (NL)}$=.....

۱۸ دامنهٔ سیگنال ورودی را به‌وسیله کانال اول ($CH_۱$) اسیلوسکوپ اندازه بگیرید.

$Vin_{pp}$ =.....

۱۹ بهرهٔ ولتاژ مدار را محاسبه کنید:

$$A_V = \frac{Vo_{PP(NL)}}{Vin_{pp}} = .....$$

۲۰ مقاومت بار $R_L$=۲/۲kΩ را به خروجی مدار وصل کنید با اندازه‌گیری ولتاژ دوسر بار به‌وسیلهٔ اسیلوسکوپ $I_L$ را از رابطهٔ زیر محاسبه کنید:

$$I_L = \frac{Vo_{PP(FL)}}{R_L} = .....$$

$$V_{RL} = Vo_{PP(FL)} = .....$$

۲۱ با استفاده از رابطهٔ بهره ولتاژ، مقدار بهرهٔ ولتاژ را درحالت بارکامل به دست آورید.

$$A_{VL} = \frac{Vo_{PP(FL)}}{Vin_{pp}} = .....$$

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

$$R_{Out} = \frac{Vo_{PP(NL)} - Vo_{pp(FL)}}{Vo_{pp(FL)}} \times R_L = .....$$

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

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

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

$$A_I = \frac{I_L}{I_{in}} = \text{.....}$$

۲۵ با اندازه‌گیری $V_i$ و $I_i$ مقاومت ورودی تقویت‌کننده را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

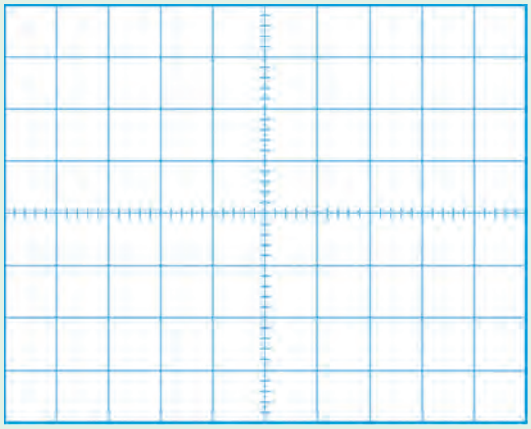
$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \text{.....}$$

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

**نکته مهم:** هنگام مشاهدهٔ شکل موج خروجی و ورودی دقت کنید تا اسیلوسکوپ روی $CH_2$ Invert نباشد .زیرا اگر روی این تنظیم قرارگیرد اختلاف فاز را نشان نمی‌دهد.

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

اختلاف فاز $\varphi$= .....



**شکل ۱۶ـ محل ترسیم شکل موج ورودی و خروجی مدار CE**

۲۸ نتایج به دست آمده را در جدول ۲ یادداشت کنید. مقادیر پارامترهای AC تقویت‌کننده را دردوحالت نرم‌افزاری و سخت‌افزاری با هم مقایسه کنید.

**جدول ۲**

| مقادیر اندازه‌گیری شده با مدار سخت افزار (عملی) | مقادیر اندازه‌گیری شده با نرم افزار | پارامترهای AC تقویت‌کننده |
|---|---|---|
| | | بهره ولتاژ $A_V$ |
| | | بهره جریان $A_i$ |
| | | مقاومت ورودی $R_{in}$ |
| | | مقاومت خروجی $R_O$ |
| | | اختلاف فاز $\phi$ |

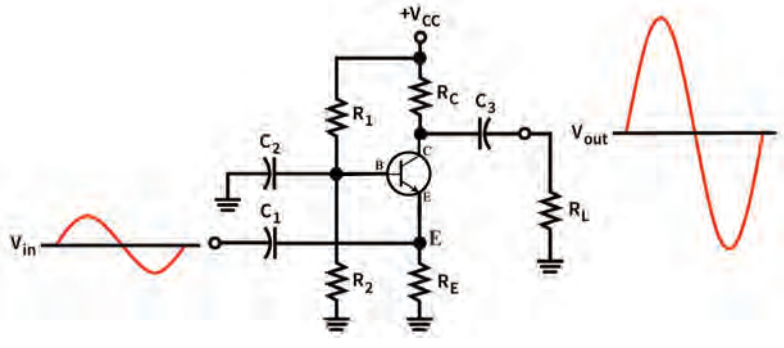
ـ آنچه را که درآزمایش مدار تقویت‌کننده امیتر مشترک فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

.....

.....

## بررسی تقویت‌کننده بیس مشترک (CB)

در تقویت‌کننده بیس مشترک، ورودی مدار، امیتر بیس وخروجی آن کلکتور بیس است.
شکل ۱۷ یک تقویت‌کننده بیس مشترک با تغذیه سرخود را نشان می‌دهد.
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 می‌شود.خروجی نیز از طریق خازن کوپلاژ $C_3$ از کلکتور گرفته می‌شود و بیس نیز از طریق خازن بای‌پس $C_2$ از لحاظ AC به زمین اتصال کوتاه است.به عبارت دیگر سیگنال متناوب ورودی به امیتر بیس ترانزیستورداده می‌شود و سیگنال خروجی از کلکتور بیس ترانزیستور دریافت می‌گردد.




**شکل ۱۷ـ تقویت‌کننده بیس مشترک(CB)**

### مشخصات تقویت‌کننده بیس مشترک

الف) بهرهٔ ولتاژ $Av=\frac{V_o}{V_{in}}$ خیلی بزرگ‌تر از یک است. در تقویت‌کننده بیس مشترک ضریب تقویت ولتاژ زیاد است.

ب) بهرهٔ جریان $A_I=\frac{I_o}{I_{in}}$ در تقویت‌کننده بیس مشترک، تقویت جریان وجود ندارد. به تعبیر دیگر، ضریب تقویت جریان در تقویت‌کننده بیس مشترک کوچک‌تر از یک است.

پ) مقاومت ورودی ($R_i$) از مجموعه موازی مقاومت‌های $R_E$ و مقاومت دیود بیس امیتر به دست می‌آید. 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 کوچک‌تر است.

ت) مقاومت خروجی آن متوسط است (مشابه امیتر مشترک و درحدود چندکیلواهم).

ث) در تقویت‌کننده بیس مشترک جریان ورودی با جریان خروجی و هم‌چنین ولتاژ ورودی و خروجی هم‌فاز هستند.

**کاربرد تقویت‌کننده:** بیس مشترک، یک تقویت‌کننده ولتاژ است و درمواردی به کار می‌رود که نیاز به تقویت سیگنال‌های متناوب با فرکانس بالا (مانند مدارهای مخابراتی) و یا مقاومت ورودی کم باشد.

تحقیق کنید

کاربرد مدار تقویت‌کننده بیس مشترک درکدام سامانه‌های مخابراتی است، یافته‌های خود را درقالب یک گزارش ارائه دهید.

**بستن تقویت‌کننده بیس مشترک به‌صورت نرم‌افزاری**

**هدف:** بررسی کمیت‌های تقویت‌کننده بیس مشترک

**مواد، ابزار و تجهیزات:** منبع تغذیه یک‌دستگاه، سیگنال ژنراتورصوتی یک‌دستگاه، اسیلوسکوپ دوکاناله یک دستگاه، بردبرُد آزمایشگاهی یک قطعه، مولتی‌متردیجیتالی یک دستگاه، سیم رابط تغذیه به تعداد کافی، سیم رابط بردبرُد به تعداد کافی

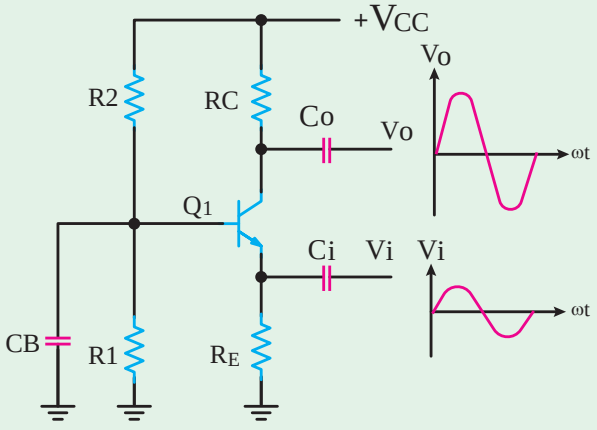
رایانه، نرم‌افزار مولتی‌سیم، نوشت‌افزار، ترانزیستور BC۵۴۷ یا BC ۱۰۷ یک عدد

مقاومت به $Rc=۴/۷\ k\Omega$ ,$R_E=۱k\Omega$ ,$R_۲=۳/۳\ k\Omega$ ,$R_۱=۱۰k\Omega$ $R_L=۲/۲K\Omega$ ,$Rs=۲۲K\Omega$ خازن ۴۷µF یک عدد

خازن ۱۰۰ µF دو عدد

هدف از اجرای این کار عملی، اندازه‌گیری بهرهٔ ولتاژ، بهرهٔ جریان، مقاومت ورودی، مقاومت خروجی و اختلاف فاز بین سیگنال ولتاژ ورودی و سیگنال ولتاژخروجی است.

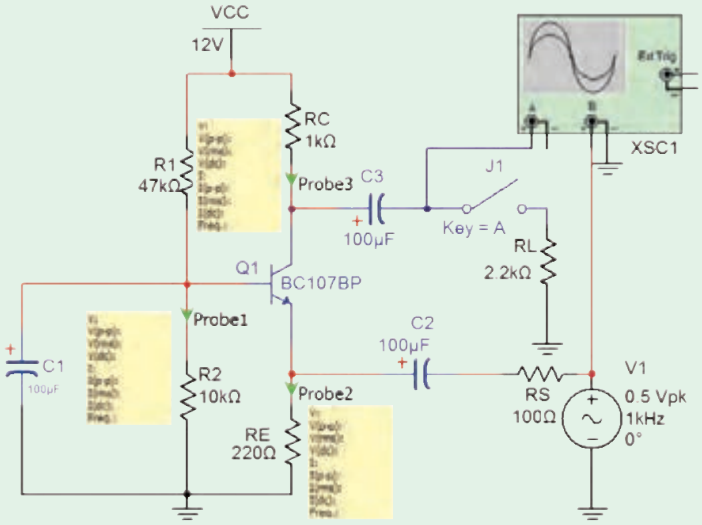
همان‌طورکه‌گفته شد دراین تقویت‌کننده سیگنال ورودی را به امیترمی‌دهیم و سیگنال تقویت شده را از کلکتورِ ترانزیستور دریافت می‌کنیم. خازن $C_B$ پایهٔ بیس را از نظر AC به زمین بای‌پاس می‌کند. (شکل ۱۸). منبع تغذیهٔ $V_{CC}$ به وسیلهٔ دومقاومت تقسیم‌کنندهٔ ولتاژ $R_۱$ و $R_۲$ ولتاژ بیس ترانزیستور را تأمین می‌کند. مقاومت‌های $R_C$ و $R_E$ مقاومت‌های بایاس کلکتور و امیتر ترانزیستور هستند. $C_i$ و $C_o$ نیز خازن‌های کوپلاژ هستند که برای ولتاژ متناوب اتصال‌کوتاه درنظر می‌گیریم.




**شکل ۱۸ـ شکل موج ورودی و خروجی مدار تقویت‌کنندهٔ بیس مشترک**

**مراحل اجرای کار عملی**

۱ مدار تقویت‌کنندهٔ بیس مشترک نشان داده شده شکل ۱۹ را در محیط نرم‌افزار مولتی سیم ببندید. دراین مرحله مقاومت بار و سیگنال ژنراتور به مدار اتصال ندارد.




**شکل ۱۹ـ مدار تقویت‌کنندهٔ بیس مشترک**

**توجه:** پراب (probe) اندازه‌گیری را به ترتیب به پایه B,E,C ترانزیستور درمدار 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.

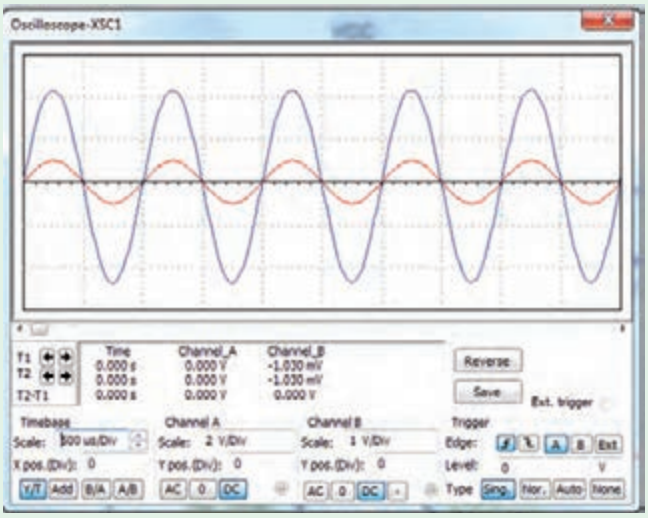
| اندازه‌گیری مقادیر (DC) نقطه‌کار با نرم افزار | |
|---|---|
| $I_C$ =..... mA | $I_B$ =..... mA |
| $I_E$ =..... mA | $V_B$ =.....V |
| $V_C$=.....V | $V_E$=.....V |
| $V_{CE}$ =.....V | $V_{BE}$ =.....V |

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

۳ سیگنال ژنراتور و اسیلوسکوپ متصل شده به مدار را در نرم‌افزار (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 دامنهٔ سیگنال ژنراتور را آن‌قدر تغییر دهید تا دامنهٔ سیگنال خروجی (بدون اعوجاج) روی ۵ ولت پیک‌تاپیک تنظیم شود (شکل ۲۰).

$$A_V = \frac{Vo_{PP(NL)}}{Vin_{pp}} = .....$$

**توجه:** دراین حالت مقاومت بار ۲/۲ kΩرا به مدار اتصال ندهید (کلید سری با آن باز باشد).




**شکل ۲۰ـ نمایش سیگنال ولتاژ ورودی و سیگنال ولتاژ خروجی C.B در اسیلوسکوپ نرم‌افزار**

۴ مقادیر ولتاژ خروجی $Vo_{pp\,(NL)}$ و ولتاژ ورودی $Vin_{pp}$ را از روی پراب‌های اندازه‌گیری یادداشت کنید.

$Vin_{pp}$ =..... $Vo_{pp\,(NL)}$=.....

۵ با استفاده از رابطهٔ بهره ولتاژ، مقدار بهرهٔ ولتاژ را درحالت بی‌باری به‌دست آورید.

$$A_V = \frac{Vo_{PP(NL)}}{Vin_{pp}} = .....$$

۶ مقاومت بار $R_L$ = ۲/۲kΩ را به مدار متصل کنید (کلید سری با آن را وصل کنید) در این مرحله باید $Vo_{PP(FL)}$ و $Vin_{pp}$ مجدداً با اسیلوسکوپ و پراب‌ها اندازه‌گیری شود.

$Vin_{pp}$ =..... $Vo_{pp\,(FL)}$=.....

۷ بهرهٔ ولتاژ مدار را درحالت بارداری از رابطه زیر محاسبه کنید:

$$A_{VL} = \frac{Vo_{PP(FL)}}{Vin_{pp}} = .....$$

۸ با اندازه‌گیری ولتاژ دو سر بار به وسیلهٔ اسیلوسکوپ، $I_L$ را از رابطهٔ زیر محاسبه کنید:

$V_{RL} = Vo_{PP(FL)}$= ..... $I_L = \frac{Vo_{pp(FL)}}{R_L} = .....$

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

اختلاف فاز φ= .....

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

$$R_{Out} = \frac{Vo_{PP(NL)} - Vo_{pp(FL)}}{Vo_{pp(FL)}} \times R_L = .....$$

ـ مقادیر بهره ولتاژ اندازه‌گیری شده درحالت بارداری و بی‌باری 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 رابطهٔ زیر محاسبه کنید:

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

۱۲ با استفاده از جریان ورودی و خروجی ضریب بهرهٔ جریان را به‌دست آورید:

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

۱۳ با مقادیر $V_{in}$ و $I_{in}$ مقدار مقاومت ورودی تقویت‌کننده را از رابطه زیر به‌دست آورید.

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

۱۴ نتایج به‌دست آمده را در جدول ۳ یادداشت کنید و دربارهٔ آنها توضیح دهید.

**جدول ۳**

| اختلاف فاز φ | مقاومت خروجی $R_o$ | مقاومت ورودی $R_{in}$ | بهرهٔ جریان $A_I$ | بهرهٔ ولتاژ $A_V$ |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

.....

.....

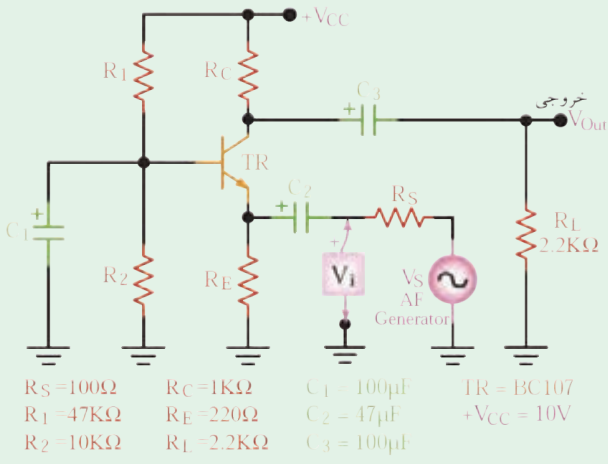
.....

**مراحل اجرای کار عملی سخت افزاری**

۱۵ مدار شکل ۲۱ را روی بردبُرد ببندید.
دراین مرحله $R_L$ و سیگنال ژنراتور به مدار اتصال ندارد.

۱۶ با استفاده از مولتی‌متر مشخصات نقطهٔ کار مدار ($V_{CE}$، $I_C$، $V_{BE}$) را اندازه بگیرید و مقادیرآن‌را یادداشت کنید.

| اندازه‌گیری مقادیر (DC) نقطه‌کار به صورت عملی | |
|---|---|
| $V_C$ =.....V<br>$V_{CE}$ =.....V | $V_B$=.....V<br>$V_E$=.....V<br>$V_{BE}$ =.....V |




**شکل ۲۱ـ مدار عملی تقویت‌کنندهٔ بیس مشترک**

**توجه:** اگرمقدار $V_{CE}$ حدوداً نصف$V_{CC}$ باشد، (بین۴ تا ۷ ولت) قابل قبول است.
**نکته:** تنظیم اولیه دستگاه اسیلوسکوپ برای افزایش دقت در اندازه‌گیری را مطابق آن‌چه که در تقویت‌کننده امیتر مشترک بیان شد اجرا کنید.

۱۷ سیگنال ژنراتور را روی فرکانس یک‌کیلوهرتز تنظیم کنید.
کانال دوم ($CH_۲$) اسیلوسکوپ را به خروجی مدار وصل کنید (دراین حالت باری به مدار وصل نیست).
دامنهٔ سیگنال ورودی را آن‌قدر تغییردهید تا دامنهٔ سیگنال خروجی بدون اعوجاج (حدوداً) روی $۵V_{P-P}$ تنظیم شود.

$Vo_{pp\ (NL)}$=.....

۱۸ دامنهٔ سیگنال ورودی را به‌وسیله کانال ($CH_۱$) اسیلوسکوپ اندازه بگیرید.

$Vin_{pp}$ = .....

۱۹ بهرهٔ ولتاژ مدار را محاسبه کنید.

$$A_V = \frac{Vo_{PP(NL)}}{Vin_{pp}} = .....$$

۲۰ مقاومت بار $R_L = ۲/۲k\Omega$ را به خروجی مدار وصل‌کنید. با اندازه‌گیری ولتاژ دوسر بار به وسیلهٔ اسیلوسکوپ $I_L$ را از رابطهٔ زیرمحاسبه کنید.

$$V_{RL} = Vo_{PP(FL)} = .....$$

$$I_L = \frac{Vo_{pp(FL)}}{R_L} = .....$$

۲۱ با استفاده از رابطهٔ بهره ولتاژ، مقدار بهرهٔ ولتاژ را درحالت بار کامل به‌دست آورید.

$$A_{VL} = \frac{Vo_{PP(FL)}}{Vin_{pp}} = .....$$

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

$$R_{Out} = \frac{Vo_{PP(NL)} - Vo_{pp(FL)}}{Vo_{pp(FL)}} \times R_L = .....$$

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

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

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

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

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

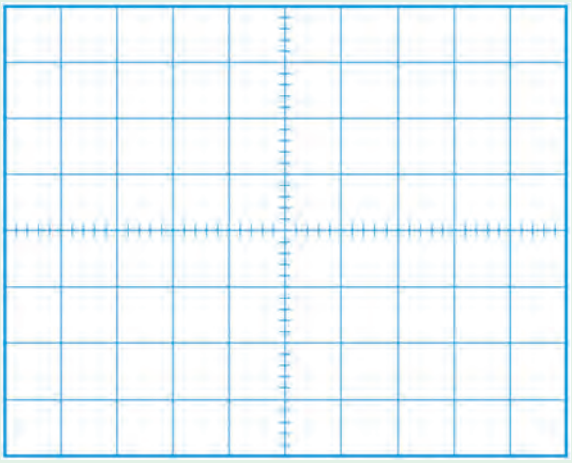
$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = .....$$

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

**نکته مهم:** هنگام مشاهدهٔ شکل موج خروجی و ورودی دقت کنید تا اسیلوسکوپ روی $CH_2$ Invert نباشد. زیرا اگر روی این تنظیم قرار گیرد اختلاف فاز را نشان نمی‌دهد.

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

اختلاف فاز $\varphi$= .....



**شکل ۲۲ـ محل ترسیم شکل موج ورودی و خروجی مدار CB**

۲۸ نتایج به دست آمده را در جدول ۲ یادداشت کنید. مقادیر پارامترهای AC تقویت‌کننده را دردوحالت نرم‌افزاری و سخت‌افزاری با هم مقایسه کنید.

**جدول ۴**

| پارامترهای AC تقویت‌کننده | مقادیر اندازه‌گیری شده با نرم افزار | مقادیر اندازه‌گیری شده با مدار سخت افزار (عملی) |
|---|---|---|
| بهره ولتاژ $A_V$ | | |
| بهره جریان $A_i$ | | |
| مقاومت ورودی $R_{in}$ | | |
| مقاومت خروجی $R_O$ | | |
| اختلاف فاز $\phi$ | | |

ـ آنچه را که در آزمایش مدار تقویت‌کننده بیس مشترک فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

.....

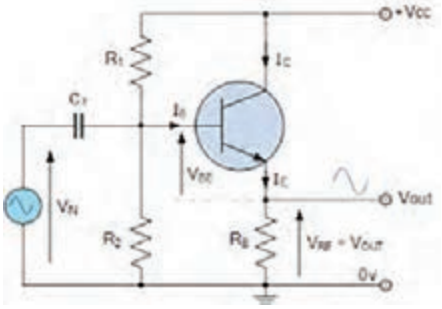
.....

.....

.....

## بررسی تقویت‌کننده کلکتور مشترک (CB)

همان‌طور که در شکل ۲۳ ملاحظه می‌کنید، در مدار تقویت‌کننده کلکتور مشترک، سیگنال ورودی به بیس و کلکتور اعمال شده و سیگنال خروجی از امیتر و کلکتور دریافت می‌شود. به عبارت دیگر پایه کلکتور بین ورودی و خروجی مشترک است. مقدار مقاومت‌های بایاس $R_2$ و $R_1$ نسبتاً زیاد هستند از این رو مقاومت ورودی تقویت‌کننده CC افزایش می‌یابد و از مقاومت ورودی تقویت‌کننده‌های CE و CB بیش‌تر است. چون مقاومت $R_C$ وجود ندارد درشرایط AC سیگنال متناوب ورودی عیناً به پایه‌های «بیس کلکتور» اتصال می‌یابد و سیگنال متناوب خروجی از پایه‌های «امیترکلکتور» دریافت می‌شود.




**شکل ۲۳ــ تقویت‌کننده کلکتور مشترک CC**

### مشخصات تقویت‌کننده کلکتور مشترک

الف) بهرهٔ ولتاژ $Av=\frac{V_o}{V_{in}}$ در آرایش کلکتور مشترک بهره ولتاژ کوچک‌تر از واحد است.

ب) بهرهٔ 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 بیش‌تر 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 می‌آید 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 ($R_i$) مدارکلکتور مشترک در مقایسه با مدار امیتر مشترک بزرگ‌تر است و به‌سمت مقاومت معادل $R_1$ و $R_2$ میل می‌کند.

$$R_i \approx R_1 \parallel R_2$$

ت) مقاومت خروجی تقویت‌کننده کلکتور مشترک از موازی شدن مقاومت $R_E$ بامقاومت امیتر کلکتور ترانزیستور به‌دست می‌آید. این مقاومت کوچک و درحدود چند ده اهم است.

ج) درمدارکلکتور مشترک بین ولتاژ خروجی و ولتاژ ورودی اختلاف فازی وجود ندارد. هم‌چنین، اختلاف فاز بین جریان‌های ورودی و خروجی صفر است.

**کاربرد تقویت‌کننده:** از این تقویت‌کننده به‌عنوان تقویت‌کننده جریان در رگولاتورها و تقویت‌کننده انتهایی در تقویت‌کننده‌های صوتی استفاده می‌کنند. این تقویت‌کننده به علت دارا بودن مقاومت ورودی زیاد و مقاومت خروجی کم به‌عنوان تطبیق‌دهنده امپدانس مقاومت به کار می‌رود و برای تطبیق امپدانس زیاد به امپدانس کم در تقویت‌کننده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تحقیق کنید

درمورد چگونگی عملکردیک تطبیق‌دهنده امپدانس تحقیق کنید. نتایج تحقیق را به کلاس ارائه دهید.

کار عملی ۳

**بستن تقویت‌کننده کلکتور مشترک**

**هدف:** بررسی کمیت‌ها درتقویت‌کنندهٔ کلکتور مشترک

**مواد، ابزار و تجهیزات:** منبع تغذیه یک‌دستگاه، سیگنال ژنراتور صوتی یک دستگاه، اسیلوسکوپ دوکاناله یک دستگاه

بردبرُد آزمایشگاهی یک قطعه، مولتی‌متر دیجیتالی یک دستگاه، سیم‌رابط تغذیه به تعداد، سیم رابط بردبرُد به تعدادکافی

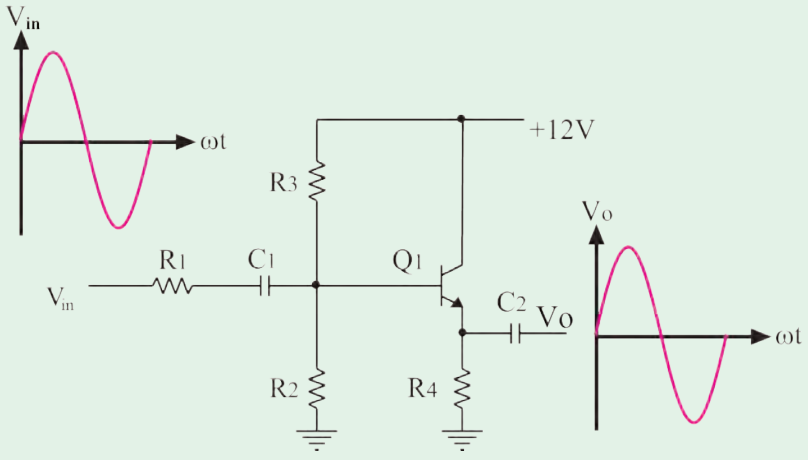
رایانه، نرم افزار مولتی سیم، نوشت افزار، ترانزیستور BC۵۴۷ یا BC۱۰۷ یک عدد

مقاومت به $Rc=۴/۷\ k\Omega$ ,$R_E=۱k\Omega$ ,$R_۲=۱۸۰\ k\Omega$ ,$R_۱=۶۸k\Omega$ $R_L=۲/۲K\Omega$ ,$Rs=۱۰K\Omega$ خازن ۴۷ µF یک عدد خازن ۱۰۰ µF یک عدد

هدف از اجرای این کار عملی اندازه‌گیری بهرهٔ ولتاژ، بهرهٔ جریان، مقاومت ورودی، مقاومت خروجی و اختلاف فاز بین سیگنال ولتاژ ورودی و سیگنال ولتاژ خروجی است.

دراین تقویت‌کننده سیگنال ورودی به بیس کلکتور اعمال می‌گردد و سیگنال خروجی از امیتر کلکتور دریافت می‌شود؛ یعنی پایهٔ کلکتور بین ورودی و خروجی مشترک است. از این‌رو به این تقویت‌کننده کلکتور مشترک می‌گویند (شکل ۲۴).

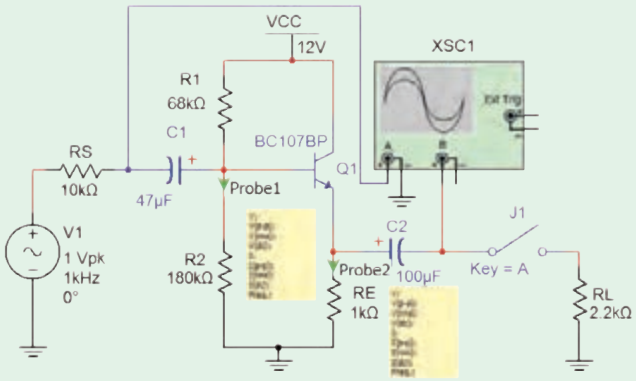
توجه داشته باشید که منبع تغذیهٔ DC از نظر ولتاژ متناوب اتصال کوتاه است؛ درنتیجه، کلکتور از نظر ولتاژ متناوب به زمین وصل می‌شود. مقاومت‌های $R_۱$ و $R_۲$ تقسیم‌کنندهٔ ولتاژ هستند و ولتاژ بیس را تأمین می‌کنند.




**شکل ۲۴ــ مدار تقویت‌کننده کلکتور مشترک (CC)**

**مراحل اجرای کار عملی نرم‌افزاری**

۱ مدار تقویت‌کنندهٔ کلکتور مشترک نشان داده شده، در شکل ۲۵ را در محیط نرم‌افزار مولتی‌سیم ببندید. در این مرحله مقاومت بار و سیگنال ژنراتور به مدار اتصال ندارد.

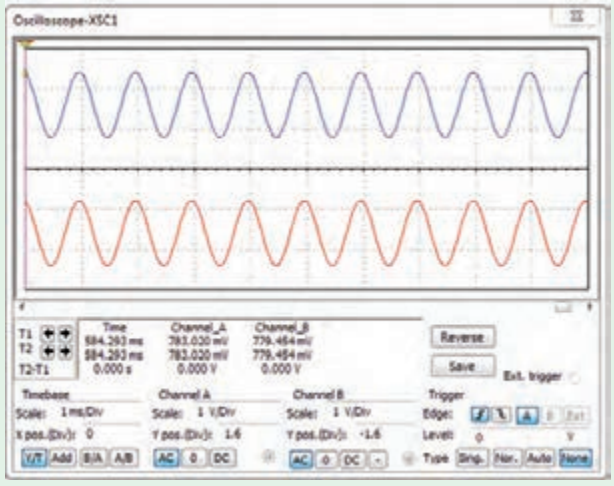



**شکل ۲۵ـ مدار تقویت‌کنندهٔ کلکتور مشترک**

**نکته مهم:** پراب probe اندازه‌گیری را به ترتیب به پایه B,E,C ترانزیستور درمدار اتصال دهید.

۲ نرم‌افزار را فعال کنید با استفاده از پراب‌ها ($probe_1$ و $probe_2$) مشخصات نقطهٔ کار مدار را اندازه‌گیری کنید و مقادیر را بنویسید.

| اندازه‌گیری مقادیر (DC) نقطه‌کار با نرم افزار | |
|---|---|
| $I_B$ =..... mA | $I_C$ =..... mA |
| $V_B$ =.....V | $I_E$ =..... mA |
| $V_E$=.....V | $V_C$=.....V |
| $V_{BE}$ =.....V | $V_{CE}$ =.....V |




**شکل ۲۶ـ نمایش سیگنال ولتاژ ورودی و سیگنال ولتاژ خروجی C.B در اسیلوسکوپ نرم‌افزار**

۳ سیگنال ژنراتور و اسیلوسکوپ متصل شده به مدار را در نرم‌افزار (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 دامنهٔ سیگنال ژنراتور را آن قدر تغییر دهید تا دامنهٔ سیگنال خروجی (بدون اعوجاج) روی ۵ ولت پیک‌تاپیک تنظیم شود (شکل ۲۶).

**توجه:** دراین حالت مقاومت بار ۲/۲ kΩرا به مدار اتصال ندهید (کلید سری با آن باز باشد).

۴ مقادیر ولتاژ خروجی $Vo_{pp\,(NL)}$ و ولتاژ ورودی $Vin_{pp}$ را از روی پراب‌های اندازه‌گیری یادداشت کنید.

$Vo_{pp\,(NL)}$ = ..... $Vin_{pp}$=.....

۵ با استفاده از رابطهٔبهره ولتاژ، مقدار بهرهٔ ولتاژ را در حالت بی باری به دست آورید .

$$A_V = \frac{Vo_{PP(NL)}}{Vin_{pp}} = .....$$

۶ مقاومت بار $R_L$=۲/۲kΩ را به مدار متصل کنید (کلید سری با آن را وصل کنید) دراین مرحله باید $Vo_{PP\ (FL)}$ و $Vi_{PP}$ مجدداً با اسیلوسکوپ و پراب‌ها اندازه‌گیری شود.

$Vin_{pp}$=..... $Vo_{pp\ (FL)}$ = .....

۷ بهرهٔ ولتاژ مدار را در حالت بارداری از رابطه روبه‌رو محاسبه کنید.

$$A_V = \frac{Vo_{PP(FL)}}{Vin_{pp}} = .....$$

ـ مقادیر بهره ولتاژ اندازه‌گیری شده درحالت بارداری و بی‌باری را با هم مقایسه کنید و در مورد آن توضیح دهید.

.....

۸ با اندازه‌گیری ولتاژ دوسر بار به وسیلهٔ اسیلوسکوپ $I_L$ را از رابطهٔ زیر محاسبه کنید.

$$V_{RL} = Vo_{PP(FL)} = .....$$

$$I_L = \frac{Vo_{pp(FL)}}{R_L} = .....$$

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

اختلاف فاز φ= .....

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

$$R_{Out} = \frac{Vo_{PP(NL)} - Vo_{pp(FL)}}{Vo_{pp(FL)}} \times R_L = .....$$

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

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

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

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

۱۳ با مقادیر $V_{in}$ و $I_{in}$ مقدار مقاومت ورودی تقویت‌کننده را از رابطه زیر به‌دست آورید.

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

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

**جدول ۵**

| اختلاف فاز φ | مقاومت خروجی $R_o$ | مقاومت ورودی $R_{in}$ | بهرهٔ جریان $A_I$ | بهرهٔ ولتاژ $A_V$ |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

.....

.....

.....

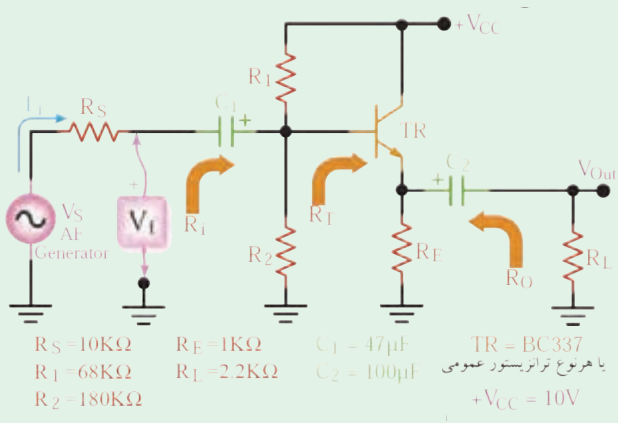
## مراحل اجرای کارعملی سخت‌افزاری

۱۵ مدار شکل ۲۷ را روی بردبرُد ببندید.

دراین مرحله $R_L$ و سیگنال ژنراتور به مدار اتصال ندارد.

۱۶ با استفاده از مولتی‌متر مشخصات نقطهٔ‌کار مدار ($V_{CE}$، $I_C$، $V_{BE}$) را اندازه بگیرید و مقادیرآن‌را یادداشت کنید.

| اندازه‌گیری مقادیر (DC) نقطه‌کار به صورت عملی | |
|---|---|
| $V_B$ =.....V<br>$V_E$=.....V<br>$V_{BE}$ =.....V | $V_C$=.....V<br>$V_{CE}$ =.....V |




شکل ۲۷ـ مدار تقویت‌کننده کلکتور مشترک

۱۷ سیگنال ژنراتور را روی فرکانس یک‌کیلوهرتز تنظیم کنید.

کانال دوم ($CH_2$) اسیلوسکوپ را به خروجی مدار وصل کنید (دراین حالت باری به مدار وصل نیست).

ـ دامنهٔ سیگنال ورودی را آن‌قدر تغییر دهید تا دامنهٔ سیگنال خروجی بدون اعوجاج (حدوداً) روی $5V_{P-P}$ تنظیم شود.

**تنظیم اولیه دستگاه اسیلوسکوپ برای افزایش دقت در اندازه‌گیری:**

ـ به کمک ولوم INTENT نور اشعه را به مقدارکافی تنظیم کنید.

ـ به کمک ولوم FOCUS اشعه را تاحدممکن نازک(باریک) کنید.

ـ ولوم Level را روی صفر بگذارید.

ـ ولوم variable time را در حالت cal قراردهید.

ـ ولوم Volt variable هردو کانال را درحالت صفر قرار دهید.

ـ کلید AC-GND-DC هردوکانال را درحالت GND قراردهید و برای هردوکانال نقطه صفر درمرکز صفحه حساس تنظیم کنید.

۱۸ دامنهٔ سیگنال ورودی را به‌وسیله کانال اول ($CH_1$) اسیلوسکوپ اندازه بگیرید.

۱۹ بهرهٔ ولتاژ مدار را محاسبه کنید.

$$A_V = \frac{Vo_{PP(NL)}}{Vin_{pp}} = .....$$

۲۰ مقاومت بار $R_L = 2/2k\Omega$ را به خروجی مدار وصل‌کنید با اندازه‌گیری ولتاژ دوسر بار به‌وسیلهٔ اسیلوسکوپ $I_L$ را از رابطهٔ روبه‌رو محاسبه کنید.

$$I_L = \frac{Vo_{pp(FL)}}{R_L} = .....$$

$$V_{RL} = Vo_{PP(FL)=} .....$$

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

$$A_{VL} = \frac{Vo_{PP(FL)}}{Vin_{pp}} = .....$$

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

$$R_{Out} = \frac{Vo_{PP(NL)} - Vo_{pp(FL)}}{Vo_{pp(FL)}} \times R_L = .....$$

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

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

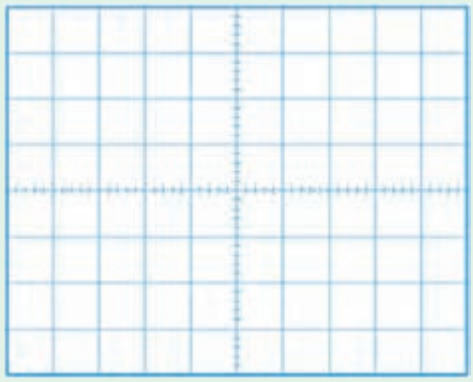
۲۴ بهرهٔ جریان مدار را با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده برای $I_L$، $I_i$ محاسبه کنید.

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

۲۵ با اندازه‌گیری $V_i$ و $I_i$ مقاومت ورودی تقویت‌کننده را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

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

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



**شکل ۲۸ـ محل ترسیم شکل موج ورودی و خروجی مدار CC**

**نکته مهم:** هنگام مشاهدهٔ شکل موج خروجی و ورودی دقت کنید تا اسیلوسکوپ روی $CH_2$ Invert نباشد. زیرا اگر روی این تنظیم قرار گیرد اختلاف فاز را نشان نمی‌دهد.

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

اختلاف فاز $\varphi$= .....

۲۸ نتایج به دست آمده را در جدول ۶ یادداشت کنید. مقادیر پارامترهای AC تقویت‌کننده را دردوحالت نرم‌افزاری و سخت‌افزاری با هم مقایسه کنید.

**جدول ۶**

| مقادیر اندازه‌گیری شده با مدار سخت افزار (عملی) | مقادیر اندازه‌گیری شده با نرم افزار | پارامترهای AC تقویت‌کننده |
|---|---|---|
| | | بهره ولتاژ $A_V$ |
| | | بهره جریان $A_i$ |
| | | مقاومت ورودی $R_{in}$ |
| | | مقاومت خروجی $R_O$ |
| | | اختلاف فاز $\phi$ |

ـ آنچه را که درآزمایش مدار تقویت‌کننده کلکتور مشترک فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

.....

## خودارزیابی

۱ درکدام آرایش تقویت‌کننده سیگنال خروجی از ترمینال کلکتور گرفته می‌شود و سیگنال ورودی به بیس اعمال می‌شود؟

۲ تقویت‌کننده با آرایش ..... . دارای بهرهٔ ولتاژ زیاد و بهرهٔ جریان کم و کوچک‌تر از واحد است.

۳ کدام‌یک از آرایش‌های 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 تقویت‌کننده بیس مشترک (Common Base) است که آن‌را برای کاربردهای فرکانس بالا مناسب می‌سازد؟

الف) ضریب تقویت جریان بسیار بالا

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

پ) عدم‌نیاز به خازن بای‌پس

ت) اختلاف فاز ۹۰ درجه بین ورودی و خروجی

۵ در تقویت‌کننده کلکتور مشترک (که به‌عنوان امیتر پیرو نیز شناخته می‌شود)، مقاومت ورودی بسیار پایین و مقاومت خروجی بسیار بالا است.

☐ صحیح ☐ غلط

۶ کدام رابطه، فرمول محاسبه مقاومت خروجی یک تقویت‌کننده را به‌درستی بیان می‌کند؟

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 دریک تقویت‌کننده امیترمشترک، کدام گزینه درباره فاز و بهرهٔ ولتاژ صحیح است؟

الف) بهرهٔ ولتاژ زیاد بوده و سیگنال خروجی هم‌فاز با ورودی است.

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

پ) بهرهٔ ولتاژ نسبتاً زیاد بوده و سیگنال خروجی ۱۸۰درجه اختلاف فاز دارد.
ت) بهرهٔ ولتاژ تقریباً برابر ۱ بوده و اختلاف فاز صفر است.

**۸** کدام گزینه درباره ورودی تقویت‌کننده بیس مشترک صحیح است؟
الف) مقاومت ورودی بسیارزیاد
ب) مقاومت ورودی بسیارکم
پ) بهره جریان زیاد
ت) بهره ولتاژ صفر

**۹** درتقویت‌کننده کلکتور مشترک، کدام ویژگی بیشترین مزیت را برای کاربرد به‌عنوان بافر ورودی ارائه می‌دهد؟
الف) بهره ولتاژ زیاد
ب) مقاومت ورودی زیاد و مقاومت خروجی کم
پ) بهره جریان کم
ت) تغییر فاز ۱۸۰درجه

**۱۰** درتقویت‌کننده کلکتورمشترک (امیترفالوور) بهرهٔ ولتاژ تقریباً برابر ۱ است.
☐ صحیح ☐ غلط

**۱۱** مقاومت خروجی درتقویت‌کننده امیترمشترک از مقاومت خروجی درکلکتورمشترک بیشتر است.
☐ صحیح ☐ غلط

**۱۲** درتقویت‌کننده بیس مشترک بهره جریان تقریباً برابر ۱ بوده و تقویت جریان ندارد.
☐ صحیح ☐ غلط

# ارزشیابی شایستگی راه‌اندازی تقویت‌کننده سیگنال باترانزیستور BJT

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **نام و نام خانوادگی :** | **شماره ملی:** | | **تاریخ ارزشیابی:** | | |
| **کد حرفه** | ۸۲۱۲۲۳ | **حرفه** | مونتاژکاران تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی | **کدپیمانه/پودمان** | ۸۲۱۲۱۳۰۱۱ |
| **کد وظیفه شغل** | ۸۲۱۲۲۳۰۱ | **وظیفه شغل** | ساخت بردهای الکترونیکی | **سطح صلاحیت** | L۳ |
| **کد کار** | ۸۲۱۲۲۳۰۱۱۱ | **کار** | راه‌اندازی تقویت‌کننده سیگنال باترانزیستور BJT | **سطح شایستگی** | مهارت |

**استاندارد عملکرد:**
با شبیه‌سازی و بستن مدارهای عملی تقویت‌کننده‌های تک‌ترانزیستوری، پارامترهای مهم AC (بهره ولتاژ، بهره جریان، مقاومت ورودی و خروجی و اختلاف فاز) را در سه آرایش BJT اندازه‌گیری کند. سپس بامقایسه نتایج با جدول استاندارد، عملکرد مدارهای تقویت‌کننده‌ها را ارزیابی کند.

| ردیف | مراحل کار | شرایط انجام کار (ابزار،مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...) | ابزارهای ارزشیابی | استاندارد (شاخص‌ها/داوری/نمره‌دهی) | نتایج ممکن | نمره کسب‌شده |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | پیاده‌سازی دقیق سه آرایش BJT (CC ,CB ,CE) در نرم‌افزار و روی بردبُرد | رایانه، نرم افزار شبیه‌سازی، زمان ۲ ساعت برای تحلیل و ۴ساعت برای شبیه‌سازی و پیاده‌سازی در کارگاه الکترونیک | مشاهده‌مستقیم، چک‌لیست، بررسی مدار شبیه‌سازی و مدار عملی | مدارها را دقیق درهر دو بخش می‌بندد. | ۳ | |
| | | | | مدارها را درست و با خطای جزئی می‌بندد. | ۲ | |
| | | | | خطای اساسی دربستن یا شبیه‌سازی مدار | ۱ | |
| ۲ | صحت اندازه‌گیری پارامترهای AC | سیگنال ژنراتور، اسیلوسکوپ، مولتی‌متر و مدارهای آماده‌شده ، تقویت‌کننده ترانزیستوری BJT | دقت اندازه‌گیری پارامترها، استفاده صحیح از تجهیزات، بررسی خروجی اسیلوسکوپ، ثبت داده‌ها در جدول | اندازه‌گیری و ثبت پارامترها را با دقت بالا | ۳ | |
| | | | | اندازه‌گیری قابل قبول با خطاهای جزئی دردقت یا تنظیمات | ۲ | |
| | | | | خطای اساسی دراندازه‌گیری یا ثبت | ۱ | |
| ۳ | تحلیل و مقایسه نتایج مدارهای تقویت‌کننده ترانزیستوری BJT | داده‌های اندازه‌گیری‌شده از مدارهای Common Base، Common Emitter و Common Collector | بررسی گزارش تحلیلی، مقایسه داده‌ها درجدول یا نمودار، پرسش | تحلیل دقیق و مقایسه صحیح هر سه آرایش | ۳ | |
| | | | | تحلیل نسبتاً درست با نقص جزئی | ۲ | |
| | | | | تحلیل ناقص و عدم توانایی درمقایسه نتایج | ۱ | |
| ۴ | گزارش‌نویسی فنی و تفسیر رفتار آرایش‌ها | نتایج آزمایش، داده‌های اندازه‌گیری‌شده، رسم نمودار با ابزاردستی، قالب گزارش و زمان ۲ ساعت برای تکمیل گزارش | بررسی گزارش نهایی، نمودارها،محاسبات، تفسیر صحیح رفتار آرایش‌ها و تحلیل‌نتایج | گزارش‌کامل و دقیق با تفسیر صحیح و تحلیل جامع رفتار آرایش‌ها | ۳ | |
| | | | | گزارش قابل قبول با تفسیر نسبی و نقص‌های جزئی در تحلیل | ۲ | |
| | | | | گزارش ناقص بدون تفسیر صحیح رفتار آرایش‌ها | ۱ | |
| | **شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش:** کارگاه الکترونیک مجهز به ابزار و دستگاه‌های شبیه‌سازی و بستن مدارها، تجهیزات حفاظت فردی و قطعات مورد نیاز، انجام فعالیت‌های کارگاهی مطابق با دستورالعمل‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای | | مشاهده رفتار هنرجو در حین انجام فعالیت، میزان رعایت اصول ایمنی و نظم، فعالیت‌های گروهی، مدیریت زمان و مسئولیت‌پذیری | رعایت کامل ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست ،رفتار حرفه‌ای، نظم و مسئولیت‌پذیری بالا | ۲ | |
| | | | | رعایت نسبی ایمنی و بهداشت با خطاهای جزئی، رفتارکاری مناسب | ۱ | |
| **ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)** | | | | | بلی ☐ | |
| | | | | | خیر ☐ | |

**توضیحات:**

**معیار شایستگی انجام کار:**

ـ کسب حداقل نمره ۲ در شبیه‌سازی و بستن مدارهای BJT، اندازه‌گیری پارامترهای و تحلیل نتایج. (مراحل بحرانی)

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

ـ 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، عیب یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.

# واحد یادگیری ۲ : راه‌اندازی تقویت‌کننده سیگنال با ترانزیستور FET

## آیا تا به حال فکر کرده‌اید؟

- چرا باوجودعملکرد مشابه، ترانزیستورهای FET درپردازش سیگنال‌های حساس به ترانزیستورهای BJT ترجیح داده می‌شوند؟
- تفاوت بنیادین درنحوه کنترل (ولتاژ درFET درمقابل جریان درBJT) چگونه باعث می‌شود FETها برای مدارهای دیجیتال و میکروکنترلرها ایده‌آل‌تر باشند؟
- چرا باوجود بهره بالاتر و عملکرد بهتر درتقویت آنالوگ، ترانزیستورهای BJT درکاربردهای سوئیچینگ کارایی کمتری نسبت به FETها دارند؟
- چگونه امپدانس ورودی بسیاربالا در FETها، آنها را به‌گزینه‌ای بی‌رقیب برای تقویت‌کننده‌های کنترل‌شده با ولتاژ و منابع تغذیه تبدیل می‌کند؟
- چرا FETها انتخابی ایده‌آل برای مدارهای تقویت‌کننده کنترل شده با ولتاژ و منابع تغذیه هستند؟

ترانزیستورهای اثرمیدانی (FET) قطعاتی کنترل‌شده با ولتاژ هستندکه مصرف توان‌کمتری دارند. علاوه‌برتقویت دامنه ولتاژ و جریان، آنها برای کاربردهای دیجیتال، مانند میکروکنترلرها و مدارهای منطقی، مناسب‌ترند. همچنین، FETها نویز کمتری تولید می‌کنند؛ به‌همین‌دلیل درپردازش سیگنال‌های حساس ترجیح داده می‌شوند.

هنگامی‌که ترانزیستور FET به عنوان تقویت‌کننده استفاده می‌شود، یک سیگنال ورودی کوچک در پایه گیت، باعث ایجاد یک سیگنال خروجی بزرگ‌تر و متناسب در پایه‌های سورس و درین می‌گردد.

اگرچه BJT و FET هردو عملکردهای مشابهی دارند، اما تفاوت‌های مشخصی بین آنها وجود داردکه استفاده از هریک را درکاربردهای خاص تعیین می‌کند.BJTها قطعاتی کنترل‌شده با جریان هستند، بهره بالاتری دارند و عملکرد بهتری درکاربردهای خطی مانند تقویت آنالوگ ارائه می‌دهند. درمقابل، آنها مصرف توان بیشتری دارند و درهنگام سوئیچینگ، کارایی کمتری از خود نشان می‌دهند. FETها به‌دلیل امپدانس ورودی بالا و مصرف توان پایین، بسیارموردتوجه هستند و برای مدارهای دیجیتال، تقویت‌کننده‌های کنترل‌شده با ولتاژ و منابع تغذیه ایده‌آل می‌باشند.

## استاندارد عملکرد

ترانزیستورهای FET را براساس اصول کنترل ولتاژ و جریان، تفاوت‌های عملکردی و کاربردهای آن در مدارهای آنالوگ و دیجیتال تحلیل و مقایسه نماید. مدار تقویت‌کننده سیگنال را در محیط نرم‌افزار و بر روی بِردبُرد پیاده‌سازی کند.

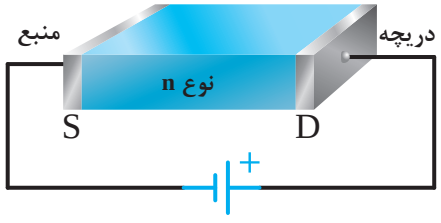
## ترانزیستور اثر میدان FET (Field Effect Transistor)

ترانزیستورهای معمولی به‌دلیل ساختار فیزیکی خاصی که دارند ترانزیستورهای دوپیوندی یا BJT نامیده می‌شوند. این ترانزیستورها قطعاتی هستندکه جریان را کنترل می‌کنند. به‌زبانی دیگر جریان‌عبوری بیس ترانزیستور جریان کلکتور را کنترل می‌کند. هم‌چنین مقاومت ورودی ترانزیستور BJT کم است. ازسوی‌دیگر دردستگاه‌های اندازه‌گیری مانند ولت‌متر و اسیلوسکوپ باید مقاومت ورودی زیاد باشد تا باعث بارگذاری روی مدار نشود و جریان نکشد. بنابراین استفاده از ترانزیستورهای BJT دراین‌گونه دستگاه‌ها، کارایی لازم را ندارند. قطعه دیگری به‌نام ترانزیستور اثرمیدان یا FET وجود داردکه جایگزین BJT می‌شود. ساختمان داخلی ترانزیستورهای اثر میدان یا FET درمقایسه با ترانزیستورهای BJT ساده‌تر است و مقاومت ورودی بسیارزیاد درحدود ۱۰MΩ تا ۱۰۰۰MΩدارند. ترانزیستورهای اثر میدان با ولتاژ کنترل می‌شوند و درساختمان داخلی آنها فقط دونوع نیمه‌هادی به‌کار می‌رود، به‌همین‌علت این ترانزیستورها را یک‌قطبی (unijunction Transistor) یا تک‌پیوندی می‌گویند. ترانزیستورهای اثرمیدان را در دونوع JFET و MOSFET می‌سازند. MOS از اول کلمات Metal Oxide Semiconductor و به‌معنی نیمه‌هادی اکسید فلز گرفته شده است.

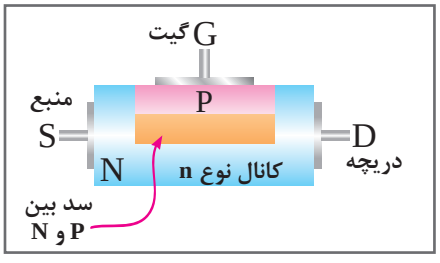
### ترانزیستور با اثرمیدان پیوندی یا JFET (Junction Field Effect Transistor)

این ترانزیستور در دونوع با کانال N و P تولید می‌شود. درنوع کانال N، یک‌میله با ناخالصی‌کم از نوع N را به‌عنوان کانال در نظر می‌گیرند. این میله مانند یک مقاومت عمل می‌کند. اگر یک باتری، مطابق شکل ۲۹ به دوسر این میله وصل‌کنیم، جریانی متناسب با ولتاژ دوسر باتری از آن عبور می‌کند. یک انتهای میله را که الکترون‌ها ازآن خارج می‌شوند دریچه یا درین (Drain) و انتهای دیگر میله را، که الکترون‌ها به آن وارد می‌شوند منبع یا سورس (Source) نام‌گذاری می‌کنند. اگر درقسمتی از این میله یک فلز سه ظرفیتی نفوذ دهیم، لایه P شکل می‌گیرد و یک پیوند PN به‌وجود می‌آید. دراین‌حالت 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 سه‌پایه حاصل می‌شود که به ترانزیستور با اثر میدان‌پیوندی معروف است. شکل ۳۰ ساختمان JFET با کانال N و پایه‌های آن را نشان می‌دهد.

علامت اختصاری JFET با کانال N را درشکل ۳۱ ملاحظه می‌کنید. توجه داشته باشیدکه نوک پیکان به‌سمت داخل معرف گیت از نوع P است.

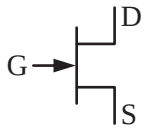



شکل ۲۹ـ نیمه‌هادی باناخالصی N به عنوان کانال

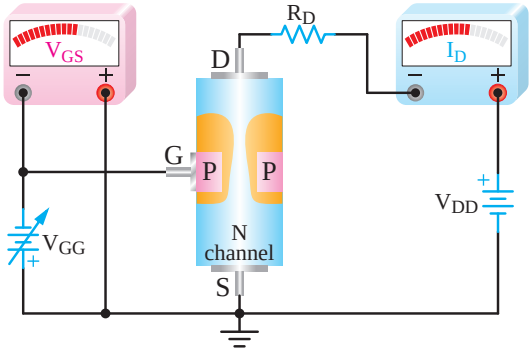



شکل ۳۰ـ ساختمان JFET با کانال N

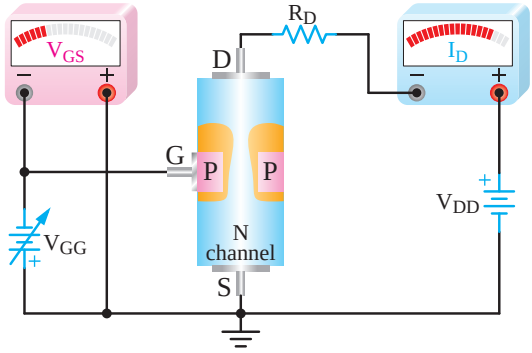
**ـ رفتار JFET در مدار:** چنانچه مطابق شکل ۳۲ گیت سورس را درگرایش معکوس قراردهیم، موجب افزایش مقاومت کانال و کاهش جریان درین می‌شود. شکل ۳۳ نشان می‌دهدکه با مثبت‌تر شدن $V_{GG}$، عرض کانال بیشتر می‌شود و مقاومت کانال را کاهش می‌دهد. در این شرایط جریان درین بیشتری ازمدار می‌گذرد. درشکل ۳۴ مقدار $V_{GS}$را منفی‌ترکرده‌ایم. دراین‌حالت، کانال باریک‌تر می‌شود و مقاومت‌کانال را افزایش می‌دهد. لذا جریان درین ($I_D$) کمتری از مدار می‌گذرد.




**شکل ۳۱ـ علامت اختصاری JFET با کانال N**




**شکل ۳۲ـ $V_{GG}$ پیوند PN را به بایاس مخالف می‌برد.**



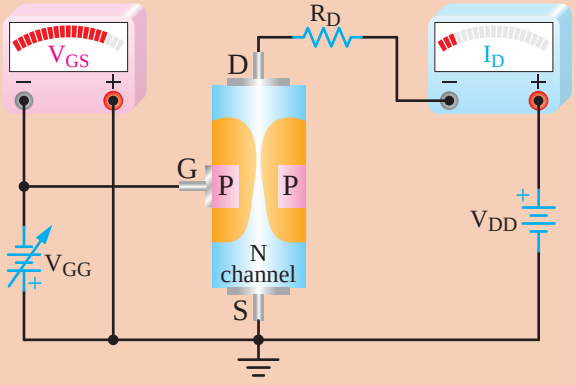

**شکل ۳۳ـ با $V_{GG}$ مثبت‌تر $I_D$ بیشتر است.**

فکر کنید

شباهت‌های بین عبورجریان آب دریک شیر مانند شکل ۳۵ و عبورجریان درین از یک ترانزیستور JFET شکل ۳۴ را بیابید. آیا بسته‌شدن شیر با منفی‌تر شدن ولتاژ $V_{GG}$ قابل مقایسه است؟



**شکل ۳۵**

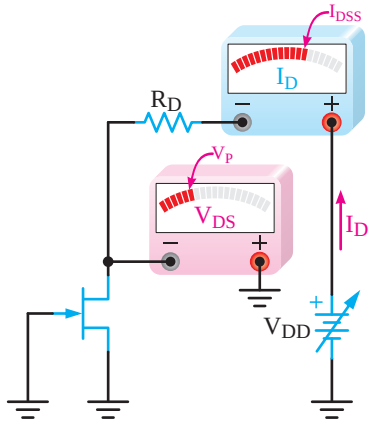



**شکل ۳۴ـ با $V_{GG}$ منفی‌تر $I_D$ کم شده است.**

## مقادیر حد در FET

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

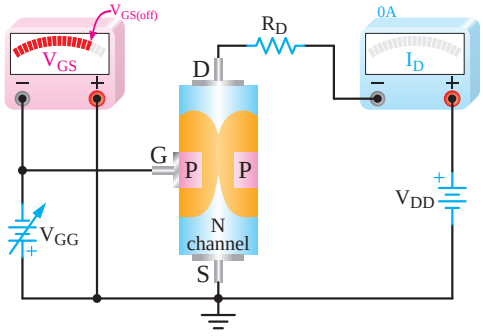
**ـ جریان درین سورس اشباع $I_{DSS}$ ( $I_{DS}$ Saturation)**:
اگر $V_{DS}$ به مقدار $V_P$ و بیشتر از آن برسد، $I_D$ ثابت می‌ماند. این جریان را جریان درین‌سورس اشباع می‌نامند وآن‌را با ($I_{DSS}$) نمایش می‌دهند. $I_{DSS}$ ماکزیمم جریانی است که JFET می‌تواند از خود عبور دهد. این جریان در برگه اطلاعات نوشته 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.




**شکل ۳۶ـ $V_{DS} = V_P$ ، $I_D$ ثابت و برابر $I_{DSS}$ است.**

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

**ـ ولتاژ قطع گیت سورس ($V_{GS\,off}$)**: هرقدر $V_{GS}$ منفی‌تر شود، $I_D$ کاهش می‌یابد، مقدار $V_{GS}$ که بتواند $I_D$ را تقریباً به صفر برساند، ولتاژ قطع گیت سورس ($V_{GSoff}$) نام دارد. معمولاً مقدار عددی ولتاژ قطع گیت سورس با مقدار عددی ولتاژ $V_P$ برابر است.
شکل ۳۷ JFET را درحالت قطع (cut off) نشان می‌دهد.




**شکل ۳۷ـ JFET درناحیه قطع قرار دارد.**

**ـ برگهٔ اطلاعات**: همان‌طورکه قبلاً گفته شد، مشخصات فنی ترانزیستورهای اثرمیدان دربرگه‌های اطلاعات (Data sheet) داده می‌شود. برای دسترسی به اطلاعات کامل می‌توانید به سایت Alldatasheet. Com مراجعه نمایید. درشکل ۳۸ بخشی از مشخصات یک نمونه JFET باکانال N با شماره LS ۸۴۶ آمده است.

نکته

درصورت طرح سؤال جهت آزمون، جداول مربوط به datasheet به زبان اصلی حتماً دراختیار هنرجویان قرارداده شود.

LINEAR SYSTEMS سیستم خطی

*Linear Integrated Systems* سیستم‌های مجتمع خطی

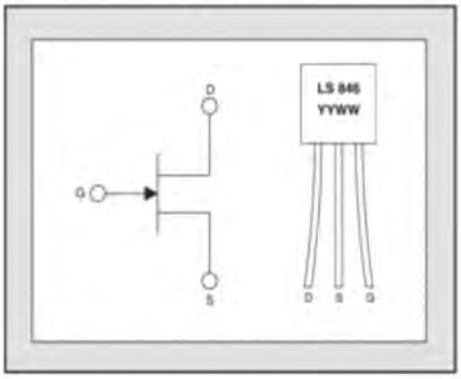
# LS846

## LOW NOISE, LOW LEAKAGE SINGLE N-CHANNEL JFET

JFET کانال N ، نویز و جریان نشتی کم

| FEATURES | مشخصه‌ها | |
|---|---|---|
| ULTRA LOW NOISE | نویز فوق‌العاده کم | $e_n$ = 3nV/√Hz |
| LOW GATE LEAKAGE | جریان نشتی گیت بسیار کم | $I_G$ = 15pA |
| **ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**[1] @ 25 °C (unless otherwise stated) | مقادیر ماکزیمم مطلق در درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی‌گراد | |
| **Maximum Temperatures** | حداکثر درجه حرارت | |
| Storage Temperature | درجه حرارت نگهداری | -65 to +150 °C |
| Operating Junction Temperature | درجه حرارت پیوند | -55 to +135 °C |
| **Maximum Power Dissipation** | حداکثر توان قابل تحمل | |
| Continuous Power Dissipation @ +125 °C | | 350mW |
| **Maximum Currents** | جریان ماکزیمم | |
| Gate Forward Current | جریان موافق گیت | $I_{G(F)}$ = 50mA |
| **Maximum Voltages** | ماکزیمم ولتاژ | |
| Drain to Source | درین سورس | $V_{DSO}$ = 60V |
| Gate to Source | گیت سورس | $V_{GSS}$ = 60V |
| Gate to Drain | گیت درین | $V_{GDS}$ = 60V |

توان تلف شده در بار دائمی در ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد




مشخصه‌های الکتریکی در ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد
(در غیر این صورت قید شده است.)

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS @ 25 °C (unless otherwise stated)**

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

**شکل ۳۸ـ قسمتی از برگه اطلاعات یک نمونه JFET**

فعالیت عملی

یک عدد ترانزیستور JFET را در اختیار بگیرید و با توجه به شماره آن، برگه اطلاعات آن‌را پیداکنید و پایه‌های آن‌را با استفاده از Data Sheet مشخص نمایید.

پژوهش

با مراجعه به رسانه‌های مختلف بررسی کنید آیا با استفاده از اهم‌متر می‌توان پایه‌های ترانزیستور JFET را مشخص کرد؟ چگونه؟ نتیجه را درقالب یک‌گزارش ارائه دهید.

## خودارزیابی

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

۲ مقاومت ورودی ترانزیستورهای BJT به‌علت وجود ..... نسبتاً ..... است.

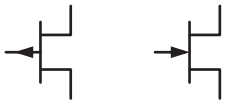
۳ مقاومت ورودی ترانزیستورهای اثرمیدان بسیارزیاد است. ☐ صحیح ☐ غلط

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

۵ $I_{DSS}$ کدام جریان است؟

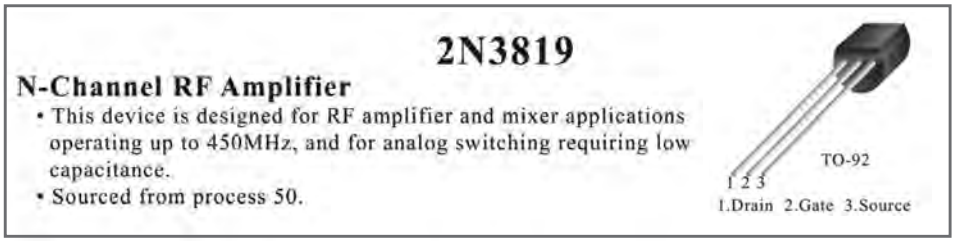
☐ جریان درین وقتی سورس اتصال کوتاه است.
☐ جریان درین درحالتی که مدارقطع است.
☐ حدمتوسط (میانگین) جریان درین
☐ حداکثرجریان ممکن درین

۶ نام پایه‌های JFET درشکل ۳۹ را روی هرپایه بنویسید و سپس نوع کانال (P یا N) را مشخص کنید.



**شکل ۳۹ـ دو نوع JFET**

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.

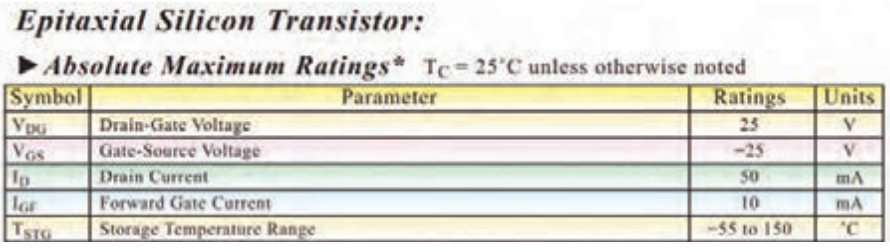
TO-92

1 2 3

1.Drain 2.Gate 3.Source

**شکل ۴۰ـ قسمتی از برگه اطلاعات JFET**

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



***Epitaxial Silicon Transistor:***

***▶ Absolute Maximum Ratings**** $T_C = 25°C$ 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 | °C |

- ..... $V_{DG}$
- ..... $V_{GS}$
- ..... $I_D$
- ..... $I_{GF}$
- ..... $T_{STG}$

**شکل ۴۱ـ قسمتی از برگه اطلاعات JFET**

کار عملی ۴

### آزمایش JFET در نرم‌افزار

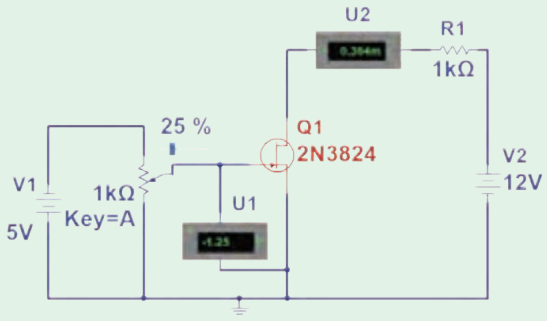
**هدف:** بررسی تأثیر تغییر $V_{GS}$ برروی جریان درین

**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه،نرم‌افزار مناسب، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

۱ نرم افزار مولتی‌سیم یا هرنرم‌افزار مناسب دیگری را راه‌اندازی کنید.

۲ مدار شکل ۴۲ را درفضای نرم‌افزار ببندید.




شکل ۴۲ـ مدار کارعملی نرم‌افزاری

۳ منبع تغذیه ۱۲ولت را به مدار وصل کنید.

۴ با تغییر مقدار مقاومت پتانسیومتر، مقدار $V_{GS}$ و $I_D$ را اندازه بگیرید و جدول۷ را کامل کنید.

۵ بیشترین جریان درین با چه مقداری از $V_{GS}$ به‌وجود می‌آید؟

۶ جریان درین به‌ازای چه مقدار از $V_{GS}$ برابر با صفر می‌شود؟

**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 | | | | |

## تغذیه JFET

برای ایجاد یک نقطه‌کار مناسب، باید ترانزیستور FET را نیز مانند ترانزیستور BJT بایاس کنیم. روش‌های بایاس FET با روش‌های بایاس BJT تفاوت اساسی ندارند؛ فقط باید توجه داشته باشیم که مقاومت ورودی FET خیلی زیاد است، ازاین‌رو جریان بسیارکمی درحدود چند نانوآمپر یا پیکوآمپر ازگیت عبورمی‌کند. بنابراین معمولاً درمحاسبات، $I_G$ را مساوی صفر درنظر می‌گیرند.

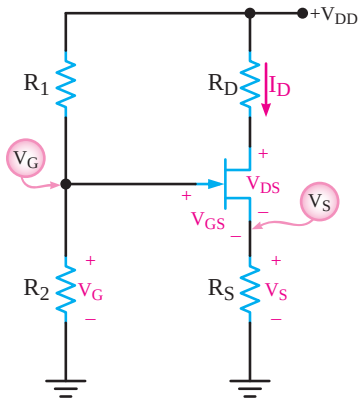
**ـ بایاس ترانزیستور با اثر میدان پیوندی یا JFET :** مشابه ترانزیستورهای معمولی BJT با روش‌های مختلف بایاس می‌شودکه درادامه به شرح آنها پرداخته می‌شود.

**ـ بایاس تقسیم‌کننده ولتاژ (Voltage Divider Bias):** دراین‌روش ازمدارمقاومتی مطابق شکل ۴۳ استفاده می‌کنیم. ولتاژ گیت از طریق مدار تقسیم ولتاژ $R_1$ و $R_2$ و ولتاژ سورس به‌وسیله مقاومت $R_S$ تأمین می‌شود. به‌دلیل استفاده از دومسیر مختلف برای تأمین $V_{GS}$ این نوع تغذیه را، تغذیهٔ مرکب نیز می‌گویند. باتوجه به این‌که ازگیت ترانزیستور جریانی نمی‌گذرد، ولتاژ گیت برابر افت پتانسیل در دوسر مقاومت $R_2$ است و پتانسیل سورس از رابطه $R_S \times I_D$ به‌دست می‌آید. مقدار $V_{GS}$ از رابطه $V_{GS}=V_G-V_S$ قابل محاسبه است.

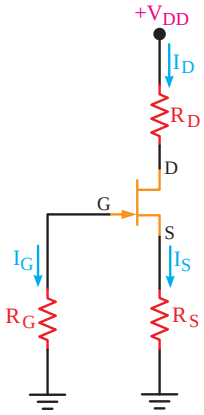
**ـ بایاس ترانزیستور JFET سرخود یا Self Bias:** درشکل ۴۴ مدار تأمین بایاس سرخود یا سلف بایاس برای یک ترانزیستور JFET کانال N نشان داده شده است.

چون $I_G=0$ است می‌توان با نوشتن معادلهٔ KVL درحلقهٔ ورودی ولتاژ $V_{GS}$ را محاسبه کرد.

همان‌طورکه مشاهده می‌شود افت پتانسیل دوسر $R_S$ یعنی $R_S \times I_D$ پتانسیل $V_{GS}$ را تأمین می‌کند.




شکل ۴۳ـ مدار بایاس با تقسیم‌کننده ولتاژ




شکل ۴۴ـ بایاس‌سرخود یا Self Bias

مثال

درشکل ۴۴، اگر $I_D=3mA$ و $R=500\Omega$ باشد، ولتاژ $V_{GS}$ را محاسبه کنید.

حل: با نوشتن معادلهٔ KVL درحلقهٔ ورودی داریم:

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

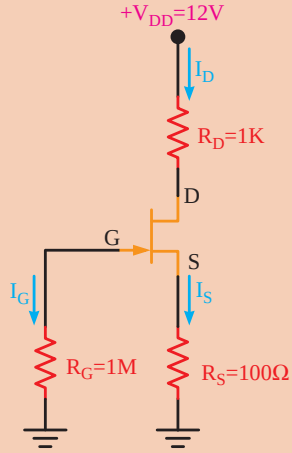
$$V_{GS} = -R_S.I_D$$

به جای $R_S$ و $I_D$ مقدارعددی را قرار می‌دهیم:

$$V_{GS} = -(0/5\ k\Omega)\times(3\ mA) = -1/5(V)$$

تمرین کلاسی

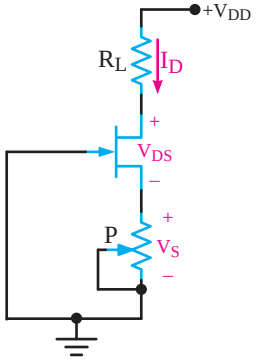
درشکل ۴۵ اگر $I_D=2mA$ و $R_S=100\Omega$ باشد ولتاژ $V_{GS}$ را محاسبه کنید.




شکل ۴۵ـ بایاس‌سرخود ترانزیستور JFET

## موارد کاربرد ترانزیستورهای اثر میدان

**ـ استفاده از FET درساختن منابع جریان:** منبع جریان مداری است که بتواند به بارهای مختلف جریان ثابت بدهد. اگر یک ترانزیستور FET مطابق شکل ۴۶ تغذیه شود، درصورتی که $V_{DS}$ آن بیش‌از $V_P$ باشد، باتغییر $R_L$ در بازه مشخص می‌تواند جریان ثابت $I_D$ را ایجاد کند.




شکل ۴۶ـ مدار منبع جریان با FET

کار عملی ۵

### آزمایش منبع جریان با JFET درنرم‌افزار

**هدف:** بررسی تأثیر تغییربار برروی جریان درین

**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه، نرم‌افزار مناسب، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

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

۲ مدار شکل ۴۷ را درفضای نرم‌افزار ببندید.

۳ منبع تغذیه ۱۶ ولت را به مدار وصل کنید.

**نکته:** پتانسیومتر به‌عنوان بار متغیر درمدار قرار دارد. باتغییر بار ولتاژ دوسر آن تغییر کرده و جریان عبوری از آن تقریباً ثابت می‌ماند.

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

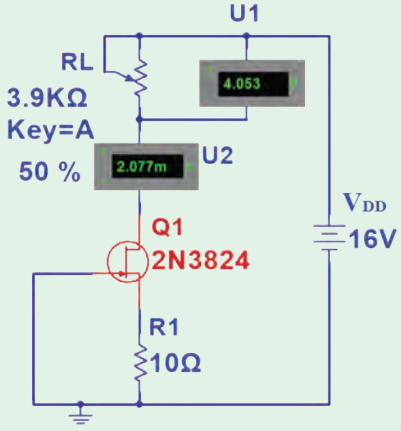
.....

.....

**جست‌وجو کنید:** بررسی کنید به‌چه دلیل جریان در مقاومت $R_L$ ثابت می‌ماند. نتیجه را درقالب یک گزارش ارائه دهید.

۵ باتغییر پتانسیومتر از صفردرصد تا صددرصد، جریان درین چقدر تغییر نموده است؟

۶ مطابق جدول ۸ درسه مرحله مقادیر خواسته شده را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.




شکل ۴۷ـ مدار منبع جریان با FET

جدول ۸

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

### استفاده از FET به‌عنوان تقویت‌کننده اولیه با امپدانس ورودی زیاد

چون تقویت‌کننده FET امپدانس ورودی زیادی دارد، می‌توان به عنوان تقویت‌کننده اولیه برای اتصال به منابعی مانند میکروفن‌های 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 زیراست:

- ساختمان ترانزیستور FET ساده‌تر است و حجم کمتری را اشغال می‌کند.
- مقاومت ورودی ترانزیستور FET نسبت به ترانزیستور معمولی خیلی بیشتراست.
- میزان نویزپذیری FET خیلی کمتر از ترانزیستور معمولی است.
- میزان وابستگی به حرارت FET خیلی کمتر از ترانزیستور معمولی است.
- FET با ولتاژهای خیلی کم نیز به‌راحتی کارمی‌کند.

## تقویت‌کننده‌های سیگنال کوچک FET

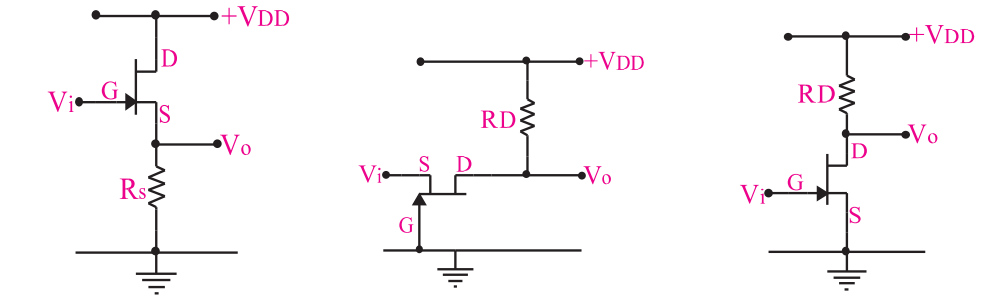
یکی از کاربردهای مهم ترانزیستور FET درمدارهای تقویت‌کننده ولتاژ است. یک FET ممکن است به‌صورت تقویت‌کننده‌های سورس مشترک، گیت مشترک یا درین مشترک استفاده شود. هریک از این سه‌آرایش، مشابه آرایش‌های ترانزیستور BJT است که مشخصات ورودی و خروجی خاص خود را دارد.

درشکل ۴۸ سه نوع آرایش مدار تقویت‌کننده ترانزیستور JFET با کانال N را مشاهده‌می‌کنید.

درتقویت‌کنندهٔ سورس مشترک (Common Source=CS)، سورس بین ورودی و خروجی مشترک است. ولتاژ ورودی به گیت داده می‌شود و ولتاژ خروجی از پایه درین دریافت می‌شود. درشکل ۴۸ـ الف مدارساده این تقویت‌کننده نشان داده شده است.

درتقویت‌کننده گیت مشترک CD(common Drain)، درین بین ورودی و خروجی مشترک است. ولتاژ ورودی را به گیت می‌دهیم و ولتاژ خروجی را از پایه سورس دریافت می‌کنیم. درشکل ۴۸ـ ب مدار ساده این تقویت‌کننده را مشاهده می‌کنید. توجه داشته باشیدکه ازنظر سیگنال متناوب AC پایه‌های زمین مشترک و $V_{DD}$ به‌هم متصل هستند.

درتقویت‌کننده گیت مشترک CG (common Gate)، گیت بین ورودی و خروجی مشترک است و ولتاژ ورودی را به پایه سورس می‌دهیم و سیگنال خروجی را از پایه درین دریافت می‌کنیم. این‌مدارخیلی‌کم مورداستفاده قرار می‌گیرد. درشکل ۴۸ـ پ مداراین نوع تقویت‌کننده نشان داده شده است.

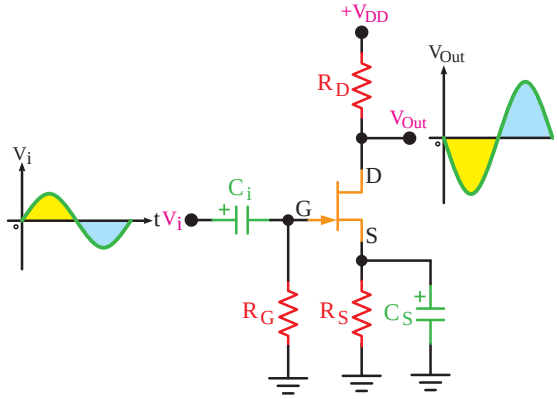



پ) تقویت‌کننده درین مشترک ب) تقویت‌کننده گیت مشترک الف) تقویت‌کننده سورس مشترک

**شکل ۴۸ـ آرایش‌های مدار تقویت‌کننده ترانزیستور JFET با کانال N**

## مدار تقویت‌کنندهٔ سورس مشترک (Common Source=CS)

درشکل ۴۹ مدار تقویت‌کنندهٔ 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 ۴۹ـ تقویت‌کننده سورس مشترک بایاس‌سرخود یا Bias**

کار عملی ۶

### آزمایش تقویت‌کننده سورس‌مشترک درنرم‌افزار

**هدف:** به‌دست آوردن بهره ولتاژ و اختلاف فاز در تقویت‌کننده سورس مشترک

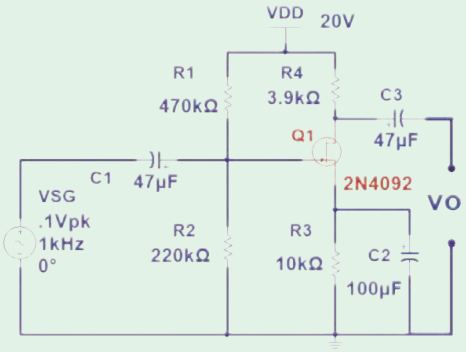
**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه، نرم‌افزار مناسب، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

۱ نرم افزار مولتی‌سیم یا هرنرم‌افزار مناسب دیگر را راه‌اندازی کنید.

۲ مدارشکل ۵۰ را درفضای نرم‌افزار ببندید.

۳ منبع تغذیه ۲۰ ولت را به مدار وصل کنید.




**شکل ۵۰ـ مدار تقویت‌کننده با FET**

۴ قبل ازاعمال ولتاژ متناوب به‌مدار، به‌وسیله ولت‌متر موجود در نرم‌افزار $V_{GS}$ و $V_{DS}$ را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$V_{GS}$ =  $V_{DS}$ =

۵ سیگنال سینوسی با دامنهٔ ۰/۱ ولت پیک و فرکانس ۱۰۰۰ هرتز را به‌مداراعمال کنید.

۶ موج ورودی و خروجی مدار را روی صفحهٔ اسیلوسکوپ نرم‌افزار به‌صورت پایدارظاهر کنید.

۷ دامنهٔ پیک‌تاپیک موج ورودی و خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$V_{IN(PP)}$ = ..... ولت  $V_{O(PP)}$=..... ولت

۸ بهره ولتاژ مداررا محاسبه کنید.

$A_V$= ..... مرتبه

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

Φ= ..... درجه

**هدف:** بررسی تقویت‌کننده سورس مشترک

**مواد، ابزار و تجهیزات:** منبع تغذیه یک دستگاه، سیگنال ژنراتورصوتی یک دستگاه، اسیلوسکوپ دوکاناله یک دستگاه

بردبُرد آزمایشگاهی یک‌قطعه، مولتی‌متر دیجیتالی یک‌دستگاه

رایانه، نرم‌افزار مولتی‌سیم، ترانزیستور JFET (۲N۳۸۱۹) یک عدد،

مقاومت‌های ۱MΩ و ۱/۲ kΩ، ۴۷۰Ω (هر یک $\frac{۱}{۴}$ w) از هرکدام یک عدد

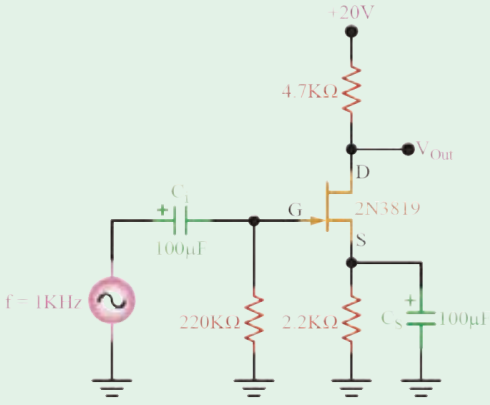
سیم‌های رابط دوسرگیره سوسماری و سیم‌های رابط یک سرگیره سوسماری سیم رابط معمولی بردبُرد به تعداد کافی

**مراحل اجرای کار:**

۱ مدار(شکل ۵۱) را روی بردبُرد ببندید.

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

۳ سیگنال ژنراتور را خاموش کنید و مقادیر $V_{GS}$، $V_G$، $V_S$، $V_D$ و $V_{DS}$ را با مولتی‌متر DC اندازه‌گیری و یادداشت کنید.




| اندازه‌گیری مقادیر (DC) نقطه‌کار به صورت عملی | |
|---|---|
| $I_D$ =..... mA | $V_G$ =.....V |
| $V_D$ =..... V | $V_S$=.....V |
| $V_{DS}$ =.....V | $V_{GS}$ =.....V |

**شکل ۵۱ ـ بررسی تقویت سیگنال در تقویت‌کنندهٔ سورس مشترک**

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

$$I_D = \frac{۲۰ - VD}{۴/۷k}$$

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

۶ کلید MODE اسیلوسکوپ را درحالت CH۱ قرار دهید.

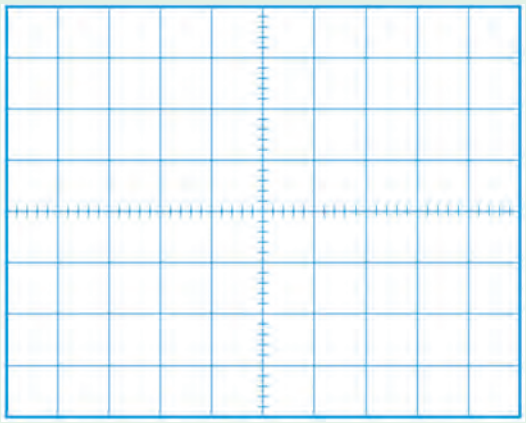
۷ کلید AC_GND_DC کانال $CH_1$ را درحالت AC قرار دهید.

۸ شکل موج ورودی مشاهده شده توسط کانال $CH_1$ را درشکل ۵۲ با مقیاس مناسب رسم کنید و دامنه آن را دقیقاً اندازه بگیرید و در زیر نمودار شکل ۵۲ با مقیاس مناسب یادداشت کنید.

**($CH_1$)**

Volts/Div=۵۰ mv/Div

$Vi_{max}$=۵۰ mv×تعداد خانه‌ها=۵۰ mv×.....=.....V



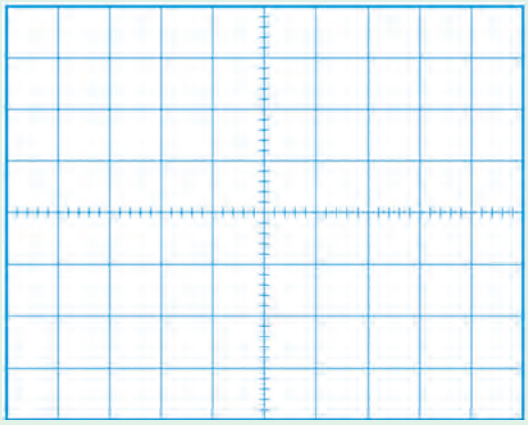
**شکل ۵۲**

۹ کلید MODE اسیلوسکوپ را در حالت $CH_2$ قرار دهید. کلید AC_GND_DC کانال $CH_2$ را درحالت AC قراردهید. شکل موج خروجی مشاهده شده توسط کانال $CH_2$ را درنمودار شکل۵۳ با مقیاس مناسب رسم‌کنید و به‌طوردقیق دامنه آن‌را اندازه بگیرید.

**($CH_2$)**

Volts/Div=۵۰ mv/Div

$Vi_{max}$=۵۰ mv×تعداد خانه‌ها=۵۰ mv×.....=.....V



**شکل ۵۳**

۱۰ با استفاده از رابطهٔ بهره ولتاژ، مقدار بهرهٔ ولتاژ را درحالت بی‌باری به‌دست آورید.

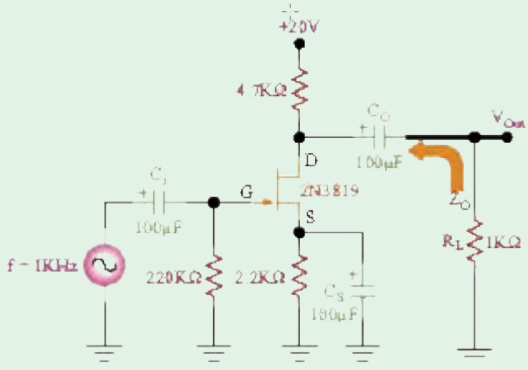
$$Av = \frac{Vo_{pp(NL)}}{Vin_{pp}} = .....$$

۱۱ اختلاف فاز بین ولتاژهای Vout و Vin را اندازه‌گیری کنید. مقدار دقیق آن را یادداشت نمایید. دلیل وجود اختلاف فاز را توضیح دهید.

اختلاف فاز φ= .....

۱۲ مقاومت بار $R_L$= ۱kΩ را به خروجی مدار وصل‌کنید با اندازه‌گیری ولتاژ دوسر بار به وسیلهٔ اسیلوسکوپ، $I_L$ را از رابطهٔ زیر محاسبه‌کنید (شکل۵۴).

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




**شکل ۵۴ــ قراردادن مقاومت بار درخروجی مدار تقویت‌کننده**

۱۳ بااستفاده از رابطهٔ بهره ولتاژ، مقدار بهرهٔ ولتاژ را درحالت بارکامل به‌دست آورید.

$$A_{VL} = \frac{Vo_{pp(FL)}}{Vin_{pp}}$$

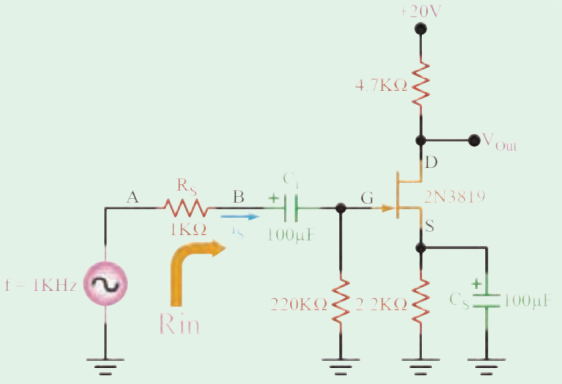
۱۴ بااستفاده ازرابطه‌زیر مقاومت خروجی تقویت‌کننده را محاسبه‌کنید.

$$R_{out} = \frac{Vo_{pp(NL)} - Vo_{pp(FL)}}{Vo_{pp(FL)}} \times R_L = .....$$

۱۵ مقاومت $R_L = 1k\Omega$ از خروجی جدا کنید و مطابق شکل ۵۵ به ورودی مدار اتصال دهید. به‌وسیلهٔ اسیلوسکوپ دامنه پیک‌تاپیک سیگنال نقاط A و B را نسبت به نقطهٔ زمین اندازه بگیرید و یادداشت نمایید.

$V_A = V_{SP} = .....$

$V_B = V_{in\,p} = .....$




**شکل ۵۵ــ اتصال مقاومت $R_S$ به ورودی مدار تقویت‌کننده**

۱۶ باتوجه به مقدار ولتاژ اندازه‌گیری شده بین نقاط A و B مقدار جریان $I_S$ که از $R_S$ عبور می‌کند را محاسبه کنید. این جریان، جریان ورودی مدار سورس مشترک است.

$$I_{in} = \frac{V_{Sp} - V_{inp}}{R_s} = .....$$

۱۷ بهره جریان مدار را بااستفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده برای $I_L$، $I_i$ محاسبه‌کنید.

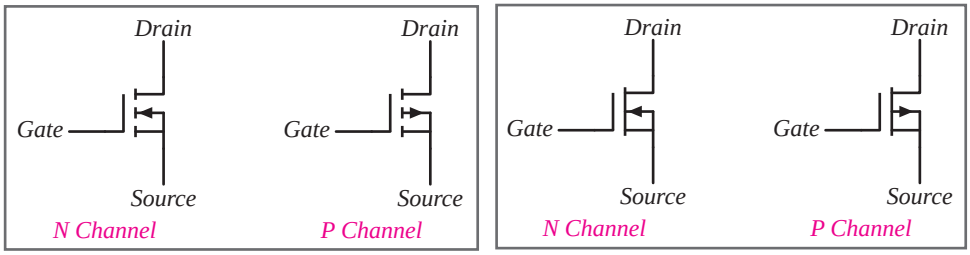
$$A_I = \frac{I_L}{I_{in}} = .....$$

۱۸ بااستفاده از رابطهٔ مقابل مقدارمقاومت ورودی تقویت‌کننده را محاسبه‌کنید.

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

## ترانزیستور اثرمیدان با گیت عایق شده یا IGFET (Insulated Gate FET)

دراین ترانزیستور، گیت با لایه اکسیدسیلیکون ازکانال جدا می‌شود و هیچ جریانی ازگیت عبور نمی‌کند. لذا مقاومت ورودی آن فوق‌العاده افزایش می‌یابد. این ترانزیستور را بیشتر به‌نام MOSFET می‌شناسند. نامی‌که از ساختارفیزیکی آن برگرفته شده است و اول کلمات Metal Oxide Semiconductor FET به مفهوم ترانزیستور اثرمیدان با نیمه‌های اکسید فلز است. MOSFETها در دونوع باکانال تهی‌شونده و کانال تشکیل‌شونده ساخته می‌شوند. نماد این نوع ترانزیستورها در شکل ۵۶ نشان‌داده شده است.




الف) MOSFET باکانال تهی‌شونده　　ب) MOSFET باکانال تشکیل‌شونده

شکل ۵۶ ـ علامت اختصاری MOSFETها

## MOSFETهای قدرت (POWER MOSFET)

درMOSFETهای باکانال تشکیل‌شونده متداول فقط لایه نازکی ازکانال به‌صورت افقی قراردارد. این لایه مقاومت نسبتاً بالایی‌را بین درین و سورس ایجاد می‌کند. لذا این‌نوع MOSFETها برای کاردرقدرت‌های پایین مورداستفاده قرار می‌گیرند. اما MOSFETهای قدرت‌که LD MOSFET (Laterally Diffused MOSFET) نام‌گذاری شده‌اند ساختاری باکانال عرضی متفاوت با MOSFETهای باکانال تشکیل‌شونده دارند و از نوع بهبود یافته هستند و برای کاربرد درقدرت‌های بالا طراحی شده‌اند. کانال دراین قطعه نسبت به MOSFETهای متداول، کوتاه‌تر است درنتیجه مقاومت‌کمتری ایجاد می‌کند. این خاصیت سبب تحمل ولتاژ بالاتر و عبورجریان بیش‌تر می‌شود.

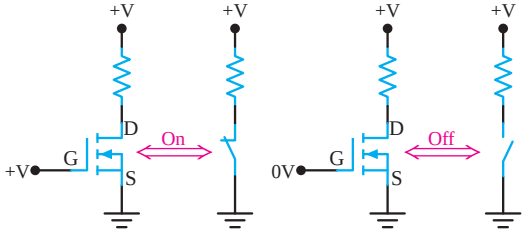
## VMOSFET

مثال دیگری‌ازMOSFETهای قدرت، VMOSFETها هستندکه برای قدرت بالاتر طراحی شده‌اند. دراین‌نوع MOSFETها، کانال‌کوتاه‌تر و عریض‌تر است لذا مقاومت‌کمتری را بین درین و سورس ایجاد می‌کند. درنهایت جریان بیشتری می‌تواند ازکانال عبورنماید. به‌این ترتیب VMOSFETها توان بیشتری دارند و پاسخ فرکانسی آنها مطلوب‌تر است. شکل ۵۷ تصویر ظاهری یک‌نمونه MOSFET قدرت را نشان می‌دهد.



شکل ۵۷ـ یک نمونه MOSFET قدرت

**عملکرد MOSFET به‌عنوان کلید (MOSFET Switching Operation):** MOSFETهای باکانال تشکیل‌شونده علاوه برتقویت‌کنندگی، به‌عنوان کلید نیز به‌کار می‌روند. شکل ۵۸ مدار MOSFET را به‌عنوان کلید نشان می‌دهد.




شکل ۵۸ـ MOSFET به عنوان کلید

**آزمایش MOSFET به‌عنوان کلید در نرم‌افزار**

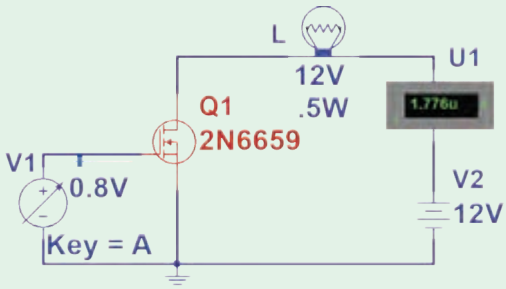
**هدف:** بررسی عملکرد MOSFET به‌عنوان کلید

**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه، نرم‌افزار مناسب، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

۱ نرم افزار مولتی‌سیم یا هرنرم‌افزار مناسب دیگر را راه‌اندازی کنید.

۲ مدار (شکل ۵۹) را درفضای نرم‌افزار ببندید.




**شکل ۵۹ـ MOSFET به عنوان کلید**

۳ منبع تغذیه $V_1$ را روی ۱۰ولت و $V_2$ را روی ۱۲ولت تنظیم‌کنید. سپس مدار را راه‌اندازی کنید.

۴ منبع ولتاژ متغیر ($V_1$) را به‌تدریج از صفرولت افزایش دهید. کم‌ترین ولتاژ $V_{GS}$ که به‌ازای آن جریان درمدار برقرار و کلید ترانزیستوری وصل می‌شود، چند ولت است؟

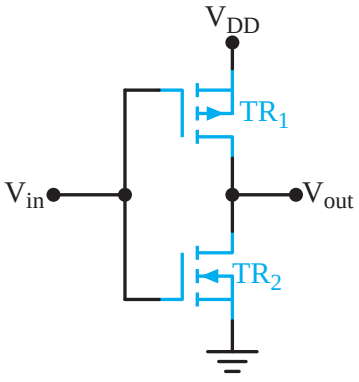
ولت.....=ولتاژ وصل کلید= ولتاژ آستانه روشن‌شدن

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

$I_D$ =..... A

نتایج به‌دست آمده را درقالب یک گزارش ارائه دهید.

**CMOS – (Complementary MOSFET):** با سری‌کردن دونوع MOSFET با کانال N و P مانند شکل ۶۰ CMOS ساخته می‌شود. ازمزایای CMOS تلفات توان بسیارکم آن است. زیرا با سری شدن دونوع MOSFET یکی‌از MOSFETها همواره قطع است و اساساً از منبع جریانی کشیده نمی‌شود. این مدار مانند گیت NOT در دیجیتال عمل می‌کند. 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 ۶۰ـ CMOS**

کار عملی ۹

**آزمایش CMOS به‌عنوان گیت NOT در نرم‌افزار**

**هدف:** ترکیب MOSFET با کانال N و P و ساختن مدار CMOS

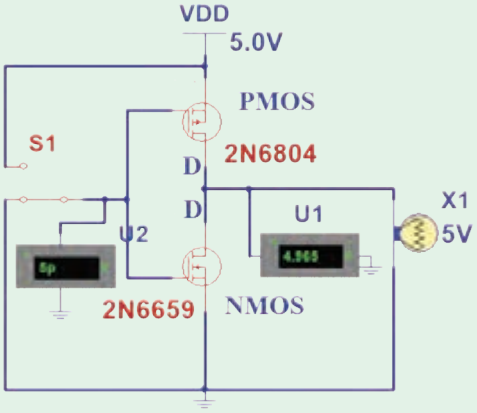
**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه، نرم‌افزار مناسب، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

۱ نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هرنرم‌افزار مناسب دیگر را راه‌اندازی کنید.

۲ مدار (شکل ۶۱) را در فضای نرم‌افزار ببندید.

۳ کلید $S_1$ را در وضعیت صفر (۰) منطقی (اتصال به زمین) و یک (۱) منطقی (اتصال به ۵+) قراردهید و عملکرد گیت NOT را بررسی کنید.




شکل ۶۱

در شکل ۶۲ نمای ظاهری چندنمونه JFET و MOSFET را مشاهده می‌کنید.



شکل ۶۲ـ نمای ظاهری چندنمونه MOSFET

بیشتر بدانید

امروزه ترانزیستورهای خاص با نام IGBT (Insulated ـ Gate Bipolar Transistor) ساخته‌شده‌است. ساختار این ترانزیستورها مشابه BJT است با این تفاوت که پایه بیس آن با نام گیت مشخص می‌شود و مشابه گیت MOSFET عمل می‌کند. 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 شده‌است.




شکل ۶۳ ـ نمای ظاهری چندنمونه IGBT

از این قطعه می‌توان جریان بسیار زیاد (حدود صدها آمپر) را عبورداد. 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 کاربرددارد.

فعالیت عملی

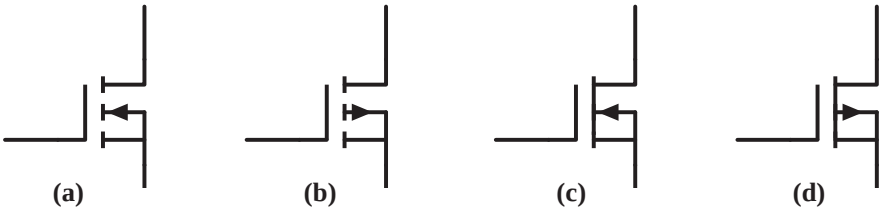
با مراجعه به رسانه‌های مختلف نماد فنی ترانزیستور IGBT را بیابید و آن را ترسیم کنید.

## خودارزیابی

۱ انواع MOSFET را نام ببرید.

۲ MOS اول کلمات انگلیسی ..... و به‌معنی .. .....است.

۳ با مراجعه به منابع مختلف، نام پایه‌های قطعات نشان داده شده درشکل ۶۴ (a, b, c, d) را بنویسید. نوع کانال (Nیا P) و از نظر ساخت (تشکیل‌شونده یا تهی‌شونده) را تعیین کنید.




شکل ۶۴

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

# ارزشیابی شایستگی راه‌اندازی تقویت‌کننده سیگنال باترانزیستور FET

| نام و نام خانوادگی : | | شماره ملی: | | تاریخ ارزشیابی: | |
|---|---|---|---|---|---|
| **کد حرفه** | ۸۲۱۲۲۳ | **حرفه** | مونتاژکاران تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی | **کدپیمانه/پودمان** | ۸۲۱۲۱۳۰۱۲ |
| **کد وظیفه شغل** | ۸۲۱۲۲۳۰۱ | **وظیفه شغل** | ساخت بردهای الکترونیکی | **سطح صلاحیت** | L۳ |
| **کد کار** | ۸۲۱۲۲۳۰۱۱۲ | **کار** | راه‌اندازی تقویت‌کننده سیگنال باترانزیستور FET | **سطح شایستگی** | مهارت |

**استاندارد عملکرد:**
باترانزیستورهای FET را براساس اصول کنترل ولتاژ و جریان، تفاوت‌های عملکردی و کاربردهای آن درمدارهای آنالوگ و دیجیتال تحلیل و مقایسه نماید. مدار تقویت‌کننده سیگنال را درمحیط نرم‌افزار و بر روی بردبُرد پیاده‌سازی کند.

| ردیف | مراحل کار | شرایط انجام کار (ابزار،مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...) | ابزارهای ارزشیابی | استاندارد (شاخص‌ها/داوری/نمره‌دهی) | نتایج ممکن | نمره کسب‌شده |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | تحلیل تفاوت‌های 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 تفاوتهای 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 تعیین‌شده در کلاس یا کارگاه الکترونیک | پرسش و پاسخ ، چک‌لیست ارزیابی و بررسی تحلیل | مقایسه و ارزیابی کامل و دقیق | ۳ | |
| | | | | مقایسه قابل قبول با نقص جزئی | ۲ | |
| | | | | مقایسه ناقص یا نادرست | ۱ | |
| ۳ | تعیین‌مدار بایاس مناسب برای ترانزیستور FET جهت ایجاد نقطه کار پایدار در ناحیه اشباع یا خطی و بستن آن در محیط نرم‌افزار و روی بردبورد | نرم‌افزار شبیه‌سازی، بردبُرد، منبع تغذیه و قطعات FET در زمان تعیین‌شده و کارگاه الکترونیک | بررسی عملکرد مدار شبیه‌سازی شده، چک لیست ارزیابی صحت اتصالات مدار | طراحی و پیاده‌سازی کامل و دقیق | ۳ | |
| | | | | عملکرد قابل قبول با خطای جزئی | ۲ | |
| | | | | طراحی یا پیاده‌سازی نادرست | ۱ | |
| ۴ | طراحی و آرایش تقویت کننده FET، انتخاب قطعات، پیاده‌سازی روی بردبورد و اندازه‌گیری پارامترهای AC | نرم‌افزار شبیه‌سازی،بردبُرد،منبع تغذیه،اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور و قطعات مدار تقویت کننده FET در زمان تعیین‌شده و کارگاه الکترونیک | بررسی عملکرد مدار شبیه‌سازی شده ، بررسی اندازه‌گیری‌ها و ثبت داده‌ها | پیاده‌سازی و اندازه‌گیری دقیق | ۳ | |
| | | | | عملکرد قابل قبول با خطای جزئی | ۲ | |
| | | | | پیاده‌سازی یا اندازه‌گیری نادرست | ۱ | |
| ۵ | گزارش‌نویسی فنی و مستندسازی کارهای عملی و فعالیت‌ها | تخته، برگه قالب گزارش و نوشت‌افزار در کارگاه الکترونیک | بررسی گزارش، چک‌لیست و پرسش و پاسخ | گزارش دقیق ومستندسازی صحیح | ۳ | |
| | | | | گزارش قابل‌قبول با نقص جزئی در مستندسازی داده‌ها | ۲ | |
| | | | | گزارش ناقص، نامنظم و فاقد مستندسازی صحیح اطلاعات | 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 بادستورالعمل‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای | | 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 | ۲ | |
| | | | | رعایت‌نسبی ایمنی و بهداشت باخطاهای جزئی، رفتار کاری مناسب | ۱ | |

| **ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)** | بلی ☐ |
|---|---|
| | خیر ☐ |

**توضیحات:**

**معیار شایستگی انجام کار:**

ـ کسب حداقل نمره ۲ از مراحل طراحی و پیاده‌سازی مدار بایاس FET طراحی و پیاده‌سازی مدار تقویت‌کننده FET (مراحل بحرانی).

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

ـ 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، 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 درمدارهای 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، دربسیاری از کاربردهای عملی، یک طبقه تقویت‌کننده به تنهایی قادر به تأمین بهره مورد نیاز نیست. دراین 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 به‌کار رفته است. این قطعه با خواص ایده‌آل خود (بهره بی‌نهایت، امپدانس ورودی بی‌نهایت و امپدانس خروجی صفر) انقلابی درطراحی مدارها ایجاد کرد. امروزه تقویت‌کننده‌های عملیاتی درمدارهای 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 قادرخواهد بود ساختار و عملکرد تقویت‌کننده‌های چندطبقه و عملیاتی را تحلیل‌کرده و از آنها در طراحی و پیاده‌سازی مدارهای الکترونیکی استفاده نماید.

# واحد یادگیری ۱ : تقویت‌کننده‌های چند طبقه

## آیا تا به حال فکر کرده‌اید

- سیگنال‌های بسیارضعیف را چگونه می‌توان تقویت کرد؟
- در دستگاه‌های صوتی مانند آمپلی‌فایرها چه نوع تقویت‌کننده‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرند؟
- سیگنال‌های فرکانس پایین و همچنین ولتاژهای DC خروجی حسگرها را چگونه می‌توان تقویت کرد؟
- چگونه می‌توان توان خروجی یک تقویت‌کننده را افزایش داد؟
- روش اتصال طبقات تقویت‌کننده چه تأثیری برعملکرد نهایی مداردارد؟

در پودمان قبل با تقویت‌کننده‌های یک‌طبقه آشنا شدید و نحوه افزایش دامنه سیگنال‌های الکتریکی را با استفاده از آنها فراگرفتید. بااین‌حال، دربسیاری از مدارهای الکترونیکی، مقدار تقویت حاصل‌از یک طبقه برای رسیدن به سطح مطلوب کافی نیست. درچنین شرایطی از تقویت‌کننده‌های چندطبقه استفاده می‌شود که ازاتصال چندطبقه تقویت‌کننده به یکدیگر تشکیل شده‌اند.

تقویت‌کننده‌های چندطبقه امکان دستیابی‌به بهره بیشتر، بهبود عملکرد مدار و تأمین نیازهای کاربردهای مختلف را فراهم می‌کنند. این نوع تقویت‌کننده‌ها در تجهیزات صوتی، سامانه‌های مخابراتی، ابزارهای اندازه‌گیری و بسیاری‌از مدارهای الکترونیکی به کار می‌روند.

دراین واحد یادگیری با روش‌های اتصال طبقات تقویت‌کننده به یکدیگر (روش‌های‌کوپلاژ) و نحوه عملکرد هریک از آنها آشنا خواهید شد. همچنین دو نمونه مهم تقویت‌کننده با کوپلاژ مستقیم یعنی تقویت‌کننده زوج دارلینگتون و تقویت‌کننده تفاضلی معرفی خواهند شد و درانتها تقویت‌کننده‌های قدرت آموزش داده خواهد شد.

پس از آموزش این واحد یادگیری از هنرجو انتظار می‌رودکه مدارهای تقویت‌کننده چندطبقه را بررسی و تحلیل‌کرده و وظیفه هرطبقه را درعملکرد آن شرح دهد. همچنین بتواند باتوجه به مقادیر نقطه‌کار و شکل موج‌های نقاط مختلف تقویت‌کننده، عیب‌یابی و تعمیر این تقویت‌کننده‌ها را انجام دهد.

## استاندارد عملکرد

تشخیص انواع کوپلاژ تقویت‌کننده‌ها، بستن تقویت‌کننده‌های دو طبقه و تفاضلی روی بردبرد، تحلیل کلاس‌های A ،B و AB و بستن مدارتقویت‌کننده کاربردی با مدار مجتمع.

## تقویت‌کننده‌های چندطبقه

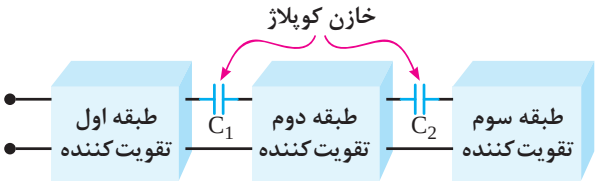
در پودمان قبل تقویت‌کننده‌های یک طبقه را بررسی کردیم و دیدیم که محدودیت‌هایی دربهره، مقاومت ورودی و مقاومت خروجی این تقویت‌کننده‌ها وجود دارد. به دلیل این محدودیت‌ها دربسیاری از سیستم‌های الکترونیکی نمی‌توانیم تنها از یک طبقه تقویت‌کننده استفاده کنیم. دراین شرایط برای به‌دست آوردن پارامترهای مورد نظر باید چند طبقه تقویت‌کننده را پشت سرهم ببندیم و تقویت‌کننده چندطبقه را تشکیل دهیم.

### اتصال تقویت‌کننده‌ها به یکدیگر

برای انتقال سیگنال از یک طبقهٔ تقویت‌کننده به طبقهٔ دیگر، باید دو طبقه را به یکدیگر اتصال دهیم. چگونگی اتصال دوطبقه تقویت‌کننده را به یکدیگر کوپلاژ (Coupling) می‌گویند. اتصال بین طبقات به‌وسیلهٔ خازن، ترانسفورماتور یا به طور مستقیم امکان‌پذیر است. از این‌رو سه نوع کوپلاژ خازنی، ترانسفورماتوری و مستقیم تعریف می‌شود.

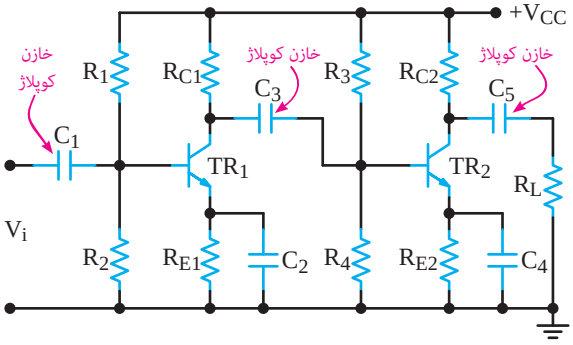
### ۱ کوپلاژ خازنی

اگرطبقات تقویت‌کننده چندطبقه را به‌وسیله خازن به یکدیگر وصل‌کنیم، می‌گوییم کوپلاژ بین طبقات تقویت‌کننده خازنی است. در شکل ۱ بلوک دیاگرام سه‌طبقه تقویت‌کننده و خازن‌های کوپلاژ بین آنها نشان داده شده است.




شکل ۱ــ بلوک دیاگرام سه طبقه تقویت‌کننده با کوپلاژ خازنی

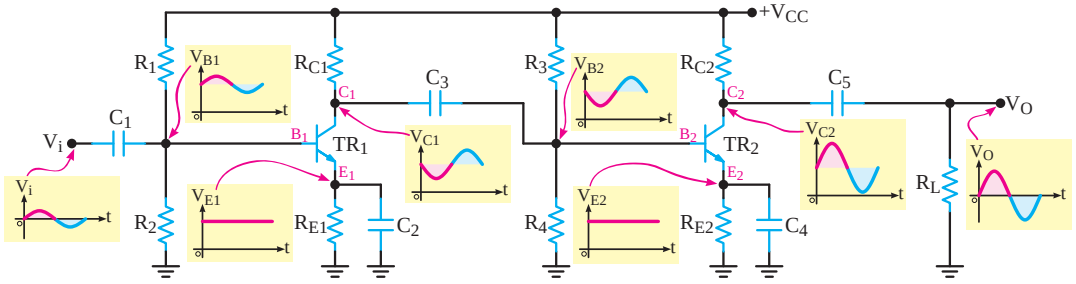
درشکل ۲ مدار یک تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ RC نشان داده شده است. دراین مدار دو طبقه تقویت‌کننده توسط خازن $C_3$ به یکدیگر متصل شده‌اند. هر دو طبقه تقویت‌کننده ازنوع امیتر مشترک‌اند و نوع بایاس ترانزیستورها سرخود یا تقسیم ولتاژ مقاومتی است.




شکل ۲ــ دو طبقه تقویت‌کننده با کوپلاژ RC

خازن‌های $C_1$ و $C_3$ و $C_5$ خازن‌های کوپلاژ هستند. به‌علت وجود خازن $C_3$، ارتباط DC از خروجی طبقه اول به ورودی طبقهٔ دوم تقویت‌کننده، قطع است. $C_5$ نیزمانع ورود DC کلکتور به مقاومت بار ($R_L$) می‌شود. ظرفیت خازن‌های کوپلاژ را طوری انتخاب می‌کنند که عکس‌العمل خازنی آنها ($X_C$) درحداقل فرکانس کار تقویت‌کننده، قابل چشم‌پوشی باشد به‌طوری‌که بتوان همواره آنها را اتصال‌کوتاه فرض‌کرد.

**شکل موج‌های نقاط مختلف مدار:** درشکل ۳ شکل موج‌های نقاط مختلف تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ خازنی رسم شده است.




**شکل ۳ـ شکل موج نقاط مختلف تقویت‌کننده دوطبقه**

فعالیت

شکل موج نقاط مختلف مدارتقویت‌کننده را مورد بررسی قرارداده و درکلاس درمورد آن بحث کنید.

**مزایا و معایب کوپلاژ خازنی:** یکی‌از مزایای کوپلاژ خازنی این است‌که طبقات ازنظر مقادیر DC (نقطه‌کار) کاملاً ازهم مستقل هستند و تغییر نقطه‌کار یک طبقه، روی سایرطبقات اثر نمی‌گذارد.
اشکال اصلی کوپلاژ خازنی این است‌که سیگنال‌های با فرکانس پایین به خوبی تقویت نمی‌شوند. زیرا در فرکانس‌های پایین عکس العمل خازن‌های کوپلاژ و بای‌پاس امیتر زیاد می‌باشد و همین امر باعث تضعیف سیگنال خروجی می‌شود. همچنین به‌علت استفاده از تعداد زیاد مقاومت دراین نوع کوپلاژ و تلفات زیاد توان درآنها، قدرت اعمال شده به بارکم است.درعمل ازکوپلاژ خازنی درتقویت‌کننده‌های با توان‌کم استفاده می‌شود.

کار عملی ۱

**بستن مدار تقویت‌کننده دو طبقه با قطعات واقعی**

**هدف:** بستن مدار تقویت‌کننده دو طبقه در کارگاه به صورت سخت افزاری و به دست آوردن نقطه‌کار DC و بهره ولتاژ تقویت‌کننده

**مواد، ابزار و تجهیزات:** بردِبُرد یک عدد اسیلوسکوپ، یک دستگاه منبع تغذیه، یک دستگاه سیگنال ژنراتور یک دستگاه مقاومت ۱KΩ دوعدد مقاومت ۱۰KΩ چهارعدد مقاومت ۲۲KΩ، یک عدد مقاومت ۱۵۰KΩ دوعدد خازن ۱۰μF، سه عدد خازن ۲۵ μF، یک‌عدد ترانزیستور ۲N۲۲۱۹ یا C۸۲۹ یا هرترانزیستور مشابه دیگر، دو عدد سیم‌های رابط

**مراحل اجرای کار:**

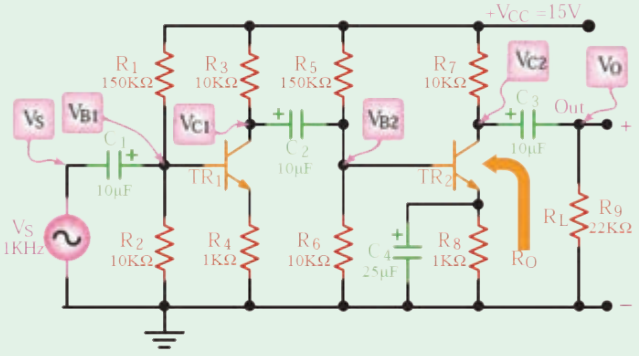
۱ مدار شکل ۴ را روی بردِ بُرد ببندید.

۲ منبع تغذیه ۱۵ولت را به مدار وصل کنید.

۳ درحالی‌که سیگنال ژنراتور خاموش است ولتاژ هریک از پایه‌های ترانزیستور را به‌وسیلهٔ ولت‌متر DC نسبت‌به نقطهٔ مبنا (زمین) اندازه بگیرید و درجدول ۱ یادداشت کنید.

**جدول ۱**

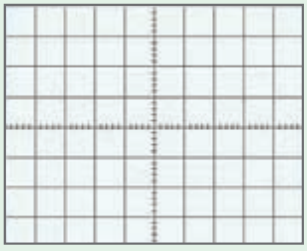
| ردیف | کمیت مورد اندازه‌گیری | مقدار | واحد |
|---|---|---|---|
| ۱ | $V_{B1}$ | | |
| ۲ | $V_{BE1}$ | | |
| ۳ | $V_{C1}$ | | |
| ۴ | $V_{B2}$ | | |
| ۵ | $V_{BE2}$ | | |
| ۶ | $V_{C2}$ | | |



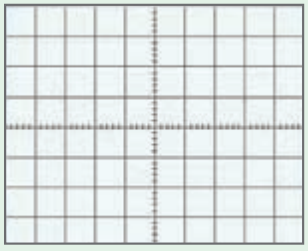

**شکل ۴ـ تقویت‌کننده دوطبقه با کوپلاژ خازنی**

۴ سیگنال ژنراتور را روشن کنید. فرکانس را روی ۱KHZ موج سینوسی قراردهید و دامنه ولتاژ ورودی را طوری تنظیم کنیدکه دامنه سیگنال خروجی (VO) بدون تغییرشکل (اعوجاج) برابر با ۶ ولت پیک‌تاپیک شود.

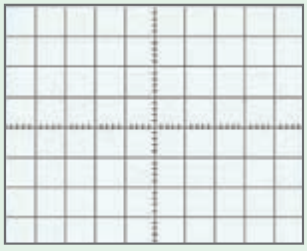
۵ به‌وسیله اسیلوسکوپ شکل موج‌های $V_{B1}$، $V_{B2}$ و $V_O$ را با مقیاس و فاز صحیح در نمودارشکل ۵ الف ـ ب و پ رسم کنید.



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



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



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

**شکل ۵ ـ شکل موج $V_{B1}$، $V_{B2}$ و $V_O$**

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

.....

.....

۷ مقدار پیک‌تاپیک هریک از سیگنال‌ها را اندازه‌گیری کنید و نتایج را درجدول ۲ بنویسید.

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

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 $A_{VT}=A_{V۱}\times A_{V۲}$ است؟ چرا؟ نتیجه را در قالب یک گزارش ارائه دهید.

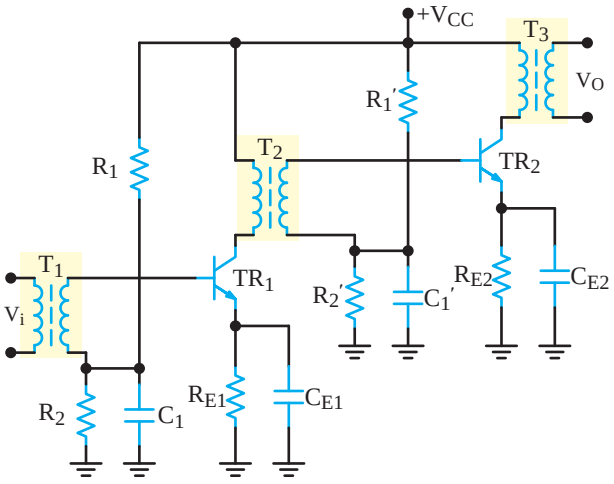
**جدول ۲**

| ردیف | کمیت مورد اندازه‌گیری | مقدار | واحد |
|---|---|---|---|
| ۱ | $V_{B۱(PP)}$ | | |
| ۲ | $V_{C۱(PP)}$ | | |
| ۳ | $A_{V۲}=\frac{V_{C۱(PP)}}{V_{B۱(PP)}}$ | | |
| ۴ | $V_{B۲(PP)}$ | | |
| ۵ | $V_{C۲(PP)}$ | | |
| ۶ | $A_{V۲}=\frac{V_{C۲(PP)}}{V_{B۲(PP)}}$ | | |
| ۷ | $V_{O(PP)}$ | | |
| ۸ | کل $A_V=\frac{V_{O(PP)}}{V_{B۱(PP)}}$ | | |

## ۲ کوپلاژ ترانسفورماتوری

در کوپلاژ خازنی به دلیل اینکه در هر تقویت‌کننده بین کلکتور ترانزیستور و منبع تغذیه یک مقاومت $R_C$ وجود دارد، افت توان در مقاومت $R_C$ به وجود می‌آید. درنتیجه، قدرت اعمال شده به بار کم است. برای برطرف کردن این عیب، به‌خصوص در تقویت‌کننده‌های با قدرت زیاد، از کوپلاژ ترانسفورماتوری استفاده می‌کنند. به‌این ترتیب که اولیهٔ یک ترانسفورماتور را به جای مقاومت $R_C$، در کلکتور ترانزیستور قرار می‌دهند و موج خروجی را از ثانویهٔ آن می‌گیرند و به ورودی طبقهٔ بعدی می‌رسانند. ترانسفورماتورهای کوپلاژ ممکن است از نوع افزاینده یا کاهندهٔ ولتاژ باشند. ترانسفورماتور نیز مانند خازن مانع اثرگذاری ولتاژ DC طبقات روی یکدیگر می‌شود.

درشکل۶ مدار یک نمونه تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ ترانسفورماتوری را مشاهده می‌کنید. یکی از مزایای کوپلاژ ترانسفورماتوری کاهش تلفات تقویت‌کننده و در نتیجه افزایش راندمان آن است. ضمن اینکه با انتخاب صحیح تعداد دور اولیه و ثانویه ترانسفورماتور و ایجاد تطبیق امپدانس



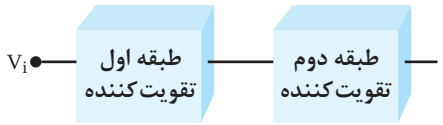

شکل ۶ــ مدار تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ ترانسفورماتوری

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

### ۳ کوپلاژ مستقیم

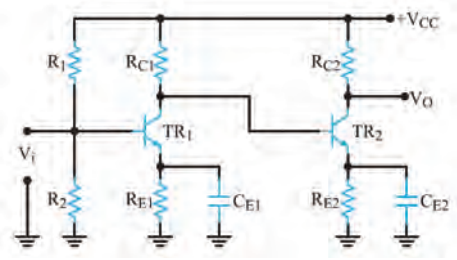
درکوپلاژ مستقیم، طبقات مختلف تقویت‌کننده مستقیماً به‌هم وصل می‌شوند. دراین نوع کوپلاژ تغییر نقطه‌کار یک طبقه برروی نقطه‌کار طبقات دیگر تأثیر می‌گذارد. همین وابستگی نقطه‌کار طبقات به یکدیگر، مدار را به‌شدت به حرارت حساس می‌کند.

شکل ۷ بلوک دیاگرام دوطبقه تقویت‌کننده را که به‌صورت کوپلاژ مستقیم به‌هم وصل شده‌اند، نشان می‌دهد.




**شکل ۷ــ بلوک دیاگرام دوطبقه تقویت‌کننده با کوپلاژ مستقیم**

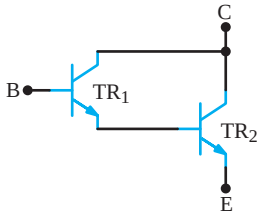
شکل ۸ مدار یک تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ مستقیم را نشان می‌دهد. یکی از مزایای کوپلاژ مستقیم، تقویت فرکانس‌های پایین است. از نمونه‌های مهم کوپلاژ مستقیم می‌توان به تقویت‌کننده زوج دارلینگتون و تقویت‌کننده تفاضلی اشاره کرد.




**شکل ۸ــ مدار تقویت‌کننده دوطبقه با کوپلاژ مستقیم**

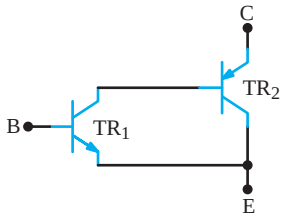
**تقویت‌کننده‌زوج‌دارلینگتون:** یک‌نمونه‌ازتقویت‌کننده‌های دو طبقه با کوپلاژ مستقیم زوج دارلینگتون است که در شکل۹ نشان داده شده است.

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



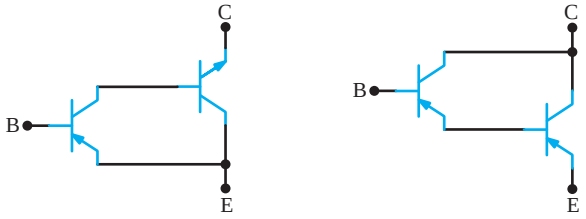

**شکل ۹ــ زوج دارلینگتون NPN**

دراین‌حالت مطابق شکل ۱۰ زوج دارلینگتون مکمل شکل می‌گیردکه معادل زوج دارلینگتون NPN است. اگر ضریب تقویت جریان ترانزیستور $TR_1$ را $\beta_1$ و ضریب تقویت جریان ترانزیستور $TR_2$ را $\beta_2$ فرض کنیم، می‌توان ثابت کردکه ضریب تقویت جریان زوج دارلینگتون از رابطهٔ $\beta_T \approx \beta_1 \beta_2$ به‌دست می‌آید.




**شکل ۱۰ــ زوج دارلینگتون NPN با یک ترانزیستور PNP**

همچنین زوج دارلینگتون PNP ممکن است از دو ترانزیستور PNP و یا با استفاده‌از 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 ۱۱ــ زوج دارلینگتون PNP و معادل آن با یک ترانزیستور NPN و PNP**

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

درشکل ۱۲ ترانزیستور زوج دارلینگتون دریک بسته بندی نشان داده شده است.




**شکل ۱۲ــ زوج دارلینگتون دریک بسته‌بندی**

کار عملی ۲

**بستن مدار زوج دارلینگتون با نرم افزار یا سخت افزاری**

**هدف:** بستن مدار تقویت‌کننده زوج دارلینگتون با نرم‌افزار و به‌دست آوردن نقطه‌کار DC و بهره ولتاژ تقویت کننده

**مواد، ابزار و تجهیزات:** اسیلوسکوپ یک دستگاه، منبع تغذیه یک دستگاه، سیگنال ژنراتور یک دستگاه مقاومت ۴۷۰Ω یک عدد، مقاومت ۵۶۰Ω یک عدد، مقاومت ۱KΩ یک عدد، مقاومت ۱۰KΩ یک عدد مقاومت ۲۲۰KΩ یک عدد، مقاومت ۱ MΩ یک عدد، خازن ۱۰µF یک عدد، خازن ۲۲µF یک عدد، خازن ۱۰۰µF یک عدد، ترانزیستور BC۱۷۷ و BD۱۳۷ یا ترانزیستورهای مشابه از هرکدام یک عدد ،سیم‌های رابط

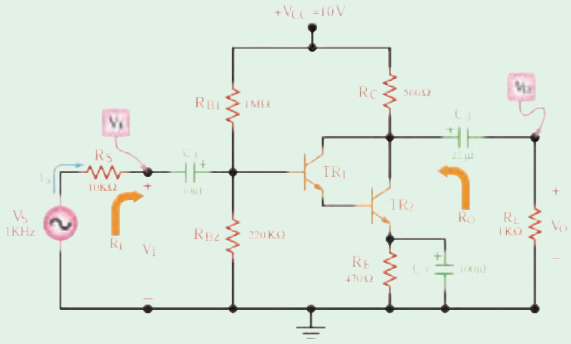
**مراحل اجرای کار:**

۱ مدار شکل ۱۳ را در نرم‌افزار مولتی‌سیم ببندید.

۲ باتوجه به این‌که ترانزیستور BD۱۳۷ نسبت به ترانزیستور BC۱۰۷ از β کوچک‌تری برخوردار است، ترانزیستور BD۱۳۷ را درطبقه دوم مدار قرار دهید.

۳ منبع تغذیه ۱۰+ ولت را روشن کنید.

۴ درحالی‌که سیگنال ژنراتور خاموش است به‌وسیله ولت‌متر DC ولتاژ هریک از پایه‌های ترانزیستور را نسبت به نقطهٔ مبنا (زمین) اندازه بگیرید و در جدول ۳ یادداشت کنید.




شکل ۱۳ـ مدار آزمایش

۵ با استفاده از دستگاه آمپرمتر، جریان پایه‌های ترانزیستور را اندازه‌گیری کرده و درجدول ۴ یادداشت کنید. سپس β هریک از ترانزیستورها و نیز β کل را محاسبه کرده و نتیجه را توضیح دهید.

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

۷ اسیلوسکوپ را به دوسر مقاومت بار وصل کنید. دامنهٔ سیگنال $V_S$ را طوری تنظیم کنیدکه دامنه ولتاژ خروجی (VO) 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 پیک‌تاپیک ولتاژ ورودی $V_i$ و خروجی $V_O$ را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۱۰ مقدار $A_V$ مدار را درحالتی‌که مقاومت $R_L$ درمدار 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 رابطهٔ $R_o = \frac{V_{OPPNL} - V_{OPPFL}}{V_{OPPFL}} \times R_L$ محاسبه کنید.

۱۳ بار $R_L$را وصل کنید و به‌وسیلهٔ اسیلوسکوپ دامنهٔ پیک‌تاپیک سیگنال‌های $V_i$ و $V_S$ را اندازه بگیرید و یادداشت نمایید.

۱۴ با استفاده از رابطهٔ $I_S = \frac{V_{SPP} - V_{iPP}}{R_S}$ مقدار جریان $I_S$ را محاسبه کنید.

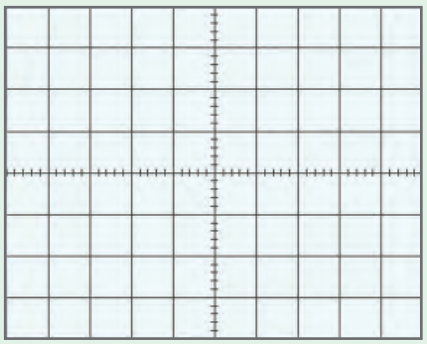
۱۵ با استفاده از رابطهٔ $R_I = \frac{V_{iPP}}{I_S}$ مقدار امپدانس ورودی تقویت‌کننده را محاسبه کنید.

**جدول ۳**

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

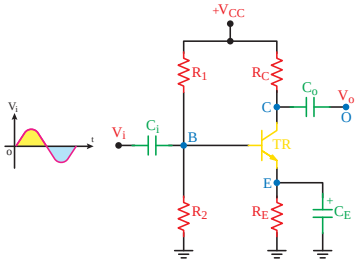
**جدول ۴**

| 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 ۱۴ـ شکل موج $V_O$ و $V_I$

## خودارزیابی




شکل ۱۵

۱ درمدار شکل ۱۵ باتوجه به شکل موج ورودی شکل موج ولتاژ نقاط B وC وE وO را رسم کنید.

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

اگر بهره جریان استاتیکی هرترانزیستور (β) برابر ۵۰ باشد βT را محاسبه کنید.

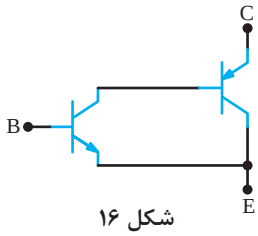
۳ مزایا و معایب تقویت‌کننده با کوپلاژ خازنی را شرح دهید.

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

۵ درکوپلاژ..... تغییر نقطه‌کار یک طبقه بر روی نقطه‌کار طبقات دیگر تأثیر می‌گذارد.

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

۷ دریک تقویت‌کننده اگر $V_{OPPNL}$= ۸V و در بار $V_{OPPFL}$=۲V RL=۲/۲KΩ باشد مقاومت خروجی تقویت‌کننده را محاسبه کنید.




شکل ۱۶

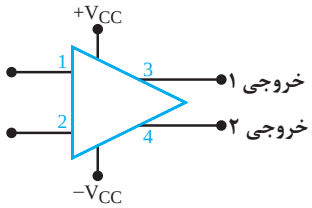
**تقویت‌کننده تفاضلی:** درتقویت‌کننده‌های معمولی مانند امیترمشترک می‌توان به ضریب تقویت کافی و پایداری حرارتی مناسب دست یافت. ولی به‌دلیل وجود خازن، دراین نوع تقویت‌کننده‌ها فرکانس‌های کم و سیگنال DC به‌درستی تقویت نمی‌شوند و ضریب تقویت کاهش می‌یابد. برای تقویت سیگنال‌های با فرکانس پایین و DC از تقویت‌کننده تفاضلی (Differential Amplifier) استفاده می‌کنیم.

یکی‌ازمشکلات تقویت‌کننده‌هایی‌که تاکنون آنهارا بررسی‌کرده‌ایم ناتوانی درتفکیک سیگنال از نویز است. این تقویت‌کننده‌ها سیگنال و نویز را به یک اندازه تقویت می‌کنند. درصورتی‌که تقویت‌کننده تفاضلی دارای قابلیت جداسازی سیگنال از نویز است و می‌تواند هرکدام را با ضریب متفاوتی به خروجی مدارمنتقل کند.

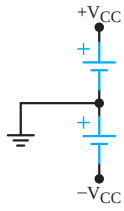
**نقشه فنی تقویت‌کننده تفاضلی:** در شکل ۱۷ نقشه فنی تقویت‌کننده تفاضلی نشان داده شده است. همان‌طورکه می‌بینید، در این شکل دو ترمینال ورودی و دوترمینال خروجی وجود دارد. به‌منظور استفاده از این تقویت‌کننده‌ها، ابتدا باید ارتباط این ترمینال‌ها را بدانیم تا بتوانیم تقویت‌کننده را به‌کاربریم.

به شکل ۱۷ دقت‌کنید، در این شکل علاوه بر ترمینال‌های ورودی و خروجی، دو ترمینال دیگر نیز برای اتصال به خط تغذیه متقارن وجود دارد. چگونگی ایجاد خط تغذیه متقارن درشکل ۱۸ نشان داده شده است.

ولتاژهای ورودی را می‌توان به یک یا هردو ترمینال ورودی اعمال کرد. ولتاژ خروجی نیز درهردو ترمینال خروجی ظاهر می‌شود. البته ازنظر زاویه فاز بین ترمینال‌های ورودی خروجی پلاریته متفاوتی وجود دارد.

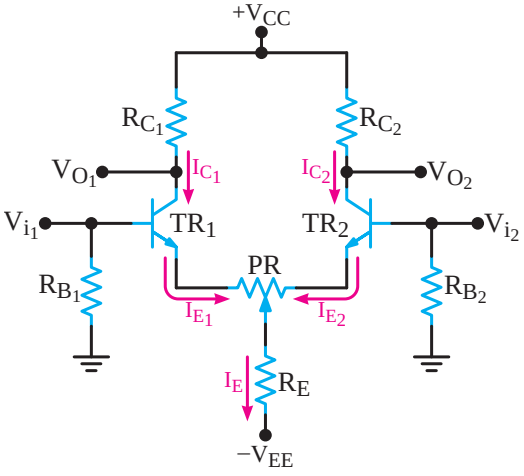



شکل ۱۷ــ نقشه فنی تقویت‌کننده تفاضلی




شکل ۱۸ــ ایجاد تغذیه متقارن

**مدار تقویت‌کننده تفاضلی:** نقشه ساده یک تقویت‌کننده تفاضلی (diff_amp) درشکل ۱۹ رسم شده است. این مدار دارای دو ورودی $Vi_۱$ و $Vi_۲$ و دو خروجی $VO_۱$ و $VO_۲$ است. ورودی‌ها به‌طور جداگانه به بیس ترانزیستورها متصل می‌شوند. از سوی‌دیگر، چون امیترها به مقاومت مشترکی اتصال دارند، خروجی‌های $VO_۱$ و $VO_۲$ به‌وسیله 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 VCC+ و VEE- به نقاط مورد نظر و سیم مشترک آن به زمین وصل شده است.




**شکل ۱۹ـ مدار تقویت‌کننده تفاضلی**

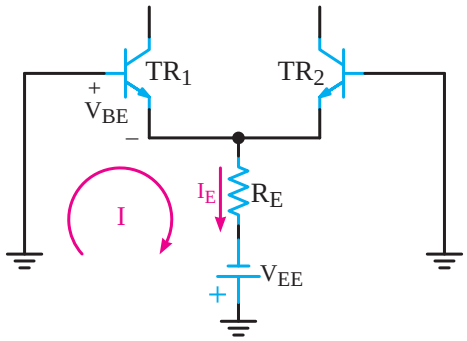
**بررسی رفتار DC تقویت‌کننده تفاضلی:** برای تجزیه و تحلیل بهتر مدار درحالت DC ابتدا مطابق شکل ۲۰ هردو ورودی را زمین می‌کنیم. به‌عبارت دیگر ولتاژ بیس ترانزیستورها را صفر درنظر می‌گیریم (VB=۰). دراین‌حالت ولتاژ امیتر ترانزیستور دارای پتانسیلی برابر با (۰/۷-) ولت است.

با فرض مشابه بودن هردونیمه، جریان امیتر هردو ترانزیستور برابر است و از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{E۱} = I_{E۲} = \frac{I_E}{۲}$$

با نوشتن KVL درحلقه نشان داده شده درشکل ۲۰ می‌توانیم مقدار $I_E$ را محاسبه کنیم.

$$+V_{BE} + R_E I_E - V_{EE} = ۰ \Rightarrow I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E}$$




**شکل ۲۰ـ معادل KVL درحلقه I**

باتوجه به شرایط مدار داریم:

$$I_{C۱}=I_{C۲}=I_{E۱}=I_{E۲}=\frac{I_E}{۲}$$

مقدار ولتاژ کلکتور ترانزیستورها را محاسبه می‌کنیم:

$$V_{C۱} = V_{C۲} = V_{CC} - R_{C۱} I_{C۱} = V_{CC} - R_{C۲} I_{C۲}$$

برای ثابت نگه داشتن نقطه‌کار مدار می‌توان مانند شکل ۲۱ یک منبع جریان را به‌جای مقاومت $R_E$ قرارداد. این کار همچنین باعث افزایش بهره‌ولتاژ و مقاومت ورودی تقویت‌کننده می‌شود.

**مدار منبع جریان:** منبع جریان مداری است که درآن جریان خروجی به مقاومت بار بستگی ندارد و تحت شرایطی، جریان بار همواره ثابت است.

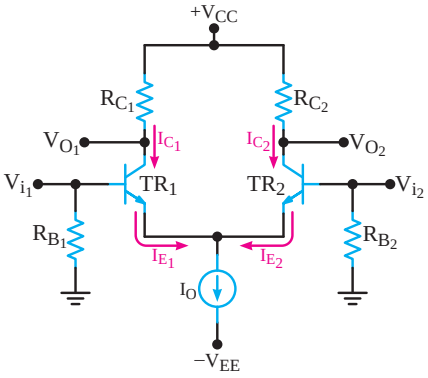
درشکل ۲۲ مدار یک منبع جریان ساده ترانزیستوری نشان داده شده است. ولتاژ دوسر مقاومت $R_E$ از رابطه زیر به دست می‌آید.

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

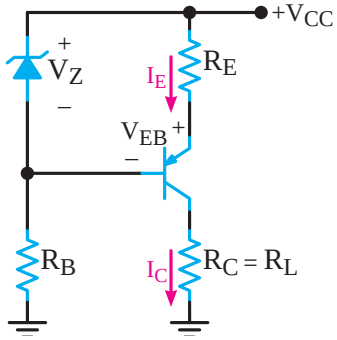
$$I_E = \frac{V_Z - V_{EB}}{R_E}$$

دراین رابطه چون مقادیر $R_E$، $V_Z$ و $V_{EB}$ تقریباً ثابت‌اند. $I_E$ نیز درمحدودهٔ معینی از $R_L$ ثابت باقی می‌ماند. چون جریان کلکتور ترانزیستور تقریباً با جریان $I_E$ برابر است، لذا $I_C$ نیز ثابت می‌شود:

$$I_C \simeq I_E$$




شکل ۲۱ــ تقویت‌کننده تفاضلی با منبع جریان




شکل ۲۲ــ مدارمنبع جریان ساده ترانزیستوری

مثال

جریان بار را در شکل ۲۳ محاسبه کنید.

**پاسخ:**

**محاسبهٔ $I_E$**

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

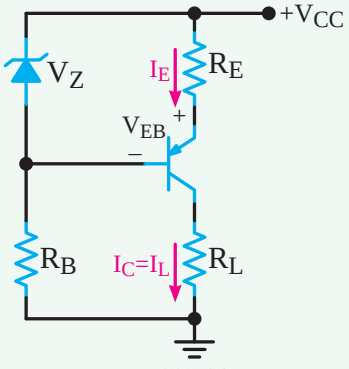
$$I_E = \frac{V_Z - V_{EB}}{R_E} = \frac{۶/۲ - ۰/۷}{۱/۱}$$

$$I_E = \frac{۵/۵}{۱/۱} = ۵\text{mA}$$

**محاسبهٔ $I_L$**

$$I_C \simeq I_E = ۵\text{mA}$$

$$I_L = ۵\text{mA}$$




شکل ۲۳

$V_{CC}$=+12V

$V_{EB}$=+0.7V

$V_Z$=6.2V

$R_E$=1.1KΩ

$R_L$=1KΩ

مثال

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

**پاسخ:**

محاسبهٔ جریان منبع جریان

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

$$I_{E3}=\frac{۶/۲-۰/۶}{۵/۶K}=۱mA$$

$$I_{C3}=I_{E3}=۱mA$$

محاسبه جریان کلکتور ترانزیستورهای $TR_1$ و $TR_2$

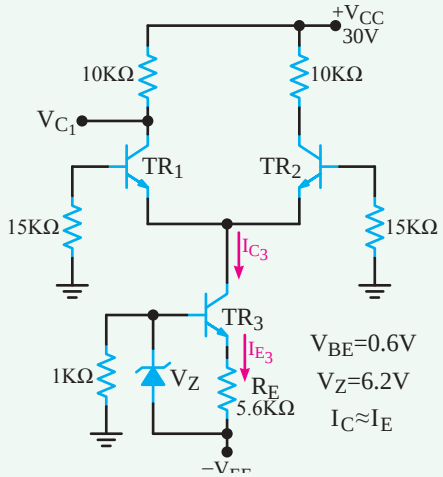
$$I_{C1}=I_{C2}=\frac{I_{C3}}{۲}$$

$$I_{C1}=\frac{۱}{۲}\ ۰/۵mA$$

**محاسبهٔ $V_{C1}$**

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

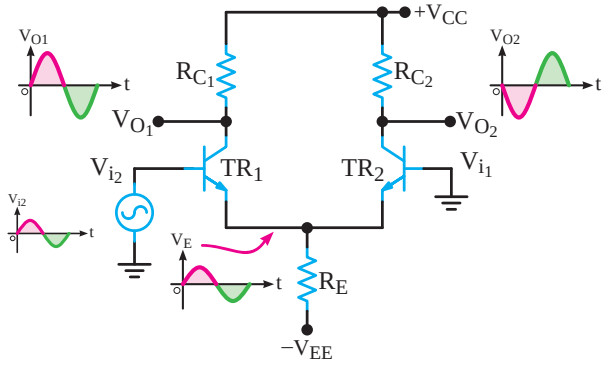
ولت $V_{C1}=۳۰-(۱۰)(۰/۵)=۲۵$




شکل ۲۴

**بررسی رفتار AC تقویت‌کننده تفاضلی:** دریک تقویت‌کننده تفاضلی، سیگنال ورودی را می‌توان به یک یا هردو ورودی تقویت‌کننده اعمال کرد. همچنین سیگنال خروجی را می‌توان از یک یا هر دو خروجی تقویت‌کننده دریافت کرد.

**تقویت‌کننده تفاضلی با یک ورودی و دو خروجی:** در شکل ۲۵ مدار یک تقویت‌کننده تفاضلی با یک ورودی و دوخروجی نشان داده شده است. با اعمال سیگنال به یکی از ورودی‌ها، در خروجی‌های تقویت‌کننده دوسیگنال با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز ایجاد می‌شود.

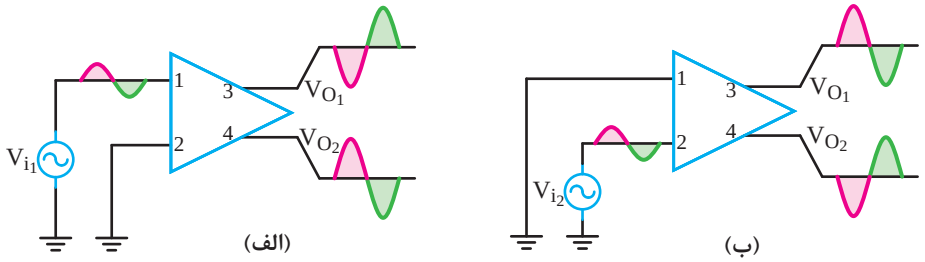



شکل ۲۵ـ اتصال سیگنال به بیس $TR_1$

تحقیق کنید

درمورد نحوه عملکرد تقویت‌کننده تفاضلی شکل ۲۵ و چگونگی تقویت سیگنال تحقیق کنید. همچنین بررسی کنید چرا سیگنال‌های تقویت شده در خروجی‌ها با یکدیگر ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند. نتیجه تحقیق را درکلاس ارائه دهید.

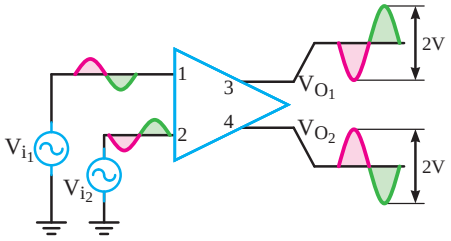
در شکل ۲۶ تقویت‌کننده تفاضلی درحالت یک ورودی و دوخروجی به‌همراه شکل موج‌های ورودی و خروجی به‌صورت بلوکی رسم شده است. درشکل (الف) سیگنال به ورودی ۱ و درشکل (ب) سیگنال به ورودی ۲ اعمال شده است.
از مدار تقویت‌کننده تفاضلی با یک ورودی و دوخروجی می‌توان به‌عنوان مدارجداکننده فاز استفاده کرد.




**شکل ۲۶ـ تقویت‌کننده تفاضلی با یک ورودی و دو خروجی**

**ـ تقویت‌کننده تفاضلی با دو ورودی و دو خروجی:** درمدار تقویت‌کننده تفاضلی با دو ورودی، باتوجه به‌اینکه دو سیگنال ورودی هم‌فاز باشند یا درفاز مخالف باشند، عملکرد مدار متفاوت خواهد بود.

**ـ تقویت‌کننده تفاضلی با ورودی تفاضلی (Differential Inputs):** درصورتی‌که طبق شکل ۲۷ ورودی‌های $V_{i_1}$ و $V_{i_2}$ با دامنهٔ برابر و فاز مخالف به تقویت‌کنندهٔ تفاضلی اعمال گردند، سیگنال‌های خروجی مربوطه به دو ورودی با یکدیگر جمع می‌شوند و خروجی‌های $V_{O_1}$ و $V_{O_2}$ دو سیگنال با فاز مخالف نسبت به‌هم و دامنهٔ مشخص مثلاً ۲V دریافت خواهدشد که این حالت را حالت تفاضلی می‌نامند. مقدار دامنهٔ خروجی‌ها بستگی به‌مقدار دامنهٔ سیگنال‌های ورودی دارد.

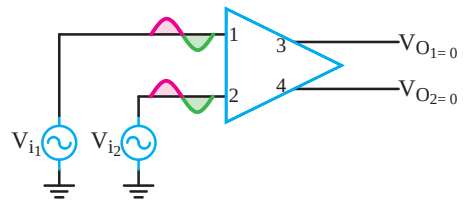



**شکل ۲۷ـ تقویت‌کننده تفاضلی با عملکرد ورودی تفاضلی**

**تقویت‌کننده تفاضلی درحالت سیگنال مشترک (Common Mode Inputs):** درحالت سیگنال مشترک دوسیگنال با فاز، دامنه و فرکانس یکسان به دو ورودی تقویت‌کننده داده می‌شود. درشکل ۲۸ تقویت‌کننده تفاضلی به شکل بلوکی درحالت سیگنال مشترک رسم شده است.

دراین‌حالت هریک از سیگنال‌های $V_{O_1}$ و $V_{O_2}$ از جمع دوسیگنال ناشی از دو ورودی به‌دست می‌آیندکه چون قرینه هستند، لذا دامنه $V_{O_1}$ و $V_{O_2}$ برابرصفر خواهد شد. به عبارت دیگر درحالت سیگنال مشترک دامنه خروجی‌های تقویت‌کننده برابرصفر خواهد بود.

حالت سیگنال مشترک یکی از موارد کاربردی و محاسن تقویت‌کننده تفاضلی به‌شمار می‌آید، زیرا سیگنال‌های مشترکی که به‌وسیله پارازیت، تغییرات ولتاژ منبع تغذیه و درجه حرارت پدید می‌آیند و تغییراتشان در هردو ترانزیستور یکی است، کاملاً حذف می‌شوند.




**شکل ۲۸ـ تقویت‌کننده تفاضلی درحالت سیگنال مشترک**

کار عملی ۳

## بستن مدار تقویت‌کننده تفاضلی

**هدف:** بستن مدار تقویت‌کننده تفاضلی و به‌دست آوردن نقطه‌کار DC مدار و بررسی عملکرد مدار در حالت تفاضلی و سیگنال مشترک

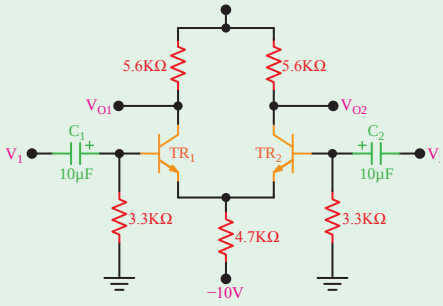
**مواد، ابزار و تجهیزات:** اسیلوسکوپ دوکاناله ۱ دستگاه، منبع تغذیه دوبل ۱دستگاه، مولتی‌متر دیجیتال ۱ دستگاه، سیگنال ژنراتور صوتی ۱ دستگاه، ترانزیستور با بتای ۷۵ تا ۱۰۰ مانند BC۳۳۷، ۲N۲۲۱۹، ۳ عدد، خازن ۱۰μF/۲۵V، ۳ عدد، مقاومت‌های ۳۹۰Ω، ۴/۷KΩ، ۵/۶KΩ، ۳/۳ KΩ، ۳۳KΩ و ۳۹KΩ، ازهرکدام ۲ عدد، پتانسیومتر ۱KΩ، ۱ عدد بِردبُرد تجهیزات، ابزار و مواد عمومی

**مراحل اجرای کار:**

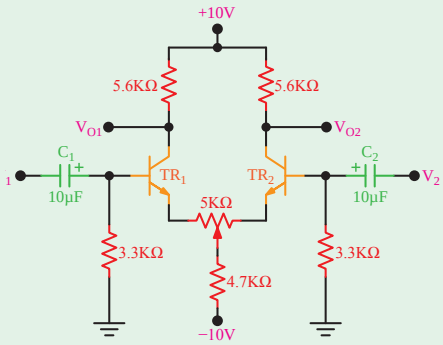
۱ مدار شکل ۲۹ را روی بِردبُرد ببندید.

۲ قبل از وصل‌کردن سیگنال‌های ورودی مدار، به‌وسیله مولتی‌متر 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 باتوجه به مقادیر جدول ۵ آیا نقطه‌کار دو ترانزیستور کاملاً یکسان است؟ درصورت یکسان نبودن نقطه‌کار مطابق شکل ۳۰ پتانسیومتر ۱ کیلواهم را در مسیر امیتر ترانزیستورها قراردهید و آن‌را به‌گونه‌ای تنظیم کنیدکه ولتاژ کلکتور دو ترانزیستور کاملاً با یکدیگر مساوی شوند.




شکل ۲۹




شکل ۳۰

**جدول ۵**

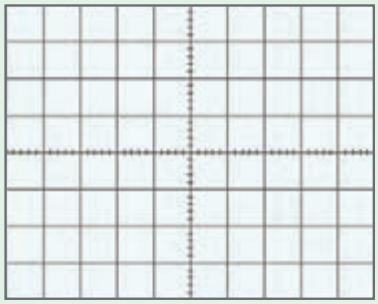
| پایه‌ها / ترانزیستور | ولتاژها برحسب ولت | | |
|---|---|---|---|
| | $V_B$ | $V_C$ | $V_E$ |
| $TR_1$ | | | |
| $TR_2$ | | | |

۴ درشکل ۳۰ درحالت بدون سیگنال‌های $V_1$ و $V_2$ به‌وسیله مولتی‌متر DC، ولتاژ پایه‌های دو ترانزیستور $TR_1$ و $TR_2$ را نسبت‌به نقطه مشترک (زمین) اندازه بگیرید و درجدول ۶ یادداشت کنید.

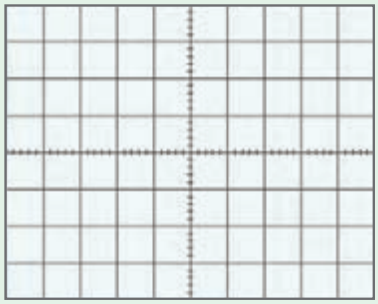
**جدول ۶**

| پایه‌ها / ترانزیستور | ولتاژها برحسب ولت | | |
|---|---|---|---|
| | $V_B$ | $V_C$ | $V_E$ |
| $TR_1$ | | | |
| $TR_2$ | | | |

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 به‌وسیله اسیلوسکوپ سیگنال‌های $VO_1$ و $VO_2$ را مشاهده کنید.
۸ دامنه خروجی سیگنال ژنراتور AF را درحدی تنظیم کنیدکه خروجی‌های $VO_1$ و $VO_2$ به حداکثر دامنه ممکن برسد و بدون تغییرشکل (اعوجاج) باشد.
۹ شکل موج خروجی‌های $VO_1$ و $VO_2$ را با مقیاس مناسب و باتوجه به اختلاف فاز دو سیگنال درنمودارهای ۳۱ و ۳۲ رسم کنید.



**شکل ۳۱ـ شکل موج $VO_1$**



**شکل ۳۲ـ شکل موج $VO_2$**

۱۰ مقدار دامنه پیک‌تاپیک $VO_1$ و $VO_2$ را اندازه بگیرید و یادداشت کنید. $VO_{2PP}$ $VO_{1PP}$
۱۱ شکل موج ورودی را روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده کنید و مقدار Vipp را اندازه گرفته و یادداشت کنید.
Vipp= ولت

۱۲ با استفاده از رابطه $AV=\frac{V_O}{V_1}$ مقادیر $AV_1$ و $AV_2$ را محاسبه‌کنید.
$AV_1=$ $AV_2=$

۱۳ آیا $AV_1$ و $AV_2$ تقریباً باهم برابر است؟ شرح دهید.

.....

۱۴ باتوجه به شکل موج‌های $VO_1$ و $VO_2$ و اختلاف فاز $\varphi$ مقدار اختلاف دامنه $VO_1$ و $VO_2$ ($VO_d$) را انداز بگیرید و یادداشت کنید. $VO_d=$
۱۵ درمورد $\varphi$ 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. به‌وسیله اسیلوسکوپ سیگنال‌های $VO_1$ و $VO_2$ را مشاهده کنید و دامنه و اختلاف فاز آنها را اندازه بگیرید.
۱۷ نتایج به‌دست آمده درمرحله ۱۴ و ۱۶ را با هم مقایسه کنید و درمورد عملکرد تقویت‌کننده تفاضلی توضیح دهید.

.....

۱۸ دو سیگنال هم‌فاز و هم‌دامنه به ورودی‌های $V_1$ و $V_2$ اتصال‌دهید (دراین حالت می‌توانید خروجی سیگنال ژنراتور را هم‌زمان به ورودی‌های $V_1$ و $V_2$ متصل کنید).
۱۹ خروجی‌های $VO_1$ و $VO_2$ را مشاهده کنید. آیا سیگنال خروجی وجود دارد؟ توضیح دهید.

.....

## خودارزیابی

۱ تقویت‌کننده تفاضلی می‌تواند سیگنال‌های با فرکانس ..... و ..... را تقویت کند.

۲ تقویت‌کننده تفاضلی نمی‌تواند سیگنال را از نویز تفکیک کند. ☐ صحیح ☐ غلط

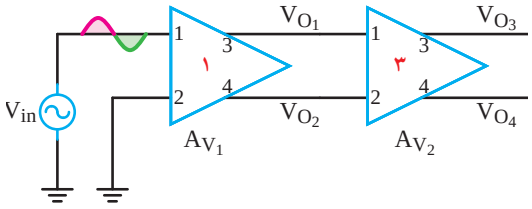
۳ یک تقویت کننده تفاضلی درحالت تفاضلی باید بهره بسیارزیاد و درحالت سیگنال مشترک، بهره بسیارکم حدود صفر داشته باشد. ☐ صحیح ☐ غلط

۴ تقویت‌کننده تفاضلی درحالت یک ورودی و دو خروجی، دو سیگنال تقویت شده با دامنهٔ برابر و ۱۸۰ درجه اختلاف فاز تولید می‌کند. ☐ صحیح ☐ غلط

۵ در شکل ۳۳ تقویت‌کننده تفاضلی ۱ درحالت ..... و تقویت‌کننده تفاضلی۲ درحالت ..... استفاده شده است.

۶ درشکل ۳۳ سیگنال $VO_۴$ با سیگنال ورودی هم فاز است.

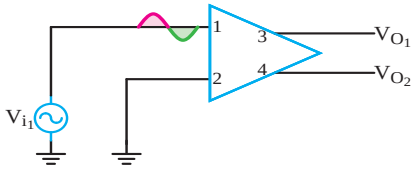
☐ صحیح ☐ غلط




شکل ۳۳

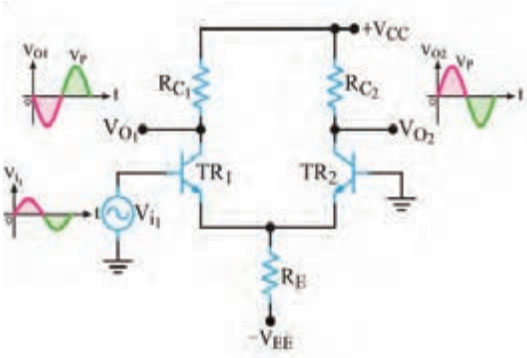
۷ درشکل ۳۴ شکل موج خروجی‌های تقویت‌کننده تفاضلی دارای دامنه برابر و ۱۸۰ درج اختلاف فاز هستند و به‌عنوان جداکننده فاز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

☐ صحیح ☐ غلط




شکل ۳۴

۸ درشکل ۳۵ تقویت‌کننده تفاضلی درچه‌حالتی به‌کاررفته است؟ آرایش ترانزیستورهای $TR_۱$ و $TR_۲$ ازنظر سیگنال ورودی چگونه است؟




شکل ۳۵

## تقویت‌کننده توان (قدرت)

تقویت‌کننده‌هایی‌که تاکنون بررسی‌کردیم، ولتاژ یا جریان ورودی را تقویت می‌کنند، بنابراین به نوعی تقویت‌کننده توان محسوب می‌شوند. ولی اصطلاح «تقویت‌کننده توان» یا «تقویت‌کننده قدرت» برای تقویت‌کننده‌هایی به‌کارمی‌رودکه توان خروجی قابل ملاحظه‌ای را به بار منتقل می‌کنند.

دریک تقویت‌کننده چند طبقه، درطبقات ماقبل آخر اغلب سیگنال ولتاژ تقویت شده و تقویت‌کننده توان که طبقه انتهایی تقویت‌کننده را تشکیل می‌دهد، سیگنال جریان را تقویت می‌کند.
به‌دلیل این‌که دامنه سیگنال ورودی تقویت‌کننده توان زیاد است، به‌این تقویت‌کننده، تقویت‌کننده سیگنال بزرگ نیز می‌گویند.

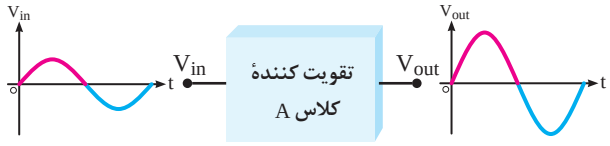
## ویژگی‌های تقویت‌کننده توان

برای اینکه تقویت‌کننده‌های توان بتوانند بیشترین کارایی را داشته باشند، باید دارای قابلیت‌ها و ویژگی‌هایی باشندکه مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از: حداقل اعوجاج درسیگنال خروجی، مقاومت خروجی کم، بهره جریان زیاد، راندمان بالا و مشخصه فرکانسی خوب.

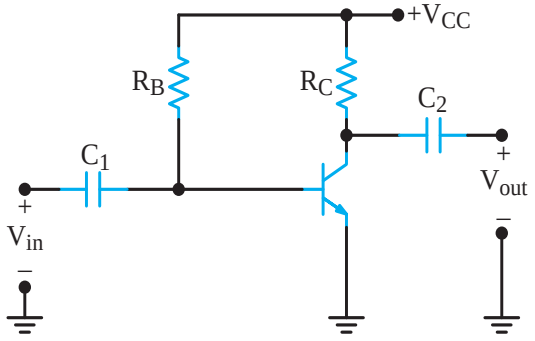
## کلاس‌های تقویت‌کننده توان

باتوجه به این‌که تقویت‌کننده درچه کسری از یک سیکل کامل سیگنال ورودی هدایت می‌کند، تقویت‌کننده دریکی‌از کلاس‌های A، B، AB، C و ... قرار می‌گیرد.

**تقویت‌کننده کلاس A:** تقویت‌کننده کلاس A درکل زمان عبور سیگنال ورودی روشن بوده و عمل تقویت سیگنال را انجام می‌دهد. به دلیل اینکه ترانزیستور تقویت‌کننده کلاس A درناحیه فعال بایاس می‌شود و همیشه روشن است، میزان تلفات آن زیاد بوده و درنتیجه راندمان تقویت‌کننده کلاس A بسیار پایین بوده و در بهترین حالت کمتر از ۵۰ درصد است. در شکل ۳۶ بلوک دیاگرام تقویت‌کننده کلاس A به همراه سیگنال ورودی و خروجی آن نشان داده شده است. همچنین درشکل ۳۷ یک نمونه مدارتقویت‌کننده کلاس A را مشاهده می‌کنید. راندمان این تقویت‌کننده حتی از ۲۵ درصد نیز کمتر است.

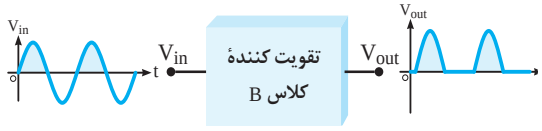



شکل ۳۶ـ موج ورودی و خروجی تقویت‌کننده کلاس A

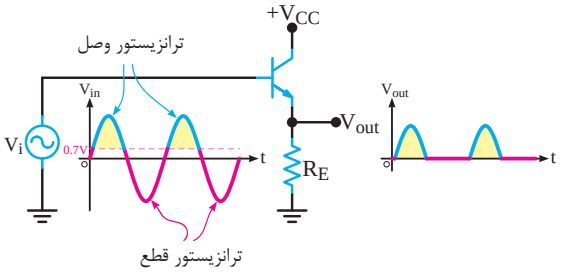



شکل ۳۷ـ مدار تقویت‌کننده کلاس A

**تقویت‌کننده کلاس B:** درتقویت‌کننده‌کلاس B، ترانزیستور تقویت‌کننده درناحیه قطع بایاس می‌شود، درنتیجه ترانزیستور زمانی روشن می‌شودکه سیگنالی به ورودی ترانزیستور وارد شود و هر زمان سیگنال ورودی وجود نداشته باشد، ترانزیستور خاموش است. به این ترتیب راندمان تقویت‌کننده کلاس B تا ۷۸/۵ درصد افزایش می‌یابد.
درشکل ۳۸ بلوک دیاگرام تقویت‌کننده کلاس B و درشکل ۳۹یک نمونه مدار تقویت‌کننده کلاس B را مشاهده می‌کنید. با اعمال سیگنال به ورودی تقویت‌کننده و در نیم سیکل مثبت آن، ترانزیستور درناحیه فعال قرارگرفته و تقویت می‌کند. در نیم سیکل منفی ترانزیستور قطع بوده و در این نیم سیکل دامنه خروجی صفر است.



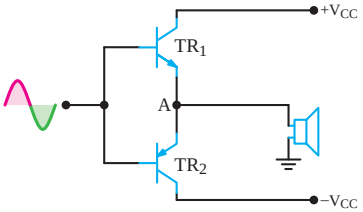

شکل ۳۸ـ بلوک دیاگرام تقویت‌کننده کلاس B



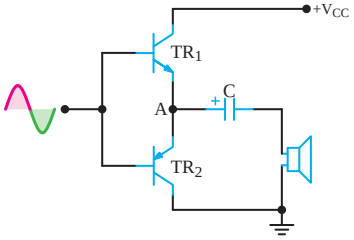

شکل ۳۹ـ تقویت‌کننده کلاس B

یکی‌از معایب تقویت‌کننده کلاس B این است‌که چون این تقویت‌کننده درناحیه قطع بایاس می‌شود، تنها نیم سیکل مثبت را تقویت می‌کند. بنابراین باید برای تقویت نیم سیکل منفی سیگنال ورودی ازیک ترانزیستور دیگر استفاده کرد. به این‌نوع تقویت‌کننده، تقویت‌کننده پوش پول (Push Pull) می‌گویند.

تقویت‌کننده پوش‌پول به روش‌های مختلفی طراحی شده است‌که یک نمونه آن درشکل ۴۰ الف و ب رسم شده است. دراین مدار از یک ترانزیستور NPN و یک ترانزیستور PNP که مشخصات کاملاً مشابهی دارند استفاده می‌شود. به همین‌دلیل به آن تقویت‌کننده پوش‌پول با ترانزیستورهای مکمل می‌گویند. درشکل الف از دو منبع تغذیه‌که متقارن هستند و درشکل ب از یک منبع تغذیه برای بایاسینگ ترانزیستورها استفاده شده است.




الف) با منبع تغذیهٔ متقارن




ب) با منبع تغذیهٔ ساده

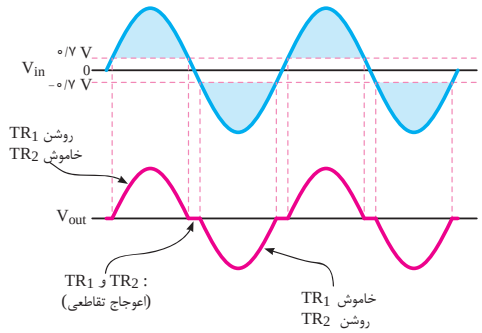
شکل ۴۰ـ تقویت‌کننده پوش‌پول

فعالیت

نحوه عملکرد تقویت‌کننده‌های شکل ۴۰ را بررسی‌کرده و درکلاس ارائه دهید. نقش خازن C درشکل ب چیست؟

عیب دیگر تقویت‌کننده کلاس B این است‌که برای روشن شدن ترانزیستور و قرارگرفتن آن در ناحیه فعال، اندازه دامنه سیگنال ورودی باید از ۰/۷ ولت بیشتر شود. بنابراین وقتی دامنه سیگنال ورودی کمتراز ۰/۷ ولت است، دامنه خروجی برابر صفر خواهد بود. در نتیجه سیگنال خروجی دارای اعوجاج می‌شودکه اصطلاحاً به آن اعوجاج تقاطعی می‌گویند.

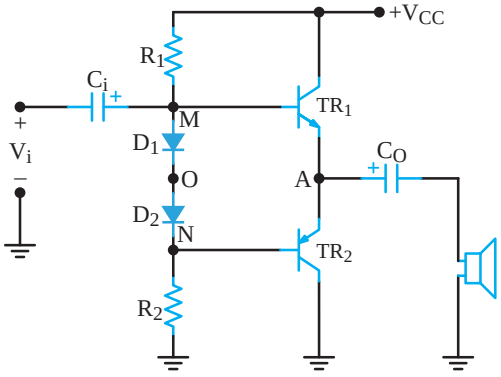
درشکل ۴۱ سیگنال ورودی و خروجی تقویت‌کننده پوش‌پول کلاس B نشان داده شده است.




شکل ۴۱ـ اعوجاج تقاطعی درشکل موج خروجی

راه‌حل مشکل اعوجاج تقاطعی این‌است‌که به‌جای بایاس‌کردن ترانزیستورها درناحیه قطع، آنها را درآستانه هدایت قرار دهیم. یعنی ولتاژ بایاس بیس امیتر ترانزیستورها درهنگام نبودن سیگنال ورودی حدود ۰/۶ ولت باشد. به این تقویت‌کننده، تقویت‌کننده کلاس AB می‌گویند.

برای قراردادن تقویت‌کننده در کلاس AB روش‌های مختلفی وجود دارد که درشکل 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 مقاومت‌های $R_1$ و $R_2$ طوری بایاس می‌شوند که ولتاژ دوسر هرکدام از آنها برابر ۰/۶ ولت شود. درنتیجه ولتاژ بیس امیتر هریک از ترانزیستورها برابر ۰/۶ ولت خواهد بود و ترانزیستورها درآستانه هدایت و درکلاس AB قرار می‌گیرند.




**شکل ۴۲ـ استفاده از دو دیود برای ترانزیستورهای مکمل کلاس AB**

درنیم سیکلِ مثبتِ سیگنالِ ورودی، ترانزیستور $TR_1$ روشن و $TR_2$ قطع است و خازن $C_O$ شارژ می‌شود. در نیم سیکلِ منفیِ سیگنالِ ورودی، ترانزیستور $TR_2$ روشن و $TR_1$ قطع است و خازن $C_O$ از مسیرکلکتورامیتر $TR_2$ دشارژ می‌شود. بنابراین، درهر نیم سیکل یکی‌از دو ترانزیستور، سیگنال ورودی را تقویت می‌کند. دراین مدار هردو ترانزیستور به‌صورت کلکتور مشترک بسته شده‌اند.

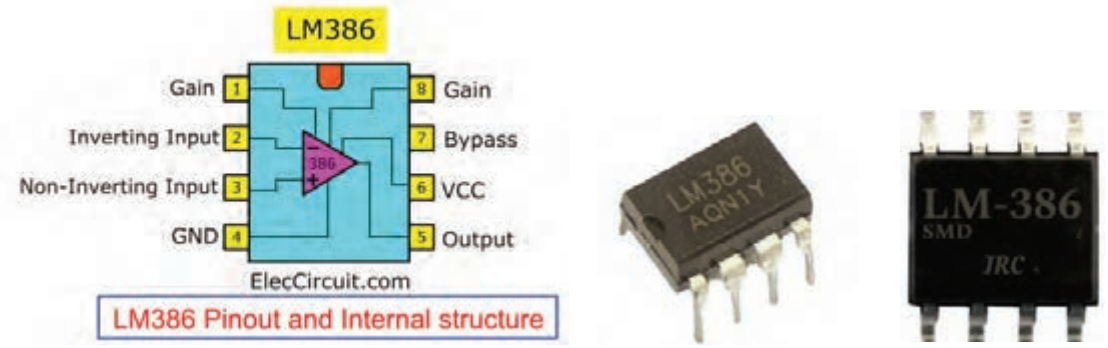
## تقویت‌کننده صوتی با آی‌سی LM۳۸۶

آی‌سی تقویت‌کننده توان صوتی LM۳۸۶ تقویت‌کننده کلاس AB با بهره‌ولتاژ قابل تنظیم است. بهره ولتاژ آن‌را می‌توان از ۲۰ تا ۲۰۰ مرتبه تنظیم نمود. با قراردادن خازن بین پایه‌های ۱ و ۸ بهره را افزایش می‌دهیم. ولتاژ تغذیه و توان دریافتی خروجی مدل‌های مختلف آی‌سی در جدول ۷ نشان داده شده است.

**جدول ۷ـ ولتاژ کار و توان خروجی آی‌سی**

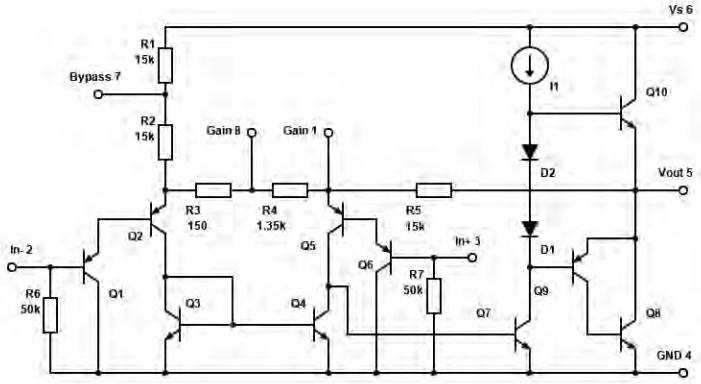
| LM ۳۸۶ IC Model | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Model** | **Minimum voltage** | **Maximum voltage** | **Minimum output power** | **Typical output power** |
| LM ۳۸۶ N_۱ | ۴V | ۱۲V | ۲۵۰mW | ۳۲۵mW |
| LM ۳۸۶ N_۳ | ۴V | ۱۲V | ۵۰۰mW | ۷۰۰mW |
| LM ۳۸۶ N_۴ | ۵V | ۱۸V | ۵۰۰mW | ۱۰۰۰mW |

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

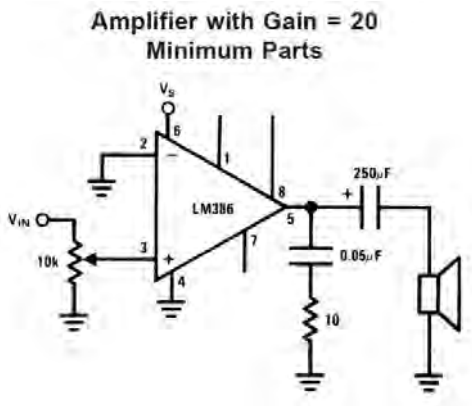



**شکل ۴۳ـ شکل ظاهری و پایه‌های آی‌سی**

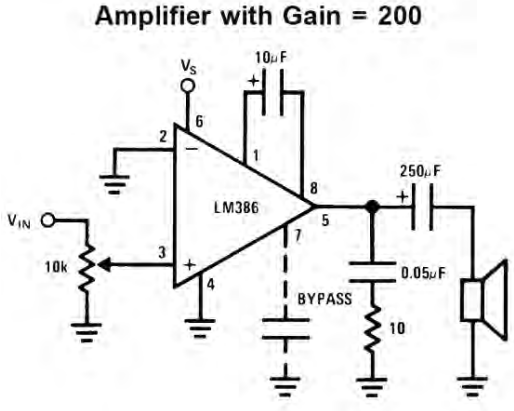
درشکل ۴۳ مداردرونی آی‌سی رسم شده است.
درشکل ۴۵ و ۴۶ دو نمونه مدار با بهره ولتاژ ۲۰ و ۲۰۰ را مشاهده می‌کنید.




**شکل ۴۴ـ مدار داخلی آی‌سی**




**شکل ۴۵**




**شکل ۴۶**

## خود ارزیابی

**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, $R_L$ = 8Ω, $P_O$ = 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 باتوجه به مدارداخلی آی‌سی، چند ترانزیستور درمدار قراردارد؟

۲ تقویت‌کننده قدرت خروجی چگونه درکلاس AB بایاس شده است؟

۳ باتوجه به اطلاعات مقابل:

الف) جریان مصرفی آی‌سی درحالت بی‌کاری چند میلی‌آمپر است؟

ب) در بار ۸ اهم و ولتاژ تغذیه ۶ ولت و بهره ولتاژ ..... توان خروجی.....میلی‌وات‌است.

۴ با توجه به اطلاعات مقابل کاربردهای این آی‌سی رابنویسید.

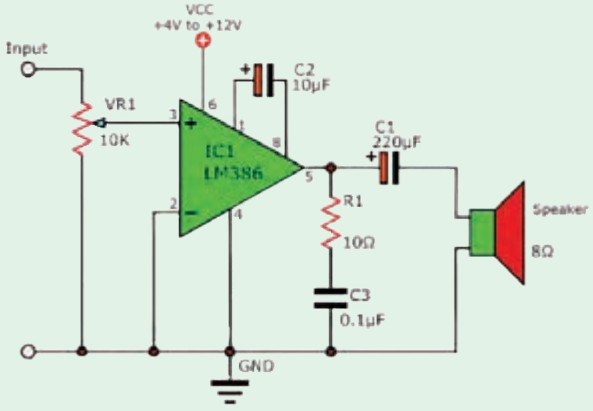
کار عملی ۴

**هدف:** بستن مدار تقویت‌کننده صوتی با آی‌سی LM۳۸۶ و راه‌اندازی آن با میکروفون

**مواد، ابزار و تجهیزات:** منبع تغذیه ۱ دستگاه، مولتی‌متر دیجیتال ۱ دستگاه، ۳ عدد خازن‌های ۱۰μF/۲۵V، ۲ عدد ۲۲۰μF/۲۵V، ۱ عدد ۰/۱ μF/۲۵V، ۲ عدد، مقاومت‌های ۱۰Ω، ۱۰KΩ، از هرکدام ۱ عدد، پتانسیومتر ۱۰KΩ، ۱ عدد- بِردبُرد تجهیزات، ابزار و مواد عمومی

**مراحل اجرای کار:**

۱ مدارشکل ۴۷ را روی بِردبرد ببندید.




شکل ۴۷ـ مدار تقویت‌کننده

۲ میکروفون خازنی شکل ۴۸ را به ورودی مدارتقویت‌کننده اتصال دهید و با پخش سیگنالی صوتی (به‌عنوان مثال یک موج سینوسی با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز و دامنه‌کم) چگونگی تقویت صدا را بررسی کنید.

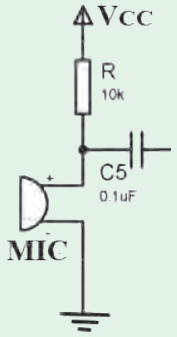
۳ خازن $C_۲$ را ازمدارخارج کنید. آیا بهره مدارکاهش یافته است؟

۴ نقش $R_۱$ و $C_۳$ درمدار را شرح دهید.

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 ۱۰ میکروفاراد را از پایه شماره ۷ آی‌سی به زمین وصل کنید.

۷ یک نمونه مدارساخته شده توسط این آی‌سی را درشکل ۴۹ مشاهده می‌کنید.




شکل ۴۸ـ اتصال میکروفون به مدار



شکل ۴۹ـ یک نمونه مدار

## خودارزیابی

۱ هر تقویت کننده‌ای که ولتاژ یا جریان را تقویت کند، تقویت‌کننده قدرت نام دارد. ☐ صحیح ☐ غلط

۲ تقویت کننده‌های قدرت در رده تقویت‌کننده‌های سیگنال بزرگ هستند. ☐ صحیح ☐ غلط

۳ راندمان تقویت‌کننده کلاس A دربهترین حالت ..... و درکلاس B تا ..... است.

۴ اعوجاج تقاطعی درتقویت‌کننده پوش‌پول کلاس ..... ایجاد می‌شود.

۵ درمدار شکل ۵۰ ترانزیستورهای $TR_1$ و $TR_2$ دارای آرایش ..... و کلاس کار..... هستند.

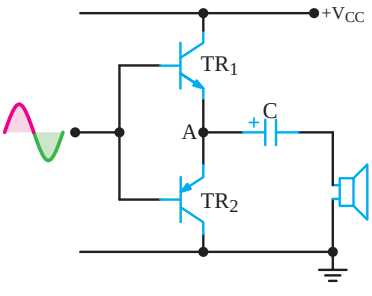
۶ درشکل ۵۰ اگر ترانزیستور $TR_2$ معیوب شود درموج خروجی چه اشکالی ایجاد می‌شود؟

۷ در مدار شکل ۵۱

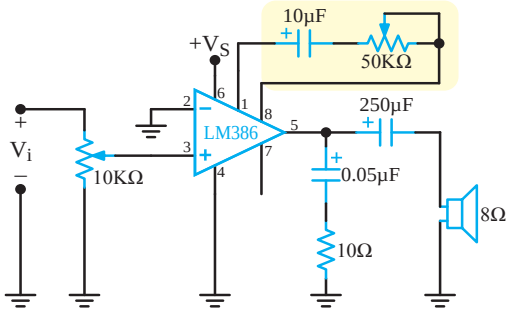
الف) نقش RG را شرح دهید.

ب) مدار R و C موازی با بلندگو برای جلوگیری از ..... درمدار استفاده شده است.

پ) برای کاهش نویز معمولاً یک خازن مثلاً ۱۰میکروفاراد را از پایه شماره ..... به زمین وصل می‌کنند.




شکل ۵۰




شکل ۵۱

# ارزشیابی شایستگی تقویت‌کننده‌های چند طبقه

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

**استاندارد عملکرد:**
تشخیص انواع کوپلاژ تقویت‌کننده‌ها، بستن تقویت‌کننده‌های دوطبقه و تفاضلی روی بردبرد، تحلیل کلاس‌های A،B و AB و بستن مدار تقویت‌کننده کاربردی با مدار مجتمع.

| ردیف | مراحل کار | شرایط انجام کار (ابزار،مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...) | ابزارهای ارزشیابی | استاندارد (شاخص‌ها/داوری/نمره‌دهی) | نتایج ممکن | نمره کسب‌شده |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 مداردوطبقه با کوپلینگ مستقیم روی بردبُرد، بدون خطای سیم‌کشی | رایانه (نرم‌افزارمانند Multisim)، بردبورد، 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 درسیم‌کشی بردبورد | ۲ | |
| | | | | خطای اساسی دراتصالات و عدم عملکرد صحیح مدار | ۱ | |
| ۳ | شبیه‌سازی و پیاده‌سازی صحیح مدارتفاضلی و اندازه‌گیری ولتاژهای خروجی و ورودی مطابق با مقادیرتئوری | رایانه (نرم‌افزار شبیه‌ساز)، بردبورد، تقویت‌کننده تفاضلی (ترانزیستوری)، منبع تغذیه متقارن، مولتی‌متر، سایرقطعات مرتبط به نقشه و زمان ۱۲۰ دقیقه | چک‌لیست‌مشاهده شبیه‌سازی،بررسی عملکرد مدار روی بردبورد و جدول تطبیق مقادیراندازه گیری شده با محاسبات تئوری | شبیه‌سازی و پیاده‌سازی دقیق مدار | ۳ | |
| | | | | شبیه‌سازی و پیاده‌سازی صحیح با اختلاف جزئی درنتایج اندازه‌گیری | ۲ | |
| | | | | عدم توانایی شبیه‌سازی صحیح مدار | ۱ | |
| ۴ | تشریح اصول کارکرد تقویت‌کننده‌های توان، کلاس‌های A،B و AB و مقایسه بازده و اعوجاج آنها و بستن مدار تقویت‌کننده قدرت با مدارمجتمع | درکارگاه الکترونیک، ابزار لحیم‌کاری، بردبُرد، 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، بازده و اعوجاج، عملکرد صحیح مدار تقویت‌کننده | ۳ | |
| | | | | تحلیل کلاس‌ها با خطای جزئی، عملکرد قابل قبول مدار تقویت‌کننده مدارمجتمع | ۲ | |
| | | | | ناتوانی در تشخیص کلاس‌ها و بازده خطای اساسی دراتصالات و عدم‌عملکرد صحیح مدار | ۱ | |
| ۵ | مقایسه نتایج واقعی با شبیه‌سازی و ثبت گزارش نهایی عملکرد مدار | رایانه، داده‌های کارگاهی، فرم‌گزارش، 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 | |
| | **شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش:** کارگاه الکترونیک مجهزبه ابزار و دستگاه‌های شبیه‌سازی مدارها و رایانه، تجهیزات حفاظت فردی و قطعات موردنیاز، انجام فعالیت‌های کارگاهی مطابق بادستورالعمل‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای | | مشاهده رفتار هنرجو درحین 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 | ۲ | |
| | | | | رعایت نسبی ایمنی و بهداشت با خطاهای جزئی، رفتارکاری مناسب | ۱ | |
| | **ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)** | | | | بلی ☐ | |
| | | | | | خیر ☐ | |

**توضیحات:**

**معیار شایستگی انجام کار:**

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

ـ کسب حداقل نمره ۲ ازبخش شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش

ـ کسب حداقل میانگین ۲ ازمراحل 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، عیب یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.

# واحد یادگیری ۲ :ساخت مدارهای تقویت‌کننده عملیاتی

## آیا تا به حال فکر کرده‌اید

- در تجهیزات پزشکی و ابزارهای اندازه‌گیری از چه نوع تقویت‌کننده‌ای استفاده می‌شود؟
- مدارهای ابزار دقیق چه مدارهایی هستند و نقش تقویت‌کننده‌های عملیاتی در آنها چیست؟
- مدارهای مجتمع (IC) با استفاده از چه مدارهایی ساخته می‌شوند؟
- تقویت‌کننده‌های عملیاتی درچه 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، تقویت‌کننده عملیاتی است. این قطعه که به‌صورت مدارمجتمع ساخته می‌شود، امروزه درطیف گسترده‌ای از تجهیزات الکترونیکی مورد استفاده قرارمی‌گیرد.

به‌عنوان‌مثال دریک سیستم اندازه‌گیری دما، سیگنال خروجی حسگر بسیارکوچک است و باید با دقت بالا تقویت شود. استفاده از چندین ترانزیستور برای این‌کار می‌تواند طراحی مدار را پیچیده کند. مهندسان برای حل این مشکل از تقویت‌کننده‌های عملیاتی استفاده می‌کنند که با تعداد کمی قطعه جانبی، قابلیت‌های فراوانی را دراختیار طراح قرار می‌دهد.

تقویت‌کننده‌های عملیاتی علاوه بر تقویت سیگنال‌ها، قابلیت انجام وظایف متنوعی مانند مقایسه، جمع و تفریق سیگنال‌ها، فیلترکردن و پردازش اطلاعات را دارند. به‌همین‌دلیل، این قطعات به یکی‌از پرکاربردترین اجزای مدارهای الکترونیکی تبدیل شده‌اند.

دراین واحد یادگیری با ساختار، ویژگی‌ها، نحوه عملکرد و کاربردهای مهم تقویت‌کننده‌های عملیاتی آشنا خواهید شد.

پس از آموزش این واحد یادگیری از هنرجو انتظار می‌رودکه عملکرد تقویت‌کننده‌های عملیاتی را مورد بررسی و تحلیل قرار داده و کاربردهای آن را شرح دهد. همچنین بتواند با استفاده از مدارهای تقویت‌کننده عملیاتی، مدارهای ساده‌کاربردی مانند تقویت‌کننده (آمپلی‌فایر) صوتی، منبع تغذیه، مدارهای ابزار دقیق و غیره را طراحی‌کند.

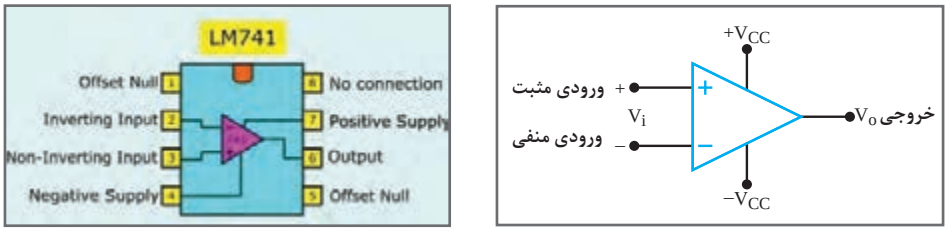
## استاندارد عملکرد

تقویت‌کننده عملیاتی، مشخصات و پایه‌های IC رایج را شناسایی کند، مدارهای کاربردی تقویت‌کننده عملیاتی و پروژه عملی مرتبط به آن‌را اجراکند.

## تقویت‌کننده عملیاتی (Operational Amplifier: op_Amp)

تقویت‌کننده عملیاتی که به اختصار آپ‌اَمپ (Op_Amp) نامیده می‌شود، تقویت‌کننده‌هایی با کوپلاژ مستقیم هستند که ضریب تقویت ولتاژ بسیار بزرگی دارند. اگر به ورودی آن اختلاف پتانسیل بسیار کوچکی اعمال شود، درخروجی آن ولتاژ بسیاربزرگی به‌وجود می‌آید و درعمل، تقویت‌کننده وارد ناحیه اشباع می‌شود، ولی ضریب تقویت AMP_OP به روش‌های مختلف قابل‌کنترل است.درتقویت‌کننده‌های عملیاتی ازتقویت‌کننده‌های تفاضلی استفاده شده است. درابتدا تقویت‌کننده‌های عملیاتی برای انجام عملیات ریاضی مانند جمع، تفریق، ضرب، تقسیم و دیگر عملیات ریاضی در رایانه‌های آنالوگ ساخته شدند، به‌همین‌دلیل به آنها "عملیاتی" گفته می‌شود.

تقویت‌کننده‌های عملیاتی در سیستم‌های الکترونیکی کاربردهای متنوعی دارند و یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین قطعات الکترونیکی هستند. ازنظر اقتصادی نیز ارزان قیمت‌اند و از مزایایی چون ابعاد کوچک، قابلیت اطمینان بالا و پایداری حرارتی خوب برخوردارند. با پیشرفت فناوری نیمه‌هادی‌ها، آپ‌اَمپ‌ها به صورت مدار مجتمع (IC) ساخته شدند و امروزه تقریباً درتمام مدارهای آنالوگ وجود دارند. این تقویت‌کننده‌ها در زمینه‌های مختلف مانند رایانه، سیستم‌های کنترل، ارتباطات، منابع تغذیه، مولدسیگنال، نمایشگر و دستگاه‌های اندازه‌گیری به‌کار می‌روند. درشکل ۵۲ نماد (نشانه فنی) استاندارد و شماره پایه‌ها و درشکل ۵۳ چند نمونه تقویت‌کننده عملیاتی نشان داده شده است.




**شکل ۵۲ــ نماد فنی و شماره پایه‌های آی‌سی**



**شکل ۵۳ــ چند نمونه آی‌سی تقویت‌کننده عملیاتی**

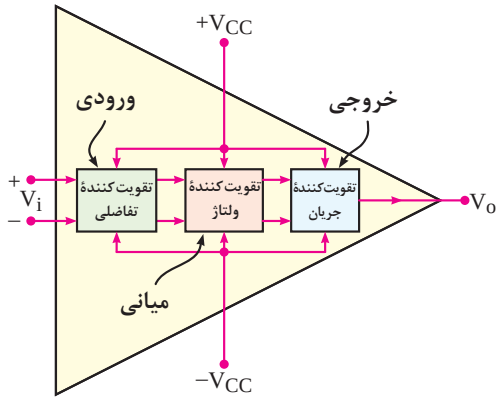
### ساختار داخلی تقویت‌کننده عملیاتی

یک تقویت‌کننده عملیاتی معمولاً شامل سه طبقه اصلی است:

**طبقه ورودی (تقویت‌کننده 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 امپ ایجاد می‌کند.

**طبقه میانی (تقویت‌کننده ولتاژ):** دراین طبقه بهره مدار افزایش می‌یابد.

**طبقه خروجی (تقویت‌کننده توان):** این طبقه توان لازم برای راه‌اندازی بار را فراهم می‌کند. همچنین این طبقه مقاومت خروجی را کاهش می‌دهد. شکل ۵۴ ساختار داخلی تقویت‌کننده عملیاتی را به‌صورت بلوک دیاگرام نشان می‌دهد.

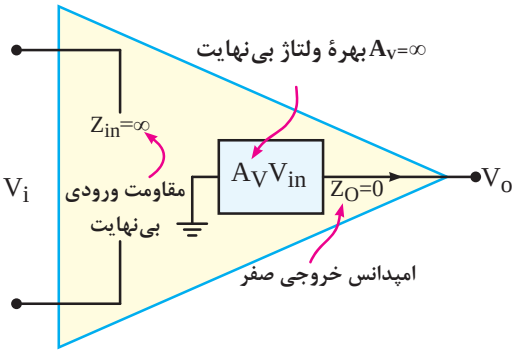



شکل ۵۴ــ بلوک دیاگرام تقویت‌کننده

**تقویت‌کننده عملیاتی ایده‌آل :** یک تقویت‌کننده عملیاتی ایده‌آل دارای ویژگی‌های زیر است:

- بهره ولتاژ بی‌نهایت
- بهره جریان بی‌نهایت
- مقاومت خروجی صفر
- مقاومت ورودی بی‌نهایت

هیچ‌یک ازاین ویژگی‌ها با ویژگی‌های تقویت‌کننده عملیاتی واقعی مطابقت کامل ندارد، اما درفرکانس‌های کم، مدل ایده‌آل به مدل واقعی، نزدیک است. شکل ۵۵ این مشخصات را نشان می‌دهد.




شکل ۵۵ــ تقویت‌کننده عملیاتی ایده‌آل

**تقویت‌کننده عملیاتی واقعی :** تقویت‌کننده عملیاتی، درعمل نمی‌تواند دارای همه خصوصیت‌های مدل ایده‌آل باشد. چراکه تقویت‌کننده عملیاتی، خود از به‌هم پیوستن چند طبقه تقویت‌کننده ترانزیستوری ساخته می‌شود و ناگزیر محدودیت‌هایی دربهره ولتاژ، مقاومت ورودی و جریان خروجی و .... دارد.

به عنوان مثال آی‌سی تقویت‌کننده عملیاتی LM۷۴۱ دارای ویژگی‌هایی به شرح زیر است:

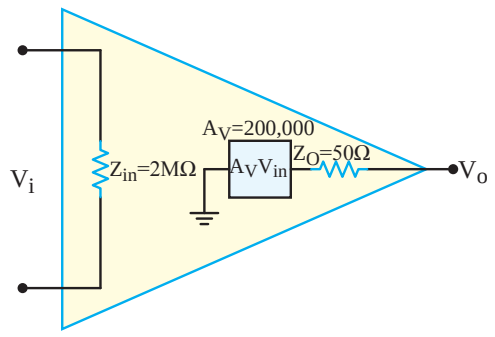
مقاومت خروجی = ۵۰Ω

مقاومت ورودی = ۲MΩ

بهره جریان = $۵\times۱۰^{۹}$

بهره ولتاژ = $۲\times۱۰^{۵}$

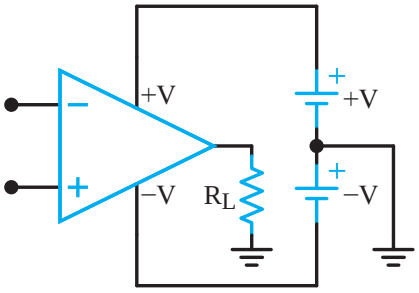
شکل ۵۶ این مشخصات را نشان می‌دهد.




شکل ۵۶ــ مشخصات یک نمونه تقویت‌کننده عملیاتی واقعی

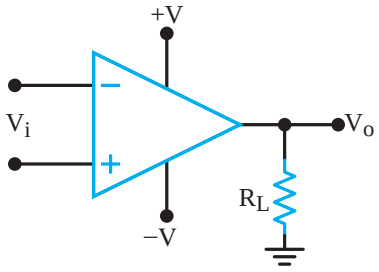
## پایه‌های تقویت‌کننده عملیاتی

**پایه‌های تغذیه:** در Op_Amp‌ها 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_Amp‌ها معمولاً در محدوده ۶± ولت، ۱۲± ولت، ۱۵± ولت و ۱۸± ولت قراردارد. (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 دربرگه اطلاعات Op_Amp مشخص می‌شود.




شکل ۵۷ـ اتصال تغذیه به پایه‌های Op Amp

**پایهٔ خروجی:** پایه خروجی Op_Amp به‌یک طرف مقاومت بار ($R_L$) وصل می‌شود و طرف دیگر $R_L$ به نقطه زمین اتصال می‌یابد. مقدار $V_O$(ولتاژخروجی) همیشه نسبت به زمین اندازه‌گیری می‌شود. درشکل ۵۸ مقاومت بار به Op Amp متصل شده است.




شکل ۵۸ـ نحوه اتصال بار به Op Amp

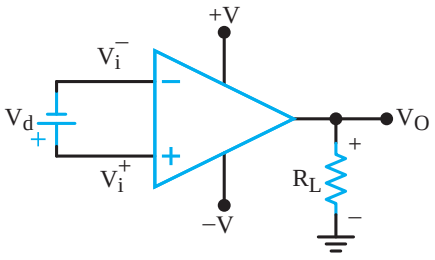
**پایه‌های ورودی Op_Amp**: Op_Amp دارای دو ورودی است که آنها را با علامت‌های + و − مشخص می‌کنند و این دو ورودی را پایه‌های ورودی تفاضلی (Differential Input Terminals) نیز می‌نامند. زیرا درصورت اعمال ولتاژ به ورودی، مقدار ولتاژ خروجی ($V_O$) تابعی از اختلاف ولتاژ بین دو پایه ورودی ($V_d$) و ضریب بهره ولتاژ تقویت‌کننده است.

اگر سیگنال را فقط به ورودی منفی Op_Amp بدهیم، در خروجی Op_Amp، سیگنال تقویت می‌شود و سیگنالی با فاز مخالف ورودی به‌وجود می‌آید.

اگر سیگنال را فقط به ورودی مثبت بدهیم، درخروجی Op_Amp تقویت‌شده و سیگنالی هم‌فاز با ورودی به‌وجود می‌آید.

به‌همین دلیل به ورودی منفی Op_Amp ورودی وارونگر یا معکوس‌کننده (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.



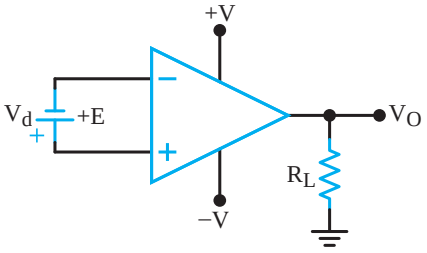

شکل ۵۹ـ اتصال ولتاژ به پایه‌های ورودی

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

اگر هیچ‌گونه اتصال فیدبک (بازخورد) بین خروجی و ورودی Op_Amp وجود نداشته باشد، دراین‌حالت Op_Amp به‌صورت حلقهٔ باز استفاده شده است. بهره ولتاژ را دراین شرایط، بهرهٔ حلقه باز می‌نامند. بهرهٔ حلقه باز را با $A_{OL}$ نشان می‌دهند. شکل ۶۰، Op_Amp را درحالت حلقهٔ باز (بدون فیدبک) نشان می‌دهد.

دراین‌حالت مقدار ولتاژ خروجی از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

بهرهٔ ولتاژ حلقهٔ باز × ولتاژ ورودی تفاضلی = ولتاژ خروجی



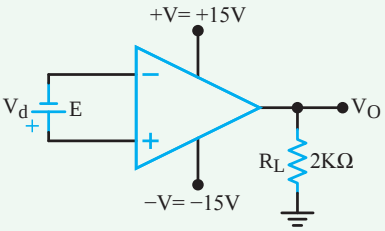

**شکل ۶۰ـ تقویت‌کننده عملیاتی واقعی به‌صورت حلقه باز**

مثال

اگر درشکل ۶۱ مقدار $V_d$=۱۰۰mv و $A_{OL}$=۲۰۰۰۰۰ و ولتاژ خروجی درحالت اشباع ±۱۳v باشد $V_O$ را محاسبه کنید.

پاسخ: باتوجه به رابطهٔ ولتاژ خروجی و بهرهٔ ولتاژ حلقهٔ باز، داریم:

$$V_O=V_dA_{OL}=+E\times A_{OL}=(100\times10^{-3})(200{,}000)=20000V$$




**شکل ۶۱**

آیا باتوجه به محدودیت‌های Op_Amp و منبع تغذیه، ولتاژ خروجی می‌تواند برابر ۲۰۰۰۰ ولت باشد؟

پاسخ منفی است. دراین مدار باتوجه به محدودیت‌های موجود، ولتاژ خروجی نمی‌تواند از مقدار ولتاژ اشباع مثبت (+۱۳V) بیش‌تر شود. بنابراین ولتاژ خروجی حداکثر برابر با ۱۳+ =$V_O$ ولت خواهد بود.

باتوجه به بهره بسیارزیاد op_Amp درحالت حلقه باز، عملاً نمی‌توان از op_Amp به‌صورت حلقه باز استفاده کرد.

چون خروجی op_Amp با تغذیه ۱۵ولت درحدود ۱۳ولت به اشباع می‌رسد و بهره ولتاژ آن ۲۰۰،۰۰۰ است، لذا حداکثر ولتاژ ورودی درحالت حلقه باز نمی تواند از ۶۵ میکروولت بیش‌تر شود:

$$V_i=\frac{۱۳}{۲۰۰۰۰۰}=۶۵\mu v$$

برای اینکه op_Amp بتواند سیگنال دریافتی ورودی را بدون تغییر شکل (اعوجاج) تقویت کند، باید بهره ولتاژ op_Amp را محدود کنیم. برای این‌منظور باید مقاومتی را بین پایه خروجی و پایه ورودی منفی قراردهیم. دراین‌صورت فیدبک منفی ایجاد شده و بهره تقویت‌کننده کاهش پیدا می‌کند.

مقدار بهره تقویت‌کننده دراین‌حالت‌که بهره حلقه بسته (Closed Loop Voltage Gain) نام دارد به اندازه مقاومت‌های خارجی متصل به op_Amp بستگی دارد.

**تقویت‌کننده عملیاتی به‌صورت حلقه باز**

**هدف:** بررسی عملکرد تقویت‌کننده عملیاتی به‌صورت حلقه باز در نرم‌افزار

**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه، نرم‌افزار، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

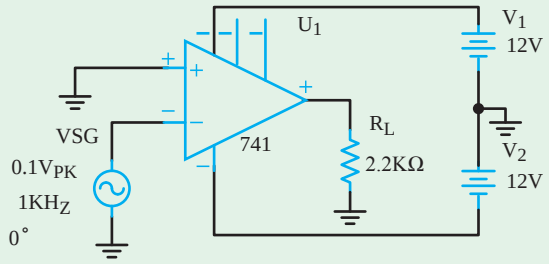
۱ نرم‌افزار مولتی سیم یا هر نرم‌افزار مناسب دیگر را راه‌اندازی کنید.

۲ مدار شکل ۶۲ را در محیط نرم‌افزار ببندید.

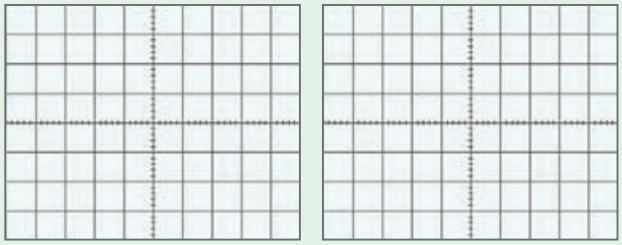
۳ مدار را راه‌اندازی کنید.

۴ شکل موج ورودی و خروجی مدار را روی صفحه اسیلوسکوپ نرم‌افزار به‌صورت پایدار ظاهر کنید. سپس شکل موج‌ها را در نمودار شکل ۶۳ رسم کنید.

۵ چرا موج خروجی به‌صورت مربعی درآمده است؟ شرح دهید.




شکل ۶۲ـ مدار آزمایش تقویت‌کننده عملیاتی به‌صورت حلقه باز



الف) شکل موج ورودی ب) شکل موج خروجی

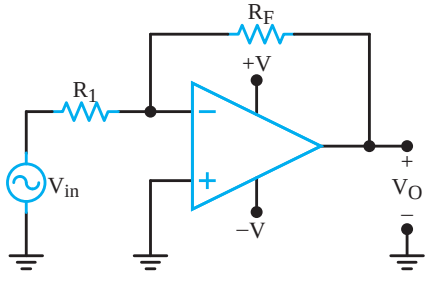
شکل ۶۳ ـ شکل موج ورودی و خروجی

## کاربردهای تقویت‌کننده عملیاتی

op_Amp‌ها کاربردهای متنوعی دارند. در این قسمت چند کاربرد مهم آنها را بررسی می‌کنیم.

### تقویت‌کننده معکوس‌کننده (Inverting Amplifier)

مدار شکل ۶۴ یک تقویت‌کننده معکوس‌کننده را نشان می‌دهد. در این حالت سیگنال خروجی به اندازهٔ ۱۸۰ درجه با ورودی اختلاف فاز دارد. بهره ولتاژ این تقویت‌کننده از رابطه $A_V=-\frac{R_F}{R_1}$ محاسبه می‌شود. اگر $R_F$ برابر با $R_1$ برابر باشد ضریب تقویت مدار برابر با (۱-) می‌شود. این مدار را با فرمنفی (Buffer) می‌نامند.




شکل ۶۴ـ مدار تقویت‌کننده معکوس‌کننده

کار عملی ۲

**تقویت‌کننده معکوس‌کننده با قطعات واقعی**

**هدف:** بررسی عملکرد تقویت‌کننده معکوس‌کننده و محاسبه بهره ولتاژمدار

**مواد، ابزار و تجهیزات:** بردبُرد یک قطعه، اسیلوسکوپ یک‌دستگاه، منبع تغذیه یک‌دستگاه، سیگنال ژنراتور یک‌دستگاه، مقاومت ۱۰KΩ دو عدد، مقاومت ۲۲KΩ یک‌عدد، آی‌سی ۷۴۱ یک‌عدد، سیم‌های رابط

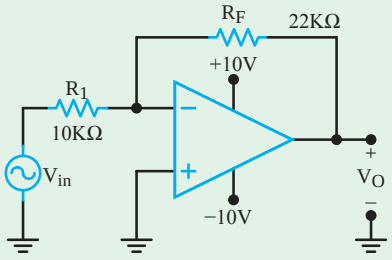
**مراحل اجرای کار:**

۱ مدارشکل ۶۵ را روی بِرد بُرد ببندید.

۲ منبع تغذیه را به مداروصل کنید و مدار را راه‌اندازی کنید.

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

۴ با استفاده از اسیلوسکوپ $V_O$را مشاهده‌کنید. دراین‌حالت دامنه موج ورودی را آن‌قدر تغییردهید تا دامنه موج‌خروجی به حداکثرمقدارخودکه بدون‌اعوجاج است، برسد.




شکل ۶۵ـ مدار آزمایش

۵ شکل موج ورودی و خروجی را در نمودار شکل ۶۶ 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.

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

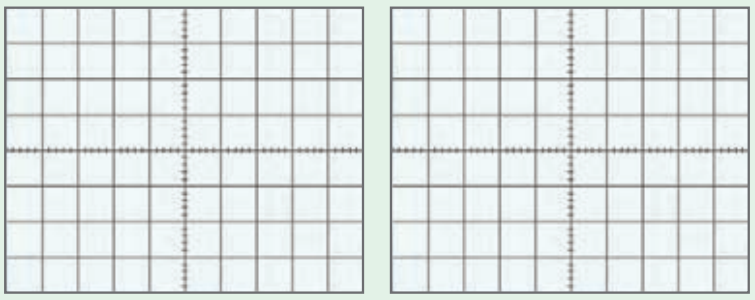
$\varphi=$ درجه $AV=$

۷ $R_F$ را برابر ۱۰ 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.

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

$\varphi=$ درجه $AV=$

۸ درکدام حالت تقویت‌کننده به بافر منفی تبدیل می‌شود؟ شرح دهید.

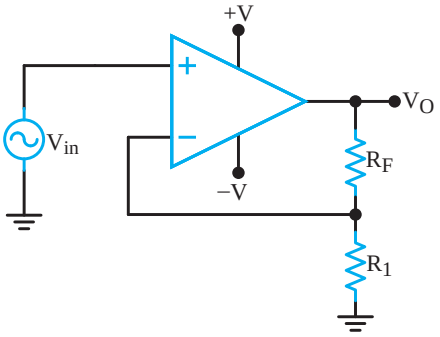


الف) شکل موج ورودی ب) شکل موج خروجی

شکل ۶۶ـ شکل موج ورودی و خروجی

## تقویت‌کننده غیرمعکوس‌کننده (Non_Inverting Amplifier)

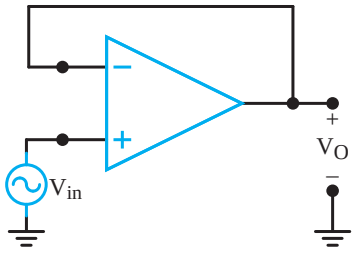
مدار تقویت‌کننده غیرمعکوس‌کننده در شکل ۶۷ رسم شده است. سیگنال ورودی ($V_{in}$) به ورودی مثبت op amp اتصال دارد. در این مدار سیگنال خروجی با سیگنال ورودی هم فاز است. بهره ولتاژ این تقویت‌کننده از رابطه $AV = 1 + \frac{R_F}{R_1}$ محاسبه می‌شود.




شکل ۶۷ـ تقویت‌کننده غیرمعکوس

**مدار بافر مثبت:** مدار بافر مثبت در شکل ۶۸ رسم شده است. در این مدار تمام سیگنال خروجی به ورودی منفی برگشت داده می‌شود. این مدار دارای بهره ولتاژ ۱+ است و ولتاژ خروجی ازلحاظ دامنه و فاز عیناً برابر با ولتاژ ورودی است. این مدار را دنباله‌رو ولتاژ (Voltage follower) نیز می‌گویند.

یکی‌از مشخصات مهم بافرمثبت، ایجاد تطبیق بین امپدانس بسیارزیاد با امپدانس کم است. زیرا امپدانس ورودی مدار بافر بسیارزیاد و امپدانس خروجی آن بسیار کم است.




شکل ۶۸ـ مدار بافرمثبت

کار عملی ۳

### تقویت‌کننده غیرمعکوس‌کننده با قطعات واقعی

**هدف:** بررسی عملکرد تقویت‌کننده غیرمعکوس کننده و محاسبه بهره ولتاژ مدار

**مواد، ابزار و تجهیزات:** بردبُرد یک قطعه، اسیلوسکوپ یک دستگاه، منبع تغذیه یک دستگاه، سیگنال ژنراتور یک دستگاه، مقاومت ۱۰KΩ دوعدد، مقاومت ۲۲KΩ یک عدد، آی‌سی ۷۴۱ یک عدد، سیم‌های رابط

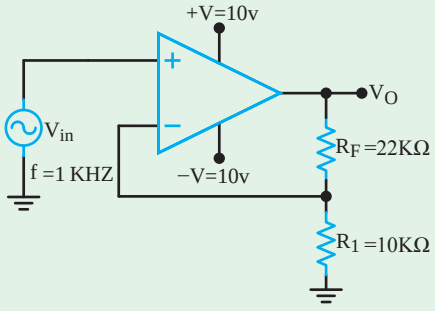
**مراحل اجرای کار:**

۱ مدار شکل ۶۹ را روی بردبُرد ببندید.

۲ منبع تغذیه را به مدار وصل کنید و مدار را راه‌اندازی کنید.

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

۴ بااستفاده از اسیلوسکوپ $V_O$ را مشاهده کنید. دراین‌حالت دامنه موج ورودی را آن‌قدر تغییر دهید تا دامنه موج خروجی به حداکثر مقدار خود که بدون اعوجاج است، برسد.




شکل ۶۹ـ مدار آزمایش

۵ شکل موج ورودی و خروجی را درنمودار 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.

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

$\varphi=$ درجه $AV=$

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

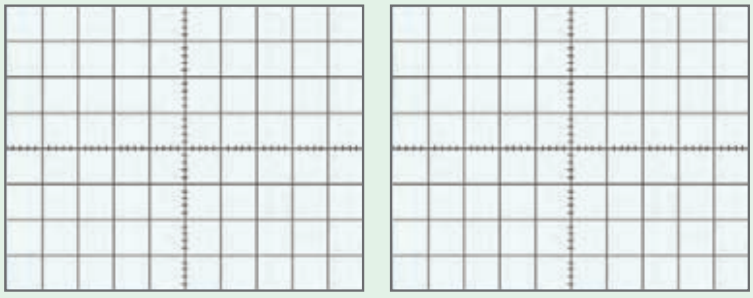
$V_{inPP}=$ V $V_{oPP}=$ V

$\varphi=$ درجه $AV=$

۸ مدار را به بافرمثبت تبدیل کنید و شکل موج ورودی و خروجی را مشاهده کنید و دامنه پیک‌تاپیک آنها را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

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

$\varphi=$ درجه $AV=$



الف) شکل موج ورودی ب) شکل موج خروجی

شکل ۷۰ـ شکل موج ورودی و خروجی

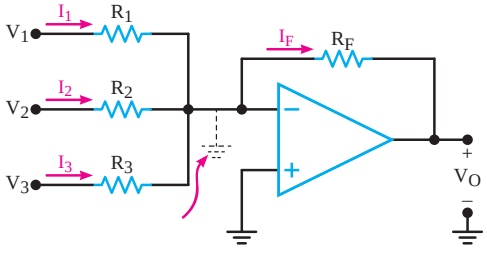
## مدار جمع‌کننده

یکی از مدارهای مفید دیگری که با استفاده از تقویت‌کننده عملیاتی ساخته می‌شود، مدار جمع‌کننده است. این مدار دارای دو یا چند ورودی و یک خروجی است. شکل ۷۱ یک جمع‌کننده با سه ورودی را نشان می‌دهد.

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

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

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




شکل ۷۱ـ مدار جمع‌کننده

کار عملی ۴

**جمع‌کننده در نرم افزار**

**هدف:** بررسی عملکرد مدار جمع‌کننده در نرم‌افزار

**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه، نرم‌افزار، لوازم‌التحریر

**مراحل کار عملی:**

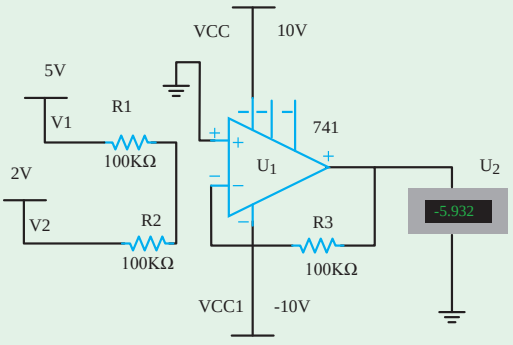
۱ نرم‌افزار مولتی سیم یا هرنرم‌افزار مناسب دیگر را راه‌اندازی کنید.

۲ مدارشکل ۷۲ را درمحیط نرم‌افزار ببندید.

۳ مدار را راه‌اندازی کنید.

۴ ولت‌متر نرم‌افزار را به خروجی مدار وصل کنید.

۵ آیا ولتاژ خروجی مجموع ولتاژ ورودی است؟ شرح دهید.

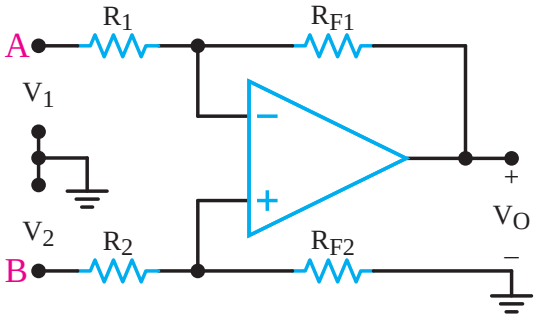



شکل ۷۲ــ مدار جمع کننده

## تقویت‌کننده با ورودی تفاضلی

تاکنون تقویت‌کننده‌های عملیاتی را با اعمال یک سیگنال ورودی مورد بحث قرار دادیم. بسیاری از اوقات به تقویت‌کننده‌های با ورودی تفاضلی نیازمندیم زیرا یک تقویت‌کننده با ورودی تفاضلی میزان نویز را به حداقل می‌رساند. به عنوان مثال باید در طبقه ورودی یک دستگاه الکتروکاردیوگراف میزان نویز مربوط به ۵۰ هرتز برق شهر را به شدت کاهش داد. دراین دستگاه دو الکترود به نقاط مختلف بدن یک انسان متصل می‌شوند و ضربان‌های کوچک قلب را دریافت می‌کنند. سپس این ضربان تقویت می‌شود و به بلندگو، اسیلوسکوپ یا نوار ثبت‌کننده می‌رسد. نتیجه به‌دست آمده برای مطالعه و بررسی دراختیار پزشک قرار می‌گیرد.

متأسفانه علاوه برجذب ضربان‌های قلب مقداری نویز ۵۰ هرتز نیز جذب می‌شود. با به‌کاربردن یک تقویت‌کننده با ورودی تفاضلی می‌توان مقدار این نویز را به حداقل رساند. درشکل ۷۳ تقویت‌کننده با ورودی تفاضلی نشان داده شده است.




شکل ۷۳ــ تقویت‌کننده با ورودی تفاضلی

تقویت‌کننده با ورودی تفاضلی اصولاً ترکیبی‌از تقویت‌کننده‌های معکوس‌کننده و غیرمعکوس‌کننده است. اگر $R_۲=R_۱=R$ و $R_{F۲}=R_{F۱}=R_F$ باشد، ولتاژ خروجی تقویت‌کننده بااستفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$V_O=\frac{R_F}{R}(V_۲-V_۱)$$

به‌خاطر داشته باشیدکه خروجی تقویت‌کننده می‌تواند نسبت‌به 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 به‌صورت تفاضلی استفاده می‌شوند، اگر دو سیم A و B به‌یکدیگر نزدیک باشند، هیچ اتصال زمینی موردنیاز نیست. درهرصورت، درالکتروکاردیوگرافی 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 درهر دو سیم مشابه شوند. به‌این‌ترتیب با جابه‌جایی سیم‌ها، سیگنال خروجی مربوط به ۵۰ هرتز صفر می‌شود. به محض این‌که نویز به صفر رسید، تقویت‌کننده می‌تواند سیگنال‌های ضعیف ضربان قلب را آشکار کند.

کار عملی ۵

**تقویت‌کننده با ورودی تفاضلی درنرم‌افزار**

**هدف:** بررسی عملکرد تقویت‌کننده با ورودی تفاضلی درنرم‌افزار

**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه، نرم‌افزار، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

۱ نرم‌افزار مولتی سیم یا هرنرم افزار مناسب دیگر را راه‌اندازی کنید.

۲ مدارشکل ۷۴ را درمحیط نرم افزار ببندید.

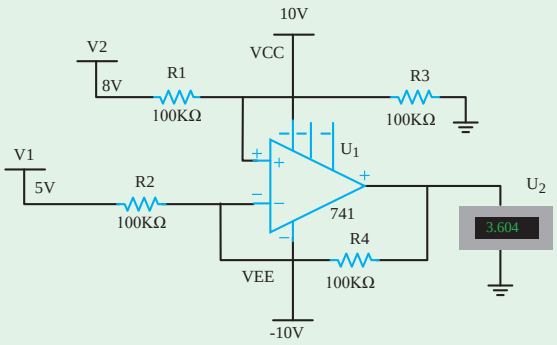
۳ اگر کلیه مقاومت‌ها در مدار تقویت‌کننده با ورودی تفاضلی باهم برابر باشند، فرمول محاسبه $V_O$ چه تغییری می‌کند؟ دراین حالت فرمول را بنویسید.

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

۴ مدار را راه اندازی کنید.

۵ ولت‌متر نرم‌افزار 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. دراین‌حالت مدار چه کاربردی دارد؟ شرح دهید.




شکل ۷۴ـ تقویت‌کننده با ورودی تفاضلی

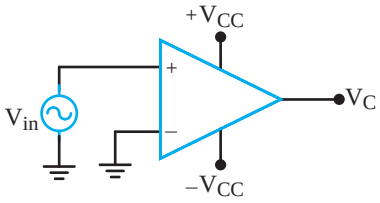
## مقایسه‌کننده (Comparator)

مقایسه‌کننده به مداری گفته می‌شود که ولتاژ یکی از ورودی‌های خود را با ولتاژ مبنا در ورودی دیگر مقایسه می‌کند. ولتاژ مبنا می‌تواند مثبت، منفی یا صفر باشد. در op_Amp متناسب با مقدار ولتاژ مثبت یا منفی ورودی، خروجی شکل می‌گیرد. درصورتی‌که 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 مقایسه‌کننده می‌نامند.

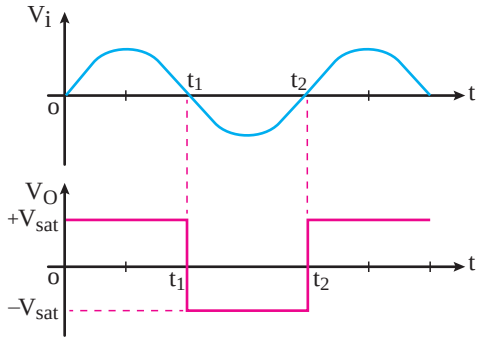
مقایسه‌کننده در مدارهای زیر کاربرد دارد:

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

- **آشکارساز عبور از صفر (Zero Crossing Detector):**
درشکل ۷۵ مدار مقایسه‌کننده با ولتاژ مبنای صفر (زمین) و درشکل ۷۶ شکل موج ورودی و خروجی مدار رسم شده است. دراین مدار زمین یا پتانسیل صفر به ورودی منفی (−) اعمال شده است. ولتاژی که باید با مبنا مقایسه شود ($V_i$) به ورودی مثبت داده می‌شود.
ولتاژ $V_i$ را با ولتاژ مبنای صفر ولت مقایسه می‌کند و باتوجه به قطب ولتاژ ورودی و نبودن شبکه فیدبک، خروجی آی‌سی به اشباع (حدود ولتاژ منبع تغذیه) می‌رود. از این مدار برای تولید موج مربعی از موج سینوسی نیز استفاده می‌کنند.

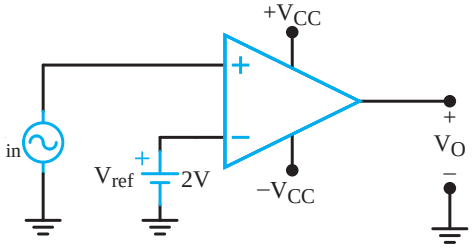


شکل ۷۵ــ مقایسه‌گر با ولتاژ مبنای صفر



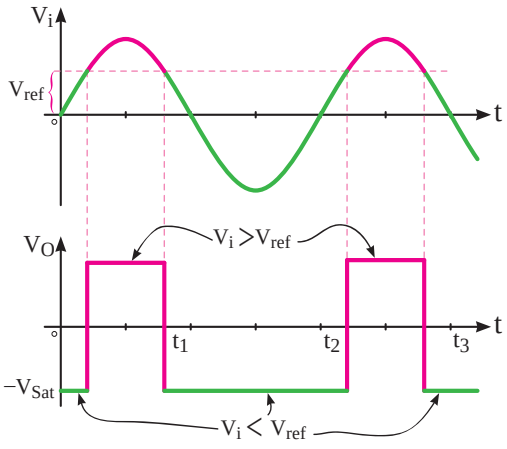
شکل ۷۶ــ شکل موج ورودی و خروجی

**آشکارساز سطوح ولتاژ غیرصفر (None Zero Level Detector):** مدار آشکارساز سطوح صفرولت را می‌توان به آشکارساز ولتاژ غیرصفر ولت تبدیل نمود. برای این منظور به‌جای زمین‌کردن ورودی مثبت یا منفی، ولتاژی را به‌عنوان ولتاژ مقایسه (مبنا) انتخاب می‌کنیم.
مثلاً درشکل ۷۷ ولتاژ مبنا را ۲+ ولت درنظر می‌گیریم و به ورودی منفی می‌دهیم.



شکل ۷۷ــ مدار آشکارساز سطح ولتاژ

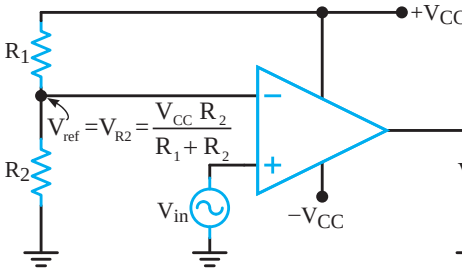
این ولتاژ را ولتاژ مقایسه (مبنا یا Refrence_Vref) می‌نامیم. تا زمانی‌که ولتاژ ورودی مثبت از ولتاژ مبنا (Vref) کمتر است خروجی OP-AMP در اشباع منفی قرار می‌گیرد. درحالتی‌که $V_i$ از Vref بیشتر شود ورودی مثبتOP-AMP از ورودی منفی آن بیشتر شده و خروجی OP-AMP به اشباع مثبت می‌رود. درشکل ۷۸ شکل موج‌های ورودی و خروجی مدار رسم شده است.



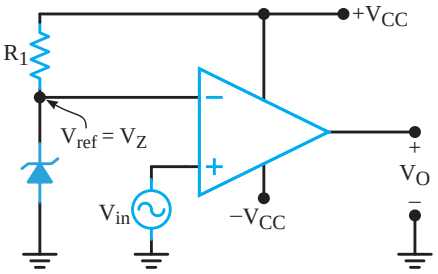

شکل ۷۸ــ موج ورودی و خروجی مدار

## روش عملی تأمین ولتاژ مبنا

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




الف) تقسیم ولتاژ مقاومتی




ب) استفاده از دیود زنر

شکل ۷۹ــ روش عملی تأمین ولتاژ مبنا

کار عملی ۶

### مقایسه‌گر با قطعات واقعی

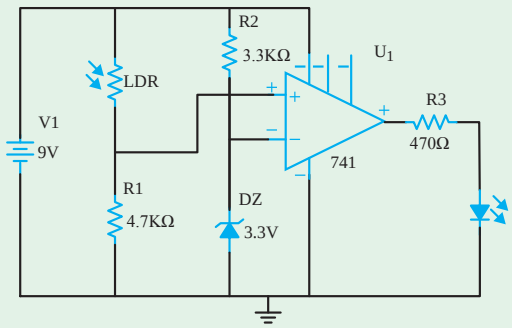
**هدف:** بررسی عملکرد مقایسه‌گر

**مواد، ابزار و تجهیزات:** بِردبُرد یک قطعه، منبع تغذیه یک دستگاه، مقاومت ۳/۳KΩ ، ۴/۷KΩ، ۴۷۰Ω از هرکدام یک عدد، مقاومت LDR یک عدد، دیود زنر ۳/۳ ولت $\frac{1}{4}$وات یک عدد، آی‌سی ۷۴۱ یک عدد،LED یک عدد، سیم‌های رابط

**مراحل اجرای کار:**

۱ مدار شکل ۸۰ را روی بِردبُرد ببندید.

۲ منبع تغذیه را به مدار وصل کنید و مدار را راه‌اندازی کنید




شکل ۸۰

۳ ولتاژ مبنا چند ولت است؟.....

۴ افت ولتاژ کدام قطعه با ولتاژ مبنا مقایسه می‌شود؟ .....

۵ درچه حالت LED روشن می‌شود؟

الف) درحالت تابش نور به LED

ب) درحالت تاریکی

۶ نور تابانده شده به LDR را قطع کنید و وضعیت نور LED را بررسی کنید. .....

۷ کاربرد مدار را شرح دهید. .....

به‌منظور ارتقای سطح مهارت درطراحی و به‌کارگیری تقویت‌کننده‌های عملیاتی (Op_Amp) درمدارالکترونیکی پروژه‌های کاربردی، درادامه دو مدار نمونه به‌عنوان اجرای کارعملی به‌صورت 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 مدارچاپی (PCB) مربوطه را تهیه کنید و با مونتاژ قطعات الکترونیکی، از این بُردها درسایر پروژه‌های واقعی خود استفاده کنید.

کار عملی ۷

**مدار آزمایشگر (Tester) تقویت‌کننده عملیاتی (Op_Amp) و مدار مولد سیگنال (Function Generator)**

**هدف:** بررسی عملکرد مدارآزمایشگر (Tester) تقویت‌کننده عملیاتی (Op_Amp) و مدار مولد سیگنال (Function Generator) درنرم‌افزار جهت بهره‌برداری مدارها در پروژه‌های کاربردی

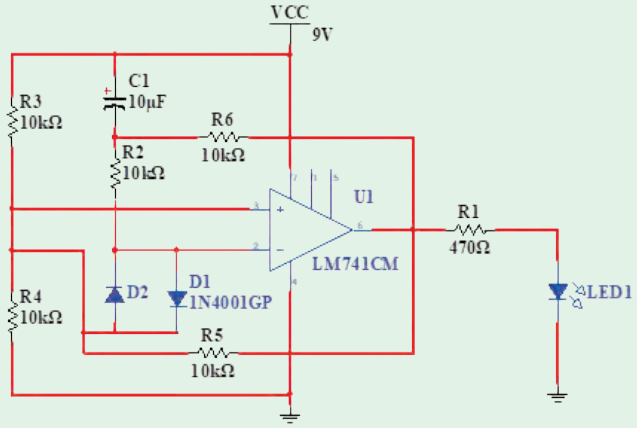
**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه،نرم‌افزار، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

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

۲ مدار شکل ۸۱ را درمحیط نرم‌افزار ببندید.

عملکرد این مدار ساده است؛ چنانچه تقویت‌کننده عملیاتی op_amp سالم باشد، مدار درخروجی یک موج مربعی تولید می‌کند که باعث چشمک‌زدن LED می‌شود.



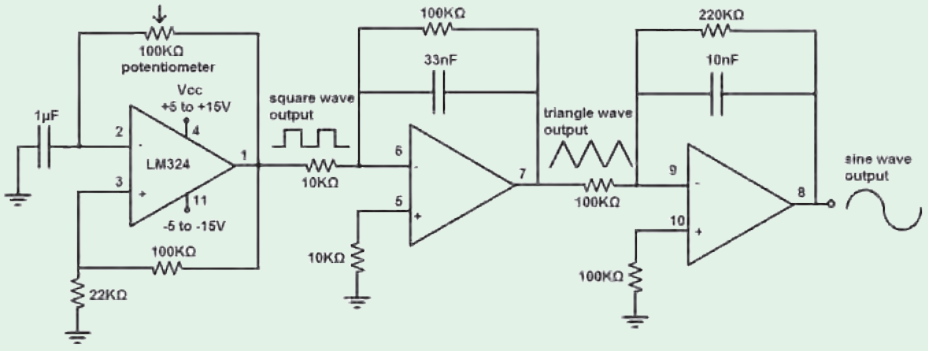

شکل ۸۱

ـ وقتی‌که منبع تغذیه را به‌مدار وصل می‌کنید درابتدا ولتاژ ورودی غیرمعکوس‌کننده ($V^+$) بیشتراز ولتاژ ورودی معکوس‌کننده ($V^-$) است و خروجی op ـamp (LM۷۴۱) پایه ۶ در وضعیت ولتاژ بالا قرار می‌گیرد. درنتیجه، خازن $C_1$ از طریق مقاومت $R_f$ شروع به شارژ شدن می‌کند. زمانی‌که ولتاژ شارژ خازن $C_1$ از ولتاژ پایه معکوس‌کننده (پایه ۲) بیشترشود، خروجی به وضعیت ولتاژپایین تغییر می‌یابد. با پایین رفتن سطح ولتاژ خروجی، خازن $C_1$ شروع به تخلیه بار می‌کند؛ دراین‌حالت ولتاژ پایه معکوس‌کننده دوباره کمتر از ولتاژ پایه غیرمعکوس‌کننده می‌شود و خروجی به وضعیت ولتاژبالا بازمی‌گردد. این چرخه به‌طور مداوم تکرار می شود و موج مربعی درخروجی ایجاد می‌کند که باعث چشمک زدن LED می‌شود.

**نکته مهم:** باتوجه به کاربرد گسترده آی‌سی‌های Op_Amp مانند LM ۷۴۱ 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 LM۷۴۱) روی بُرد مونتاژ کرد. هنگامی‌که تقویت‌کننده‌های عملیاتی (Op_Amps LM۷۴۱) 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.

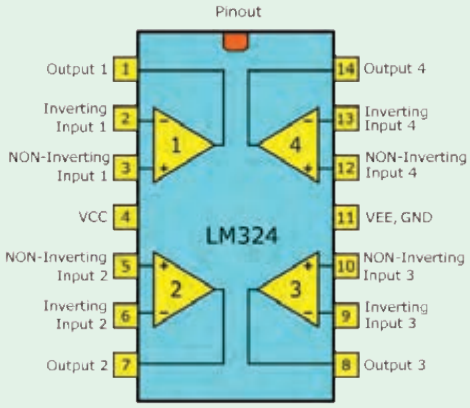
۳ مدارشکل ۸۲ که یک مدار مولد سیگنال (Function Generator) کاملاً ساده است، آن را درمحیط نرم‌افزار ببندید.



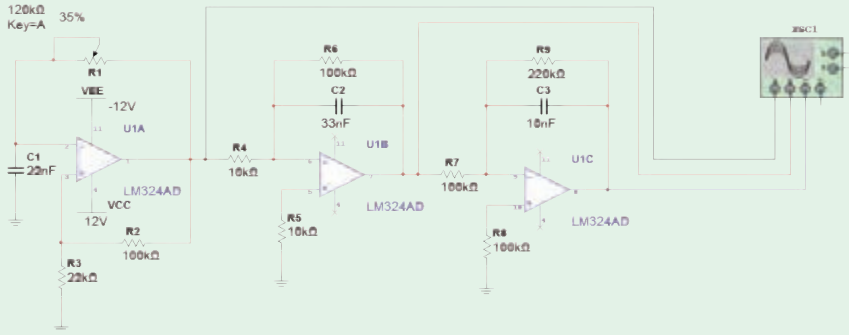

شکل ۸۲

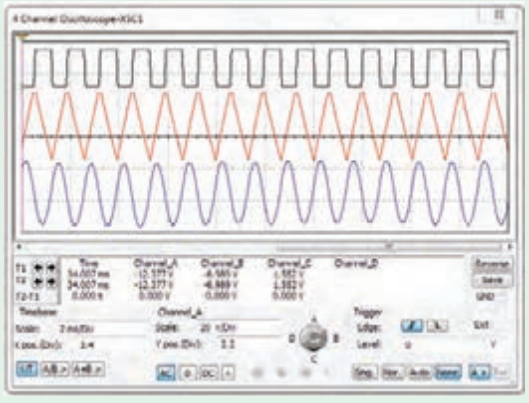
**توجه** : آی‌سی تقویت‌کننده عملیاتی مدار را LM۳۲۴ انتخاب کنید.

آی‌سی LM۳۲۴ شکل ۸۳ یک تقویت‌کننده عملیاتی چهارگانه (Quad Op_Amp) است‌که به‌دلیل پایداری عملکرد و قابلیت‌کار با منابع تغذیه تک‌قطبی، درطراحی مدارهای مختلف الکترونیکی کاربرد گسترده‌ای دارد. این قطعه به‌دلیل مصرف توان بسیارپایین، یکی‌از پرکاربردترین گزینه‌ها برای پیاده‌سازی مدارهای پردازش سیگنال درپروژه‌های‌کاربردی محسوب می‌شود.




شکل ۸۳ـ معرفی پایه‌های آی‌سی LM۳۲۴



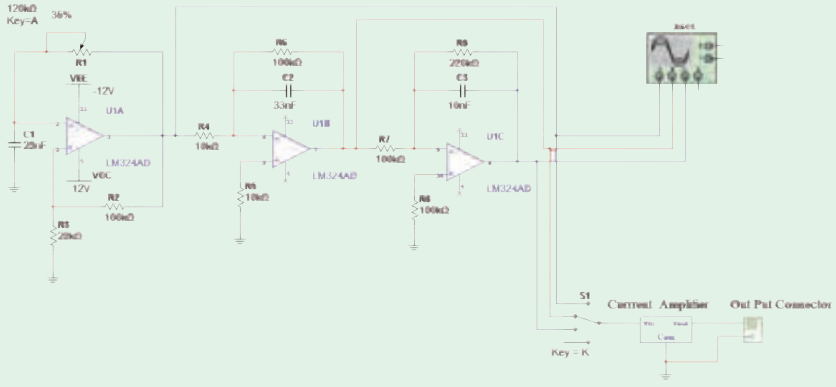



**شکل ۸۴ــ مدار شبیه‌سازی شده مولد سیگنال Function Generator با شکل موج‌های خروجی آن در نرم‌افزار**

همان‌طور که در شکل ۸۴ مشاهده می‌کنید، تقویت‌کننده عملیاتی اول ($Op\_Amp_1$) یک موج مربعی تولید می‌کند (کانال A اسیلوسکوپ) موج مربعی به‌یک مدار به نام انتگرال‌گیر وارد می‌شود که یک موج مثلثی تولید می‌کند، (کانال B). سپس این موج مثلثی به یک مدار انتگرال‌گیر دوم داده می‌شود که در خروجی یک موج سینوسی تولید می‌کند، (کانال C).

پتانسیومتر ۱۰۰ کیلواهم امکان تنظیم فرکانس سیگنال‌های متناوب را فراهم می‌کند.

**نکته مهم:** با اضافه کردن یک تقویت‌کننده جریان (Current Amplifier) مناسب و یک کلید انتخاب‌گر (Selector) به مدار مطابق شکل ۸۵، مدار به‌طور کامل طراحی و پیاده‌سازی می‌گردد. پس از طی مراحل طراحی بُرد فیبر مدار چاپی (PCB) و مونتاژ صحیح قطعات، می‌توان از این بُرد به‌عنوان یک دستگاه اندازه‌گیری الکترونیکی در انجام آزمایش‌های مربوط به مدارهای الکترونیکی، به‌ویژه جهت بررسی و تحلیل سیگنال‌های ورودی مدار تحت آزمایش، استفاده کرد.




**شکل ۸۵ــ مدار مولد سیگنال Function Generator با بلوک تقویت‌کننده جریان و کلید انتخاب‌گر 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.

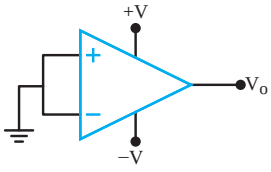
□ صحیح □ غلط

۳ تقویت‌کننده عملیاتی µA۷۴۱ دارای مقاومت ورودی ..... اهم و مقاومت خروجی..... اهم است.

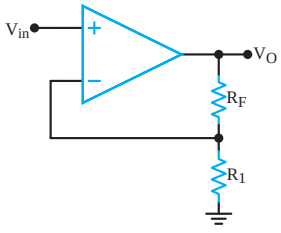
۴ درشکل ۸۶ ولتاژ خروجی درحالت ایده‌آل صفر است. □ صحیح □ غلط

۵ درشکل ۸۷ اگر مقدار $R_F$ کاهش یابد مقدار بهره ولتاژ مدار ..... می‌یابد.

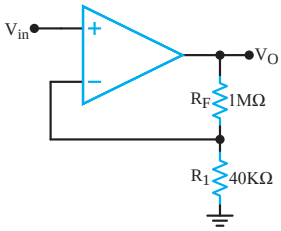
۶ میزان بهره ولتاژ مدار ۸۸ و ۸۹ را محاسبه کنید.



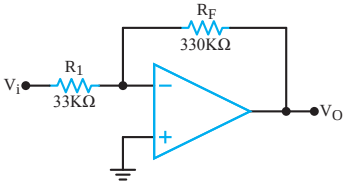

شکل ۸۶




شکل ۸۷

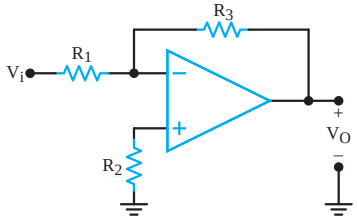



شکل ۸۸




شکل ۸۹

۷ درچه شرایطی مدارشکل ۹۰ به بافرمنفی تبدیل می‌شود؟

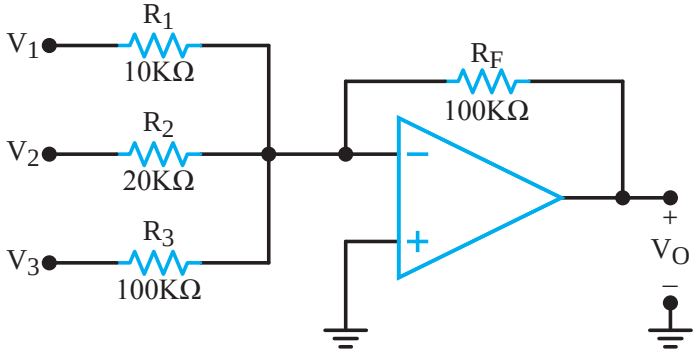



شکل ۹۰

۸ رابط ولتاژ خروجی درمدارشکل ۹۱ کدام گزینه است؟

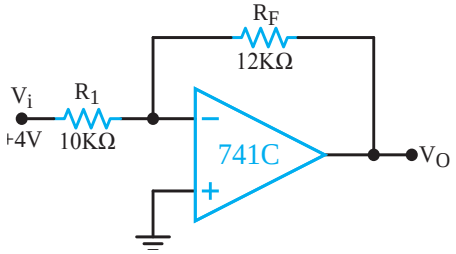
۱) $10V_1-5V_2+V_3$ ۲) $10V_1-5V_2-V_3$

۳) $-10V_1-5V_2-V_3$ ۴) $V_1-5V_2+V_3$

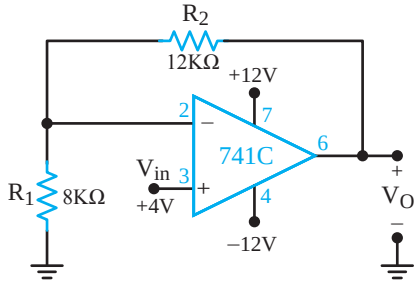



شکل ۹۱

۹ درمدارشکل ۹۲ و ۹۳ ولتاژ خروجی را محاسبه کنید.



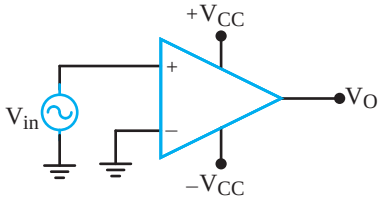

شکل ۹۲




شکل ۹۳

۱۰ درمدارشکل ۹۴ ولتاژ ورودی با ولتاژ صفرولت مقایسه می‌شود.

☐ صحیح ☐ غلط




شکل ۹۴

۱۱ یک مدارآشکارساز عبورازصفر می‌تواند موج سینوسی را به موج .....تبدیل کند.

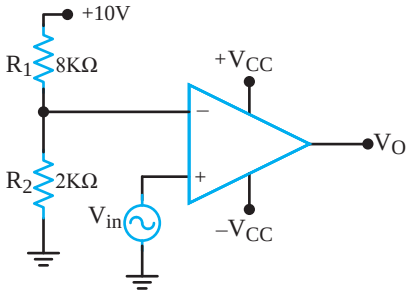
☐ صحیح ☐ غلط

۱۲ در مدار مقایسه‌کننده سطح ولتاژ، ولتاژ مبنا معمولاً توسط ..... و یا توسط ..... ایجاد می‌شود.

۱۳ درمدار شکل ۹۵ کدام‌یک از مقادیرداده شده، مقدار $V_{REF}$ (ولتاژسطح مقایسه) است؟

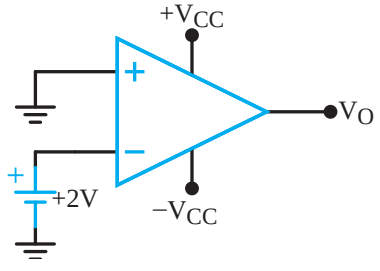
۱) ۱۰V ۲) صفر ولت

۳) ۲V ۴) ۸V




شکل ۹۵

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




شکل ۹۶

# ارزشیابی شایستگی ساخت مدارهای تقویت‌کننده عملیاتی

| نام و نام خانوادگی : | | شماره ملی: | | تاریخ ارزشیابی: | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **کد حرفه** | ۸۲۱۲۲۳ | **حرفه** | مونتاژکاران تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی | **کدپیمانه/پودمان** | ۸۲۱۲۱۳۰۱۲ | **استاندارد عملکرد:** تقویت‌کننده‌عملیاتی، مشخصات و پایه‌های IC رایج‌را شناسایی کند، مدارهای کاربردی تقویت‌کننده عملیاتی و پروژه عملی مرتبط‌به آن‌را اجرا کند. |
| **کد وظیفه شغل** | ۸۲۱۲۲۳۰۱ | **وظیفه شغل** | ساخت بردهای الکترونیکی | **سطح صلاحیت** | L۳ | |
| **کد کار** | ۸۲۱۲۲۳۰۱۲۲ | **کار** | ساخت مدارهای تقویت‌کننده عملیاتی | **سطح شایستگی** | مهارت | |

| ردیف | مراحل کار | شرایط انجام کار (ابزار،مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...) | ابزارهای ارزشیابی | استاندارد (شاخص‌ها/داوری/نمره‌دهی) | نتایج ممکن | نمره کسب‌شده |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | تشخیص پایه‌های ورودی (مثبت و منفی)، خروجی و تغذیه در آی‌سی‌های متداول (مثل ۷۴۱). | آی‌سی ۷۴۱ (DIP)، برگه اطلاعات، مولتی‌متر، ذره‌بین، سایرقطعات الکترونیکی مرتبط و زمان ۱۵ دقیقه درکارگاه الکترونیک | آزمون عملی، تطبیق با نقشه فنی و چک‌لیست رعایت استانداردهای ایمنی | شناخت بسته‌بندی و تست پایه‌ها | ۳ | |
| | | | | شناسایی صحیح پایه‌های اصلی با دیتاشیت و سرعت متوسط | ۲ | |
| | | | | خطا درتشخیص پایه‌ها و تغذیه | ۱ | |
| ۲ | بستن و تحلیل‌مدار تقویت‌کننده معکوس‌کننده (Inverting) وغیرمعکوس‌کننده (Non_Inverting) | IC۷۴۱، بردبرد، منبع تغذیه، سیگنال‌ژنراتور، اسیلوسکوپ، مولتی‌متر، مقاومت و سیم رابط و زمان ۶۰ دقیقه درکارگاه الکترونیک | مشاهده بستن مدار، اندازه‌گیری بهره و بررسی شکل موج | بستن مدار، تطابق بهره | ۳ | |
| | | | | بستن مدار و دریافت خروجی با خطای بهره | ۲ | |
| | | | | خطا دراتصالات و عملکرد مدار | ۱ | |
| ۳ | شبیه‌سازی با نرم‌افزار و بستن صحیح مدارهای کاربردی، جمع‌گر، تفاضلی و مقایسه‌گر | رایانه با نرم‌افزار شبیه‌سازی (Multisim) یا مشابه، بردبرد، ICهای عملیاتی، منبع تغذیه، مقاومت‌ها و سیم رابط و زمان ۹۰ دقیقه درکارگاه الکترونیک | بررسی شبیه‌سازی، مقایسه نتایج با محاسبات تئوری و پرسش شفاهی درباره مدار و مقاومت‌ها | شبیه‌سازی بدون خطا و توضیح دقیق مطابق تئوری | ۳ | |
| | | | | بستن مدار با خطای جزئی درتحلیل بهره یا شکل موج | ۲ | |
| | | | | ناتوانی دربستن و تحلیل مدار | ۱ | |
| ۴ | طراحی و ساخت‌یک‌مدار کاربردی (مثل تقویت‌کننده بامیکروفون)، تست‌عملکردآن،تنظیم‌مستندات و ارائه‌گزارش‌کار | مولتی‌متر، اسیلوسکوپ، منبع تغذیه، تجهیزات شبیه‌سازی و طراحی PCB، مقاومت، خازن، ترانزیستور، آی‌سی‌های عملیاتی، میکروفون و زمان تعیین شده درکارگاه الکترونیک | پرسش شفاهی، مشاهده فرایند طراحی، ساخت و تست مدار و بررسی گزارش‌کار و نحوه ارائه آن | ساخت و تست صحیح مدار بدون خطا و ارائه گزارش‌کارکامل | ۳ | |
| | | | | نیاز به تنظیم جزئی مدار یا نقص درگزارش‌کار | ۲ | |
| | | | | عدم عملکرد مدار 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 مورد نیاز، انجام فعالیت‌های کارگاهی مطابق‌با دستورالعمل‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای | | | 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 | ۲ | |
| | | | | رعایت‌نسبی‌ایمنی‌وبهداشت‌باخطاهای‌جزئی،رفتارکاری‌مناسب | ۱ | |
| **ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)** | | | | | بلی ☐ | |
| | | | | | خیر ☐ | |

**توضیحات:**

**معیار شایستگی انجام کار:**

- شناخت مشخصات و پایه‌های IC های رایج تقویت‌کننده عملیاتی، اجرای مدارهای کاربردی و پروژه عملی مرتبط با آن و تنظیم مستندات و گزارش‌کار (مراحل بحرانی).

ـ کسب حداقل نمره ۲ ازبخش شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش

ـ کسب حداقل میانگین ۲ ازمراحل کار

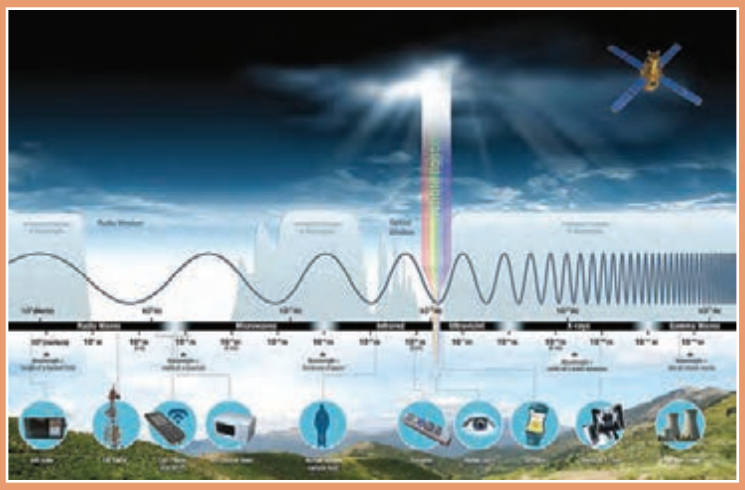
**تعریف سطوح شایستگی:** صرف نظر از اینکه یک تکلیف کاری در چه سطحی از صلاحیت حرفه‌ای انجام می‌شود، در هر محیط کاری ممکن است انجام هر کار با کیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام کار، معیار اساسی ارزشیابی است.

**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، 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 یکی‌از ارکان اصلی و جدایی‌ناپذیر 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 این‌ابزار درزندگی روزمره افراد کاملاً مشهود و قابل ملاحظه است. استفاده از سامانه‌های مخابراتی درکنار 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 ازراه‌دور)، نقش زیرساختی درشهر هوشمند، اینترنت اشیا، مدیریت ترافیک و درمدیریت هوشمند ساختمان (BMS) می‌باشد. پس نقش مخابرات درزندگی امروزی ، نقشی بنیادین و چندبعدی است و به‌عنوان زیرساخت توسعه در تمامی حوزه‌ها از اقتصاد و آموزش گرفته تا سلامت محسوب می‌شود. بنابراین کسب دانش درمورد مبانی مخابرات و آزمایش روی مدارهای کاربُردی مخابراتی و اجرای پروژه‌های مرتبط با آن از ضروریات داشته‌های دانش آموختگان رشته الکترونیک است.

# واحد یادگیری ۱ : آماده‌سازی سیگنال پیام و حامل

## آیا تا به حال فکر کرده‌اید

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

یکی‌از مهم‌ترین امواجی‌که درزندگی روزمره با آن سروکار داریم، امواج صوتی و تصویری است. از طریق این امواج باهم گفت‌وگو و تبادل اطلاعات می‌کنیم. درمخابرات دسته‌بندی امواج، کاربرد آنها و چگونگی ارسال و دریافت پیام از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا دراین واحد یادگیری، درمورد انواع فرکانس‌ها، کاربرد آنها، چگونگی جداسازی فرکانس‌ها از یکدیگر، اصول نوسان‌سازی بحث می‌کنیم و به‌انجام برخی آزمایش‌های مرتبط به‌صورت نرم‌افزاری و سخت‌افزاری می‌پردازیم. درتمام 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 درمراحل انجام‌کار به آنها توجه شود.

## استاندارد عملکرد

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

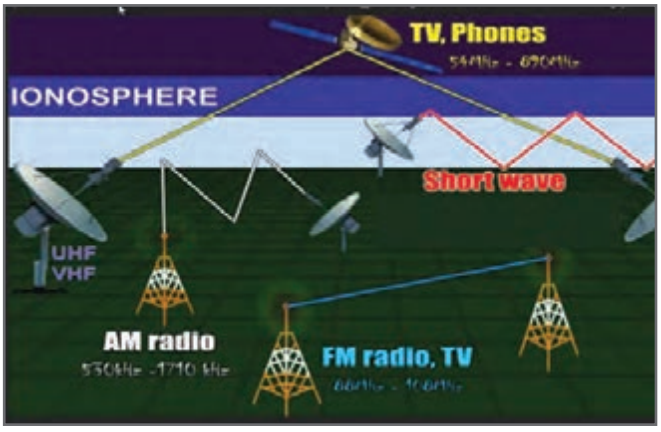
## اجزای سامانه‌های مخابراتی و نحوه ارتباط رادیویی

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



**شکل ۱ــ ساده‌ترین سامانه مخابراتی**

درشکل ۲ سامانه ارتباطی رادیویی ترسیم شده است. دراین سامانه فرستنده رادیویی از طریق آنتن (Antenna) امواج را درفضا پخش می‌کند. آنتن گیرنده، امواج رادیویی منتشر شده از فرستنده را از فضا دریافت می‌کند. کانال ارتباطی دراین 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.




**شکل ۲ــ سامانه ارتباطی رادیویی**

### علل دسته‌بندی فرکانس و واحدهای آن

فرکانس‌های مختلف درمدارهای الکتریکی و الکترونیکی رفتارهای متفاوتی ازخود نشان می‌دهند. همین رفتار متفاوت است که برای هرمورد کاربرد ویژه‌ای را فراهم می‌کند. بدین سبب، فرکانس‌ها را در دسته‌بندی‌های مختلف طبقه‌بندی می‌کنند.

### دسته‌بندی عمومی فرکانس‌ها

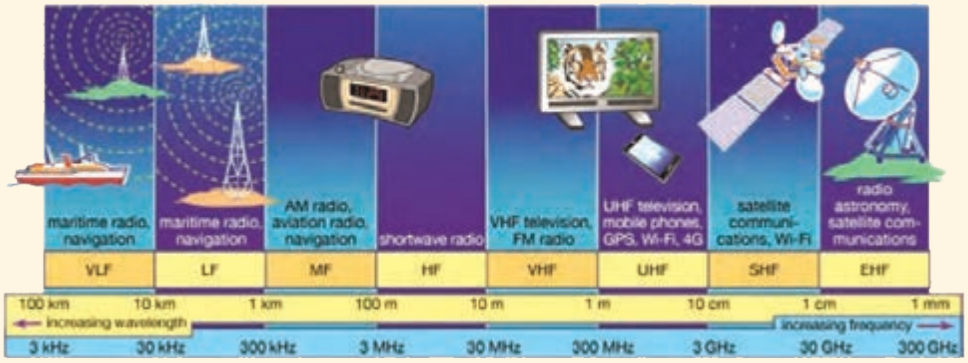
تنوع تقسیم‌بندی فرکانس بسیارزیاد است. دراین واحد یادگیری بیشتر به تقسیم‌بندی کلی فرکانس‌ها با تأکید روی فرکانس‌های رادیویی می‌پردازیم. فرکانس‌های کم و فرکانس‌های رادیویی را به محدوده‌های کوچک‌تری نیز تقسیم می‌کنندکه حالت عمومی دارد. دراین‌روش هر محدوده را باندفرکانسی( Frequency Band) می‌نامند. درجدول ۱ این‌نوع تقسیم‌بندی را آورده‌ایم. دراین روش تقسیم‌بندی فرکانس‌ها، محدوده فرکانسی ازحاصل‌ضرب عدد۳ در توان‌های صحیح عدد ۱۰ به‌دست آمده است.

**جدول ۱ـ تقسیم‌بندی باندهای فرکانسی**

| ردیف | محدودهٔ فرکانسی | نام باند | نماد (علامت) | نام باند به زبان اصلی | |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۳ـ۳۰ HZ | بی‌نهایت کم | ELF | Extremely Low Frequency | |
| ۲ | ۳۰ـ۳۰۰ HZ | فوق‌العاده کم | SLF | Supper Low Frequency | |
| ۳ | ۳۰۰ـ۳۰۰۰ HZ | خیلی‌خیلی کم | ULF | Ultra Low Frequency | |
| ۴ | ۳ـ۳۰ KHZ | خیلی کم | VLF | Very Low Frequency | |
| ۵ | ۳۰ـ۳۰۰ KHZ | کم | LF | Low Frequency | فرکانس‌های رادیویی |
| ۶ | ۳۰۰ KHZ ـ ۳ MHZ | متوسط | MF | Medium Frequency | |
| ۷ | ۳ـ۳۰ MHZ | زیاد | HF | High Frequency | |
| ۸ | ۳۰ـ۳۰۰ MHZ | خیلی زیاد | VHF | Very High Frequency | |
| ۹ | ۳۰۰ MHZ ـ ۳ GHZ | خیلی‌خیلی زیاد | UHF | Ultra High Frequency | |
| ۱۰ | ۳ GHZ ـ ۳۰ GHZ | فوق‌العاده زیاد | SHF | Supper High Frequency | |
| ۱۱ | ۳۰ـ۳۰۰ GHZ | بی‌نهایت زیاد | EHF | Extra High Frequency | |

فعالیت گروهی

باتوجه به شکل ۳ جدول ۲ را کامل کنید.




**شکل ۳ـ 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 | | |

## خودارزیابی

۱ در گفت‌وگوی بین دو انسان، دهان انسان به‌عنوان ..... و گوش انسان دیگر به‌عنوان .....عمل می‌کند.

۲ ساده‌ترین سامانه مخابراتی را در دو سطر شرح دهید.

۳ کانال ارتباطی را تعریف کنید و برای آن چند مثال بزنید.

۴ به چه دلیل فرکانس‌ها را طبقه‌بندی می‌کنند؟ شرح دهید.

۵ موج کوتاه رادیو در فاصله ۳۰۰ کیلوهرتز تا ۳ مگاهرتز قراردارد. □ صحیح □ غلط

۶ کدام گزینه فرکانس‌های محدوده GHZ ۳۰ تا GHZ ۳۰۰ را نشان می‌دهد؟

۱) VHF ۲) UHF ۳) SHF ۴) EHF

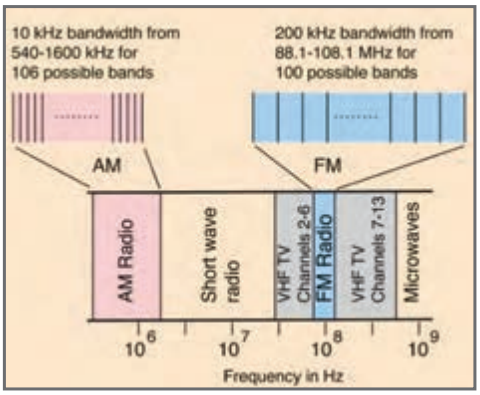
۷ باتوجه به شکل ۴ به سؤالات پاسخ دهید.

الف) فاصله فرکانسی رادیو AM از.....کیلوهرتز تا ..... کیلوهرتز است.

ب) دربانـد AM ..... ایستگاه جای می‌گیرد.

پ) فاصله فرکانسی رادیو FM از.....مگاهرتز تا ..... مگاهرتز است.

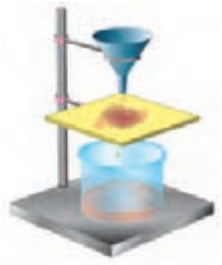
ت) در باند FM ..... ایستگاه جای می‌گیرد.



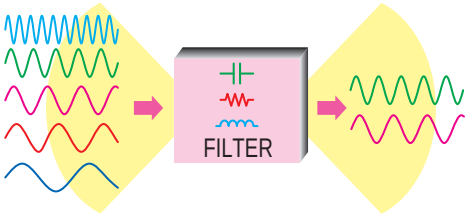

شکل ۴

## فیلترها (Filters)

فیلترها مدارهایی هستند که فرکانس یا باندفرکانسی معینی را ازمیان سایر فرکانس‌ها انتخاب می‌کنند. فیلترهای الکترونیکی ازنظر نوع‌کار مشابه فیلتر هوای اتومبیل یا فیلترآب هستند. درشکل ۵ مقایسه فیلترهای الکترونیکی با فیلترهای معمولی آمده است. درفیلترهای معمولی مکانیکی برای صاف‌کردن مایعات ازیک لایه نازک‌کاغذی، پارچه‌ای یا پلاستیکی استفاده می‌کنند. درفیلترهای الکترونیکی برای جداسازی فرکانس‌ها ازیکدیگر، ترکیب اجزای الکترونیکی مانند سلف، خازن و مقاومت به کار می‌رود. درشکل ۵ـ الف یک فیلتر مکانیکی ترسیم شده است. دراین فیلتر یک لایه پارچهٔ منفذدار نقش فیلترکردن را برعهده دارد. درشکل ۵ـ ب به ورودی فیلتر الکترونیکی، پنج فرکانس مختلف وارد می‌شود و ازمیان این پنج فرکانس دو فرکانس انتخاب و جدا شده است. همان‌طورکه درشکل نشان داده شده است عمل فیلترکردن با ترکیب عناصری مانند خازن، سیم‌پیچ و مقاومت صورت می‌گیرد.



الف) فیلتر مایعات




ب) فیلتر الکترونیکی (دوسیگنال خارج می‌شود).

شکل ۵ـ مقایسه فیلتر مکانیکی و الکترونیکی

## محدودهٔ فرکانسی فیلتر (Filter Bandwidth)

محدوده فرکانسی فیلتر عبارت است از مجموعه فرکانس‌هایی‌که فیلتر می‌تواند ازخود عبوردهد. این محدوده فرکانسی را پهنای باند یا پاسخ فرکانسی فیلتر می‌نامند. شکل ۶ این محدوده را نشان می‌دهد.

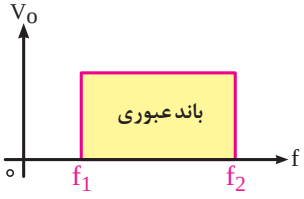



شکل ۶ـ محدوده فرکانسی فیلتر

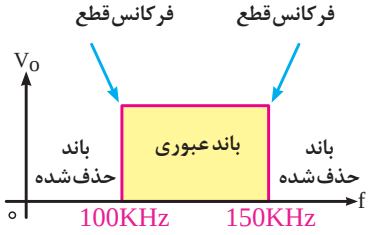
**فیلتر ایده‌آل:** فیلتر ایده‌آل فیلتری است‌که درخروجی آن دقیقاً فرکانس‌های معین و از پیش تعیین شده ظاهر می‌شود. مثلاً اگر قراراست فرکانس‌هایی را که درمحدوده باند فرکانسی ۱۰۰کیلوهرتز تا ۱۵۰کیلوهرتز قرار دارد از فیلتر عبور نماید باید فقط این فرکانس‌ها را درخروجی فیلتر داشته باشیم. درشکل ۷ منحنی پاسخ فرکانسی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

**فیلتر واقعی (Real Filter):** به علت استفاده از مقاومت، سلف و خازن درفیلترها، نمی‌توانیم پاسخ فرکانسی ایده‌آل داشته باشیم، زیرا این عناصر نمی‌توانند مانند یک‌کلید عمل‌کنند و فرکانس‌های ناخواسته را درلحظه تعیین شده حذف کنند. دراین حالت دامنه فرکانس‌های ناخواسته به‌تدریج کم می‌شود تا به صفر می‌رسد. درشکل ۸ ـ الف، ۸ ـ ب منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر واقعی ترسیم شده است.

**فرکانس قطع فیلتر(Cut off Frequency):** حد فرکانس قابل قبول درخروجی فیلتر را فرکانس قطع فیلتر می‌نامند. فیلترها باتوجه به‌کاربرد و مدارشان می‌توانند دارای یک، دو یا چند فرکانس قطع باشند. درفیلترهای ایده‌آل فرکانس قطع دقیقاً روی فرکانس موردنظر قرارمی‌گیرد. درشکل ۷ فرکانس‌های قطع فیلتر ایده‌آل برابر با f۱ و f۲ است. درفیلتر واقعی ولتاژ خروجی به‌تدریج به حداکثر ولتاژ ورودی، یا صفر می‌رسد، ازاین‌رو نقاط متعددی وجود داردکه می‌تواند به‌عنوان فرکانس قطع فیلتر انتخاب شود. طبق تعریف درفیلترهای واقعی، فرکانس قطع فیلتر (fc) عبارت است از فرکانسی‌که درآن فرکانس، تطابق توان صورت می‌گیرد و نیمی از توان ورودی به خروجی منتقل می‌شود. دراین نقطه معمولاً ۷۰/۷ درصد ولتاژ ورودی درخروجی 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 db ۳ کاهش می‌یابد. درشکل ۸ ـ ب فرکانس قطع فیلتر واقعی نشان داده شده است.

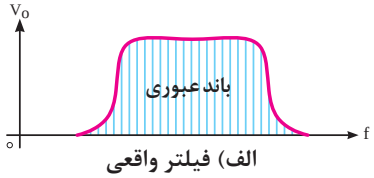



الف) محدودهٔ فرکانسی

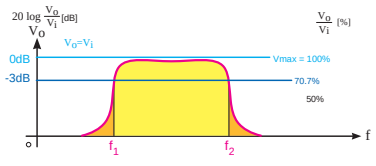



ب) فیلتر ایده‌آل

شکل ۷ـ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر ایده‌آل




الف) فیلتر واقعی




ب) فرکانس قطع فیلتر واقعی

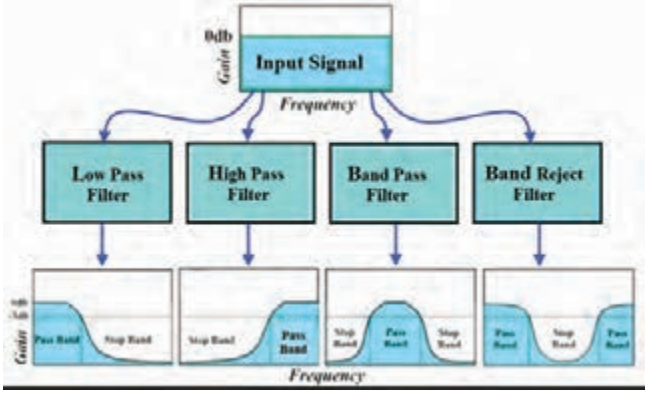
شکل ۸ـ منحنی پاسخ فرکانسی و فرکانس قطع فیلتر واقعی

محاسبه کنید

با توجه به رابطه $db=10\log \frac{Po}{Pin}$ (بهره توان برحسب دسی‌بل) درفرکانس‌قطع بهره توان را برحسب دسی‌بل محاسبه کنید.

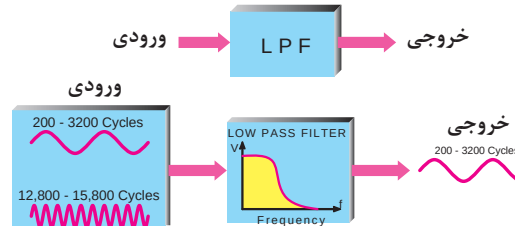
## انواع فیلترها از نظرکاربرد

فیلترها از نظرکاربرد به چهار گروه تقسیم‌بندی می‌شوند: در شکل ۹ نام چهار گروه فیلتر و منحنی پاسخ فرکانسی هر یک را مشاهده می‌کنید.

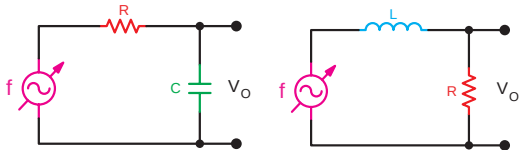



شکل ۹ـ منحنی پاسخ فرکانسی ۴ نوع فیلتر

**ـ فیلتر پایین گذر (LPF = Low Pass Filter)**: فیلتر پایین گذر فیلتری است که اجازه می‌دهد فرکانس‌هایی ازحد صفر تا مقدارمعینی، که به‌عنوان فرکانس قطع مطرح می‌شود، ازخود عبوردهد. درشکل ۱۰ـ الف پاسخ فرکانسی فیلتر پایین‌گذر را مشاهده می‌کنید. درشکل ۱۰ـ ب و پ دو نوع مدار فیلترپایین‌گذر RL و RC ترسیم شده است.



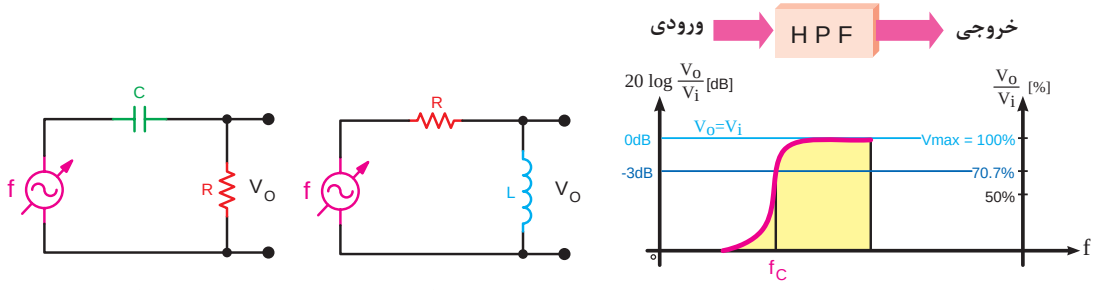

الف) پاسخ فرکانسی فیلتر پایین‌گذر




پ) فیلتر پایین‌گذر RC ب) فیلتر پایین‌گذر RL

شکل ۱۰ـ پاسخ فرکانسی و مدار فیلتر پایین‌گذر

**فیلتر بالاگذر (HPF = High Pass Filter)**: این فیلترها از یک فرکانس معینی به بالا را از خود عبور می‌دهند. اصول کار و ساختمان فیلترهای بالاگذر مشابه فیلترهای پایین‌گذر است، با این‌تفاوت‌که خروجی فیلتر بالاگذر، ازنقطه مشخصی شروع به افزایش می‌کند. درشکل ۱۱ـ الف پاسخ فرکانسی این فیلتر را ملاحظه می‌کنید. درشکل ۱۱ـ ب مدار فیلتر بالاگذر RL رسم شده است. خروجی این مدار از دو سر سلف (دو سر L) گرفته شده است. درشکل ۱۱ـ پ مدار فیلتر بالاگذر RC ترسیم شده است. خروجی این مدار برخلاف فیلتر پایین‌گذر از دو سر مقاومت R گرفته شده است.




الف) پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر ب) فیلتر بالاگذر RL پ) فیلتر بالاگذر RC

**شکل ۱۱ــ پاسخ فرکانسی و مدار فیلتر بالاگذر**

نکته

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

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

کار عملی ۱

**بررسی پاسخ فرکانسی فیلتر پایین‌گذر به‌صورت نرم‌افزاری**

**هدف:** به‌دست آوردن فرکانس قطع و منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر پایین‌گذر

**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه، نرم‌افزار مناسب، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

۱ نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هر نرم‌افزار مناسب دیگر را فعال کنید.

۲ مدار (شکل ۱۲) را در فضای نرم‌افزار ببندید.

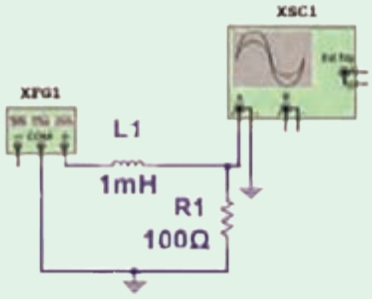
۳ سیگنال ژنراتور را روی موج سینوسی و دامنهٔ ۱۰ ولت پیک ($10\ V_{PK}$) تنظیم کنید.

۴ فرکانس قطع فیلتر را با استفاده از فرمول مربوطه محاسبه و یادداشت نمایید.

$F_C$= ..... HZ

۵ فرکانس موج سینوسی را مطابق جدول ۳ تغییر دهید و دامنه‌موج خروجی را به‌کمک اسیلوسکوپ موجود در نرم‌افزار اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

**نکته:** برای اندازه‌گیری دقیق دامنه ولتاژ پیک‌تاپیک خروجی مدار فیلتر به‌ازای فرکانس‌های مختلف می‌توانید از پروب اندازه‌گیری (Measurement Probe) استفاده کنید. با اتصال این پروب به هر نقطه از مدار می‌توانید انواع ولتاژ و جریان را اندازه‌گیری کنید. این پروب در نوار ابزار نرم‌افزار وجود دارد.



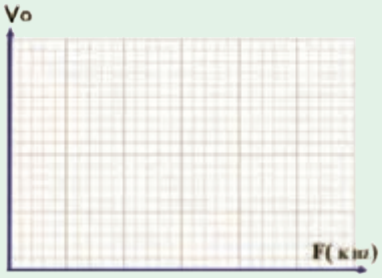

**شکل ۱۲ــ مدار فیلتر پایین‌گذر**

**جدول ۳**

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

۶ درفرکانس قطع دامنه موج خروجی فیلتر چند درصد دامنه موج ورودی است؟.....

۷ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر را با مقیاس مناسب درنمودار شکل۱۳رسم کنید روی نمودار فرکانس قطع را مشخص کنید.



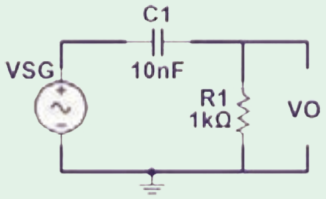

**شکل ۱۳ــ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر پایین‌گذر**

کار عملی ۲

**بررسی پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر با قطعات واقعی (سخت افزاری)**

**هدف:** به‌دست آوردن فرکانس قطع و منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر

**مواد، ابزار و تجهیزات:** سیگنال ژنراتور یک دستگاه، اسیلوسکوپ یک دستگاه، بِردبُرد یک‌قطعه، مقاومت ۱۰۰۰اهم $\frac{۱}{۴}$ وات یک عدد، خازن ۱۰NF یک عدد، سیم‌های رابط، لوازم التحریر




**شکل ۱۴ــ مدارفیلتر بالاگذر**

**مراحل اجرای کار:**

۱ مدار (شکل ۱۴) را روی بِردبُرد ببندید.

۲ سیگنال ژنراتور را روی موج سینوسی و دامنهٔ ۴ ولت پیک‌تاپیک ($۴V_{PP}$) تنظیم کنید.

۳ فرکانس قطع فیلتر را با استفاده از فرمول $F_C=\frac{۱}{۲\pi RC}$ محاسبه و یادداشت نمایید.

$F_C=$ ..... HZ

۴ فرکانس موج سینوسی را مطابق جدول۴ تغییردهید و دامنه موج خروجی را توسط اسیلوسکوپ اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

**نکته:** درهرمرحله‌که فرکانس را تغییر می‌دهید دامنه سیگنال ورودی را کنترل‌کنید تا روی $۴V_{PP}$ ثابت باشد.

۵ درفرکانس قطع دامنه موج خروجی فیلتر چند درصد دامنه موج ورودی است؟.....

۶ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر را با مقیاس مناسب درنمودار شکل ۱۵ رسم‌کنید روی نمودار فرکانس قطع را مشخص کنید.

**جدول ۴**

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




**شکل ۱۵ــ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر**

**فیلتر فعال(Active Filter):** درمدار فیلترهای غیرفعال (Passive) ازمقاومت، سلف و خازن استفاده شده است. وجود این قطعات غیرفعال دامنه سیگنال خروجی فیلتر را نسبت به دامنه سیگنال ورودی تضعیف می‌کند. درساختار فیلترهای فعال از قطعات فعال مانند ترانزیستور، تقویت‌کننده یا OP AMP استفاده می‌شود. وجود این قطعات فعال سبب بهبود عملکرد مدارشده و باتنظیم بهره (Gain) مدارمی‌توان سیگنال فیلترشده را به هراندازه تقویت نمود. وجود تقویت‌کننده‌هایی مانند OP AMP که امپدانس ورودی زیاد و خروجی‌کم دارند از تأثیر بار برمدار فیلتر جلوگیری نموده و پاسخ فرکانسی را تیزتر ودقیق‌تر و به فیلتر ایده‌آل نزدیک می‌کند.

کار عملی ۳

**بررسی پاسخ فرکانسی فیلتر پایین‌گذر فعال به‌صورت نرم‌افزاری**

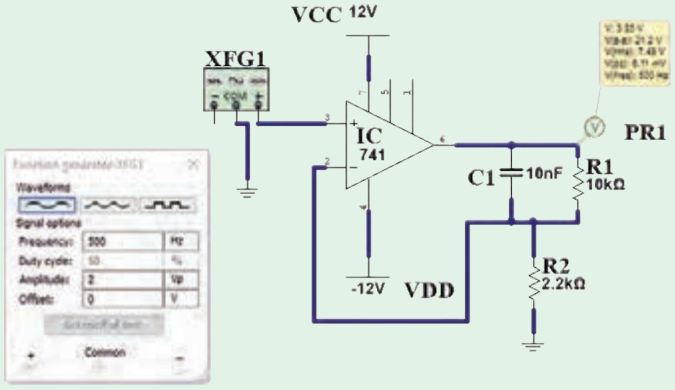
**هدف:** به‌دست آوردن فرکانس قطع و منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر پایین‌گذر

**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه،نرم‌افزار، مناسب، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

۱ نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هرنرم‌افزار مناسب دیگر را فعال کنید.

۲ مدار (شکل ۱۶) را درفضای نرم‌افزار ببندید.




**شکل ۱۶ــ مدار فیلتر پایین‌گذرفعال**

۳ سیگنال ژنراتور را روی موج سینوسی و دامنهٔ ۲ ولت پیک ($۲V_{pk}$)تنظیم کنید.

۴ فرکانس قطع فیلتر را با استفاده از فرمول $F_C=\frac{۱}{۲\pi R_۱ C_۱}$ محاسبه و یادداشت نمایید.

$F_C$= ..... HZ

۵ اگر راکتانس خازن را درفرکانس پایین، زیاد در نظر بگیریم بهره ولتاژ مدار را بااستفاده ازرابطه $A_V=۱+\frac{R_۱}{R_۲}$ محاسبه کنید.

۶ فرکانس موج سینوسی را مطابق جدول ۵ تغییردهید و دامنه پیک‌تاپیک موج خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۷ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر را با مقیاس مناسب درنمودار 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 ۱۷ــ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر پایین‌گذر**

کار عملی ۴

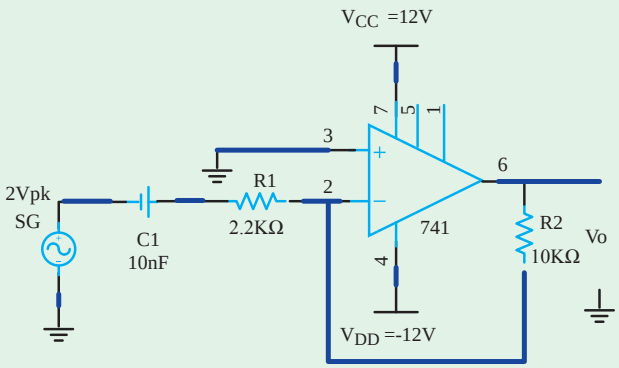
**بررسی پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر فعال با قطعات واقعی (به‌صورت سخت‌افزاری)**

**هدف:** به‌دست 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، بِردبُرد یک قطعه، آی‌سی ۷۴۱ یک عدد، مقاومت ۲/۲ کیلواهم $\frac{۱}{۴}$ وات یک عدد، مقاومت ۱۰ کیلواهم $\frac{۱}{۴}$ وات یک عدد، خازن NF ۱۰ یک عدد، سیم‌های رابط، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

۱ مدار (شکل ۱۸) را روی بِردبُرد ببندید.




**شکل ۱۸ــ مدار فیلتر بالاگذر فعال**

۲ سیگنال ژنراتور را روی موج سینوسی و دامنهٔ ۴ ولت پیک‌تاپیک ($۴V_{PP}$) تنظیم کنید.

۳ فرکانس قطع فیلتر را با استفاده از فرمول $F_C = \frac{۱}{۲\pi R_۱ C_۱}$ محاسبه و یادداشت نمایید.

$F_C$= ..... HZ

۴ فرکانس موج سینوسی را مطابق جدول ۶ تغییر دهید و دامنه موج خروجی را توسط اسیلوسکوپ اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

**نکته:** درهر مرحله که فرکانس را تغییر می‌دهید دامنه سیگنال ورودی را کنترل کنید تا روی $۴V_{PP}$ ثابت باشد.

۵ اگر از راکتانس خازن درفرکانس‌های بالا صرف نظرکنیم بهره ولتاژ مدار را از رابطه $A_V=-\frac{R_2}{R_1}$ محاسبه کنید.

۷ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر را با مقیاس مناسب درنمودار شکل ۱۹رسم‌کنید.

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 ۱۹ــ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر فعال**

## خود ارزیابی

۱ فیلتر مکانیکی را با فیلتر الکترونیکی مقایسه کنید.

۲ فیلتر ایده‌آل و فیلتر واقعی را تعریف‌کنید و منحنی پاسخ فرکانسی آنها را با هم مقایسه کنید.

۳ فرکانس قطع فیلتر را تعریف‌کنید و فرمول محاسبه آن را برای فیلتر RL و RC بنویسید.

۴ درفرکانس قطع دامنهٔ ولتاژ خروجی فیلتر برابر (۰/۷۰۷ یا $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ) دامنه ولتاژ ورودی فیلتر است.

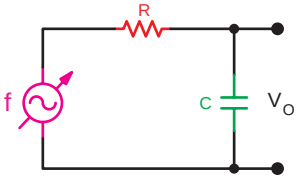
☐ صحیح ☐ غلط

۵ فیلتر شکل ۲۰ ☐ LPF ☐ HPF ☐ است.

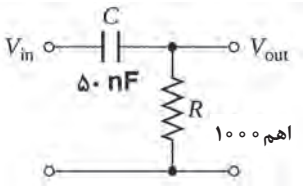
۶ فرکانس قطع فیلتر شکل ۲۱ را محاسبه کنید.

۷ فرکانس قطع فیلتر شکل ۲۲ را محاسبه کنید.

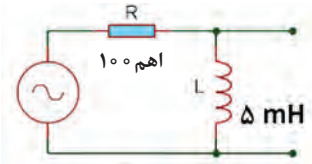
۸ مزایای فیلتر فعال را بنویسید.




**شکل ۲۰**




**شکل ۲۱**



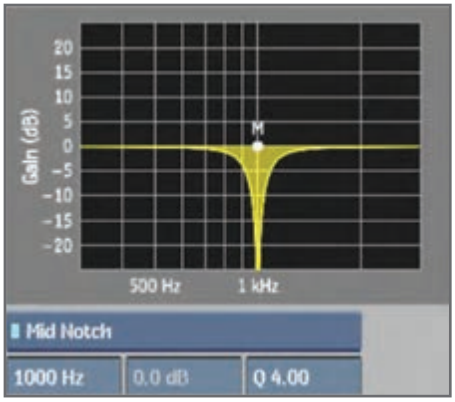

**شکل ۲۲**

## فیلترهای میان‌گذر (BPF=Band Pass Filter)

فیلترهای میان‌گذر فیلترهایی هستندکه اجازه عبور باند فرکانسی معینی را می‌دهند. این فیلترها را فیلترهای عبورباند نیز می‌نامند. درفیلترهای میان‌گذر ازمدارهای ترکیبی مقاومت، سلف و خازن به صورت سری و موازی استفاده می‌شود.

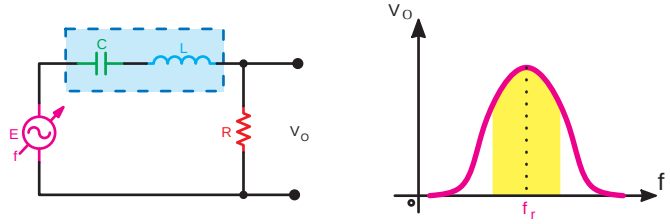
### فیلترهای حذف باند (BRF=BSF) Band Reject Filter =Band Stop Filter

فیلترهای حذف باند فیلترهایی هستند که باند معینی از فرکانس را حذف می‌کنند. این فیلترها از نظر چگونگی عملکرد، مشابه فیلترهای میان‌گذرند. بااین‌تفاوت‌که باند خروجی آنها باهم متفاوت است. یکی‌دیگر از انواع فیلتر حذف باند Notch filter است. این فیلتر فقط یک فرکانس خاص و محدوده بسیارباریک را حذف می‌کند. مثلاً برای حذف فرکانس مزاحم مانند نویز برق شهر یا فرکانس مزاحم درسیگنال، لذا پهنای باندی که Notch filter حذف می‌کند بسیارکم‌تر از پهنای باند فیلترحذف‌باند است. درشکل ۲۳ منحنی پاسخ فرکانسی این فیلتر را مشاهده می‌کنید.

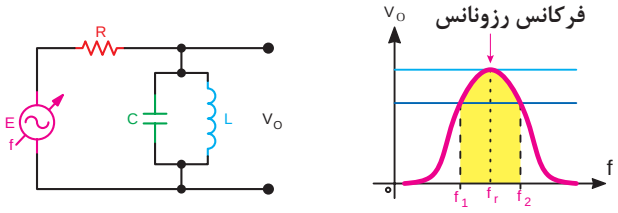



شکل ۲۳ـ منحنی پاسخ فرکانسی Notchfilter

**انواع فیلترهای میان‌گذر و حذف باند:** همان‌طورکه اشاره شد فیلترهای میان‌گذر ازنظر قطعاتی‌که درمدار وجود دارد باهم مشابه هستند، یعنی درهر دو نوع فیلتر از مقاومت، سلف و خازن استفاده می‌شود. درشکل ۲۴ دو نوع فیلتر میان‌گذر را ملاحظه می‌کنیدکه درآنها از مدارهای LC سری و LC موازی استفاده شده است.



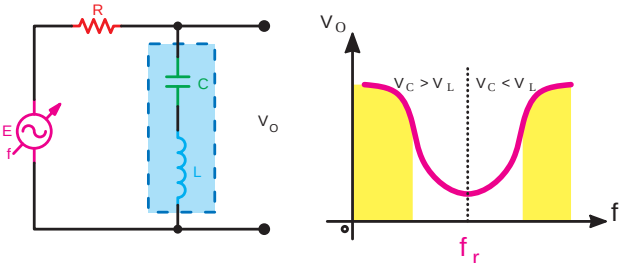

الف) فیلتر میان‌گذر سری LC



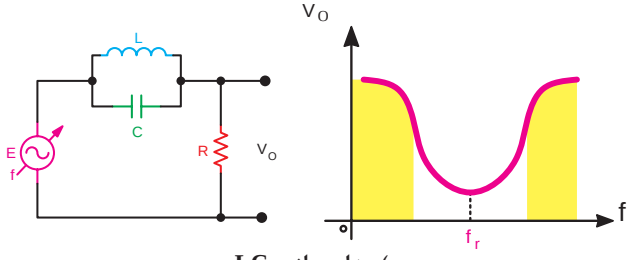

ب) مدار موازی LC

شکل ۲۴ـ مدارهای فیلتر میان‌گذر و منحنی پاسخ فرکانسی آنها

درشکل ۲۵ دو نمونه فیلتر حذف باند (میان‌نگذر) را مشاهده می‌کنید که از مدارهای LC سری و LC موازی استفاده شده است.




الف) مدار سری LC




ب) مدار موازی LC

شکل ۲۵ـ مدارهای فیلتر حذف باند

تمرین

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 درحالت ایده‌آل صفر و راکتانس زیاد را درحالت ایده‌آل مدار باز درنظر بگیرید.

جدول ۷

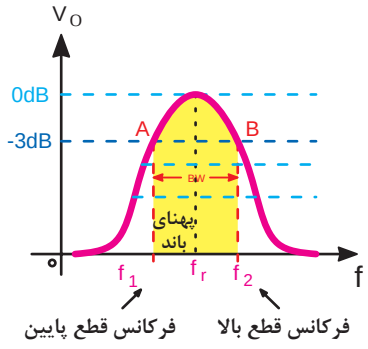
| Circuit | Acts at | |
|---|---|---|
| | low frequency | high frequency |
| Input Output (A) | | |
| (B) | | |
| (C) | | |
| (D) | | |

## مشخصه‌های فیلتر میان‌گذر

به‌طورکلی برای فیلترهای میان‌گذر سه مشخصه فرکانس رزونانس، پهنای باند و ضریب کیفیت تعریف می‌شود.

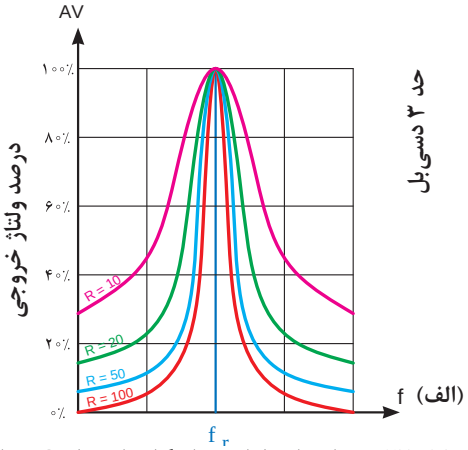
**الف) فرکانس رزونانس (Resonance Frequency):** فرکانس رزونانس فیلترهای میان‌گذر از رابطه $F_R=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ قابل محاسبه است. دراین فرکانس دامنهٔ ولتاژ خروجی به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

**ب) پهنای باند فیلتر (BW=Band width):** پهنای باند فیلتر میان‌گذر فاصله بین فرکانس‌های قطع بالا و قطع پایین است. پهنای باند از رابطهٔ $BW = F_H - F_L$ به‌دست می‌آید (شکل ۲۶).




شکل ۲۶ـ پهنای باند فیلتر میان‌گذر

**ضریب کیفیت Q (Quality Factor):** این ضریب میزان تیزی منحنی مشخصه و پهنای باند را تعیین می‌کند و مقدار آن از رابطه $Q=\frac{F_R}{BW}$ به دست می‌آید. هرقدر ضریب‌کیفیت (Q) کم‌تر شود پهنای باند بیش‌تر می‌شود. 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. دراین شکل محورافقی برحسب فرکانس و محورقائم برحسب بهره ولتاژ درجه‌بندی شده است.




شکل ۲۷ـ پهنای باند فیلتر میان‌گذر با مقدار Q متفاوت

کار عملی ۵

**بررسی پاسخ فرکانسی فیلتر حذف باند به‌صورت نرم‌افزاری**

**هدف:** به‌دست آوردن فرکانس رزونانس و منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر حذف باند

**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه،نرم‌افزار مناسب، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

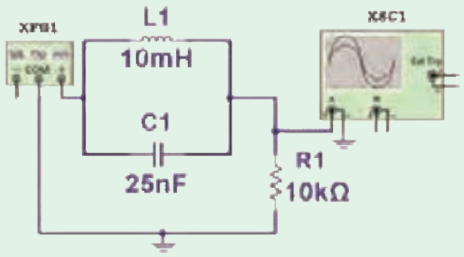
۱ نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هرنرم‌افزار مناسب دیگر را فعال کنید.

۲ مدارشکل ۲۸ را درفضای نرم‌افزار ببندید.

۳ سیگنال ژنراتور را روی موج سینوسی و دامنهٔ ۵ ولت پیک ($5V_{pk}$) تنظیم‌کنید.

۴ فرکانس رزونانس فیلتر را بااستفاده از رابطه $F_R=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ محاسبه و یادداشت کنید.

FR=..... HZ




شکل ۲۸ـ مدار فیلترحذف باند

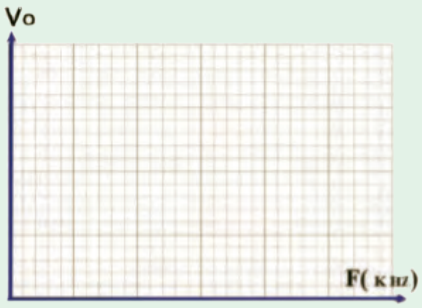
۵ فرکانس موج سینوسی را مطابق جدول ۸ تغییردهید و دامنهٔ موج خروجی را به کمک اسیلوسکوپ نرم‌افزار اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۶ آیا درفرکانس رزونانس دامنهٔ موج خروجی فیلترکمترین مقدار را دارد؟ .....

۷ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر را با مقیاس مناسب درنمودار شکل ۲۹ رسم‌کنید. روی منحنی، فرکانس رزونانس و فرکانس‌های قطع را مشخص‌کنید.

**جدول ۸**

| ردیف | فرکانس (KHZ) | $V_{opp(V)}$ |
|---|---|---|
| ۱ | ۱ | |
| ۲ | ۵ | |
| ۳ | ۸ | |
| ۴ | $f_r$ | |
| ۵ | ۱۵ | |
| ۶ | ۲۰ | |




**شکل ۲۹ـ منحنی پاسخ فرکانسی فیلترحذف باند**

کار عملی ۶

**بررسی پاسخ فرکانسی فیلتر میان‌گذر با قطعات واقعی**

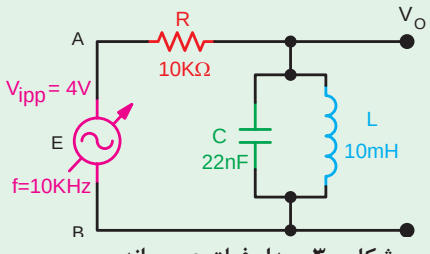
**هدف:** به‌دست آوردن فرکانس رزونانس و منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر میان‌گذر

**مواد، ابزار و تجهیزات:** سیگنال ژنراتور یک دستگاه، اسیلوسکوپ یک دستگاه، بِردبُرد یک قطعه، مقاومت ۱۰کیلواهم $\frac{۱}{۴}$ وات یک عدد،سلف ۱۰mH یک‌عدد، خازن ۲۲NF یک عدد، سیم بِردبُرد،سیم‌های رابط، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

۱ مدار شکل ۳۰را روی بِردبُرد ببندید.

۲ سیگنال ژنراتور را روی موج سینوسی و دامنهٔ ۴ ولت پیک‌تاپیک ($۴V_{PP}$) تنظیم‌کنید.




**شکل ۳۰ـ مدار فیلترعبور باند**

۳ فرکانس رزونانس فیلتر را با استفاده از رابطه $F_R = \frac{۱}{۲\pi\sqrt{LC}}$ محاسبه و یادداشت نمایید.

$F_r$= ..... HZ

۴ فرکانس موج سینوسی را مطابق جدول ۹ تغییر دهید و دامنه موج خروجی را توسط اسیلوسکوپ اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

**نکته :** درهرمرحله که فرکانس را تغییر می‌دهید دامنه سیگنال ورودی را کنترل کنید تا روی $۴V_{PP}$ ثابت باشد.

۵ آیا درفرکانس رزونانس دامنهٔ موج خروجی فیلتر بیش‌ترین مقدار را دارد؟ .....

۶ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر را با مقیاس مناسب درنمودار شکل ۳۱ رسم‌کنید. 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 ۳۱ـ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر عبور باند

## خودارزیابی

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 ازنوع ..... باند با مدار رزونانس ..... است.

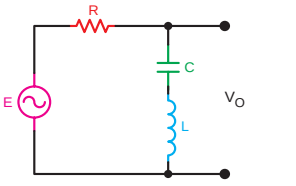
۱ عبور، موازی ۲ حذف، سری

۳ حذف،موازی ۴ عبور،سری

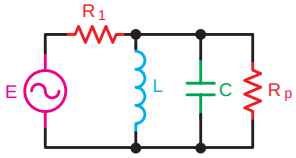
۳ دو نمونه فیلتر با مدار رزونانس سری رسم کنید و طرزکار هریک را بنویسید.

۴ دو نمونه فیلتر با مدار رزونانس موازی رسم کنید و عملکرد آنها را شرح دهید.

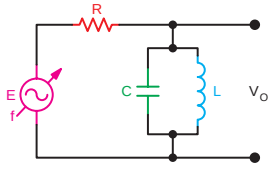
۵ منحنی پاسخ فرکانسی فیلترشکل ۳۴ کدام گزینه است؟



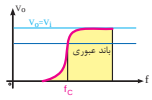

شکل ۳۲

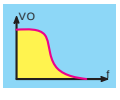


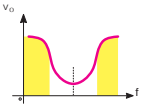

شکل ۳۳

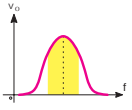



شکل ۳۴

۱)



۲)



۳)



۴)


## نوسان‌سازها (Oscillator)

نوسان‌سازها مدارهای ویژه‌ای هستند که کاربرد نسبتاً گسترده‌ای در مدارهای مخابراتی دارند. بدون نوسان‌سازها ارسال و دریافت پیام‌های رادیویی امکان‌پذیر نیست. نوسان‌سازها یا مولدهای شکل موج، در دستگاه‌هایی نظیر مولتی‌مترهای دیجیتالی، اسیلوسکوپ، گیرنده و فرستنده‌های رادیویی، رایانه‌ها، تایمرها و ماشین‌حساب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. لذا می‌توان گفت نوسان‌ساز یکی از اجزای اساسی دستگاه‌های الکترونیکی است.

### تعریف نوسان‌ساز

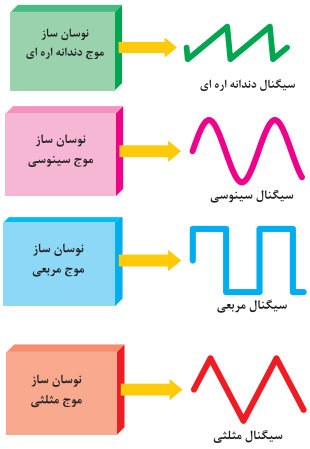
نوسان‌ساز، مداری است که بدون اعمال سیگنال متناوب به ورودی آن، در خروجی، سیگنال متناوب تولید کند. شکل ۳۵ نقشه بلوکی (بلوک دیاگرام) نوسان‌ساز سینوسی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید به مدار الکترونیکی نوسان‌ساز، ولتاژ DC داده می‌شود و مدار نوسان‌ساز ولتاژ DC را به ولتاژ متناوب سینوسی تبدیل می‌کند. نوسان‌ساز ترجمه کلمه Oscillator است.




شکل ۳۵ـ نقشه بلوکی مدار نوسان‌ساز

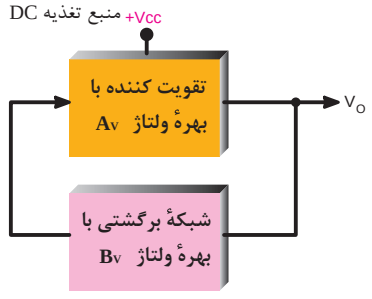
### انواع نوسان‌ساز از نظر شکل موج تولیدی

نوسان‌سازها می‌توانند انواع شکل موج‌ها را به وجود آورند. در شکل ۳۶ چهار نمونه نوسان‌ساز به‌صورت بلوک دیاگرام و شکل موج خروجی آنها ترسیم شده است. این نوسان‌سازها شامل نوسان‌سازهای موج سینوسی مربعی، دندانه اره‌ای و مثلثی است.




شکل ۳۶ـ انواع نوسان‌ساز با توجه به شکل موج تولیدی

**اصول کار مدارهای نوسان‌ساز:** نوسان‌سازها از یک‌طبقه تقویت‌کننده و طبقه‌ای به نام شبکه برگشتی یا فیدبک (Feed Back) تشکیل شده‌اند. شبکه برگشتی بخشی از سیگنال خروجی تقویت‌کننده را به ورودی تقویت‌کننده برگشت می‌دهد. شکل ۳۷ بلوک دیاگرام کلی نوسان‌ساز را نشان می‌دهد. هر مدار نوسان‌ساز نیاز به مدار تولید نوسان دارد که غالباً در شبکه برگشتی یا فیدبک گنجانده می‌شود.




شکل ۳۷ـ بلوک دیاگرام کلی نوسان‌ساز

### نیازهای اولیه برای نوسان‌سازی

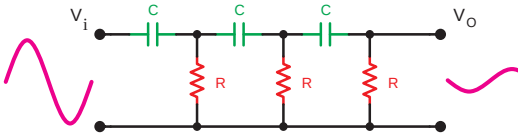
در کلیه نوسان‌سازها باید شرایط و عوامل زیر وجود داشته باشد تا مدار به نوسان درآید.

**منبع انرژی:** منبع انرژی می‌تواند منبع تغذیه، باتری شیمیایی یا باتری نوری باشد.

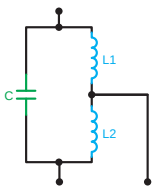
**مدار تعیین‌کننده فرکانس:** این مدار معمولاً یک مدار رزونانس LC، مدار RC یا مدارهایی با مشخصات ویژه است.

نوسان‌های اولیه برای شروع نوسان‌سازی، دراین مدارها تولید می‌شود. شکل‌های ۳۸ـ الف، ب و پ مدار تعیین فرکانس RC و LC را نشان می‌دهد.

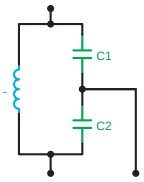
**تقویت‌کننده:** مدار تقویت‌کننده معمولاً یکی از انواع تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری یا IC است. سیگنال‌های اولیه تولید شده توسط مدار تعیین‌کننده فرکانس به‌وسیله مدار تقویت‌کننده تقویت می‌شود.




الف) مدار رزونانس RC




پ) مدار رزونانس LC



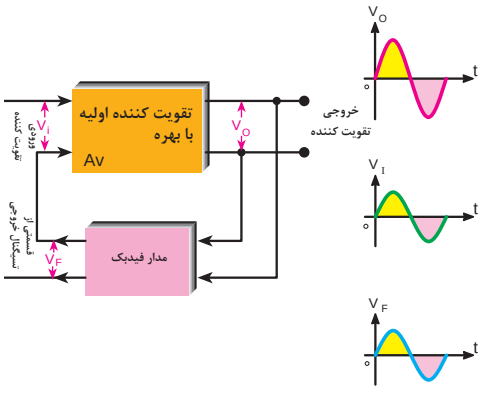

ب) مدار رزونانس LC

شکل ۳۸ ـ مدارهای رزونانس RC و LC

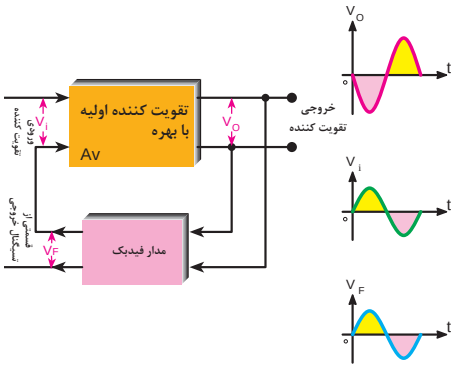
## مدار فیدبک یا بازخورد (Feedback)

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. دراین‌حالت فیدبک را مثبت (Positive Feedback) می‌نامند. درصورتی‌که 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. دراین‌حالت سیگنال خروجی مدار فیدبک با سیگنال ورودی تقویت‌کننده هم‌فاز است. درشکل 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 ۱۸۰درجه اختلاف فاز درخروجی و به‌صورت تقویت شده ظاهر می‌شود. دراین‌حالت مدار فیدبک درسیگنال خروجی ۱۸۰درجه اختلاف فاز ایجاد می‌کند تا سیگنال برگشتی با سیگنال ورودی تقویت‌کننده هم‌فاز شود.



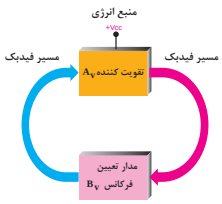

شکل ۳۹ـ ایجاد فیدبک مثبت توسط شبکه برگشتی




شکل ۴۰ـ ایجاد فیدبک مثبت توسط شبکه برگشتی

## ایجاد نوسان اولیه

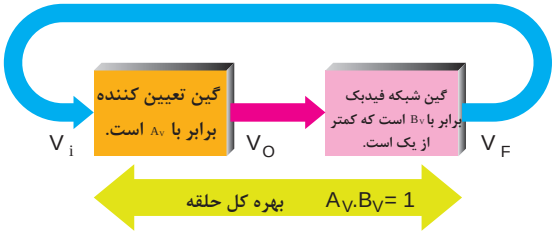
نوسان‌های اولیه برای نوسان‌سازی به‌وسیله مدار تعیین‌کننده فرکانس تولید می‌شود. این نوسان‌ها توسط مدار تقویت‌کننده تقویت می‌شود و سپس از طریق مدار فیدبک به ورودی انتقال می‌یابد. اگر فیدبک مثبت باشد نوسان‌ها تداوم می‌یابد و پایدار می‌شود. درشکل ۴۱ بخش‌های مورد نیاز جهت نوسان‌سازی به صورت بلوک دیاگرام ترسیم شده است.




شکل ۴۱ـ بخش‌های مورد نیاز برای نوسان‌سازی

## اصل بارک هاوزن (Barkhausen Criterion)

بنابراصل بارک هاوزن، زمانی نوسان‌های یک نوسان‌ساز پایدار می‌شود که حاصل‌ضرب بهره ولتاژ تقویت‌کننده (Av) در ضریب بهره ولتاژ مدار فیدبک (Bv) برابر یک شود. تنها دراین شرایط است که مدار دارای نوسان پایدار می‌شود. درشکل ۴۲ مفهوم اصل بارک هاوزن نشان داده شده است. باتوجه به این‌اصل همواره باید بهره‌کل سامانه برابر با یک باشد تا نوسان‌های مدار تداوم یابد.




شکل ۴۲ـ بررسی اصل بارک هاوزن

**Av.Bv=۱**

**Av** = بهره تقویت‌کننده

**Bv** = بهره مدار فیدبک

نکته

معمولاً مدار فیدبک سیگنال را ضعیف می‌کند، درواقع ضریب بهره مدار فیدبک عددی کوچک‌تر ازیک مثلاً $B_V=\frac{۱}{۱۰}$ است. اصل بارک هاوزن زمانی برقرار می‌شود که $A_V=۱۰$ و $AV\times BV=۱۰\times\frac{۱}{۱۰}=۱$ شود. برای تولید نوسان پایدار درمدار باید سه شرط $AV\times BV=۱$ و فیدبک مثبت و مدار تولیدکننده نوسان وجود داشته باشد.

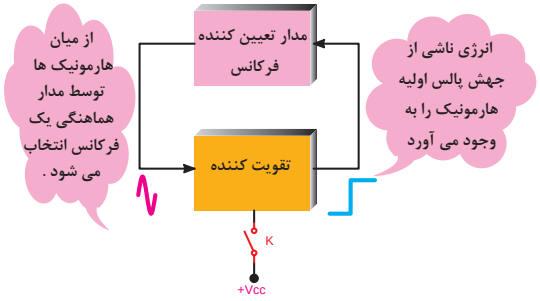
### یک اسیلاتور چگونه به نوسان در می‌آید؟

درشکل ۴۳ سه مرحله از تولید نوسان‌ها در نوسان‌ساز نشان داده شده است. این سه مرحله به ترتیب عبارت‌اند از:

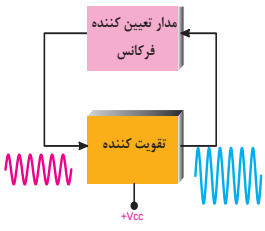
الف) مرحله شروع کار یعنی روشن کردن دستگاه ازطریق فعال کردن کلید

ب) تولید سیگنال اولیه

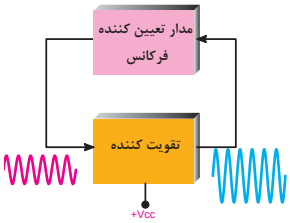
پ) مرحله پایدار شدن نوسان‌ها




الف) مرحلهٔ روشن شدن دستگاه یا زدن کلید K




ب) سیگنال اولیه ساخته می‌شود.

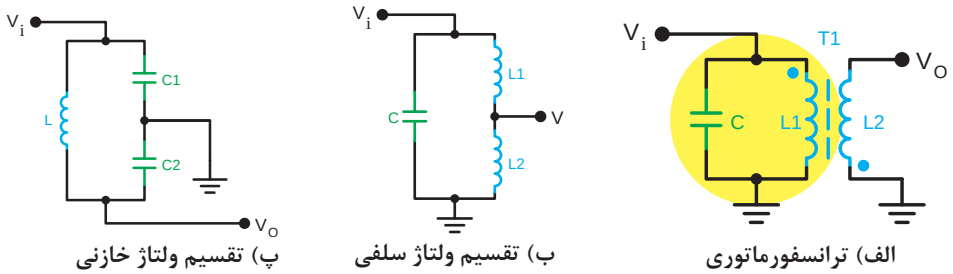



پ) نوسانات پایدار می‌شود (موج سینوسی).

شکل ۴۳ـ مراحل تولید نوسان

## انواع نوسان‌سازهای سینوسی

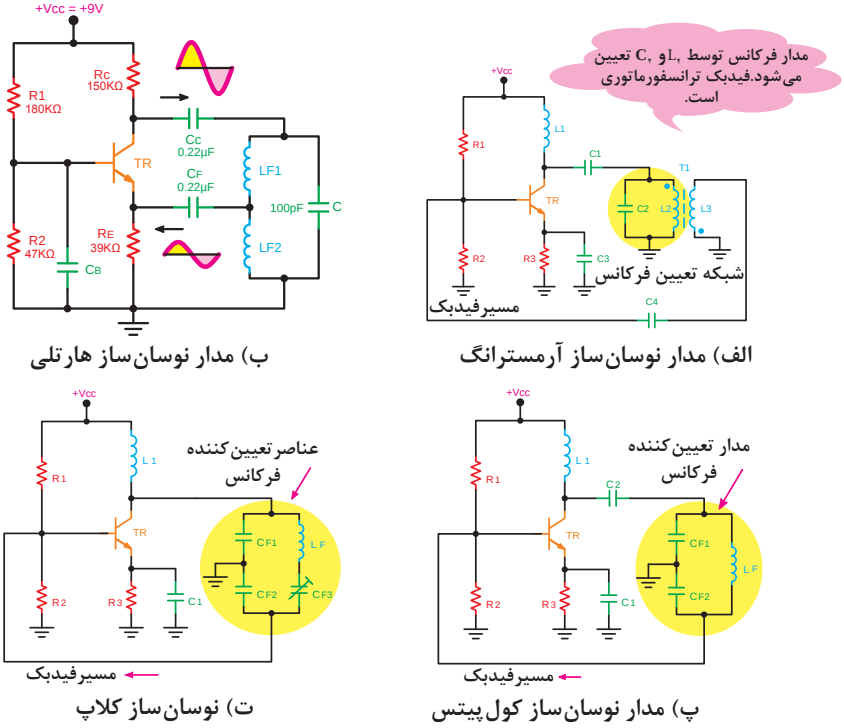
همان‌طورکه اشاره شده مدارهای نوسان‌ساز ازنظرنوع مدارتعیین‌کننده فرکانس به دودسته RC و LC تقسیم‌بندی می‌شوند. در مدارهای LC مدارتعیین‌کننده فرکانس، یک مدارهماهنگی موازی LC است. چون این مدار انرژی را درخود ذخیره می‌کند، آن را مدارتانک (Tank) می‌نامند. درمدارهای RC مدارتعیین‌کننده فرکانس یک مدارترکیبی RC است. چون نوسان‌ساز LC بیشتر در فرستنده‌ها و گیرنده‌های رادیویی به کار می‌رود، دراین پودمان به تشریح نوسان‌ساز با شبکه تولید فرکانس LC می‌پردازیم و سپس چند نمونه نوسان‌ساز RC را تشریح می‌نماییم. درشکل‌های ۴۴ـ الف ـ ب ـ پ انواع شبکه‌های تعیین فرکانس و فیدبک LC نشان داده شده است.




پ) تقسیم ولتاژ خازنی　　ب) تقسیم ولتاژ سلفی　　الف) ترانسفورماتوری

شکل ۴۴ـ شبکه‌های تعیین فرکانس LC

**مدار چند نمونه نوسان‌ساز LC:** درشکل ۴۵ مدار چهارنمونه نوسان‌ساز را مشاهده می‌کنید. درهمهٔ این مدارها تقویت‌کننده به صورت بایاس سرخود رسم شده است. تفاوت مدارها درنوع آرایش ترانزیستور (امیترمشترک یا بیس مشترک) و مدارتعیین‌فرکانس است.




ب) مدار نوسان‌ساز هارتلی　　الف) مدار نوسان‌ساز آرمسترانگ

ت) نوسان‌ساز کلاپ　　پ) مدار نوسان‌ساز کول‌پیتس

شکل ۴۵ـ انواع نوسان‌سازهای LC و نام آنها

تمرین کلاسی

باتوجه به شکل ۴۵ جدول شماره ۱۰ را کامل کنید.

**جدول ۱۰**

| ردیف | نام نوسان‌ساز | شماره فنی قطعات تعیین‌کنندهٔ فرکانس |
|---|---|---|
| ۱ | آرمسترانگ | |
| ۲ | هارتلی | |
| ۳ | کول‌پیتس | |
| ۴ | کلاپ | |

تمرین کلاسی

باتوجه به شکل ۴۵ جدول شماره ۱۱ را کامل کنید.

**جدول ۱۱**

| ردیف | مشخصهٔ ویژه نوسان‌ساز | نام نوسان‌ساز | نوع آرایش ترانزیستور |
|---|---|---|---|
| ۱ | استفاده از تقسیم‌کننده ولتاژ خازنی در مدار فیدبک | | |
| ۲ | استفاده از تقسیم‌کننده ولتاژ سلفی در مدار فیدبک | | |
| ۳ | استفاده از ترانسفورماتور در مدار فیدبک | | |
| ۴ | استفاده ازتقسیم‌کننده ولتاژ خازنی با خازن‌سری با سیم‌پیچ درمدار تانک | | |

کار عملی ۷

**بررسی مدار نوسان‌ساز LC با قطعات واقعی**

**هدف:** راه‌اندازی مدار نوسان‌ساز LC و به‌دست آوردن فرکانس مدار

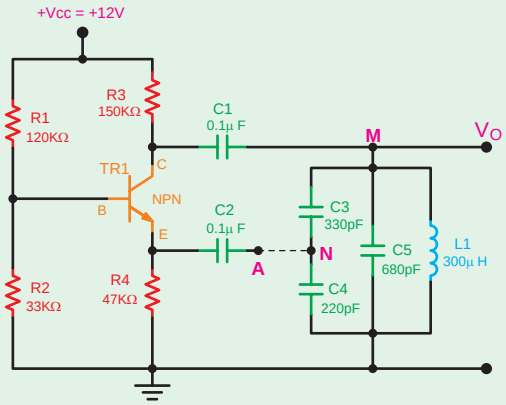
**مواد، ابزار و تجهیزات:** اسیلوسکوپ یک دستگاه، منبع تغذیه یک دستگاه، بِردبُرد یک قطعه، مقاومت ۱۲۰کیلواهم، ۳۳ کیلواهم، ۴۷ کیلواهم، ۱۵۰ کیلواهم، $\frac{۱}{۴}$ وات از هرکدام یک عدد،سلف ۳۰۰ µH یک عدد، خازن ۶۸۰PF، ۳۳۰ PF، ۲۲۰ PF از هرکدام یک عدد، ترانزیستور معمولی برای کاربرد عمومی (General purpose) با بتای ۷۵ تا ۱۲۰ مانند BC۳۳۷،۲SC۹۴۵ یا هرنوع ترانزیستور عمومی دیگر با β بالای ۱۲۰، سیم بِردبُرد، سیم‌های رابط، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

۱ مدار شکل ۴۶ را روی بِردبُرد ببندید.

۲ قبل از اتصال نقطه A به N منبع تغذیه را به مدار وصل کنید و ولتاژ پایه‌های ترانزیستور را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$V_B=$ $V_E=$ $V_{BE}=$ $V_{CE}=$



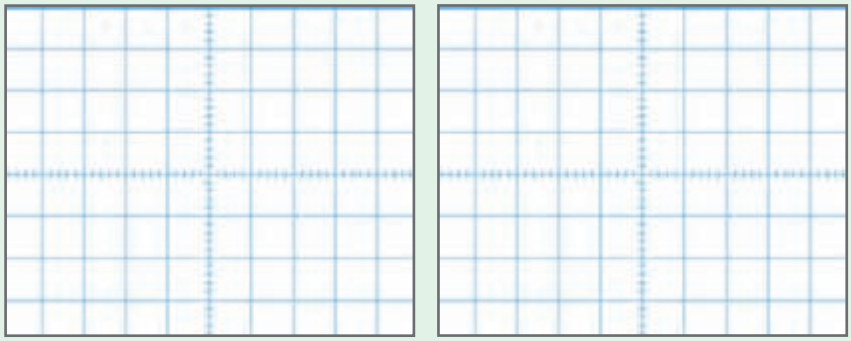

**شکل ۴۶ـ نوسان‌سازهای LC کول‌پیتس**

۳ اتصال بین A و N را برقرار کنید و مدار را راه‌اندازی کنید.

۴ به‌وسیله اسیلوسکوپ شکل موج نقاط M و N را با توجه به فاز آنها درنمودارهای شکل ۴۷ رسم کنید.

۵ آیا ولتاژ ورودی و خروجی مدار تعیین فرکانس با هم هم فاز هستند؟ شرح دهید. .....

۶ مقدار فرکانس و دامنهٔ پیک تا پیک سیگنال ورودی و خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.



الف) شکل موج نقطه M

ب) شکل موج نقطه N

**شکل ۴۷**

$\frac{\text{Time}}{\text{Div}} =$ $\frac{\text{Volt}}{\text{Div}} =$ $\frac{\text{Time}}{\text{Div}} =$ $\frac{\text{Volt}}{\text{Div}} =$

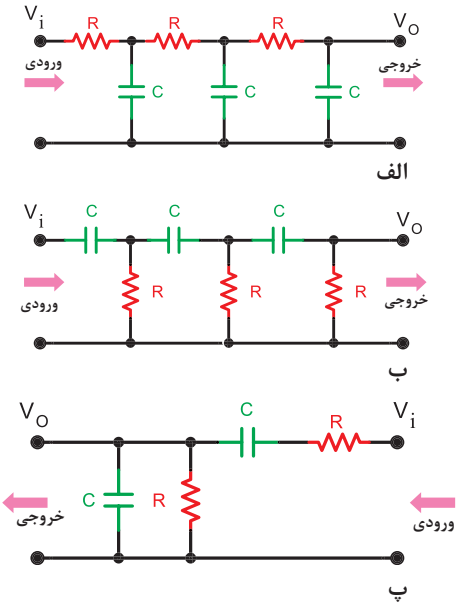
T= F= T= F=

$V_{PP} =$ $V_{PP} =$

## نوسان‌ساز RC

دراین نوسان‌ساز مانند نوسان‌سازهایLC دوجزءتقویت‌کننده و مداربرگشتی وجود دارد. دراین نوسان‌سازها مداربرگشتی معمولاً از R و C تشکیل می‌شود. در نوسان‌ساز R C مانند سایر نوسان‌سازها لازم است دو شرط اصلی ایجاد نوسان یعنی اصل بارک هاوزن و فیدبک مثبت برقرارشود تا مدار بتواند نوسان‌های پایداری

را ایجادکند. شکل‌های ۴۸ـ الف ـ ب ـ پ آرایش‌های مختلف شبکه RC را نشان می‌دهد. این نوسان‌سازها برای تولید فرکانس‌های تا حدود ۱۰۰KHz مناسب هستند.




شکل ۴۸ـ چند نمونه شبکه فیدبک نوسان‌ساز RC

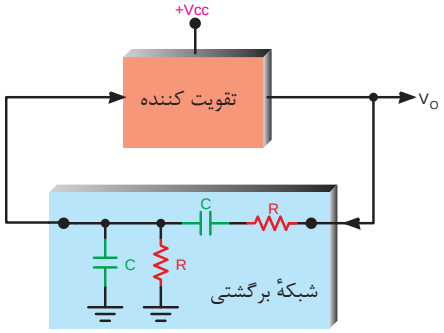
**نوسان‌ساز پل وین(Wein Bridge Oscillator):**
نوسان‌ساز پل وین یک مولد سیگنال سینوسی با اعوجاج کم است. مدار این نوسان‌ساز از یک تقویت‌کننده وشبکه برگشتیRC تشکیل می‌شود. شکل ۴۹ نقشه بلوکی تقویت‌کننده و شبکه برگشتی نوسان‌ساز و رابطه محاسبه فرکانس آن را نشان می‌دهد.

$$F = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$AV = +3$$

$$\Phi = 0$$

اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و خروجی تقویت‌کننده صفردرجه




شکل ۴۹ـ نوسان‌ساز RC پل وین

کار عملی ۸

**بررسی مدار نوسان‌ساز پل وین به صورت نرم‌افزاری**

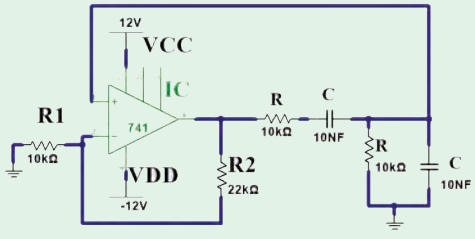
**هدف:** راه‌اندازی مدار نوسان‌ساز پل وین و به‌دست آوردن فرکانس مدار

**مواد،ابزار و تجهیزات:** رایانه،نرم‌افزار مناسب،لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

۱ نرم‌افزار مولتی سیم یا هر نرم‌افزار مناسب دیگر را فعال کنید.

۲ مدار شکل ۵۰ را در فضای نرم‌افزار ببندید.




شکل ۵۰ـ نوسان‌ساز RC پل‌وین

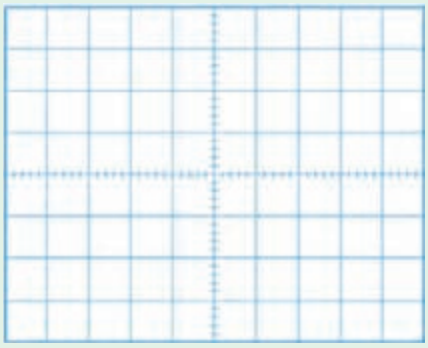
۳ فرکانس نوسان را با استفاده از رابطه $F=\frac{۱}{۲\pi RC}$ محاسبه و یادداشت کنید.

FR=..... HZ

۴ اسیلوسکوپ را به ورودی و خروجی تقویت‌کننده وصل کنید و مدار را راه‌اندازی کنید.

۵ پس از ایجاد نوسان پایدار شکل موج ورودی و خروجی تقویت‌کننده را درنمودارشکل ۵۱ رسم کنید. اگر بهره ولتاژ مدار تنظیم نیست پتانسیومتر ۵ کیلواهم را با مقاومت $R_۲$ سری کنید و بهره را تنظیم کنید تا مدار به نوسان در آید.

۶ اطلاعات خواسته شده را به‌دست آورده و یادداشت کنید.



شکل ۵۱ـ شکل موج ورودی و خروجی

$\frac{Time}{Div}=$ $\frac{Volt}{Div}=$ $\frac{Time}{Div}=$ $\frac{Volt}{Div}=$

T= F= T= F=

$V_{PPOUT}=$ $V_{PPIN}=$

۷ بهرهٔ ولتاژ تقویت‌کننده را محاسبه کنید. $\frac{V_{OUTPP}}{V_{INPP}}=$ =AV

۸ اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و خروجی تقویت‌کننده را از روی شکل موج‌ها به‌دست آورید.

کار عملی ۹

**بررسی مدار نوسان‌ساز RC انتقال فاز به صورت نرم‌افزاری**

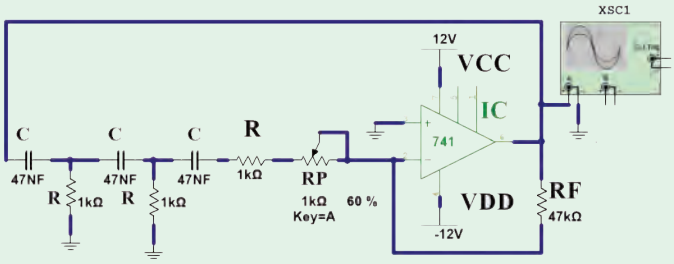
**هدف:** راه‌اندازی مدار نوسان‌ساز RC و به‌دست آوردن فرکانس مدار

**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه، نرم‌افزار مناسب، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

۱ نرم‌افزار مولتی سیم یا هرنرم‌افزار مناسب دیگر را فعال کنید.

۲ مدار (شکل ۵۲) را درفضای نرم‌افزار ببندید.




شکل ۵۲ـ نوسان‌ساز RC

۳ تغذیه متقارن را به مدار وصل کنید و مدار را راه‌اندازی کنید.

۴ با تغییر سر متغیر پتانسیومتر، بهره ولتاژ تقویت‌کننده را تنظیم کنید تا مدار به نوسان درآید.

**توجه :** اسیلوسکوپ نرم‌افزار را فعال کنید و تا ایجاد نوسان پایدار دقایقی صبر کنید. مقادیر $\frac{Volt}{Div}$ و $\frac{Time}{Div}$ را به‌درستی تنظیم کنید تا ۲ تا ۳ سیکل از موج به‌صورت پایدار روی صفحهٔ آن ظاهر شود.

۵ شکل موج تولید شده را درنمودار شکل ۵۳ رسم کنید.

۶ زمان تناوب موج را اندازه بگیرید و فرکانس آن را محاسبه و یادداشت کنید.

۷ سرمتغیر پتانسیومتر را تغییردهید. آیا مدار از نوسان می‌ایستد؟ شرح دهید.

.....

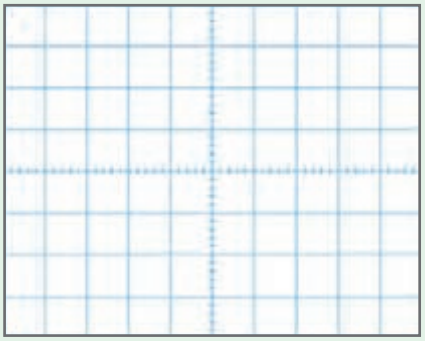
$\frac{Time}{Div} =$

$T =$

$V_{PP} =$

$\frac{Volt}{Div} =$

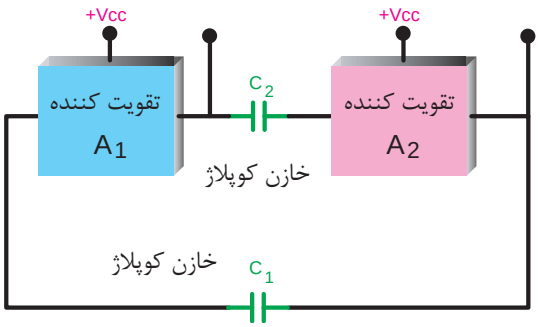
$F =$



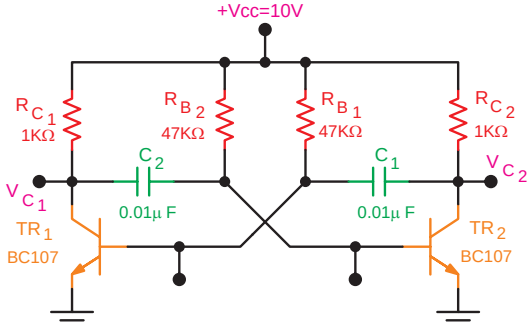
شکل ۵۳

## نوسان‌ساز موج مربعی

یک نمونه نوسان‌ساز موج مربعی مولتی ویبراتور آاستابل نام دارد. این نوسان‌ساز شامل دوطبقه تقویت‌کننده است که خروجی هریک به ورودی دیگری با کوپلاژ خازنی متصل شده است. (درشکل ۵۴ این نوسان‌ساز به‌صورت بلوکی نشان داده شده است. درشکل ۵۵ مداریک‌نمونه مولتی‌ویبراتور آاستابل رسم شده است).




شکل ۵۴ـ بلوک دیاگرام مدار نوسان‌ساز

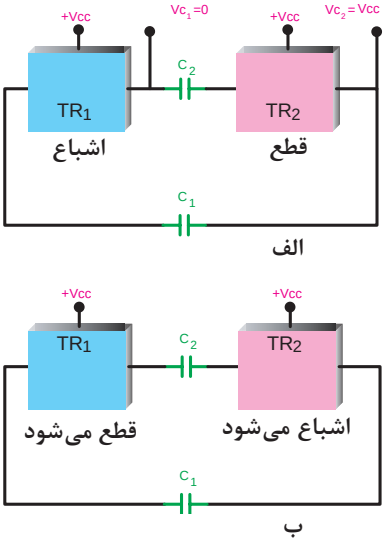



شکل ۵۵ـ مدار مولتی‌ویبراتور آاستابل

هنگامی که یک تقویت‌کننده درحالت اشباع قرار دارد تقویت‌کننده دیگر به قطع می‌رود. وضعیت قطع و اشباع تقویت‌کننده‌ها دوام چندانی ندارد و پس ازمدتی، وضعیت عوض می‌شود. شکل‌های ۵۶، الف و ب این دوحالت را نشان می‌دهد.

**آی‌سی زمان‌سنج NE ۵۵۵:** تراشه زمان‌سنج ۵۵۵ به خاطر استفاده آسان و قیمت پایین آن درحد وسیعی در مدارهای الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این آی‌سی درمدارهای اسیلاتور و تولید پالس به‌کار می‌رود. آی‌سی می‌تواند به عنوان تأخیردهنده زمانی دریک مدار زمان‌سنج و یا به‌عنوان یک مدار نوسانگر استفاده شود. درشکل ۵۷ تصویر ظاهری آی‌سی ۵۵۵ NE را مشاهده می‌کنید. انواع دیگر این آی‌سی با شماره ۵۵۶، ۵۵۸ و ۵۵۹ نیز دربازار موجود است. معمولاً دراین آی‌سی‌ها ۲یا ۴ عدد آی‌سی ۵۵۵ قرار دارد و بسته‌بندی آن ۱۴پایه یا ۱۶پایه است. شکل ۵۸ تصویر ظاهری آی‌سی ۵۵۶ را نشان می‌دهد. درشکل ۵۹ یک نمونه آی‌سی ۵۵۸ را ملاحظه می‌کنید.

قطعات NE۵۵۵ از نوع تجاری درجه حرارت باعملکرد صفردرجه تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد و SE ۵۵۵ برای استفاده نظامی در دمای کاری بین ۵۵- تا ۱۲۵+ درجه سانتی‌گراد ساخته شده‌اند. این آی‌سی‌ها در بسته فلزی با قابلیت اطمینان بالا (بسته‌بندی نوع T) و بسته‌بندی ارزان پلاستیک اپوکسی (بسته‌بندی نوع V) تولید می‌شوند. بنابراین نام این آی‌سی‌ها به‌صورت NE ۵۵۵ V، ۵۵۵ T و NE ۵۵۵ T و SE ۵۵۵ نوشته می‌شود. انواع دیگری از آی‌سی‌های ۵۵۵ با شماره ۷۵۵۵ و TLC ۵۵۵ نیز ساخته شده‌اندکه توان کمتری دارند، این قطعات درمقایسه با آی‌سی ۵۵۵ قدیمی نویزکمتری به منبع تغذیه وارد می‌کنند. شکل ۶۰ یک نمونه آی‌سی TLC ۵۵۵ را نشان می‌دهد. نقشه بلوکی و ترتیب پایه‌ها و مشخصات پایه‌های آی‌سی ۵۵۵ درشکل ۶۱ نشان داده شده است.




شکل ۵۶ــ وضعیت تقویت‌کننده‌ها درحالت قطع و اشباع




شکل ۵۷ــ آی‌سی NE ۵۵۵



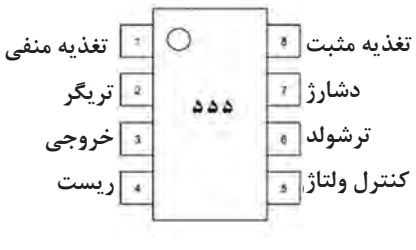
شکل ۵۸ــ آی‌سی NE ۵۵۶




شکل ۵۹ــ آی‌سی NE ۵۵۸




شکل ۶۰ــ آی‌سی ۵۵۵




شکل ۶۱ــ نقشه بلوکی و پایه‌های آی‌سی ۵۵۵

درجدول ۱۲ برخی مشخصات الکتریکی آی‌سی ۵۵۵ آورده شده است.

**جدول ۱۲**

| **Electrical Characteristics**<br>TA= ۲۵ □ Vcc = | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Parameter | Conditions | Limits | | | Units |
| | | LM۵۵۵C | | | |
| | | Min | Typ | Max | |
| Supply Voltage | | ۴/۵ | | ۱۶ | V |
| Supply Current | Vcc=۵V ، RL=∞<br>Vcc=۱۵V ، RL=∞<br>(Low state) (Note ۴) | | ۳<br>۱۰ | ۶<br>۱۶ | mA |

کار عملی ۱۰

**نوسان‌ساز موج مربعی با آی‌سی ۵۵۵**

**هدف:** راه‌اندازی مدار نوسان‌ساز موج مربعی با آی‌سی ۵۵۵ و به‌دست آوردن فرکانس مدار

**مواد، ابزار و تجهیزات:** منبع تغذیه یک دستگاه،اسیلوسکوپ یک دستگاه، بِردبُرد یک قطعه، آی‌سی ۵۵۵ یک عدد، مقاومت ۱۰کیلواهم،۲۲ کیلواهم $\frac{۱}{۴}$ وات از هرکدام یک عدد، خازن ۱۰۰nF، خازن ۲۲ nF از هرکدام یک عدد، سیم بِردبُرد، سیم‌های رابط، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

۱ مدار شکل ۶۳ را روی بِرد بُرد 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.

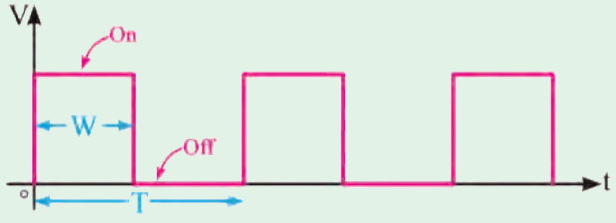
**توجه:** در یک پالس مطابق شکل ۶۲ نسبت زمان وصل پالس (W) به زمان تناوب (T) را چرخهٔ‌کار یا سیکل وظیفه (DutyCycle) می‌گویند و آن را با D نشان می‌دهند.

$$T = ۰/۶۹۳(R_A + ۲R_B) \times C$$

$$F = \frac{۱}{T} = \frac{۱/۴۴}{(R_A + ۲R_B) \times C}$$

$$\text{سیکل وظیفه } D = \frac{R_A + R_B}{R_A + ۲R_B}$$

$$D = \frac{\text{پهنای پالس}}{\text{زمان تناوب}} = \frac{W}{T}$$




شکل ۶۲ـ پالس و زمان وصل و قطع آن

۴ پس از راه‌اندازی مدار شکل موج خروجی و دو سر خازن C را درنمودارهای شکل ۶۴ رسم کنید.
۵ از روی شکل موج خروجی زمان تناوب ، فرکانس و سیکل وظیفه را محاسبه کرده و یادداشت کنید.

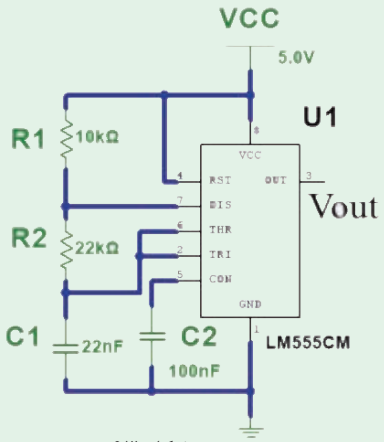
$R_1=R_A$ $C_1=C$

$R_2=R_B$

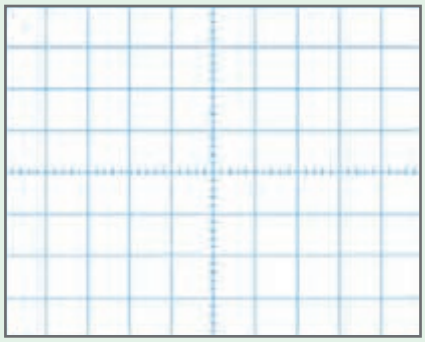
$\frac{Time}{Div}=$ $\frac{Volt}{Div}=$

$T=$ $F=$

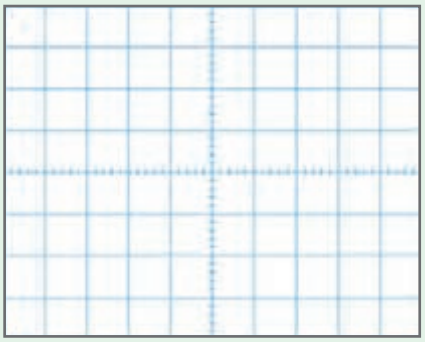
$V_{PP}=$




شکل ۶۳



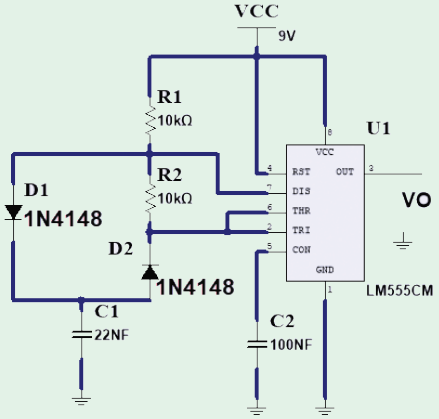
موج دو سر خازن C



موج خروجی

شکل ۶۴

**توجه:** برای تنظیم سیکل وظیفه در ۵۰ درصد می‌توان از شکل ۶۵ استفاده نمود.




شکل ۶۵

**مولد موج مربعی در نرم‌افزار**

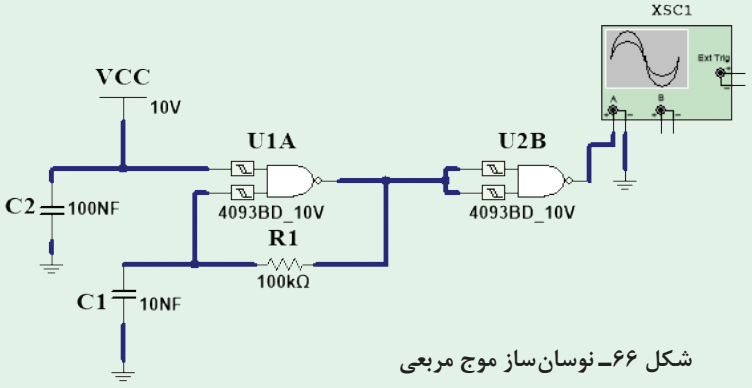
**هدف:** راه‌اندازی مدار نوسان‌ساز موج مربعی و به دست آوردن فرکانس آن

**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه، نرم‌افزار مناسب، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

۱ نرم‌افزار مولتی سیم یا هر نرم‌افزار مناسب دیگر را فعال کنید.

۲ با استفاده از دوگیت NAND اشمیت تریگرآی‌سی شماره ۴۰۹۳، مدارشکل ۶۶ را درفضای نرم‌افزار ببندید.




**شکل ۶۶ـ نوسان‌ساز موج مربعی**

۳ تغذیه مدار را وصل کنید و مدار را راه‌اندازی کنید.

۴ اسیلوسکوپ نرم‌افزار را فعال کنید. محدوده مقادیر $\frac{\text{Volt}}{\text{Div}}$ و $\frac{\text{Time}}{\text{Div}}$ را به‌درستی تنظیم کنید تا حدود ۲ تا ۳ سیکل از موج به صورت پایدار روی صفحهٔ آن ظاهر شود.

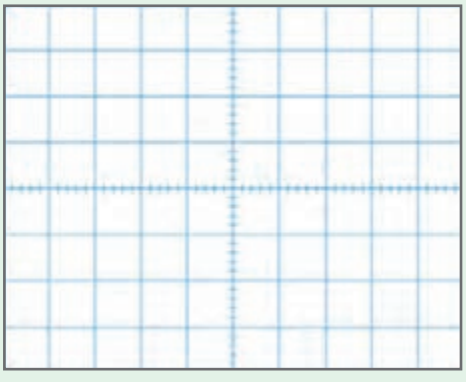
۵ شکل موج تولید شده را در نمودار شکل ۶۷ رسم کنید.

۶ زمان تناوب موج را اندازه بگیرید و فرکانس آن را محاسبه و یادداشت کنید.

$\frac{\text{Time}}{\text{Div}} =$ $\frac{\text{Volt}}{\text{Div}} =$

$T =$ $F =$

$V_{PP} =$



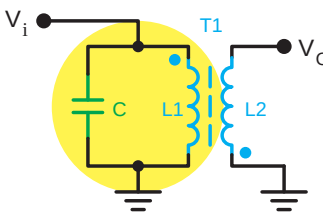
**شکل ۶۷**

## خود ارزیابی

۱ اسیلاتور درمدارهای مخابراتی چه نقشی برعهده دارد؟ شرح دهید.
۲ نیازهای اولیه برای نوسان‌سازی را نام ببرید و تشریح کنید.
۳ اصل بارک هاوزن را شرح دهید.
۴ سه مرحله ازتولید نوسان را درنوسان‌ساز شرح دهید.
۵ شرط تولید موج مربعی را درنوسان‌ساز شرح دهید.
۶ در نوسان‌سازها نوع فیدبک ..... است.
۷ اگر تقویت‌کننده مربوط به مدار نوسان‌ساز درحالت قطع و اشباع کارکند، چه نوع سیگنالی تولید می‌شود؟ چرا؟
۸ انواع نوسان‌سازها را ازنظرشبکه تعیین‌کننده فرکانس نام ببرید.
۹ انواع نوسان‌سازها را ازنظرنوع فیدبک نام ببرید.

۱۰ مدارتعیین فرکانس شکل ۶۸ مربوط به چه نوع نوسان‌سازی است؟

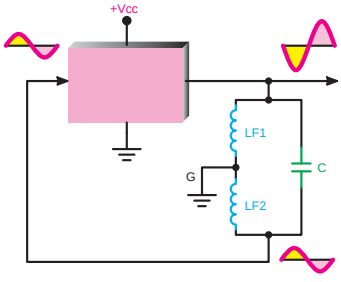
۱ کول پیتس ۲ هارتلی
۳ کلاپ ۴ آرمسترانگ



شکل ۶۸

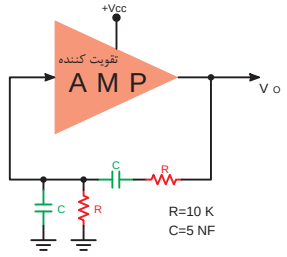
۱۱ نام نوسان‌ساز شکل ۶۹ کدام گزینه است؟

۱ کول پیتس ۲ هارتلی
۳ کلاپ ۴ آرمسترانگ



شکل ۶۹

۱۲ نام نوسان‌ساز شکل ۷۰ ..... و فرمول فرکانس آن ..... است.
تقویت‌کننده دراین نوسان‌ساز باید دارای بهره ولتاژ ..... باشد تا نوسان پایدار ایجاد شود.



شکل ۷۰

# ارزشیابی شایستگی آماده‌سازی سیگنال پیام و حامل

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **نام و نام خانوادگی :** | **شماره ملی:** | | **تاریخ ارزشیابی:** | | |
| **کد حرفه** | ۸۲۱۲۲۳ | **حرفه** | مونتاژکاران تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی | **کدپیمانه/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 نوسان‌ساز و آزمایش روی مدار آنها با رعایت استانداردهای تعریف‌شده

| ردیف | مراحل کار | شرایط انجام کار (ابزار،مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...) | ابزارهای ارزشیابی | استاندارد (شاخص‌ها/داوری/نمره‌دهی) | نتایج ممکن | نمره کسب‌شده |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | محاسبات صحیح و تعیین دقیق مقادیر R و C برای فرکانس فیلتر و نوسان‌ساز | ماشین‌حساب، برگه روابط، نوشت‌افزار، درزمان تعیین شده و کارگاه الکترونیک | بررسی محاسبات، پرسش‌پاسخ و چک‌لیست ارزشیابی | محاسبه دقیق مقادیر متناسب با فرکانس فیلتر و نوسان‌ساز | ۳ | |
| | | | | محاسبه قابل‌قبول مقادیر R و C با خطای جزئی | ۲ | |
| | | | | محاسبه نادرست مقادیر R و C | ۱ | |
| ۲ | پیاده‌سازی مدار درنرم‌افزار و تطابق نتایج با محاسبات تئوری | نرم‌افزار شبیه‌سازی مدار، رایانه، نقشه‌کتاب، مدار فیلتر و نوسان‌ساز در زمان تعیین‌شده و کارگاه الکترونیک | بررسی فایل شبیه سازی و نتایج، مشاهده عملکرد و چک‌لیست‌مهارتی | شبیه‌سازی دقیق و صحیح مدار | ۳ | |
| | | | | شبیه‌سازی قابل‌قبول مدار با خطای جزئی | ۲ | |
| | | | | شبیه‌سازی نادرست یا ناقص مدار | ۱ | |
| ۳ | بستن اصولی مدار، اندازه‌گیری دقیق، اتصال صحیح قطعات روی بردبورد، ثبت فرکانس و شکل موج خروجی با اسیلوسکوپ | بردبورد، قطعات مدار، منبع تغذیه ، اسیلوسکوپ درزمان تعیین‌شده و کارگاه الکترونیک | مشاهده عملکرد، چک‌لیست مهارتی فرد و بررسی اندازه‌گیری‌ها | اتصال صحیح مدار و ثبت دقیق فرکانس و ترسیم موج خروجی | ۳ | |
| | | | | انجام مراحل با دقت قابل‌قبول و خطای جزئی | ۲ | |
| | | | | انجام ناقص مراحل، خطا در اتصال یا عدم ثبت صحیح نتایج | ۱ | |
| ۴ | بررسی تطابق نتایج عملی با شبیه‌سازی و گزارش‌فنی | نتایج اندازه‌گیری، فایل شبیه‌سازی و فرم گزارش کار یا کتاب در کلاس یا کارگاه الکترونیک | بررسی گزارش‌کار، پرسش‌وپاسخ، چک‌لیست ارزشیابی مراحل انجام‌کار | تحلیل تطابق نتایج عملی و شبیه‌سازی و ارائه گزارش فنی | ۳ | |
| | | | | انجام مراحل دقیق و خطای جزئی | ۲ | |
| | | | | نتایج و گزارش‌کار ناقص یا نادرست | ۱ | |
| | **شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش:** کارگاه الکترونیک مجهزبه ابزار و دستگاه‌های شبیه‌سازی و بستن مدارها، تجهیزات حفاظت فردی و قطعات مورد نیاز، انجام فعالیت‌های کارگاهی مطابق با دستورالعمل‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای | | مشاهده‌رفتارهنرجو درحین 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 | 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:**

ـ کسب حداقل نمره ۲ درتمامی شاخص‌ها و اجرای صحیح مراحل شامل محاسبات، شبیه‌سازی، بستن مدار، اندازه‌گیری و تحلیل نتایج (مراحل بحرانی).

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

ـ 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، عیب یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.

# واحد یادگیری ۲ : راه‌اندازی مدارهای فرستنده و گیرنده

## آیا تا به حال فکر کرده‌اید

- چگونه می‌توانیم پیام صوتی را درفضا 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 چه‌کاربردی درکنترل دستگاه‌ها دارند؟
- چه ضرورتی برای هوشمندسازی ساختمان‌ها وجود دارد؟
- سامانه‌های کنترلی درساختمان هوشمند چگونه عمل می‌کنند؟

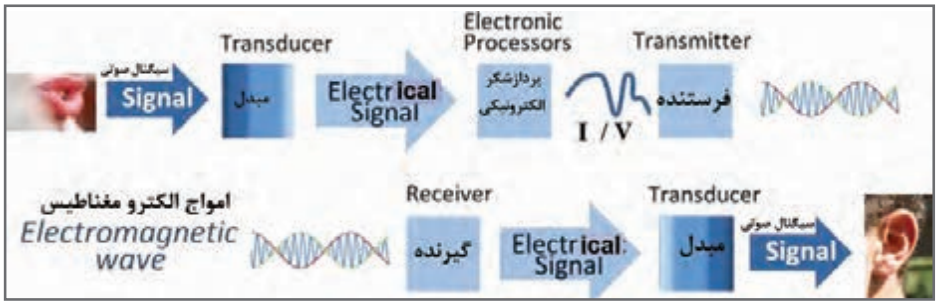
مخابرات به عنوان عامل اصلی گردش و انتقال اطلاعات وافزایش دانش، موجب تحول بنیادی درارکان اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جامعه شده‌است. مخابره داده‌ها بدون مدولاسیون امکان‌پذیر نیست. سیگنال الکتریکی حاصل از صوت و تصویر پس‌از سوارشدن برامواج رادیویی (مدولاسیون) می‌توانند به‌صورت امواج الکترومغناطیس انتشار یابند. امواج رادیویی ارسالی درفضا، به‌وسیله آنتن‌گیرنده دریافت و پردازش می‌شود. به‌این ترتیب امواج رادیویی تبدیل به امواج صوتی و تصویری اولیه می‌شوند تا قابل استفاده باشند. امروزه بااستفاده از مدولاسیون دیجیتال دقت ارسال و دریافت پیام‌ها بهبود پیداکرده است. دراین واحد یادگیری انواع مدولاسیون آنالوگ و دیجیتال آموزش داده می‌شود و برخی مدارهای کاربردی به‌صورت نرم‌افزاری و سخت افزاری آزمایش می‌شود. درنهایت نمونه‌هایی از پروژه کاربردی به‌طورکامل به اجرا در می‌آید. درتمام 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 درمراحل انجام‌کار به آن‌ها توجه شود.

## استاندارد عملکرد

بررسی انواع مدولاسیون و راه‌اندازی و عیب‌یابی پروژه کاربُردی مخابراتی بارعایت استانداردهای تعریف شده.

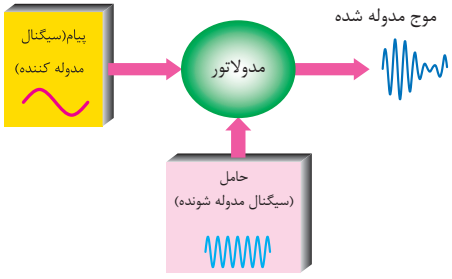
## مدولاسیون (Modulation)

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 ۷۱ــ 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 به‌صورت امواج الکترومغناطیس درفضا پخش کنیم. به این عمل دراصطلاح عمومی، مدولاسیون (Modulation) می‌نامند. سیگنال پیام را سیگنال مدوله‌کننده (Modulating Signal)می‌نامند. سیگنالی‌که 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 به‌صورت بلوکی نشان می‌دهد.




**شکل ۷۲ــ بلوک دیاگرام نحوه انجام مدولاسیون**

### انواع مدولاسیون

در مدولاسیون یکی‌از مشخصه‌های اصلی موج حامل‌که یک سیگنال سینوسی با فرکانس بالا است، توسط پیام کنترل می‌شود. این عمل باید به‌گونه‌ای به اجرا درآید که گیرنده بتواند اطلاعات ارسال شده از قبیل صوت، موسیقی یا تصویر را مجدداً بازسازی‌کند. چون موج حامل تنها سه مشخصهٔ دامنه، فرکانس و فاز را دارد بنابراین تنها می‌توان یکی‌از این سه مشخصه سیگنال حامل را با سیگنال پیام کنترل‌کرد، به‌این‌ترتیب سه نوع مدولاسیون، دامنه، فرکانس و فاز شکل می‌گیرد.شکل ۷۳ تقسیم‌بندی کلی مدولاسیون را نشان می‌دهد.



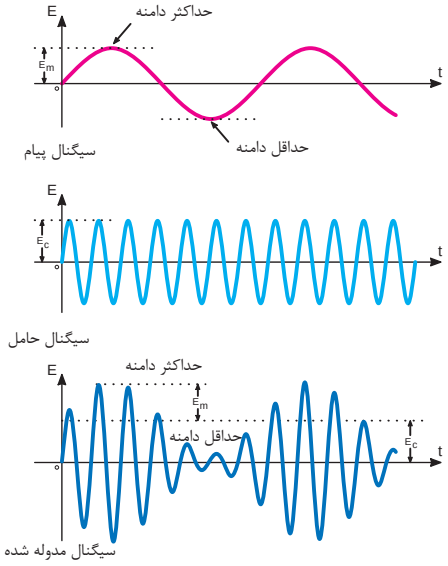

**شکل ۷۳ــ تقسیم‌بندی کلی مدولاسیون**

## مدولاسیون‌های آنالوگ

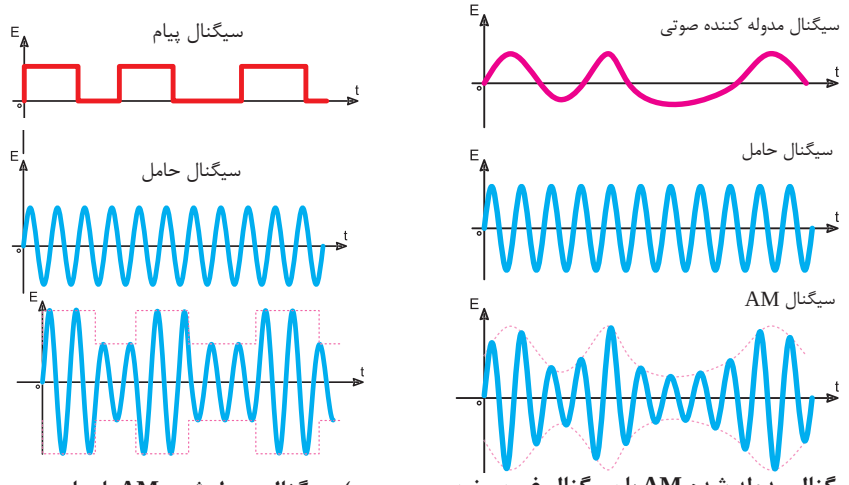
**مدولاسیون دامنه (Amplitude Modulation):**

در مدولاسیون دامنه، فرکانس موج حامل (کاریر) ثابت است و دامنه حامل متناسب با دامنه پیام (موج مدوله‌کننده) تغییر می‌کند. دراین حالت سرعت تکرار تغییرات دامنه حامل متناسب با فرکانس پیام خواهد بود. مدولاسیون دامنه را به اختصار به صورت AM می‌نویسند. درشکل ۷۴ سیگنال پیام و سیگنال حامل سینوسی و سیگنال مدوله شده AM را مشاهده می‌کنید.

درشکل۷۵،الف و ب دو نوع پیام غیرسینوسی و حامل سینوسی و موج مدوله شده مربوط به آنها را مشاهده می‌کنید.




**شکل ۷۴ــ پیام، حامل و سیگنال مدوله شده**




**الف) سیگنال مدوله شده AM با سیگنال غیرسینوسی**

**ب) سیگنال مدوله‌شده AM با پیام مربعی**

**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 براثر اعمال سیگنال پیام را بیان می‌کند.

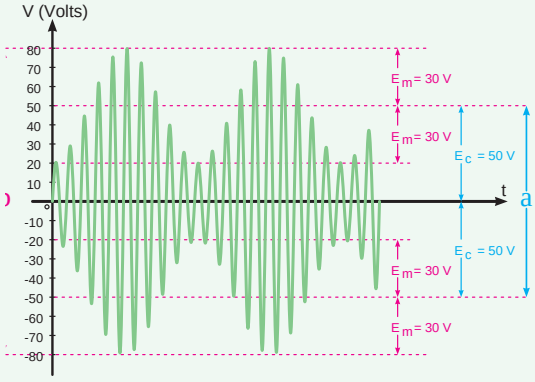
$$\text{درصد مدولاسیون} = M = mp = \frac{\text{دامنه پیام}}{\text{دامنه حامل}} \times ۱۰۰\,\% = \frac{Em}{Ec} \times ۱۰۰\,\%$$

مثال

درصد مدولاسیون را در شکل ۷۶ به‌دست آورید.

$$\text{درصد مدولاسیون} = M = mp = \frac{\text{دامنه پیام}}{\text{دامنه حامل}} \times ۱۰۰٪$$

$$= \frac{۳۰}{۵۰} \times ۱۰۰٪ = ۶۰٪$$




شکل ۷۶

کار عملی

**مدولاتور دیودی به‌صورت نرم‌افزاری**

**هدف:** راه‌اندازی مدار مدولاتور دیودی و بررسی درصد مدولاسیون

**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه ـ نرم‌افزار مناسب ـ لوازم‌التحریر

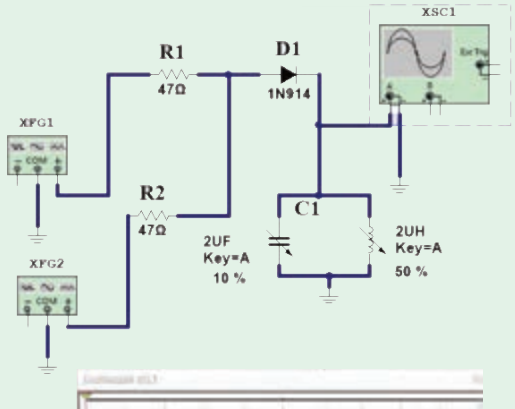
**مراحل اجرای کار:**

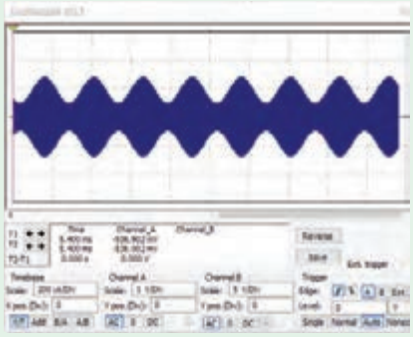
۱ نرم‌افزار مولتی سیم یا هر نرم‌افزار مناسب دیگر را فعال کنید.

۲ مدار (شکل ۷۷) را درفضای نرم‌افزار 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 راه‌اندازی کنید.

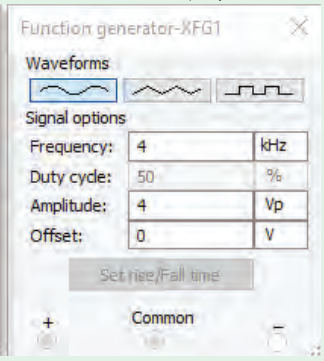
۴ با تنظیم سیگنال پیام و سیگنال کریر مطابق شکل ۷۸ و تنظیم فیلتر میان‌گذر LC موج مدوله شده را روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده کنید.



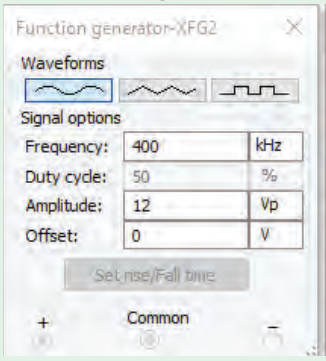



شکل ۷۷

مشخصات پیام




مشخصات حامل




شکل ۷۸

۵ با استفاده از دامنه ماکزیمم و مینیمم موج مدوله شده و از رابطه زیر درصد مدولاسیون رامحاسبه کنید.

$$mp=\frac{\text{دامنه پیام}}{\text{دامنه حامل}}\times ۱۰۰٪=\frac{Amax-Amin}{Amax+Amin}\times ۱۰۰٪$$

۶ دامنه پیام را روی ۲ ولت تنظیم کنید. موج مدوله شده را مشاهده کنید.

۷ دامنه پیام را روی ۱۲ولت تنظیم کنید. موج مدوله شده را مشاهده کنید.

۸ درکدام مرحله از مدولاسیون دامنه پیام به صفر رسیده است؟

۹ دامنه پیام را روی ۴ ولت پیک تنظیم کنید و فرکانس پیام را یک‌بار روی ۱کیلوهرتز 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 به‌وسیله فانکشن‌ژنراتور یا مولد RF

**هدف:** مشاهده موج مدوله‌شده AM

**مواد، ابزار و تجهیزات:** اسیلوسکوپ یک دستگاه، فانکشن ژنراتور، سیم‌های رابط

**مراحل اجرای کار:**

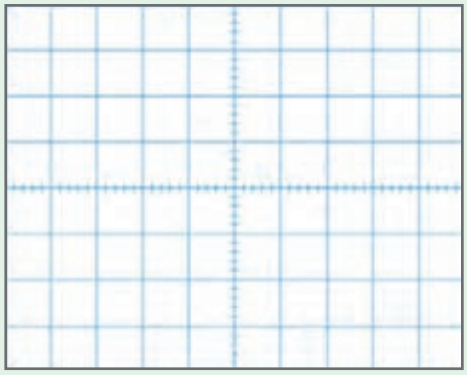
۱ با استفاده از راهنمای کاربرد فانکشن‌ژنراتوری که سیگنال AM دارد یا مولد RF، طرزکار دستگاه را بیاموزید.

۲ فانکشن ژنراتور یا سیگنال‌ژنراتور RF را روی فرکانس ۵۰۰KHZ با مدولاسیون AM داخلی قرار دهید.

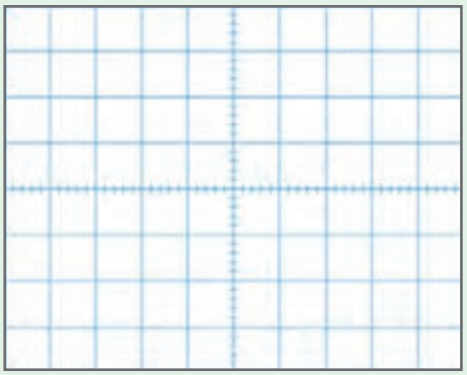
۳ دامنهٔ درصد مدولاسیون سیگنال ژنراتور را آن‌قدر افـزایش دهید تـا دامنهٔ پیام نصف دامنهٔ حـامل شود ($Em=\frac{Ec}{۲}$). دراین حالت مدولاسیون ۵۰ درصد به وجود می‌آید.

۴ شکل موج خروجی مدار را در نمودار شکل ۷۹ رسم کنید.

۵ سیگنال ژنراتور را روی موج مربعی و فرکانس ۱KHZ قراردهید و درصد مدولاسیون را روی ۵۰ درصد تنظیم کنید و شکل موج خروجی مدار را درنمودار شکل ۸۰ رسم کنید.

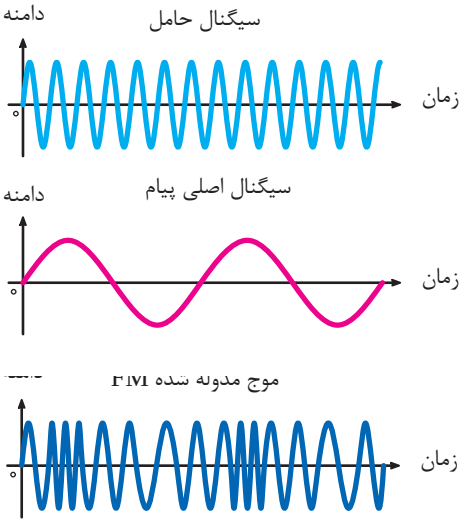


شکل ۷۹



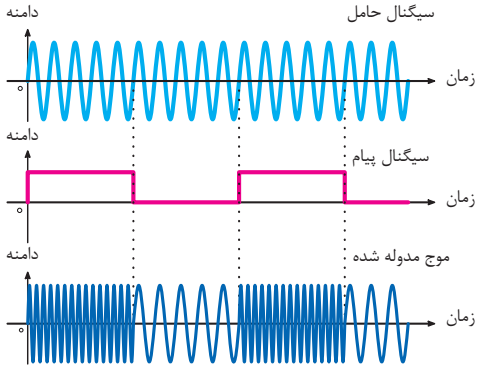
شکل ۸۰

**مدولاسیون فرکانس (Frequency Modulation):** درصورتی‌که فرکانس سیگنال حامل، متناسب با تغییرات دامنه پیام تغییرکند مدولاسیون فرکانس ایجاد می‌شود. دراین‌حالت سرعت تکرارتغییرات فرکانس موج حامل متناسب با فرکانس پیام خواهد بود. مدولاسیون فرکانس را با FM نشان می‌دهند. درشکل ۸۱ مدولاسیون FM با پیام سینوسی نشان داده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، هنگامی‌که دامنه پیام صفر است، فرکانس موج مدوله شده برابر با موج حامل می‌شود. با افزایش دامنه سیگنال پیام، فرکانس حامل افزایش می‌یابد (فشرده می‌شود) و باکاهش دامنه پیام، فرکانس حامل کم می‌شود. شکل ۸۲ پیام مربعی‌که روی سیگنال حامل سینوسی به‌صورت FM مدوله شده است را نشان می‌دهد.

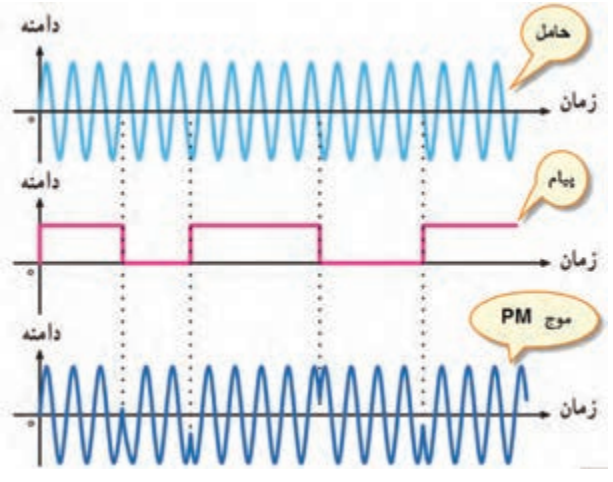



**شکل ۸۱ــ سیگنال مدوله‌شده FM با پیام سینوسی**

**مدولاسیون فاز (Phase Modulation):** اگر فاز سیگنال حامل متناسب با دامنه سیگنال پیام تغییرکند مدولاسیون فاز به وجود می‌آید. دراین‌حالت سرعت تکرار تغییرات فاز برابر با فرکانس پیام خواهد بود. مدولاسیون فاز از پاره‌ای جهات مشابه مدولاسیون FM است. مدولاسیون فاز را با PM نشان می‌دهند (شکل۸۳).

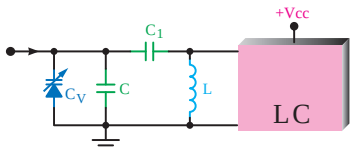



**شکل ۸۲ــ سیگنال مدوله‌شده FM با پیام مربعی**




**شکل ۸۳ــ سیگنال مدوله‌شده PM با پیام مربعی**

**نوسان‌ساز VCO(Voltage Controlled Oscillator):**
اسیلاتور VCO یک نوع نوسان‌ساز است که فرکانس آن را می‌توان با استفاده از ولتاژ DC ورودی تغییر داد. درفرکانس‌های بالا برای کنترل فرکانس معمولاً دیود خازنی (دیود ورکتور ـ Varactor) به‌کار می‌رود. این دیود بخشی از مدار هماهنگ اسیلاتور LC را تشکیل می‌دهد. در شکل ۸۴ بلوک نوسان‌ساز LC را همراه با مدار رزونانس آن و دیود خازنی مشاهده می‌کنید، با تغییر ولتاژ DC ظرفیت دیود خازنی تغییر می‌کند و درنهایت ظرفیت خازنی معادل مدار تانک را تغییر می‌دهد. باتغییر ظرفیت خازنی فرکانس نوسان‌ساز تغییر می‌کند.



شکل ۸۴ـ نوسان‌ساز VCO با دیود خازنی

کار عملی ۱۳

**بستن مدار نوسان‌ساز VCO نرم‌افزاری یا به‌صورت سخت‌افزاری**

**هدف:** بررسی عملکرد نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ(VCO)

**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه، نرم‌افزار مناسب، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

۱ نرم‌افزار مولتی سیم یا هر نرم‌افزار مناسب دیگر را فعال کنید.

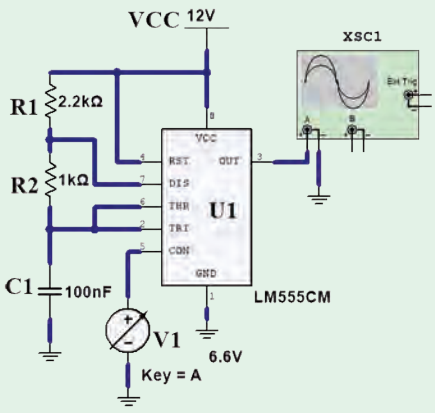
۲ مدار (شکل ۸۵) را درفضای نرم‌افزار ببندید.

۳ فرکانس متر را به خروجی اتصال دهید و طبق شکل ۸۶ آن‌را تنظیم کنید.

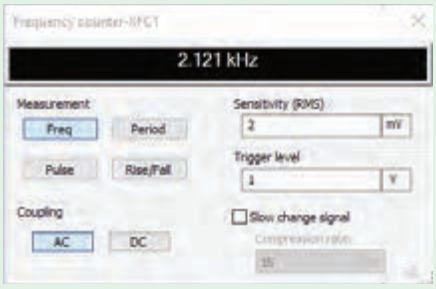
۴ شکل موج خروجی مدار را روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده کنید.

۵ ولتاژ DC ورودی مدار را مطابق جدول ۱۳ تغییردهید. فرکانس خروجی را به‌کمک فرکانس متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

**فکر کنید:** آیا تغییر فرکانس توسط ولتاژ درنوسان‌ساز VCO می‌تواند شباهتی با تغییرفرکانس توسط دامنه پیام در مدولاسیون FM داشته باشد؟



شکل ۸۵ـ مدار نوسان‌ساز VCO



شکل ۸۶ـ تنظیم فرکانس متر نرم‌افزار

**جدول ۱۳**

| ردیف | ولتاژ ورودی DC (V) | 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 درمورد مدولاسیون AM کدام گزینه صحیح است؟

۱) دامنهٔ کریر متناسب با فرکانس پیام تغییر می‌کند.

۲) سرعت تغییر فرکانس کریر متناسب با دامنهٔ پیام است.

۳) دامنهٔ کریر متناسب با دامنهٔ پیام تغییر می‌کند.

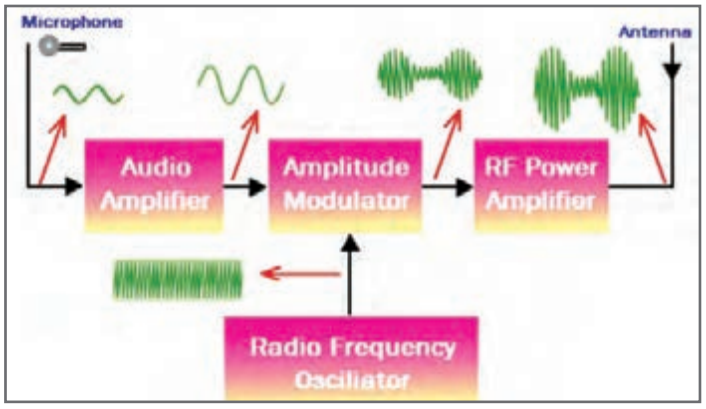
۴) سرعت تغییر دامنهٔ کریر متناسب با دامنهٔ پیام است.

۳ شکل ۸۷ مدولاسیون AM را نشان می‌دهد. مراحل اجرای کار را به فارسی بنویسید.

۴ درمدولاسیون فرکانس، دامنهٔ کریر.....است و فرکانس کریر متناسب با..... پیام تغییر می‌کند.

۵ در مدولاسیون فاز، دامنه و فرکانس‌کریر ثابت است و فازکریر متناسب بادامنهٔ پیام تغییر می‌کند.

صحیح ☐ غلط ☐



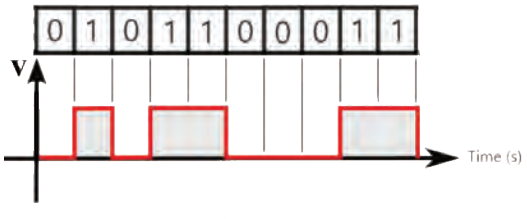

شکل ۸۷

## مدولاسیون‌های پالس و دیجیتال (Pulse and Digital modulation)

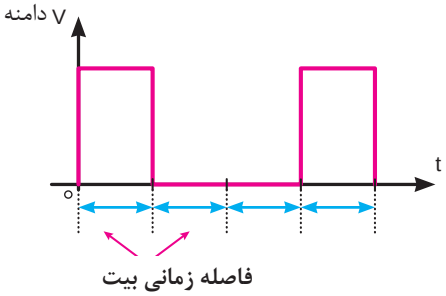
درروش‌های جدید مدولاسیون از مدولاسیون پالس و مدولاسیون دیجیتال استفاده می‌شود. دراین‌نوع مدولاسیون‌ها، سیگنال‌های آنالوگ پیام به‌نوعی از سیگنال‌های پالسی یا دیجیتالی تبدیل می‌شود. عامل این‌تبدیل موج حامل یا کریر است. این‌نوع مدولاسیون‌ها انواع متنوع و گسترده‌ای دارندکه دراین قسمت به‌تشریح آن می‌پردازیم. اگر سیگنال کریر (حامل) به‌صورت پالس (به‌صورت منفصل) باشد، دراین‌صورت مدولاسیون‌های پالسی شکل می‌گیرد.

### سیگنال‌های دیجیتال

داده‌ها می‌توانند به‌صورت دیجیتال نمایش داده شوند. به‌عنوان مثال می‌توان ۱منطقی را به‌صورت ولتاژ مثبت و صفرمنطقی را به‌صورت ولتاژ صفر نمایش داد. شکل ۸۸ یک سیگنال دیجیتال را نشان می‌دهد.

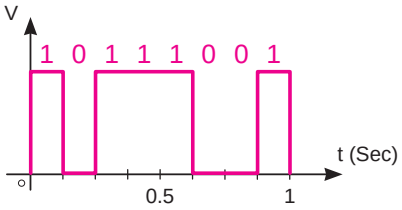



شکل ۸۸ـ سیگنال دیجیتال




شکل ۸۹ـ فاصله زمانی یک بیت

**فاصله زمانی بیت Bit Interval:** چون اکثر سیگنال‌های دیجیتالی غیرتناوبی هستند لذا برای توصیف آنها پریود یا فرکانس مناسب نیست. ازفاصله زمانی بیت به‌جای پریود استفاده می‌شود. فاصله زمانی بیت، زمان لازم برای ارسال یک بیت است. شکل ۸۹ یک نمونه سیگنال دیجیتالی و فاصله زمانی یک بیت را نشان می‌دهد.




شکل ۹۰ـ سیگنال دیجیتالی با هشت BPS

**نرخ بیت Bit Rate:** به‌جای فرکانس از نرخ بیت استفاده می‌شود. سرعت انتشار بیت‌ها را نرخ بیت می‌نامند. نرخ بیت تعداد بیت‌های ارسالی دریک‌ثانیه است. نرخ بیت برحسب بیت‌درثانیه bps (Bit Per Second) می‌باشد. درشکل ۹۰ یک سیگنال دیجیتالی با bps برابر۸ رسم شده است.

مثال

۱ نرخ بیت یک سیگنال دیجیتالی برابر bps ۲۰۰۰ است. فاصله زمانی هر بیت چقدر است؟
پاسخ: فاصله زمانی بیت عکس نرخ بیت است.

$$\text{فاصله زمانی بیت} = \frac{۱}{۲۰۰۰} = ۰/۰۰۰۵ \text{ sec} = ۵۰۰ \text{ µsec}$$

۲ فاصله زمانی یک سیگنال دیجیتالی برابر µsec ۵۰ است. نرخ بیت چقدر است؟
پاسخ: نرخ بیت عکس فاصله زمانی بیت است.

$$\text{نرخ بیت} = \frac{۱}{۵۰\times۱۰^{-۶}} = \frac{۱۰۰۰۰۰۰}{۵۰} = ۲۰۰۰۰ \text{ bps} = ۲۰ \text{ kbps}$$

## انواع مدولاسیون‌های پالسی

مدولاسیون‌های پالسی به دو دسته تقسیم می‌شوند.

**الف) مدولاسیون‌های منفصل:** از انواع این مدولاسیون می‌توان PPM، PAM و PWM (PDM) را نام برد که کاربردهای مخابراتی و صنعتی دارند، درکاربردهای مخابراتی PPM برای اندازه‌گیری‌های رادار به کار می‌رود. ازکاربردهای صنعتیPWM می‌توان کنترل دور و سرعت موتور را نام برد.

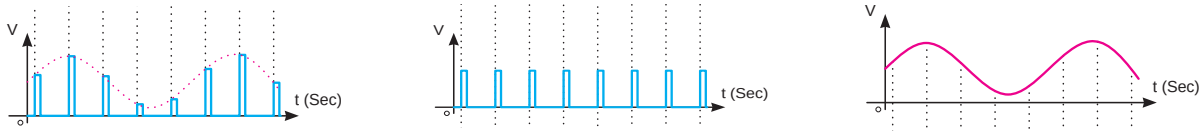
پژوهش کنید

درمورد مدولاسیون PPM، PAM و PWM (PDM) و کاربرد آنها تحقیق کنید و نتایج را ارائه دهید.

**ب) مدولاسیون‌های دیجیتال:** مدولاسیون دیجیتال بسیار متداول است. یکی از انواع این مدولاسیون PCM است که در سیستم‌های مخابره دیجیتال (مانند تلفنی، تصویری) به‌کار می‌رود. در PCM پیام به‌صورت کدهای دیجیتالی منتقل می‌شود. برای مسافت‌های طولانی‌تر از انواع دیگر مدولاسیون‌های دیجیتال مانند FSK، ASK و PSK استفاده می‌شود

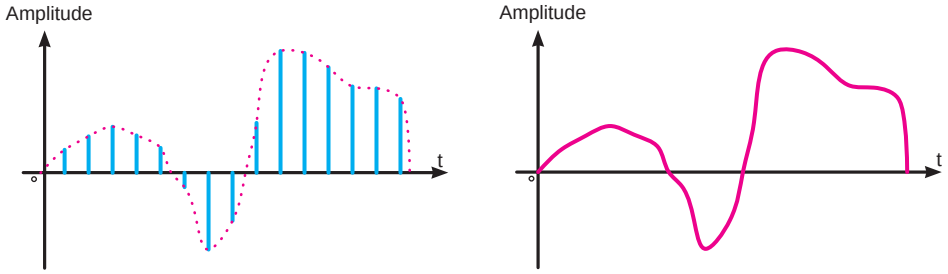
### سیگنال منفصل (گسسته Discrete)

اگر از سیگنال آنالوگ به صورت پالسی نمونه‌برداری (Sampling) کنیم، سیگنال منفصل به‌دست می‌آید. این نمونه‌برداری طبق شکل ۹۰ درفواصل‌زمانی معین که زمان تناوب نمونه‌برداری ( Sampling Period) نامیده می‌شود، صورت می‌گیرد. عمل نمونه‌برداری به‌وسیله پالس‌های سیگنال حامل صورت می‌گیرد. دراین‌حالت دامنه سیگنال حامل (Ac) تحت‌تأثیر 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. درشکل ۹۱ یک نمونه سیگنال پیام آنالوگ، حامل‌پالسی و سیگنال مدوله شده PAM را ملاحظه می‌کنید. درشکل ۹۲ نوع دیگری از پیام را ملاحظه می‌کنیدکه به‌صورت PAM درآمده است. دراین شکل پهنای پالس‌های حامل بسیارکم است که به آن پالس‌های سوزنی (Impulse) می‌گویند.




الف) سیگنال آنالوگ پیام　　ب) سیگنال حامل پالسی　　ج) سیگنال مدوله‌شده PAM

**شکل ۹۱ـ سیگنال پیام، حامل و سیگنال مدوله شده**

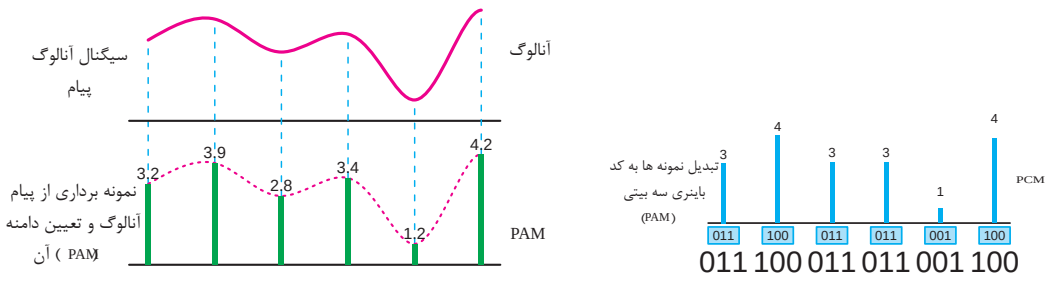



**شکل ۹۲ـ سیگنال پیام و سیگنال PAM**

### مدولاسیون پالسی کدشده PCM (Pulse Code Modulation)

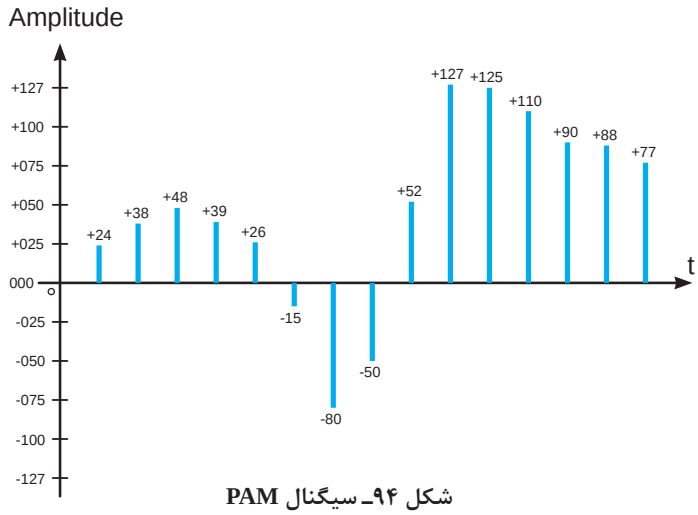
اگر سیگنال منفصل (PAM) را بایک درجه‌بندی مشخص و تعریف شده به کدهای باینری تبدیل‌کنیم مدولاسیون PCM شکل می‌گیرد. این روش را کوآنتیزه‌کردن (Quantization) می‌نامند.

درشکل ۹۳ سیگنال آنالوگ را مشاهده می‌کنیدکه ابتدا به سیگنال PAM تبدیل شده است. درمرحله بعد سیگنال PAM را درجه‌بندی کرده‌ایم و کد معادل آن‌را به‌دست آورده‌ایم. دراین‌مرحله سیگنال PAM به PCM تبدیل شده است. کد استفاده شده این تبدیل سه بیتی است.




**شکل ۹۳ـ سیگنال پیام و سیگنال PAM و PCM**

یک کد سه بیتی ۸= $۲^{۳}$ حالت را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر دامنه انتخاب شده در ۸ سطح مختلف تقسیم‌بندی می‌شود.برای دقت بیشتر در مدرج‌کردن، باید به نمونه برداشته شده، مقادیر صحیح بیشتری اختصاص داد. لذا تعداد بیت‌های کوآنتیزه، افزایش می‌یابد. مثلاً با استفاده از کد ۷ بیتی ۱۲۸ = $۲^{۷}$ حالت را می‌توان نشان داد. در واقع ۱۲۸سطح ولتاژ مختلف رامی‌توان انتخاب نمود. در شکل ۹۳ یک سیگنال PAM را مشاهده می‌کنیدکه به نمونه‌های برداشته شده سطوح بیشتری اختصاص داده شده است. همانطورکه مشاهده می‌شود در۱۵ نمونه برداشته شده ازپیام، سطوح ولتاژ بین حداقل ۱۵ و حداکثر ۱۲۷ وجود دارد. به عبارت دیگر بالاترین سطح ولتاژ اختصاص داده شده درشکل ۹۴، ۱۲۷ است که لزوماً باید یک کُد باینری۷ بیتی باشد.




**شکل ۹۴ـ سیگنال PAM**

توجه

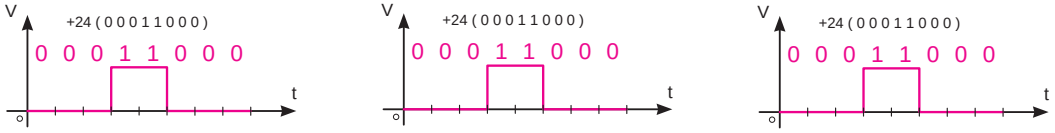
توجه داشته باشید که عدد ۱۲۷ از نظر کمیت معادل ۱۲۷ولت نیست، بلکه معادل بیشترین دامنه‌ای است‌که سیگنال آنالوگ دارد.

مقادیر صحیح اختصاص داده شده به‌کد باینری۷ بیتی تبدیل می‌شود. چون مقادیر نمونه‌برداری شده ممکن است مثبت یا منفی باشند، برای مقادیر مثبت و منفی علامتی درنظر می‌گیرند. برای این‌منظور بیت هشتمی را درسمت چپ کد۷ بیتی قرار می‌دهند تادراین حالت مثبت یا منفی بودن دامنه نمونه برداری شده را تعیین کنند. اگر مقادیر نمونه‌برداری شده مثبت باشند از بیت (۰) و اگرمنفی باشند از بیت (۱) درسمت چپ استفاده می‌شود. مثلاً ۲۴+ درتبدیل به کد باینری به‌صورت ۰۰۱۱۰۰۰که ۷ بیتی است نشان داده می‌شود.

نکته

در تبدیل عدد ۲۴+ به کد باینری، نتیجه صورت ۱۱۰۰۰ درمی‌آید که ۵ بیتی است. برای تبدیل آن به کد ۷ بیتی، تعداد دو بیت «۰» در سمت چپ قرار داده‌ایم. چون ۲۴ علامت مثبت دارد، یک صفر درسمت چپ بیت‌ها قرار می‌گیرد و به‌این‌ترتیب ۲۴+ باکد ۸ بیتی به‌صورت ۰۰۰۱۱۰۰۰ نشان داده می‌شود.

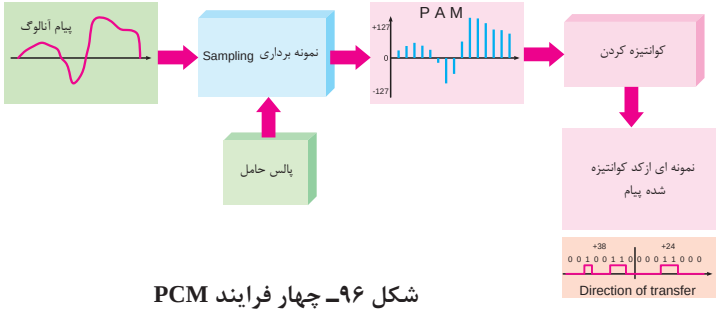
بعد از عمل کدبندی باینری، سیگنال دیجیتال به‌دست می‌آید. درشکل ۹۵ سه نمونه سیگنال دیجیتال برای اعداد ۲۴+، ۳۸+ و ۴۸- داده شده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌کنید، سیگنال خروجی PCM به‌دست آمده، سیگنال دیجیتال معادل تعدادی ازنمونه‌های برداشته شده ازپیام است.




سیگنال دیجیتال برای عدد ۳۸+ | سیگنال دیجیتال برای عدد ۲۴+ | سیگنال دیجیتال برای عدد ۴۸-

**شکل ۹۵ـ سه نمونه سیگنال دیجیتال**

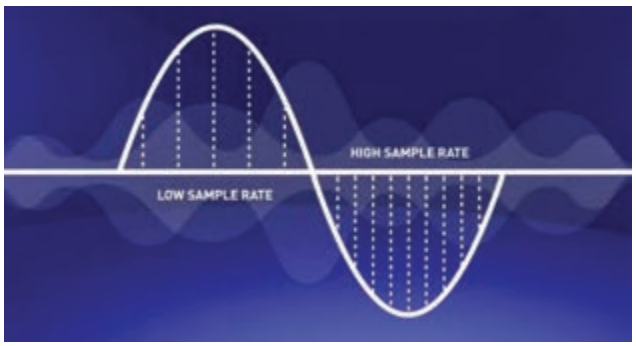
درشکل ۹۶ چهارفرایند PCM که شامل، PAM کوآنتیزه‌کردن، کدبندی باینری و کدبندی دیجیتال به دیجیتال است، نشان داده شده است.



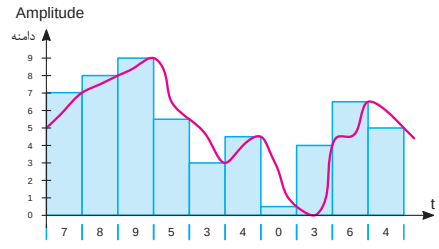

**شکل ۹۶ـ چهار فرایند PCM**

## فرکانس نمونه‌برداری (Sampling Rate)

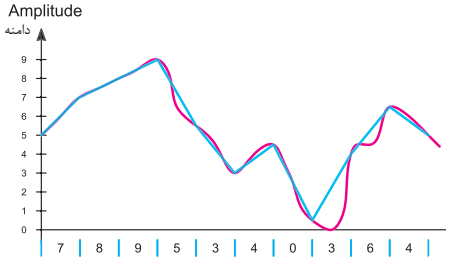
نرخ نمونه‌برداری (Sampling Frequency) یا سرعت نمونه‌برداری عبارت از تعداد نمونه‌هایی است‌که دریک ثانیه از پیام برداشته می‌شود. هرقدر تعداد نمونه‌ها درثانیه بیشتر شود، هنگام تبدیل و بازسازی نمونه‌ها (سیگنال منفصل یا PAM)به سیگنال آنالوگ باتغییرشکل موج کمتری روبه‌رو می‌شویم. درشکل ۹۷ نمونه‌برداری‌کم و زیاد را برای دونیم‌سیکل مشاهده می‌کنید. درشکل ۹۸ نمونه‌برداری از سیگنال آنالوگ و درشکل ۹۹ موج بازسازی‌شده آن رسم شده است.




**شکل ۹۷ـ نمونه‌برداری متفاوت**




شکل ۹۸ــ نمونه‌برداری از سیگنال آنالوگ

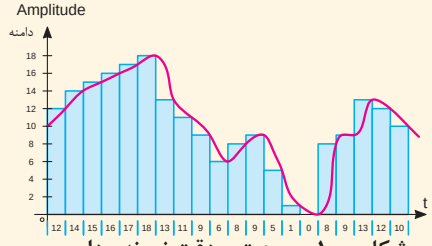



شکل ۹۹ــ موج بازسازی شده

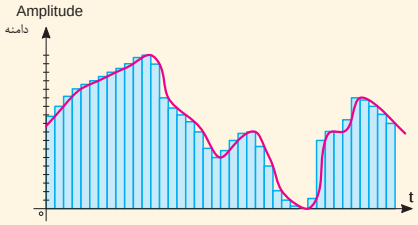
فعالیت گروهی

درشکل‌های ۱۰۰ و ۱۰۱ نمونه‌های برداشته‌شده دریک ثانیه ( سرعت نمونه‌برداری) وتعداد مقادیر که به‌هرنمونه اختصاص داده‌شده ( دقت نمونه‌برداری) متفاوت است. پیام درکدام مورد دقیق‌تر بازسازی می‌شود؟.....

.....




شکل ۱۰۰ــ سرعت و دقت نمونه‌برداری دوبرابر




شکل ۱۰۱ــ سرعت و دقت نمونه‌برداری چهار برابر

همان‌طورکه مشاهده می‌شود هرقدر سرعت و دقت نمونه برداری بیشتر شود، سیگنال دیجیتال تهیه شده وقتی به سیگنال آنالوگ تبدیل می‌شود به‌سیگنال اصلی آنالوگ شبیه‌تر است. اثبات شده است به منظور تولید صحیح مجدد سیگنال آنالوگ با استفاده از سیگنال PAM، فرکانس نمونه‌برداری باید حداقل دوبرابر 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 $\frac{۱}{۱۰۰۰۰}$ ثانیه (۱۰۰μSec) باید یک نمونه از سیگنال برداشته شود.

**تعداد بیت درهر نمونه:** بعدازتعیین نرخ نمونه‌برداری باید تعداد بیت ارسالی را برای هرنمونه تعیین کنیم. تعداد بیت طوری انتخاب می‌شودکه دامنه سیگنال اصلی بادقت مطلوب مجدداً بازسازی شود. مثلاً هرنمونه را ۸ بیتی کوآنتیزه می‌کنیم.

**محاسبه نرخ بیت:** نرخ بیت ازرابطه زیر به‌دست می‌آید:

تعداد بیت درهرنمونه × نرخ نمونه‌برداری = نرخ بیت

مثال

اگر سیگنالی دارای فرکانس ۳۰ هرتز تا ۴۰۰۰ هرتز باشد نرخ نمونه‌برداری و نرخ بیت را محاسبه‌کنید. هرنمونه ۸ بیتی است.

نمونه درثانیه ۸۰۰۰ =۲× ۴۰۰۰ = نرخ نمونه‌برداری

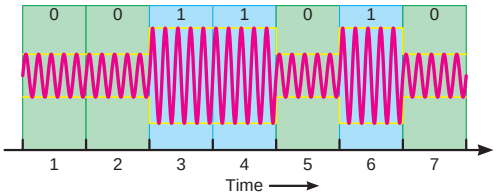
نرخ بیت = ۸۰۰۰×۸= ۶۴۰۰۰ bit/sec

نرخ بیت = ۶۴Kbps

## مدولاسیون‌های دیجیتال

برای ارسال علائم صفر و یک منطقی (PCM) بهتر است به‌منظور کاهش پهنای باند از سیگنال سینوسی استفاده‌کنیم. درادامه به شرح این نوع مدولاسیون‌های ASK، FSK و PSK می‌پردازیم. سیگنال مورد استفاده دراین نوع مدولاسیون‌ها را سیگنال حامل اولیه می‌نامند.

☑ **مدولاسیون ASK ( Amplitude Shift Keying)**: درمدولاسیون ASK برای نمایش ۰ یا ۱ باینری دامنه سیگنال حامل تغییر می‌کند و فرکانس و فاز حامل ثابت می‌ماند. مقداردامنه حامل درمقادیرصفر و یک باینری به‌عهده طراحان سیستم است. شکل ۱۰۲ یک نمونه سیگنال مدوله شده ASK را نشان می‌دهد. ASK بسیارنویزپذیر است زیرا نویز می‌تواند روی دامنه قرارگیرد و ۰ را به ۱ و ۱را به ۰ تبدیل‌کند.




**شکل ۱۰۲ــ یک نمونه سیگنال مدوله‌شده ASK**

کار عملی

### شبیه‌سازی مدولاسیون ASK به‌صورت نرم‌افزاری

**هدف:** شبیه‌سازی مدولاسیون ASK

**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه، نرم‌افزار مناسب، لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

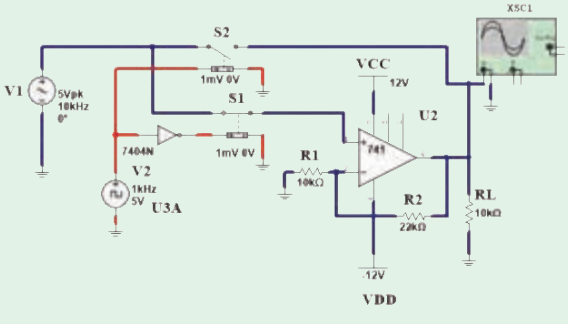
۱ نرم‌افزار مولتی سیم یا هر نرم‌افزار مناسب دیگر را فعال‌کنید.

۲ از مسیر Switch ـ Voltage Controlled SPST Animated دوکلید قابل‌کنترل با ولتاژ را به‌روی میزکار بیاورید.

۳ مدار (شکل ۱۰۳) را درفضای نرم‌افزار ببندید.

۴ مولد سیگنال ۱ و ۲ را مطابق شکل تنظیم‌کرده و مدار را راه‌اندازی کنید.

**شرح عملکرد مدار:** باتوجه به شکل زمانی‌که پالس در تراز صفر است کلید ۲ وصل است و سیگنال بدون تقویت درخروجی ظاهر می‌شود. زمانی‌که پالس در تراز یک است سیگنال $V_1$ از طریق $S_1$ به ورودی تقویت‌کننده اعمال شده و درخروجی سیگنال تقویت شده ظاهر می‌شود و به‌این‌ترتیب مدولاسیون ASK شبیه سازی می‌شود.

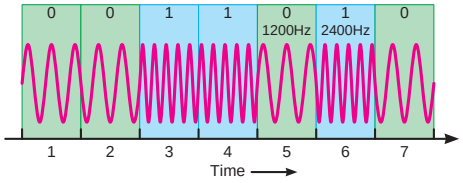





**شکل ۱۰۳ــ مدارآزمایش ASK**

**مدولاسیون FSK (Frequency Shift Keying):**

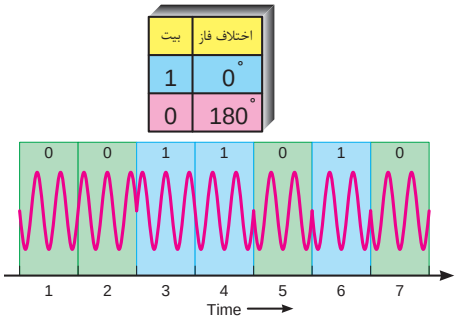
در مدولاسیون FSK برای نمایش ۰ یا ۱باینری، فرکانس سیگنال حامل تغییرداده می‌شود و دامنه و فاز حامل ثابت باقی می‌ماند. فرکانس حامل درفاصله زمانی هر بیت مقدار ثابتی است. شکل ۱۰۴ مدولاسیون FSK را نشان می‌دهد FSK نسبت به نویز مقاوم‌تر از ASK است.




شکل ۱۰۴ــ یک نمونه سیگنال مدوله‌شده FSK

**مدولاسیون PSK (Phase Shift Keying):**

درمدولاسیون PSK فاز سیگنال سینوسی را برای نمایش باینری «۱» و «۰» تغییر می‌دهند. دراین‌حالت دامنه و فرکانس حامل ثابت است. به‌عنوان مثال‌اگر برای نمایش عدد باینری (۱)، سیگنال حامل با فاز صفردرجه شروع شود، می‌توان فاز سیگنال حامل را ۱۸۰ درجه تغییر داد تاعدد باینری (۰) را ارسال نمود. فاز سیگنال حامل درطول هر بیت باینری ثابت است. در شکل ۱۰۵ مدولاسیون PSK برای یک نمونه سیگنال دیجیتالی رسم شده است.




شکل ۱۰۵ــ یک نمونه سیگنال مدوله‌شده PSK

پروژه پیشنهادی

**گیرنده مادون قرمز تک کانال**

گیرنده مادون قرمز HS۰۰۳۸ که درفرکانس ۳۸کیلوهرتزکار می‌کندرا درشکل ۱۰۶ مشاهده می‌کنید. بلوک دیاگرام مداراخلی این‌گیرنده درشکل ۱۰۷رسم شده است.

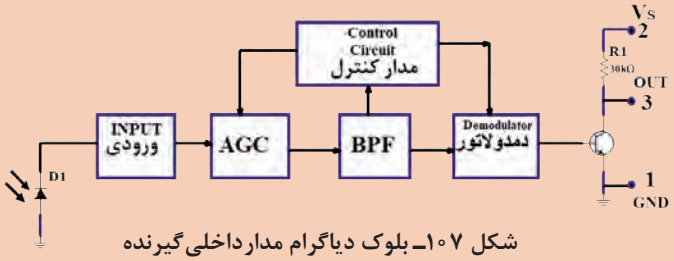
مشخصات گیرنده HS۰۰۳۸:

مشخصات گیرنده به شرح زیر است.

- دارای آشکارساز نوری و پیش‌تقویت‌کننده (Pre Amp)
- امنیت بالا درمقابل نورمحیط
- فیلتربرای مدولاسیون PCM
- محافظت درمقابل پارازیت‌های میدان‌های الکتریکی
- سازگاربا سیستم TTL و CMOS
- خروجی درحالت فعال در وضعیت LOW
- توان تلفاتی کم (۵۰mw)

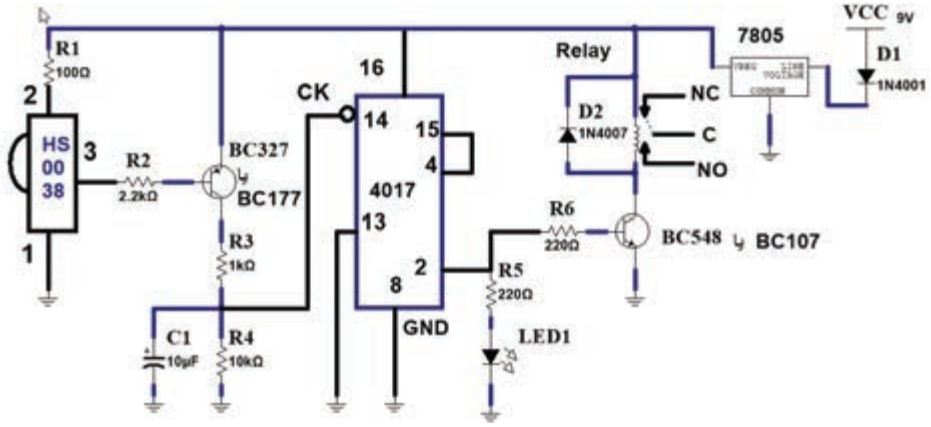



شکل ۱۰۶ــ شکل ظاهری گیرنده HS۰۰۳۸



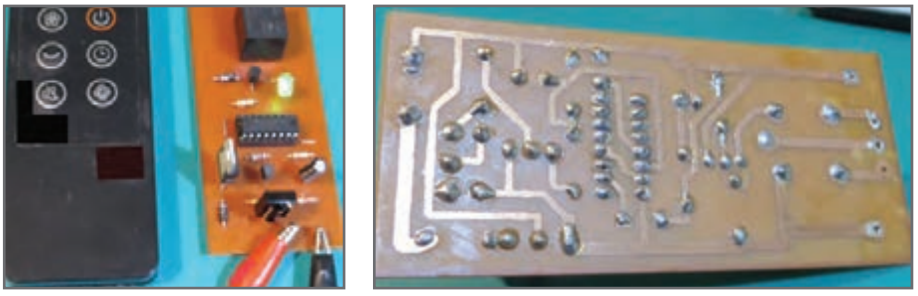

شکل ۱۰۷ــ بلوک دیاگرام مداراخلی گیرنده

**نقشه فنی گیرنده تک کانال:** درشکل ۱۰۸ مدارگیرنده را مشاهده می‌کنید.
درحالت عادی با تغذیه ۵ ولت خروجی سنسور درتراز High قرار دارد. با فشردن کلید ریموت کنترل، برای لحظه‌ای کوتاه خروجی به تراز Low آمده و ترانزیستور PNP فعال می‌شود و پالسی به آی‌سی اعمال می‌گردد. ازهر ریموت کنترلی‌که در فرکانس ۳۸ کیلوهرتزکار می‌کند می‌توان استفاده نمود. ازکنتاکت‌های رله به هرمداری می‌توان فرمان داد.




**شکل ۱۰۸ــ مدارگیرنده تک‌کانال**

درشکل۱۰۹ برد مدارچاپی و مدار ساخته شده را مشاهده می‌کنید.



**شکل ۱۰۹ــ مدارساخته شده‌گیرنده تک‌کانال**

پروژه پیشنهادی

**گیرنده ASK برای فرمان به چهارکانال:**
در این پروژه از ماژول با شماره RX۴۸۶_E_W Q برای فرمان به ۴ کانال استفاده شده است. درشکل ۱۱۰ این ماژول را مشاهده می‌کنید.



**شکل ۱۱۰ــ ماژول گیرنده چهارکانال**

این ماژول یک‌گیرنده ASK است‌که درفرکانس ۴۳۳ و ۳۱۵ مگاهرتزکار می‌کند. شکل ۱۱۱ پایه‌های ماژول را نشان می‌دهد.

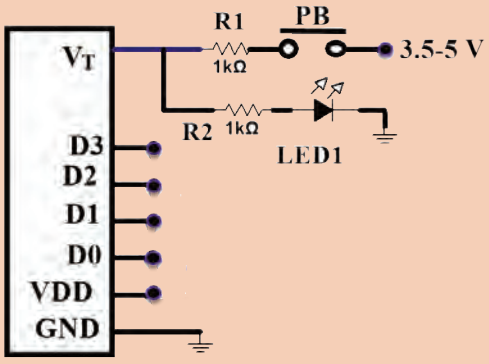
مشخصات ماژول به این شرح است.

- سرعت انتقال داده‌ها ۲/۴ kbps
- جریان مصرفی کم‌تراز ۵ میلی‌آمپر
- جریان خروجی هرکانال کمتراز ۱۰ میلی‌آمپر
- ولتاژکار ۳/۳ تا ۵ ولت
- نوع آی‌سی گیرنده EEPROM

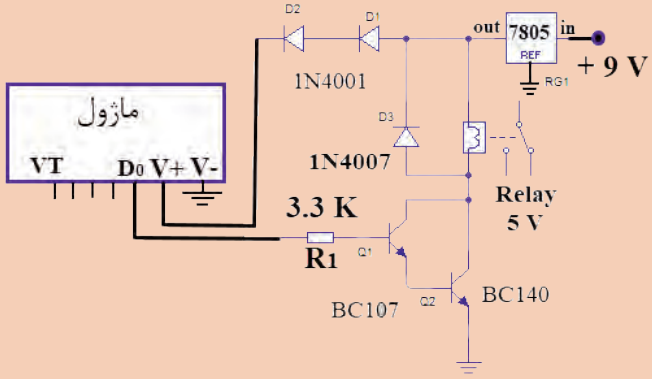
چون جریان‌کشیدن بیش‌از اندازه ممکن است سبب سوختن ماژول‌گردد، برای راه‌اندازی رله باید جریان خروجی هرکانال را تقویت نمود. شکل ۱۱۲ مدار تقویت‌کننده جریان را نشان می‌دهد. وجود دیود درمسیر تغذیه ماژول، آن‌را درمقابل پلاریته معکوس تغذیه محافظت می‌کند. چون ماژول نسبت به اضافه ولتاژ تغذیه حساس است، توسط دو دیود ولتاژکاهش یافته است.

درشکل ۱۱۳ یک نمونه طرح مدارچاپی برای یک‌کانال و درشکل ۱۱۴ چیدمان قطعات نشان داده شده است.

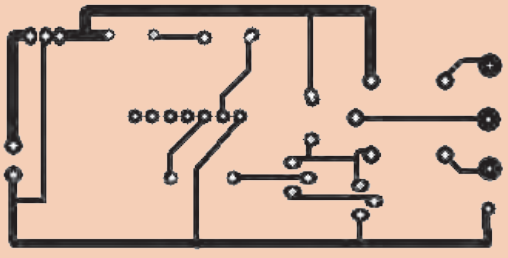
ریموت‌کنترل مورداستفاده خام بوده و باید برنامه‌ریزی شود. می‌توان چگونگی برنامه‌ریزی را از اینترنت بارگیری نمود.



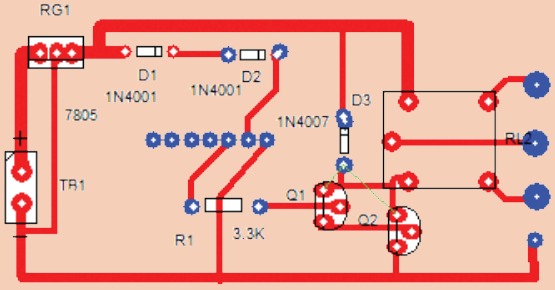

شکل ۱۱۱ــ پایه‌های ماژول گیرنده چهار کانال




شکل ۱۱۲ــ مدار تقویت جریان برای یک کانال



شکل ۱۱۳ــ طرح مدارچاپی برای یک‌کانال

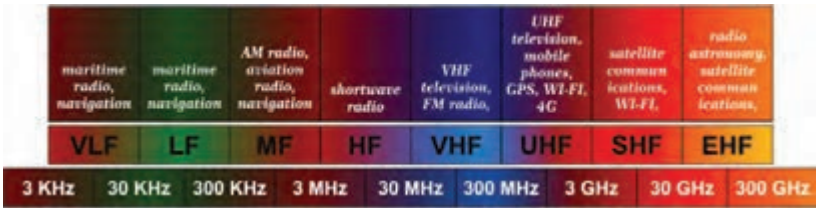



شکل ۱۱۴ــ طرح مدارچاپی و محل قرارگیری قطعات

## تعمیق و تثبیت یادگیری (۱)

۱ اجزای سامانه‌های مخابراتی را نام ببرید و نام هربخش‌را به انگلیسی بنویسید.

۲ باتوجه به شکل ۱۱۵کاربردهای باند MF، HF، VHF و UHF را بنویسید.




شکل ۱۱۵

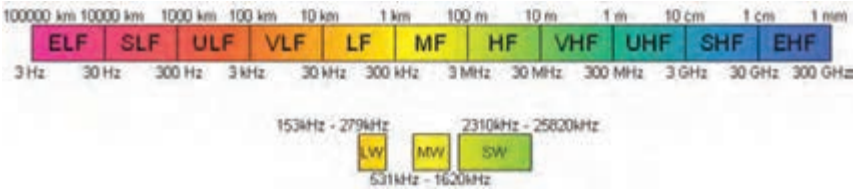
۳ باتوجه به شکل ۱۱۶ به پرسش‌ها پاسخ دهید.

الف ـ محدوده فرکانسی ..... تا ..... کیلوهرتز LF نام دارد.

ب ـ محدوده فرکانسی ..... تا ..... کیلوهرتز VHF نام دارد.

پ ـ محدوده فرکانسی ..... تا ..... کیلوهرتز UHF نام دارد.

ت ـ فاصله فرکانسی باند MW و SW در رادیو چقدراست؟




شکل ۱۱۶

۴ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر بالا گذر را رسم‌کنید و روی منحنی فرکانس قطع را مشخص‌کنید.

۵ درفیلتر حذف باند، درفرکانس تشدید (رزونانس) دامنهٔ ولتاژ خروجی کم‌ترین مقدارخود را دارد.

☐ صحیح ☐ غلط

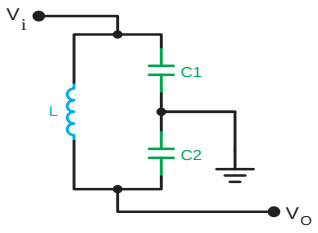
۶ درفیلتر عبورباند با ..... مقدارQ پهنای باند فیلتر کم‌تر می‌شود.

۷ نیازهای اولیه برای نوسان‌سازی را فقط نام ببرید.

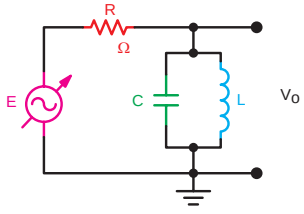
۸ مدارتعیین فرکانس شکل۱۱۷ مربوط به کدام‌نوع نوسان‌ساز است؟

۱) پل‌وین ۲) کول‌پیتس

۳) هارتلی ۴) آرمسترانگ




شکل ۱۱۷

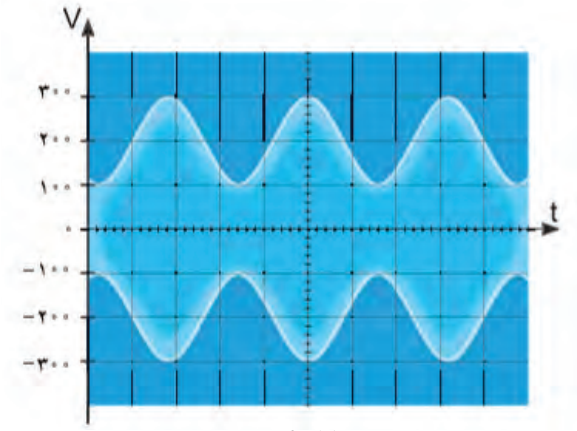



شکل ۱۱۸

۹ نام فیلتر شکل ۱۱۸ را بنویسید و منحنی پاسخ‌فرکانسی آن‌را رسم‌کنید.

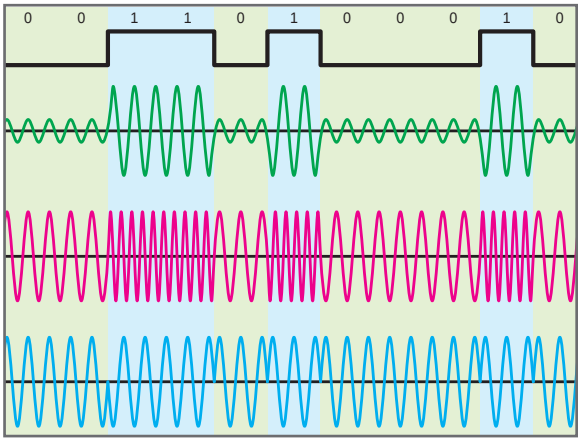
۱۰ VCO اول چه کلمات انگلیسی است؟ کلمات انگلیسی را بنویسید و به فارسی معنی کنید. بامراجعه به اسناد مختلف، شماره فنی یک نمونه آی‌سی vco را بنویسید.

۱۱ درصد مدولاسیون را درشکل ۱۱۹ محاسبه کنید.



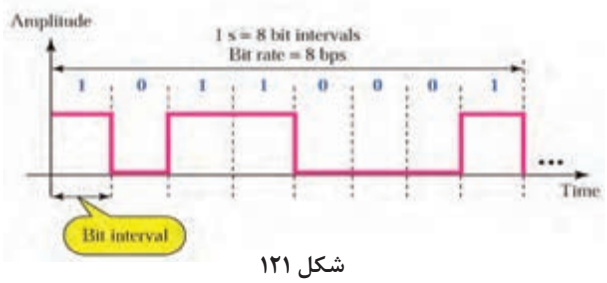

شکل ۱۱۹

۱۲ نام هرسیگنال در شکل ۱۲۰ را جلوی هر شکل بنویسید.




شکل ۱۲۰

۱۳ درشکل ۱۲۱ فاصله زمانی بیت و نرخ بیت را محاسبه کنید.



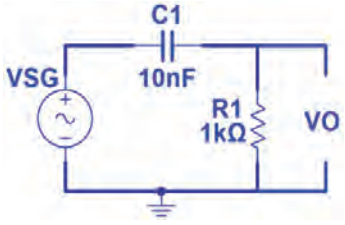

شکل ۱۲۱

## تعمیق وتثبیت یادگیری (۲)

۱ نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هرنرم‌افزار مناسب دیگر را فعال کنید.

۲ مدارشکل ۱۲۲ را درفضای نرم‌افزار ببندید.

۳ سیگنال‌ژنراتور را روی موج سینوسی و دامنهٔ ۸ ولت پیک (۸ Vpk) تنظیم کنید.




شکل ۱۲۲

۴ فرکانس قطع فیلتررا با فرمول محاسبه و یادداشت نمایید.

۵ فرکانس موج سینوسی را مطابق جدول۱۴ تغییردهید و دامنهٔ موج خروجی را به‌کمک اسیلوسکوپ نرم‌افزار اندازه بگیرید و یادداشت‌کنید.

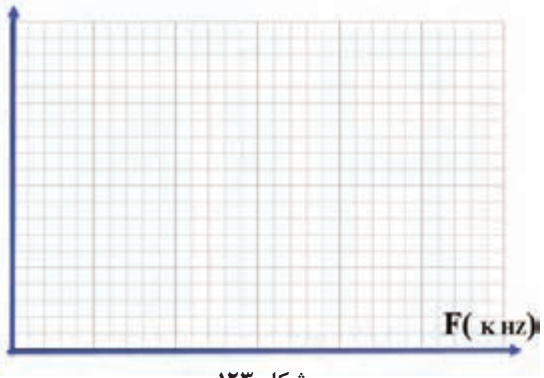
۶ درفرکانس قطع دامنهٔ موج خروجی فیلتر چنددرصد دامنهٔ موج ورودی است؟ .....

۷ منحنی پاسخ فرکانسی‌فیلتر را با مقیاس مناسب درنمودار شکل ۱۲۳ رسم‌کنید. روی منحنی، فرکانس قطع را مشخص کنید.

$$\frac{V_O}{V_I}\times ۱۰۰\%$$

**جدول ۱۴**

| ردیف | فرکانس KHZ | ولت $V_{OPP}$ |
|---|---|---|
| ۱ | ۱ | |
| ۲ | ۵ | |
| ۳ | ۱۰ | |
| ۴ | $f_c$ | |
| ۵ | ۲۵ | |
| ۶ | ۵۰ | |




شکل ۱۲۳

## الگوی آزمون عملی با قطعات واقعی

### پایان واحد یادگیری

۱ مدارشکل ۱۲۲ را روی بِردبُرد ببند ید .

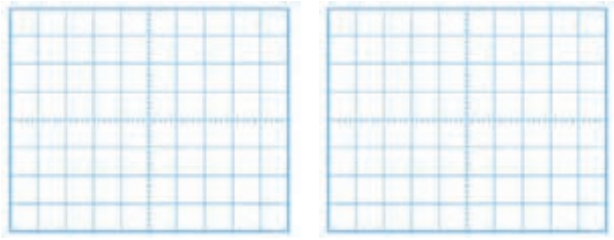
۲ منبع تغذیه را روی ۹ ولت تنظیم‌کنید و به‌مدار وصل نمایید.

۳ مدار را راه‌اندازی کنید.

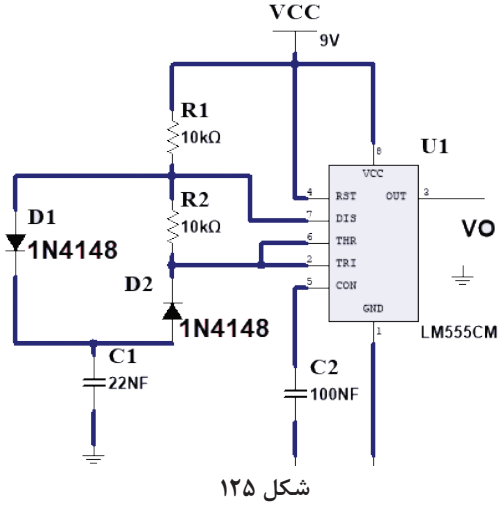
۴ شکل موج خروجی و دو سر خازن $C_1$ را درنمودارهای شکل۱۲۴ رسم‌کنید.

۵ زمان تناوب موج‌ها را اندازه بگیرید و فرکانس موج‌ها را محاسبه و یادداشت کنید.

۶ سیکل وظیفه موج خروجی را اندازه بگیرید.



شکل ۱۲۴




شکل ۱۲۵

# ارزشیابی شایستگی راه‌اندازی مدارهای فرستنده و گیرنده

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **نام و نام خانوادگی :** | | **شماره ملی:** | | **تاریخ ارزشیابی:** | | |
| **کد حرفه** | ۸۲۱۲۲۳ | **حرفه** | مونتاژکاران تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی | **کدپیمانه/پودمان** | ۸۲۱۲۱۳۰۱۳ | **استاندارد عملکرد:** |
| **کد وظیفه شغل** | ۸۲۱۲۲۳۰۱ | **وظیفه شغل** | ساخت بردهای الکترونیکی | **سطح صلاحیت** | ۳ | بررسی انواع مدولاسیون و راه‌اندازی و عیب‌یابی پروژه کاربردی مخابراتی با رعایت استانداردهای تعریف شده. |
| **کد کار** | ۸۲۱۲۲۳۰۱۳۱ | **کار** | راه‌اندازی مدارهای فرستنده و گیرنده | **سطح شایستگی** | مهارت | |

| ردیف | مراحل کار | شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...) | ابزارهای ارزشیابی | استاندارد (شاخص‌ها/داوری/نمره‌دهی) | نتایج ممکن | نمره کسب‌شده |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | تشخیص صحیح و انتخاب انواع مدولاسیون پیوسته (AM/FM) و پالس (PAM ،PPM، PWM)، شبیه‌سازی با نرم‌افزار و تعیین پارامترهای اولیه | نرم‌افزار شبیه‌سازی، رایانه، نقشه یا کتاب مدارها، فرم ثبت نتایج درزمان تعیین‌شده و کارگاه الکترونیک | فایل شبیه‌سازی، چک‌لیست 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 | پیاده‌سازی صحیح مدار مدولاسیون و دمدولاسیون با اتصال دقیق قطعات، رعایت ترتیب پایه‌ها و اتصال صحیح به تغذیه | بردبرد، قطعات مدار مدولاسیون و دمدولاسیون، منبع تغذیه، مولد سیگنال، اسیلوسکوپ، نقشه مدار، درزمان تعیین‌شده و کارگاه الکترونیک | بررسی عملکرد مدار، صحت اتصالات و شکل موج‌های خروجی، چک‌لیست مهارتی و مقایسه نتایج | پیاده‌سازی دقیق مدارها | ۳ | |
| | | | | پیاده‌سازی صحیح با خطای جزئی | ۲ | |
| | | | | پیاده‌سازی نادرست یا ناقص مدارها | ۱ | |
| ۳ | تنظیم دقیق پارامترهای مدار شامل فرکانس و عرض پالس‌ها، عیب‌یابی و رفع خطاهای ساده به‌منظور دست‌یابی به عملکرد صحیح و سیگنال استاندارد | بردبرد، منبع تغذیه، مولتی‌متر، اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور، قطعات مدارو نقشه مدار درزمان تعیین‌شده و کارگاه الکترونیک | مشاهده عملکرد و عیب‌یابی مدار، بررسی تنظیم پارامترها، کنترل سیگنال خروجی و تطابق آن با مقادیر استاندارد | تنظیم و عیب‌یابی صحیح و دست‌یابی به سیگنال استاندارد | ۳ | |
| | | | | تنظیم و عیب‌یابی قابل‌قبول با خطای جزئی | ۲ | |
| | | | | تنظیم نادرست، عدم رفع خطاها یا تولید سیگنال غیراستاندارد | ۱ | |
| ۴ | اندازه‌گیری و ثبت داده‌ها و تهیه گزارش نهایی فنی از عملکرد مدارها | نتایج اندازه‌گیری، فرم گزارش کار یا کتاب درکلاس یا کارگاه الکترونیک | بررسی گزارش کار، چک‌لیست مستندسازی، مشاهدهٔ نحوه اندازه‌گیری و ثبت و ارزیابی صحت نتایج ثبت‌شده | اندازه‌گیری، ثبت و گزارش صحیح | ۳ | |
| | | | | اندازه‌گیری، ثبت و گزارش‌دهی قابل‌قبول با نقص یا خطای جزئی | ۲ | |
| | | | | اندازه‌گیری نادرست، ثبت و ارائه 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 | | | مشاهده‌رفتارهنرجو درحین 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 | 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:**

ـ کسب حداقل نمره ۲ در تمامی مراحل اجرای کارهای عملی شامل بستن صحیح مدار، تنظیم دقیق پارامترهای مدار، عیب‌یابی و رفع خطا، اندازه‌گیری صحیح، ثبت نتایج و ارائه گزارش از عملکرد مدارها (مراحل بحرانی).

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

ـ 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، 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 به‌کار 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 ایمن‌تر 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 دقیق‌تر 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 به‌صورت 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 واحدیادگیری، 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.

---

۱ـ Process

## فرایندهای صنعتی

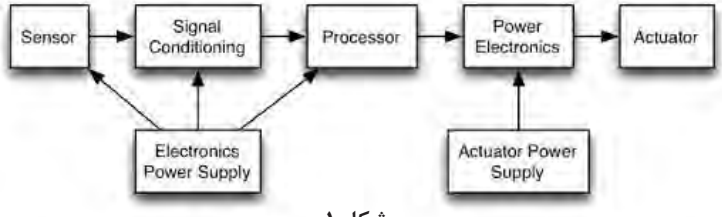
در قلب هر کارخانه، پالایشگاه یا خط تولید مدرن، صدای خاموش اما قدرتمند ابزارهای اندازه‌گیری شنیده می‌شود. ابزار دقیق ستون فقرات صنعت مدرن است؛ مجموعه‌ای از تجهیزات و مدارهای الکترونیکی که چشم و گوش مهندسان را به‌دنیای فیزیکی متصل می‌کنند. از اندازه‌گیری دمای سوزان کوره‌ها گرفته تا حس کردن فشار گازها و 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[1] 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»[2] است. درشکل 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. دراین حالت، پدال گاز و ترمز، ابزارهای کنترلی شما هستند که با تنظیم آنها، سرعت خودرو را کنترل می‌کنید. درصنعت هم همین‌طور است، اما با ابزارهای پیچیده‌تر و خودکار.

فعالیت

برای آشنایی با اجرای سامانه کنترل فرایند داخل بلوک‌های شکل ۱ را ترجمه کنید.

۱_ Process ۲_ Control

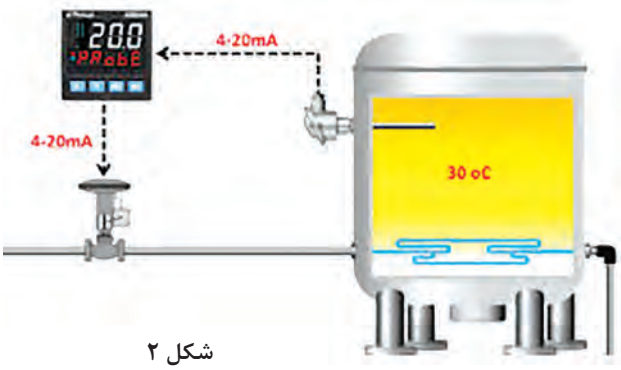
## اهمیت کنترل فرایند در صنعت

**ـ کیفیت محصول**: کنترل دقیق فرایند باعث می‌شود، محصول نهایی کارخانه (مثل دارو، غذا، قطعات صنعتی) همیشه باکیفیت یکسان و مطابق استانداردها باشند.

**ـ ایمنی**: بسیاری از فرایندهای صنعتی اگرخارج 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 کارخواهد کرد.

**ـ 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.

**ـ اتوماسیون و کارآیی**: 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) فرایندگویند.

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:

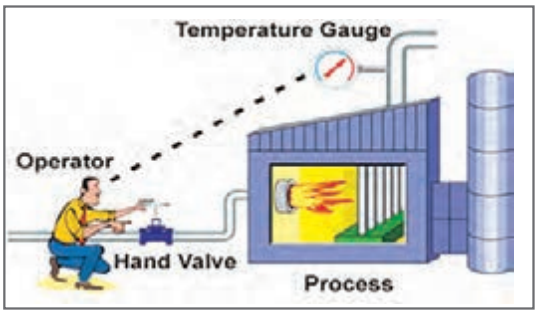
- حسگر دما را می‌خواند.
- کنترل‌کننده دما را با مقدار مطلوب مقایسه کرده و تصمیم می‌گیرد.
- عملگر دستور را اجرا می‌کند (مثلاً شیر گاز را تنظیم می‌کند).
- فرایند (دما) تغییر می‌کند.
- حسگر دوباره دمای جدید را می‌خواند و...

این چرخه همین‌طور ادامه پیدا می‌کند تا دمای کوره در همان ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد باقی بماند.

۱ـ Sensor ۲ـ Actuator ۳ـ Feedback Loop

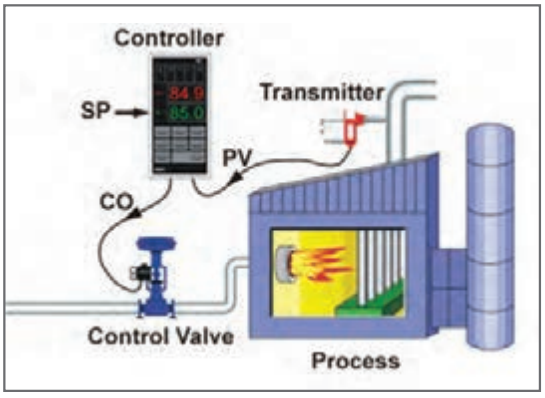
## انواع روش‌های کنترل

**کنترل دستی**[1]: در این روش، یک اپراتور با مشاهده مستقیم نمایشگر دما، به‌صورت دستی شیر گاز یا سایر تنظیمات را کم و زیاد می‌کند. این روش ساده است اما دقت و سرعت کمتری دارد (شکل۳).




شکل ۳

**کنترل خودکار**[2]: سیستم‌هایی که اجزای سنسور، کنترل‌کننده و عملگر را دارند و به‌طور مداوم و خودکار فرایند را تنظیم می‌کنند. امروزه در اکثر صنایع به دلیل دقت، سرعت، اطمینان و صرفه‌جویی بیشتر از کنترل خودکار استفاده می‌شود (شکل۴).




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 کدام‌یک 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 کارکردِ حسگر، کنترل‌کننده، عملگر و فرایند، حلقه بازخورد (فیدبک ـ 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؟

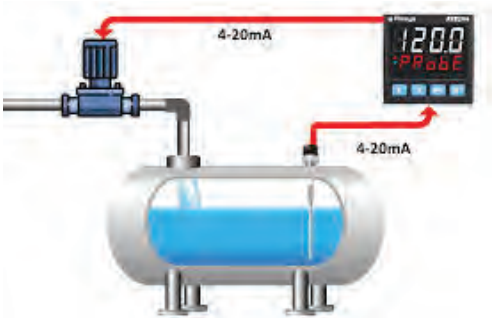
۶ در مثال کنترل دمای کوره، شکل ۲ اگر دمای فعلی از مقدار مطلوب کمتر باشد، کنترل‌کننده چه دستوری به عملگر صادر می‌کند؟

---

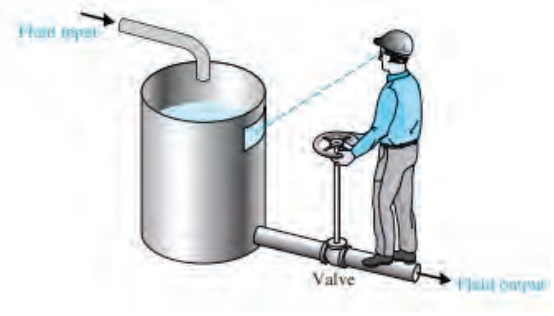
۱ـ Manual　　۲ـ Automatic

۷ در شکل ۵ کدام فرایند به‌صورت خودکار کنترل می‌شود؟

۸ کنترل فرایند در شکل ۶ از نوع ..... است.




شکل ۵




شکل ۶

## اجزا و عملکرد سامانه‌های کنترل فرایند صنعتی

سامانه‌های کنترل فرایند صنعتی، مجموعه‌ای از تجهیزات (شامل حسگر، کنترل‌کننده و عملگر) هستند که به‌طور خودکار وضعیت تولید را دنبال کرده و با مقایسه آن با مقادیر استاندارد، تغییرات لازم را برای حفظ کیفیت و ایمنی انجام می‌دهند.

عملکرد این سامانه بر پایه یک چرخه مداوم است که در آن ابتدا داده‌ها اندازه‌گیری شده، سپس در واحد پردازش تحلیل می‌شوند و در نهایت دستورات لازم برای اصلاح رفتارِ دستگاه‌ها صادر می‌گردد. در شکل ۷ اجزای تشکیل‌دهنده یک سامانه کنترل فرایند صنعتی به‌صورت یکپارچه نمایش داده شده است که ارتباط میان حسگر، کنترل‌کننده و عناصر نهایی را نشان می‌دهد.




شکل ۷ ــ اجزا و عملکرد سامانه‌های کنترل فرایند صنعتی

## ۱ حسگرها (Sensors)

**عنصر حسگر اولیه (Primary Sensing Element-PSE)**: این بخش، مستقیماً کمیت یا متغیر فرایند را اندازه‌گیری می‌کند وآن را به یک سیگنال آنالوگ (مانندولتاژ، 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.

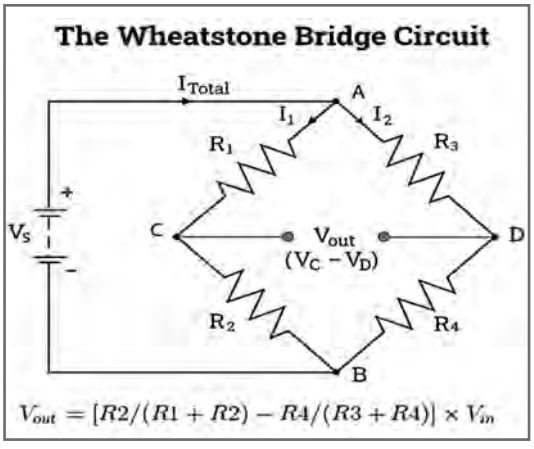
**تبدیل کمیت‌ها:** حسگرها قادرند کمیت‌های فیزیکی مانند نور، دما، جابه‌جایی، حرکت، سرعت، فشار، یا نیرو را به کمیت‌های الکتریکی (مانند جریان، ولتاژ) یا سیگنال‌های دیگر تبدیل کنند تا قابل پردازش و استفاده توسط سیستم‌های دیگر باشند.

## ۲ مدار پردازش سیگنال (Signal Conditioning Circuit)

سیگنال خروجیِ 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 به‌عنوان یک مبدل در انواع حسگرها استفاده می‌شود تا تغییرکوچک مقاومت را به یک تغییر ولتاژ قابل اندازه‌گیری تبدیل کند، نشان می‌دهد. به این مدار **پل وتستون** (Wheatstone Bridge) گفته می‌شود. اغلب مدار الکتریکی یک حسگر مانند فشار/ نیرو، دما و نور در یکی از شاخه‌های پل وتستون 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 $R۱ \times R۴ = R۲ \times R۳$ برقرار باشد.




شکل ۸ــ مدار پل وتستون

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.

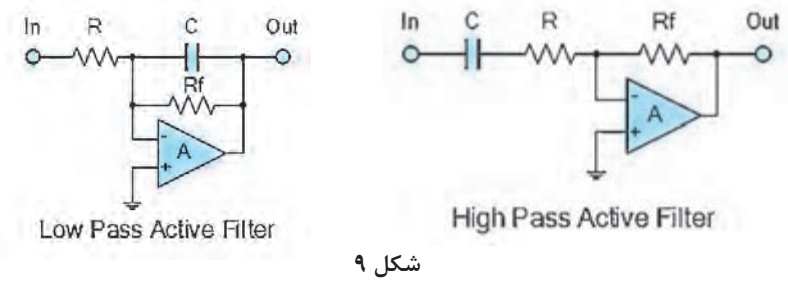
این پل دارای چهار بازو است که در یک بازوی آن کمیت مورد نظر قرار می‌گیرد و در سه بازوی دیگر آن کمیت‌های معلوم (مقاومت‌های با مقدار مشخص شده و استاندارد) قرار دارند.

### ۳ تقویت‌کننده‌های عملیاتی (Operational Amplifiers Op_Amps)

برای تقویت سیگنال ضعیف سنسور استفاده می‌شوند.

### ۴ فیلترها (Filters)

برای حذف ریزموج‌های مزاحم و ناخواسته سیگنال (نویزهای سیگنال) درمدارها به‌کار می‌روند شکل ۹ تصویر چند نمونه فیلتر را نشان می‌دهد.




شکل ۹

### ۵ کنترل‌کننده (Controller)

کنترل‌کننده مانند «مغز» یک سیستم خودکار عمل می‌کند. وظیفه‌اش 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 (مقدارمطلوب *Setpoint*): مقداری از پیش تعیین شده یا حد آستانه‌ای که روی دستگاه تنظیم می‌کنیم تا وقتی شرایط به آن رسید سوییچ فعال (قطع یا وصل شود) مقایسه می‌کند. در نهایت، بر اساس این مقایسه، یک دستور به «دست‌های» سیستم (یعنی عملگرها) بدهد تا فرایند را به حالت ایده‌آل برگرداند یا در همان حالت نگه دارد.

مثال

**چند مثال از انواع کنترل‌کننده**

**ترموستات:** یکی از ساده ترین انواع کنترل کننده‌ها ترموستات است. در یک آبگرمکن برقی ساده، ترموستات (که خودش یک نوع کنترل‌کننده 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 می‌کند.

**رله‌های قابل برنامه‌ریزی (PLR):** یکی از انواع کنترل‌کننده‌ها رله‌های قابل برنامه ریزی است که امروزه استفاده از آنها در مدارهای الکترونیکی و الکتریکی رایج شده است.

به‌عنوان مثال **کنترل روشنایی راه پله مجتمع‌های مسکونیِ بزرگ یا کنترل کارکرد موتور پمپ آب مزارع کشاورزی و پارک‌ها** و یا دریافت یک سیگنال (مثلاً از یک حسگر دما)، که بتواند هیتر را در زمان‌های مشخصی روشن یا خاموش کند.

**میکروکنترلر (Microcontroller):** میکروکنترلرها، کامپیوترهای کوچکی هستند که درون خود پردازنده، حافظه و ورودی/خروجی دارند. آنها می‌توانند برنامه‌های پیچیده‌تری را اجرا کنند و وظایف کنترلی دقیق‌تر و انعطاف‌پذیرتری را نسبت به رله‌ها انجام دهند. میکروکنترلرها قادرند چندین حسگر را بخوانند، محاسبات پیچیده‌تر انجام دهند و چندین عملگر را به‌طور هم‌زمان کنترل کنند.

برای مثال در یک ماشین لباسشویی مدرن، یک میکروکنترلر وظیفه کنترل همه چیز (از تنظیم زمان شست‌وشو، دما، سرعت چرخش موتور، تا باز 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 شست‌وشو، دستورات لازم را به موتور، پمپ، شیرهای برقی و هیتر صادر می‌کند.

### 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.

ـ **نمایشگرهای آنالوگ (Analog Displays)**: مانند عقربه‌های ولت‌متر یا آمپرمتر که مستقیماً مقدار فشار (یا متناسب با آن) را نشان می‌دهند.

ـ **نمایشگرهای دیجیتال ساده (Simple Digital Displays)**: مانند نمایشگرهای ۷ـ قسمتی (۷Seg) که ولتاژ یا جریان پردازش شده را به‌صورت 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 کنترل‌کننده 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:

ـ **شیر برقی (Solenoid Valve)**: یک شیر که با دریافت سیگنال الکتریکی، باز یا بسته می‌شود تا جریان مایع یا گاز را کنترل کند.

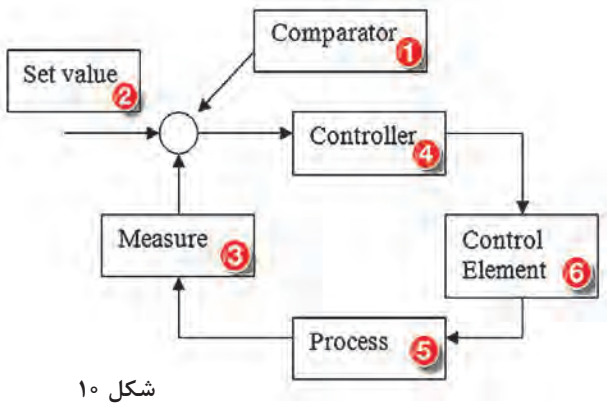
ـ **موتور الکتریکی (Electric Motor)**: که می‌تواند پمپ‌ها، تسمه نقاله‌ها، یا فن‌ها را راه‌اندازی کند و سرعت آنها را تنظیم کند.

ـ **گرم‌کن (Heater)**: که با دریافت سیگنال، روشن شده و دما را افزایش می‌دهد.

ـ **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

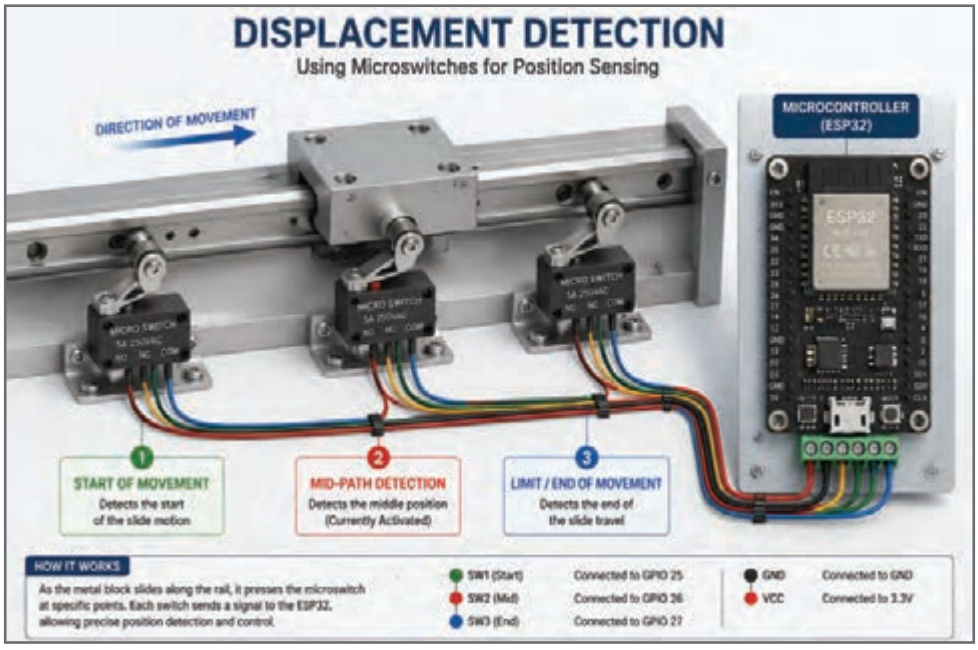
۱۰ تفاوت اصلی نقش «حسگر» و «کنترل‌کننده» را بنویسید.

۱۱ منظور از مقدار مطلوب (Set-point) در سامانه‌های کنترل را شرح دهید.

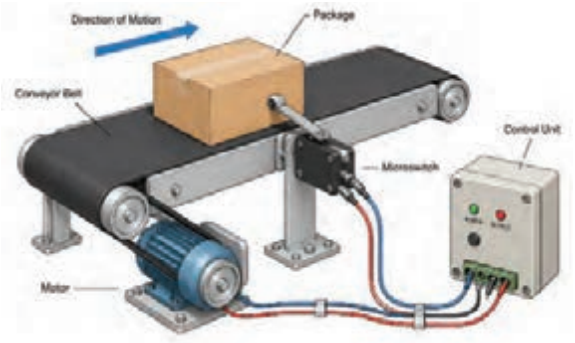
۱۲ وظیفه عنصر نهایی (Final Control Element) در سامانه کنترل را بنویسید.

## 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



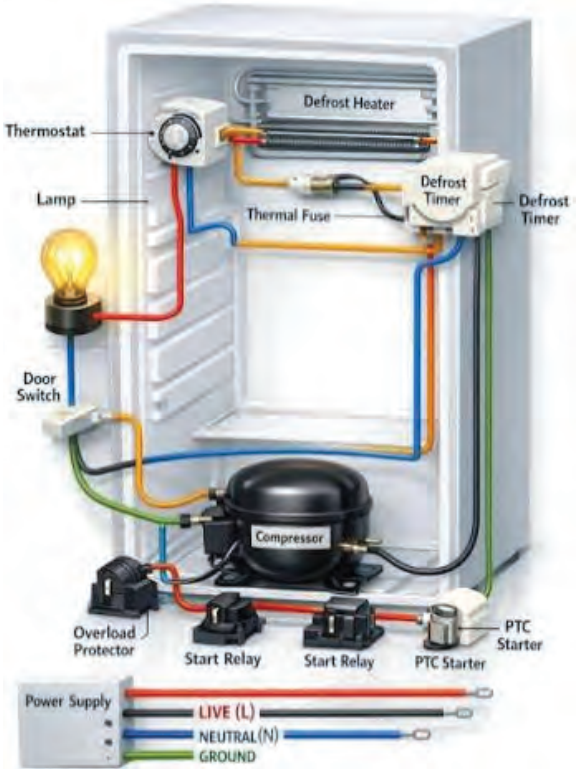

شکل ۱۲

### روش مکانیکی (میکروسوئیچ‌ها)

این روش ساده‌ترین روش تشخیص جایجایی 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.

این مدار شامل یک کلید فشاری (Limit Switch) است که به‌صورت سری با لامپ قرار گرفته و در محل لولای درب نصب می‌شود. هنگامی که درب بسته است، فشارِ درب، کلید را در وضعیت قطع نگه می‌دارد، اما با باز شدن درب، فنر کلید آزاد شده و مسیر جریان الکتریکی برای روشن شدن لامپ برقرار می‌شود. این سیستم ساده‌ترین نوع «کنترل موقعیت» است که وضعیتِ مصرف‌کننده را با تغییر فیزیکیِ وضعیتِ درب فعال می‌کند (شکل ۱۳).



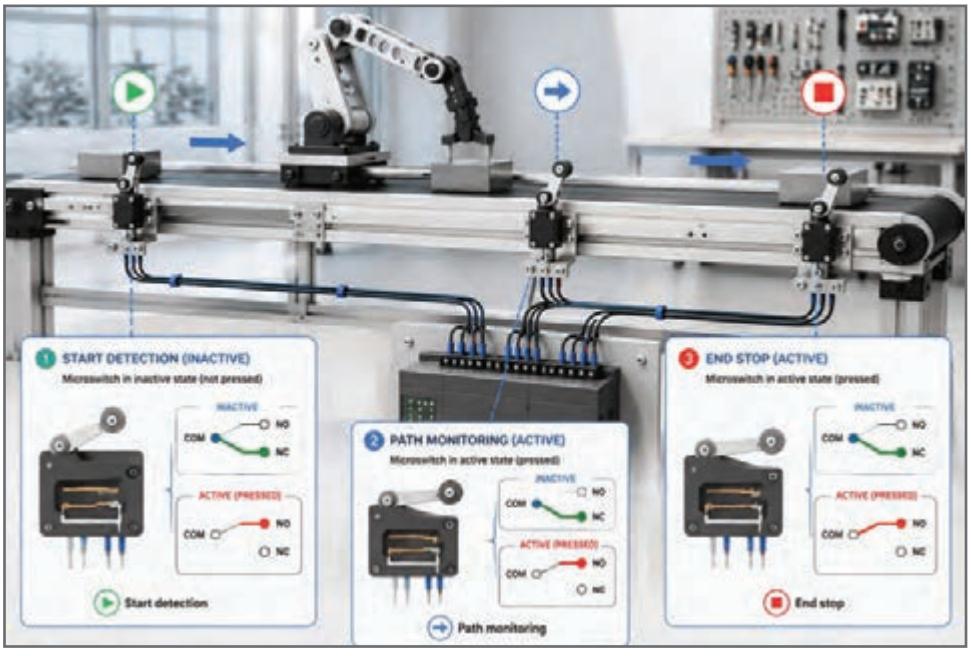

شکل ۱۳

حسگرهای میکروسوئیچی در مدارهای الکتریکی دارای دو عملکرد هستند:

**۱ NO (Normally Open در حالت عادی باز)**
یعنی در حالت عادی کلید باز است و هیچ جریانی عبور نمی‌کند. وقتی حرکت انجام شد، سنسور فعال شده و مدار را می‌بندد.

**۲ NC (Normally Closed در حالت عادی بسته)**
یعنی در حالت عادی مدارکلید وصل است. وقتی حرکت انجام شد، حسگر مدار را قطع می‌کند.

شکل ۱۴ وضعیت عملکرد میکروسوئیچ‌ها را در حالت فعال نشان می‌دهد.




شکل ۱۴

نکته

برای ایمنی دستگاه، همیشه از سنسورهای NC استفاده می‌کنیم؛ چون اگر سیم سنسور قطع شود، مدار بلافاصله متوقف می‌شود (ایمنیِ 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

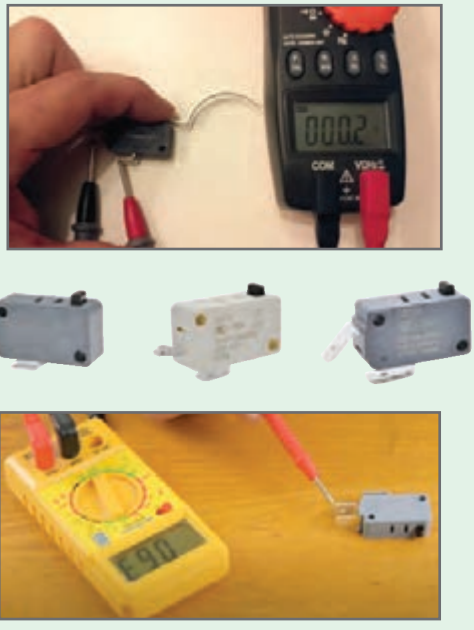
**هدف:** تشخیص پایه‌های NC و NO و عملکرد میکروسوئیچ

**مواد، ابزار و تجهیزات:** میزکار آزمایشگاهی الکترونیک، مولتی‌متر، یک نمونه میکروسوئیچ، رایانه، نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هر نرم‌افزار مناسب دیگر

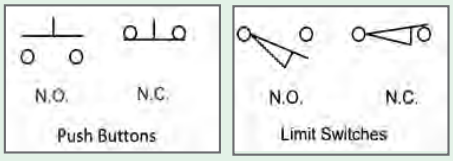
**مراحل اجرای کار:**

۱ یک نمونه میکروسوئیچ دراختیار بگیرید و پایه‌های NC و NO آن را با اهم متر مطابق شکل ۱۵ شناسایی کنید.

۲ با توجه به نقشهٔ فنی در شکل ۱۶ علائم استاندارد میکروسوئیچ و لیمیت سوئیچ را شناسایی کرده و آنها را در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز (مانند Multisim یا Circuit Wizard) جست‌وجو کنید.



شکل ۱۵




شکل ۱۶

۳ مطابق شکل ۱۷ یک مدار ساده روشنایی با LED و میکروسوئیچ برروی بِردبُرد ببندید. رفتار مدار را در دو حالت بسته و باز بودن NO و NC بررسی کنید.

۴ عملکرد مدار حالت (NCوNO) شرح دهید.

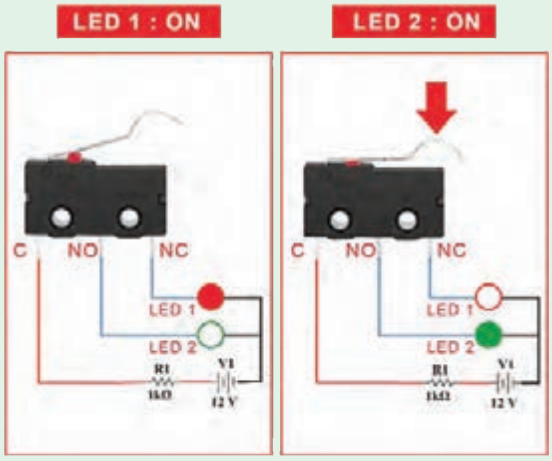
۵ مدار پل وتستون شکل ۱۸ را در نرم‌افزار مولتی سیم یا هر نرم‌افزار شبیه‌ساز مناسب دیگر ببندید.

۶ پتانسیومتر را به عنوان حسگرِ متغیرِ اهمی در یکی از بازوهای پل قرار دهید.

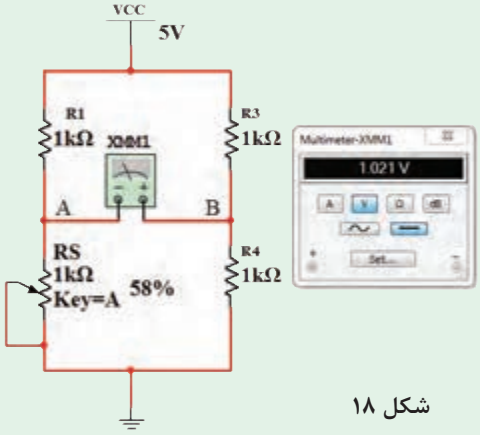
۷ مقدار مقاومت متغیر را از مقدارحداقل تا حداکثر تغییر دهید و مقدار ولتاژ خروجی پل (دو سر AB) را در هر مرحله با مولتی‌متر نرم‌افزاری اندازه‌گیری کرده و یادداشت کنید.

۸ مقدار مقاومت متغیر را در سه مرحله مطابق جدول زیر به‌گونه‌ای تغییر دهید که ولتاژهای خواسته شده به‌دست آید.

۹ در هریک ازحالات مقدار مقاومت متغیر را به‌دست آورید و جدول ۲ را کامل کنید.




شکل ۱۷




شکل ۱۸

**جدول ۲**

| ردیف | مقدار ولتاژ خروجی پل $V_{AB}$ | مقدار مقاومت Rs |
|---|---|---|
| ۱ | حداکثر | |
| ۲ | صفر ولت (پل در حال تعادل) | |
| ۳ | حداقل | |

در بسیاری از دستگاه‌های صنعتی، ما نیاز داریم بدانیم یک قطعه (مثل بازوی ربات یا درب اتوماتیک) چه زمانی شروع به حرکت می‌کند، چه مسیری را طی می‌کند و چه زمانی به پایان مسیر می‌رسد. به این فرایند «تشخیص جابه‌جایی» می‌گوییم. برای این کار از روش‌های مختلفی مانند حسگرهای نوری، انکودر (شمارش دور و مسیر) و روش اندازه‌گیری ولتاژ (پتانسیومتر) استفاده می‌شود.

### ۱ با استفاده ازحسگرهای نوری

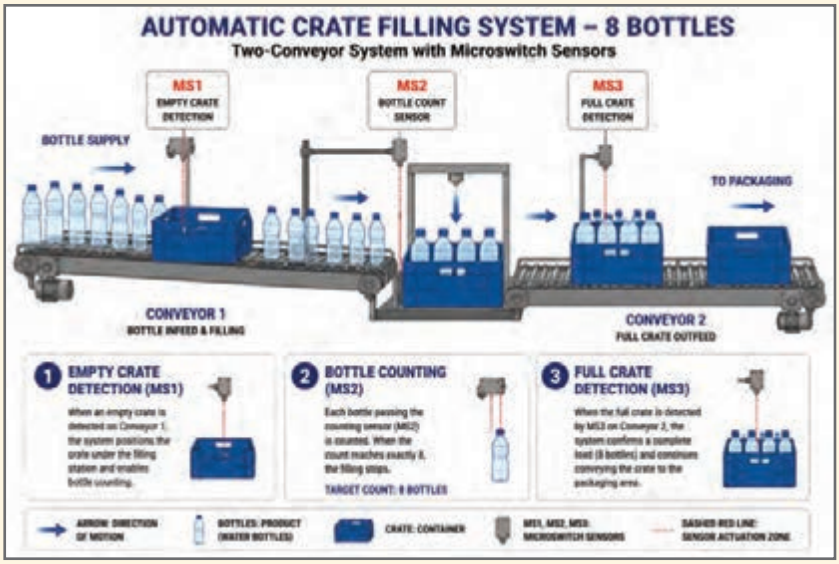
در این روش از سنسورهایی که تابع نور هستند استفاده می‌شود. این سنسورها با استفاده از پرتو نور، وجود قطعات یا اجسام کدر را بدون تماس مستقیم روی نوار نقاله تشخیص می‌دهند. با عبور قطعه و قطع یا بازتاب پرتو نور، سنسور یک پالس الکتریکی به کنترلر ارسال می‌کند تا فرمان‌های لازم برای شمارش، توقف یا حرکت سیستم صادر شود (شکل ۱۹).

نکته

در چنین سامانه‌هایی به دلیل آن که قطعات با حسگرهای نوری برخورد نمی‌کنند استهلاک ندارند و عمرشان در محیط‌های صنعتی بسیار طولانی است.

فعالیت

در شکل ۱۹ سامانه پر کردن اتوماتیک جعبه بطری دارای دو نوار نقاله است و با سنسور میکروسوئیچ نشان داده شده است، هریک از وضعیت‌های ۱ الی ۳ را ترجمه کنید و در جدول ۳ بنویسید.




شکل ۱۹

**جدول ۳**

| ۳ | ۲ | ۱ | ترجمه |
|---|---|---|---|
| | | | |

کار عملی ۲

**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 بسته‌بندی مطابق شکل ۲۰ است. اما از آنجایی‌که امکان اجرای آن به‌صورت سخت افزاری در هنرستان مشکل است، لذا سعی شده تا با استفاده از نرم‌افزار Multisim شبیه‌سازی شود.

با انجام این کار عملی هنرجو با نحوه عملکرد شستی‌های فرمان، میکروسوئیچ‌ها، حسگر نوری، شمارنده، موتورهای نوار نقاله و منطق کنترلی آشنا خواهد شد.

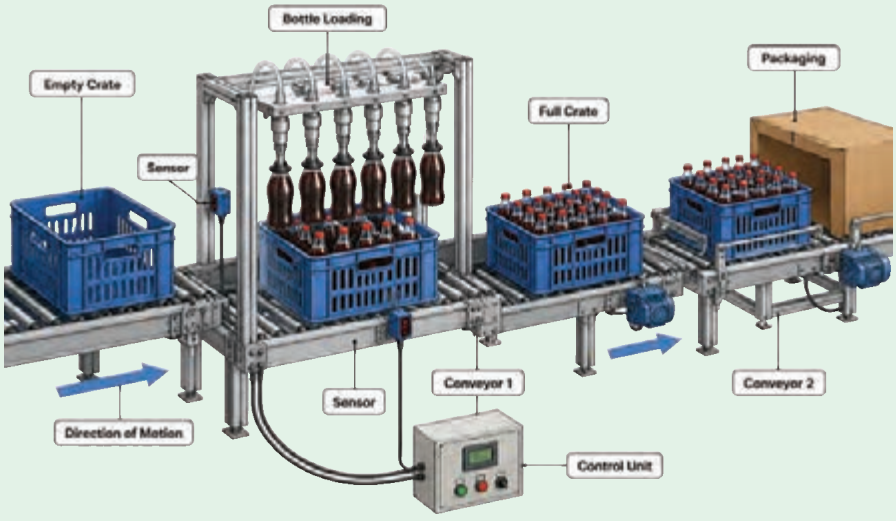
**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه، نرم‌افزار مناسب، نوشت افزار

**مراحل اجرای کار:**

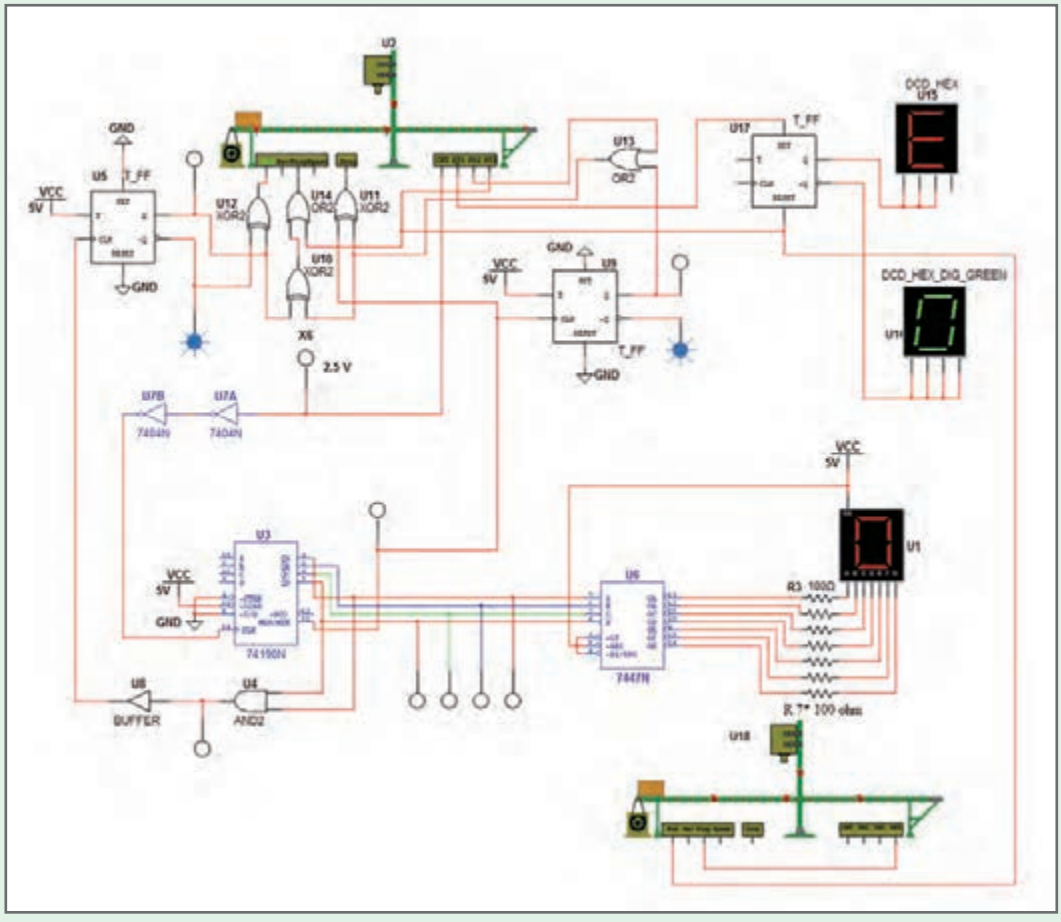
**حالت اول:** کنترل موقعیت محصول و فرایند پرکردن ظرف

۱ نرم‌افزار مولتی‌سیم را راه‌اندازی کنید.

۲ مدار شکل ۲۱ را در فضای نرم‌افزار ببندید.


Bottle Loading
Empty Crate
Sensor
Full Crate
Packaging
Sensor
Conveyor 1
Conveyor 2
Direction of Motion
Control Unit

شکل ۲۰


GND
VCC
5V
T_FF
XOR2
OR2
2.5 V
BUFFER
AND2
DCD_HEX
DCD_HEX_DIG_GREEN
R1 100Ω

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، میکروسوئیچ 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 شمارش‌شده برابر مقدار SP شود:

ـ دستگاه پرکن خاموش می‌شود.

ـ موتور نوار نقاله مجدداً روشن شده و ظرف به سمت ایستگاه بسته‌بندی حرکت می‌کند.

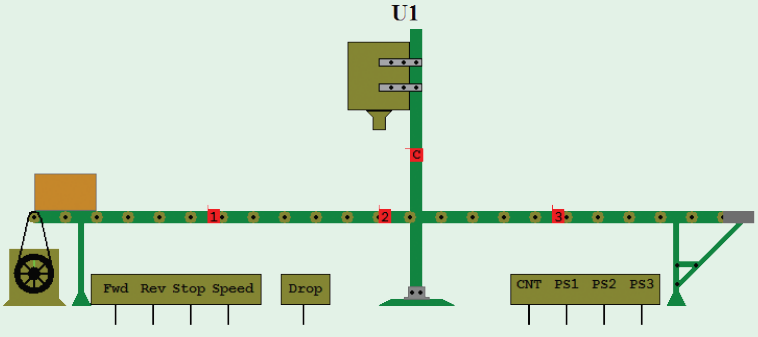
ز) با رسیدن ظرف به نقطه C، میکروسوئیچ شماره۳ (LS۳) فعال شده و موتور نوار نقاله متوقف می‌شود تا عملیات بسته‌بندی نهایی انجام گیرد.

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.

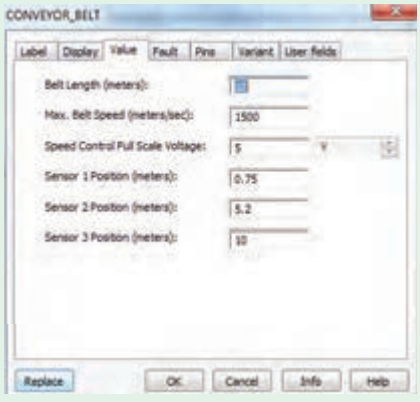
۴ روی نوار نقاله دوبار کلیک کنید. مشخصات نوار نقاله شامل طول، سرعت حرکت قطعه روی نوارنقاله، فاصله و موقعیت قرار گیری میکروسوئیچ‌ها را از یکدیگر مطابق شکل ۲۴ تنظیم کنید.




شکل ۲۲




شکل ۲۳




شکل ۲۴

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 میکروسوئیچ ($MS_۲$) 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 $MS_۳$، موتور $M_۱$ متوقف می‌شود.

۱۰ نتیجه مورد انتظاردر پایان این مرحله شبیه‌سازی:

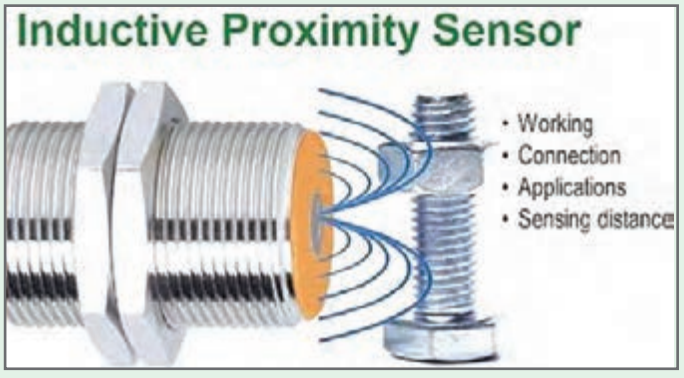
ـ ظرف محصول در محل پرکن به‌صورت خودکار متوقف می‌شود.

ـ دقیقاً تعداد تعیین‌شده محصول (۱۰ یا ۸ عدد) دریافت می‌شود.

ـ 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**

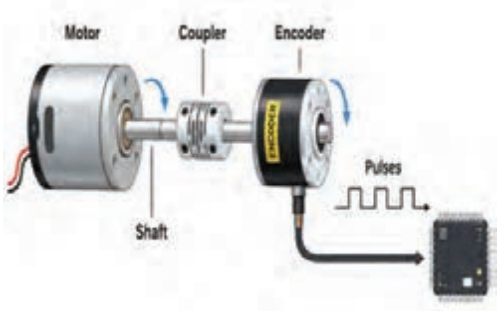
### با استفاده از انکودر

انکودرها دو نوع هستند که در ادامه به بررسی هر یک از آنها می‌پردازیم:

**الف) انکودرهای مکانیکی (mecanical 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 **به‌صورت 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 (شکل۲۶).





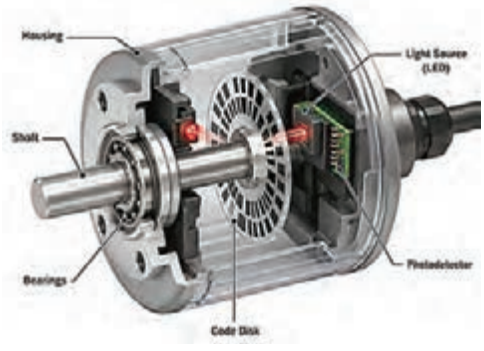

شکل ۲۶



شکل ۲۷

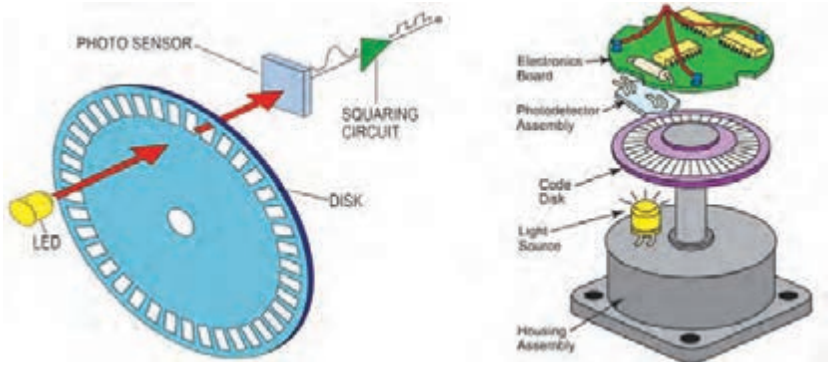
از انکودرهای مکانیکی در بازوی ربات‌ها مشابه شکل ۲۷ استفاده می‌شود.

**ب) انکودرهای نوری (Optical Encoders)**: در بسیاری از کاربردهای رایج کامپیوتری، صنعتی و خودرویی، گزینهٔ 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

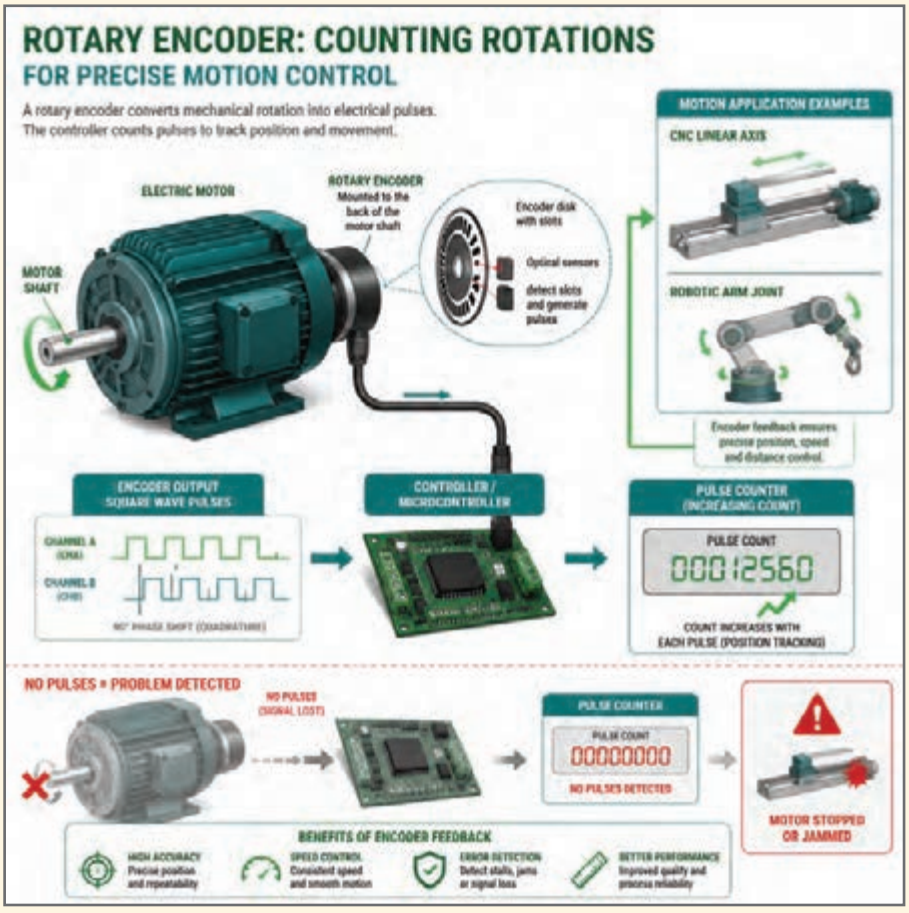
ساختار اصلی یک انکودر نوری به این صورت است پرتو نوری ساطع شده از یک LED دیسک شفاف که با خطوط کدر (غیرشفاف) الگوسازی شده است عبور کرده و توسط آرایه‌ای از فوتودیودها (که سنسور نوری نیز نامیده می‌شود) دریافت می‌شود (شکل ۲۹). آرایه فوتودیود با تولید یک شکل موج سینوسی پاسخ می‌دهد، سپس به یک موج مربعی یا قطار پالس (Pulse Train) تبدیل می‌گردد. انکودر که اغلب به آن تاکومتر (**Tachometer**) نیز گفته می‌شود، معمولاً در سامانه هایی که فقط در یک جهت می‌چرخند و فقط به اطلاعات ساده‌ای از موقعیت و سرعت نیاز دارند، استفاده می‌شود.




**شکل ۲۹**

فعالیت

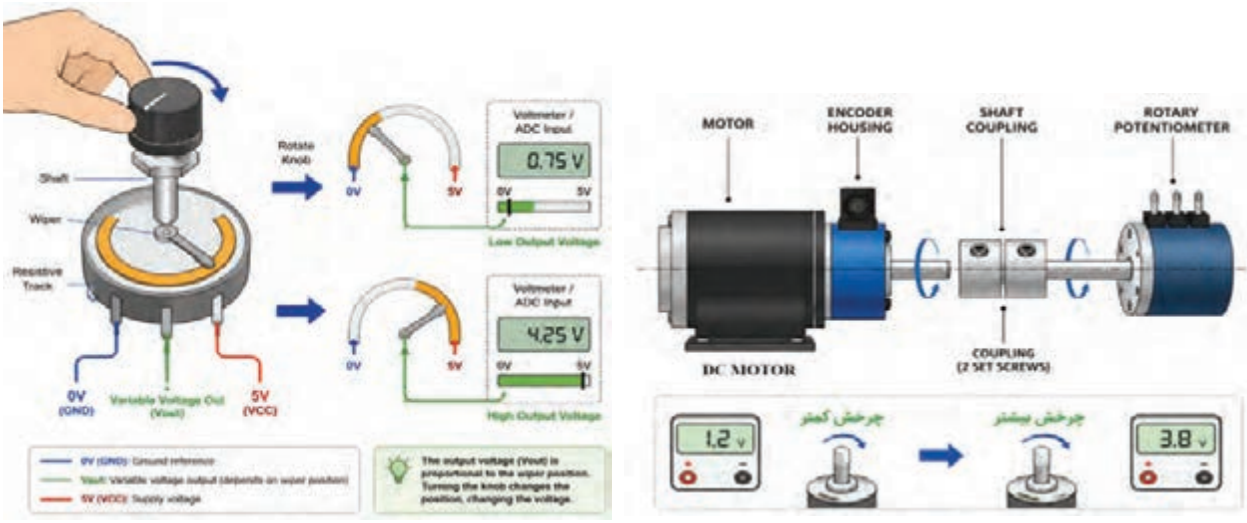
شکل ۳۰ نحوه کنترل موقعیت با انکودرهای نوری را نشان می‌دهد. اتصال انکودر به پشت شفت موتور باعث تولید سیگنال‌های الکتریکی به‌صورت پالس‌های مربعی دیجیتال هم‌زمان با چرخش مکانیکی می‌شود که توسط مدار کنترلر شمارش می‌شوند. متن مراحل انجام کنترل موتور با انکودر را ترجمه کنید.




**شکل ۳۰**

**۲ با اندازه‌گیری ولتاژ (به کمک پتانسیومتر)**

در این روش، از یک مقاومت متغیر (در حالت پتانسیومتری) استفاده می‌کنیم که به قطعه متحرک وصل است. با جابه‌جایی قطعه، ولتاژ خروجی تغییر می‌کند. با خواندن میزان ولتاژ توسط دستگاه، می‌توانیم 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 پاسخ‌دهی 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 میکروسوئیچ با عملکرد NO (Normally Open)، مدار در چه زمانی جریان را عبور می‌دهد؟

الف) همیشه جریان را عبور می‌دهد.

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) هیچ‌گاه جریان را عبور نمی‌دهد.

۳ تشخیص جابه‌جایی تنها شامل تعیین جهت حرکت است و شروع یا پایان حرکت در آن نقشی ندارد.

□ صحیح □ غلط

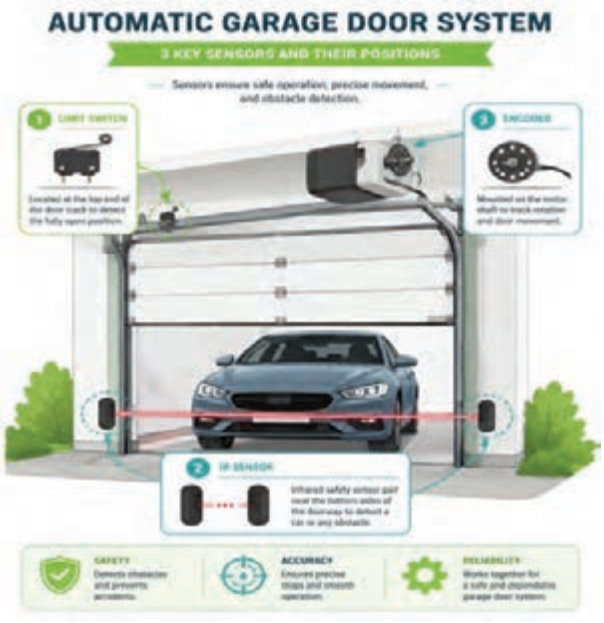
۴ در روش اندازه‌گیری جابه‌جایی با استفاده از پتانسیومتر، برای تعیین موقعیت دقیق قطعه، میزان تغییرات جریان الکتریکی خروجی توسط دستگاه پایش می‌شود.

□ صحیح □ غلط

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.




شکل ۳۲

**جدول ۴**

| ردیف | نام قطعه / حسگر Sensor | محل نصب در تصویر | وظیفه در سامانه درب اتوماتیک | نوع پاسخ حسگر |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | لیمیت‌سوئیچ /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 | مدارکنترلر | 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. به‌همین دلیل، سنسورهای نیرو (مثل لودسل) با اندازه‌گیری همین «تغییر شکل‌های بسیار کوچک و میکرونی» در یک قطعه فلزیِ 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 به‌صورت 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 $g = ۱۰ m/s^۲$ شتاب جاذبه زمین) را که به یک حسگر وارد می‌شود اندازه‌گیری می‌کنیم.

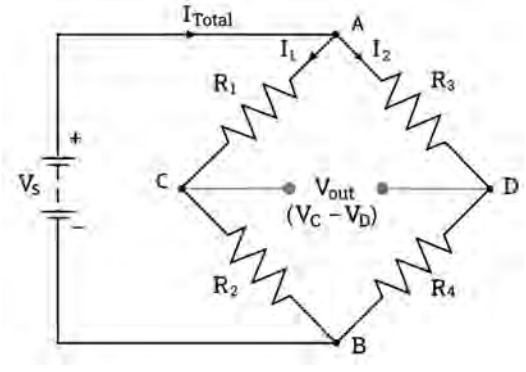
**لودسل (Load Cell):** عنصر اصلی تمام ترازوها و باسکول‌های صنعتی است. لودسل یک قطعه فلزی است که استرین‌گیج‌ها (کرنش‌سنج‌ها) روی آن چسبانده شده‌اند (شکل ۳۳)



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 استرین‌گیج‌ها و نهایتاً تغییر سیگنال الکتریکی می‌شود که توسط نمایشگر به عدد «کیلوگرم» تبدیل می‌گردد. استرین‌گیج‌ها 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 استرین‌گیج‌ها 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 ۵۳ـ الف) این آرایش باعث می‌شود هنگام اعمال نیرو، در میله گشتاور و خمش ایجاد شود. در نتیجه، چهار استرین‌گیج نصب‌شده روی لودسل این تغییر شکل خمشی را اندازه‌گیری می‌کنند:

ـ دو گیج در ناحیه فشاری (Compression) قرار می‌گیرند،

ـ دو گیج در ناحیه کششی (Tension).

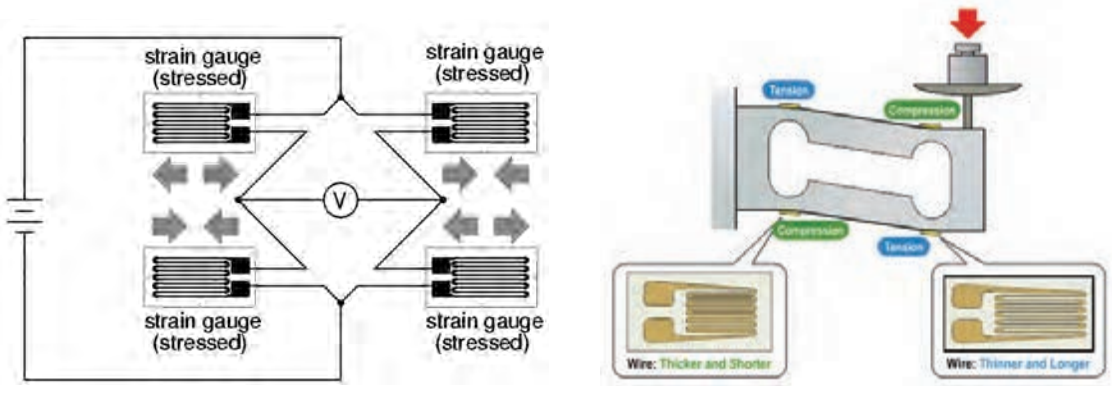
وقتی این چهار استرین‌گیج به‌صورت پل وتستون به هم متصل شوند، اندازه‌گیری تغییرات بسیار کوچک مقاومت آنها با دقت بالا امکان‌پذیر می‌شود. (شکل ۳۵ـ ب) این آرایش چند مزیت مهم دارد:

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 وتستون این تغییرات کوچک مقاومت را به یک سیگنال ولتاژ قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌کند.




(ب) (الف)

**شکل ۳۵**

## انواع کاربردهای لودسل در صنعت

ـ تبدیل وزن به سیگنال الکتریکی.

ـ **نشان‌دهنده (Indicator):** تقویت سیگنال و تبدیل به عدد وزن.

**توزین ثابت (ترازوها و 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 توقفِ حرکت، مقدار مواد (مثلاً شن یا ذغال‌سنگ) 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 (کاربردی در صنایع شیمیایی و غذایی) (شکل ۳۶).



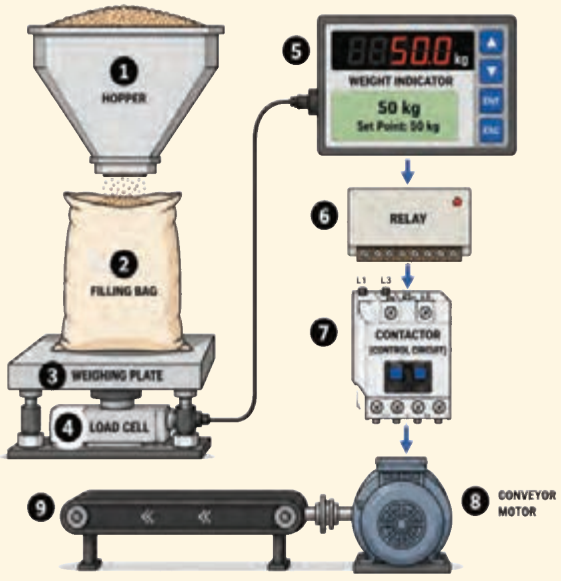

شکل ۳۶ ـ کاربرد انواع لودسل

فعالیت

در شکل۳۷، 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.




شکل ۳۷

**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 واردشده 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 تنظیم‌شده 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 تنظیم‌شده مقایسه می‌کند.

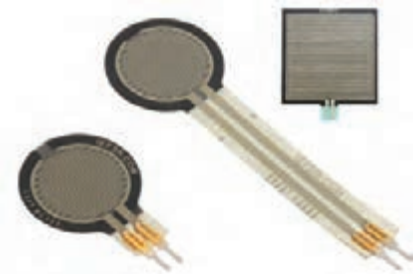
ج) وزن کیسه را زیاد می‌کند. د) نوار نقاله را مکانیکی حرکت می‌دهد.

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 Force Sensing Resistor (FSR)

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).



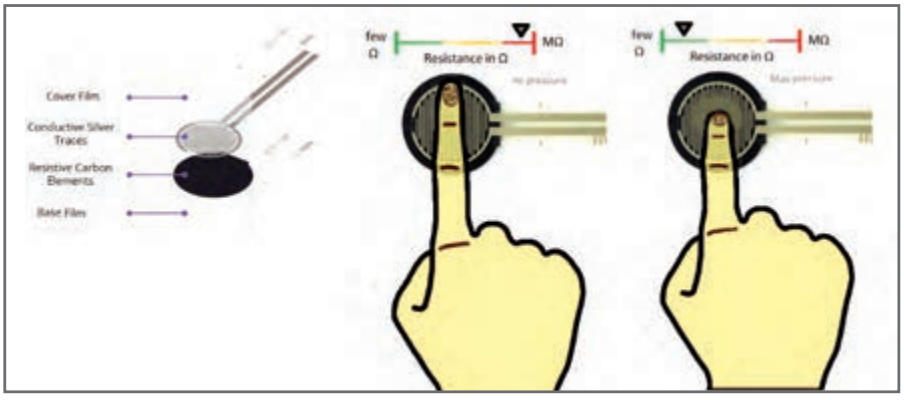
شکل ۳۸

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

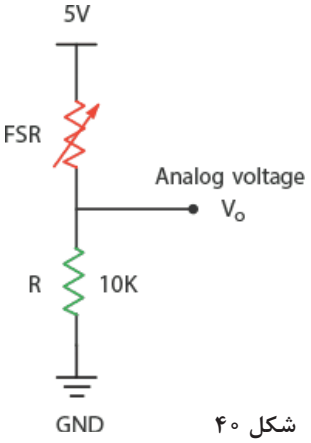
ساده‌ترین روش برای خواندن مقدار خروجی FSR، اتصال آن به یک مقاومت ثابت و تشکیل مدار تقسیم ولتاژ است (شکل ۴۰).

در این حالت، مدار یک ولتاژ متغیر تولید می‌کند که مقدار آن با تغییر مقاومت FSR تغییر می‌یابد. این ولتاژ

متغیر را می‌توان توسط مبدل آنالوگ به دیجیتال میکروکنترلر خواند.
از رابطه زیر برای محاسبه ولتاژ خروجی (Vo) استفاده کنیم.

$$Vo = V_{CC} \frac{R}{R + FSR}$$

در این مدار، ولتاژ خروجی با افزایش نیروی اعمال شده افزایش می‌یابد.



شکل ۴۰

مثال

با یک منبع تغذیه ۵ ولت و یک مقاومت ۱۰ کیلواهمی، وقتی فشاری وجود ندارد، مقاومت FSR بسیار بالا است (حدود ۱۰ مگا اهم)و ولتاژ خروجی صفر ولت را تولید می‌کند:

$$Vo = ۵V \frac{۱۰\ K\Omega}{۱۰\ K\Omega + ۱۰\ M\Omega}$$
$$= ۰/۰۰۵V$$
$$\approx ۰V$$

اگر نیروی قابل توجهی به FSR اعمال شود، مقاومت تقریباً به ۲۵۰ اهم‌کاهش می‌یابد. در نتیجه، ولتاژ خروجی به حدود ۵ ولت خواهد رسید:

$$Vo = ۵V \frac{۱۰\ K\Omega}{۱۰\ K\Omega + ۲۵۰\ \Omega}$$
$$= ۴/۹V \approx ۵V$$

همان‌طور که مشاهده می‌کنید، مقدار ولتاژ خروجی بسته به نیروی واردشده به سنسور، در بازه‌ای بین ۰ تا ۵ ولت تغییر می‌کند.

تمرین

مطابق شکل ۴۰ یک سنسور FSR در یک مدار تقسیم ولتاژ با یک مقاومت ثابت $R = ۱۰\ K\Omega$ 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.

**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 |

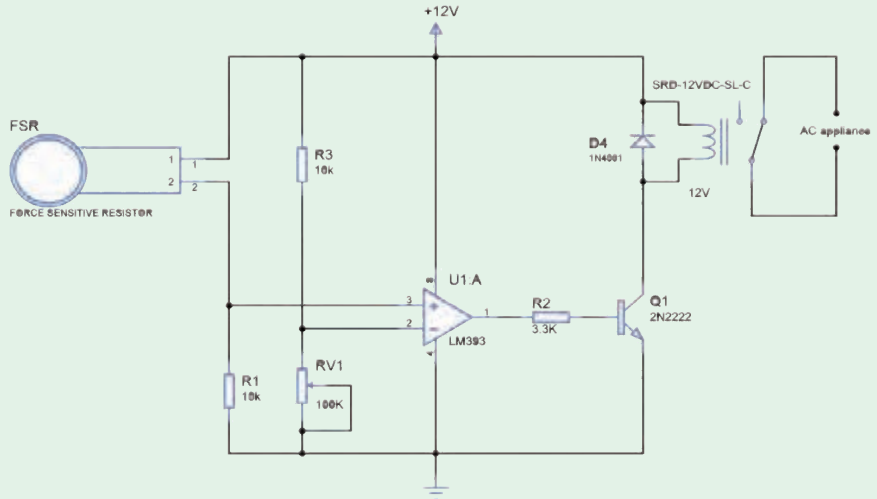
کار عملی ۳

**هدف:** بستن مدار کلید حساس به نیرو (FSR) بر روی بِردبُرد و اندازه‌گیری نیرو/فشار

**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه، نرم‌افزار مناسب، لوازم‌التحریر، مقاومت ۱۰ kΩ دو عدد، ۳/۶kΩ یک عدد، پتانسیومتر ۱۰ kΩ یک عدد، ترانزیستور ۲N۲۲۲۲ یک عدد، دیود ۱N۴۰۰۱ یک عدد، آی‌سی LM۱۹۳ IC یک عدد، رله ۱۲ ولتی یک عدد، یک وسیله مصرف‌کننده AC حسگر FSR یک عدد

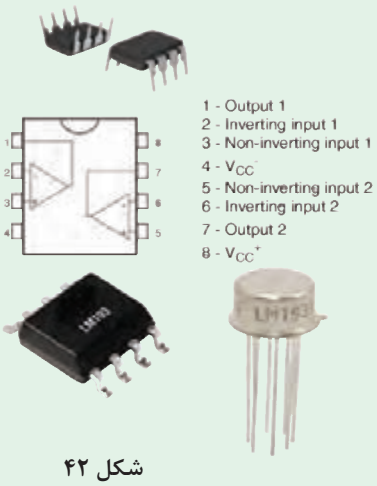
**نکته مهم:** سنسور FSR به‌کار رفته در این مدار در واقع یک مقاومت متغیر است که با اعمال نیرو یا فشار، مقادیر مقاومتی متفاوتی از خود نشان می‌دهد. در حالتی که هیچ نیرویی به حسگر اعمال نشود، مقاومت آن بسیار بالا (در حد مگا اهم) است. به محض اعمال فشار، مقاومت آن به حدود ۱۰۰ kΩ کاهش یافته و در صورت اعمال حداکثر فشار بر صفحه سنسور، این مقدار تا حدود ۱۰۰ Ω 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 مصرف‌کننده جریان متناوب (AC) عمل می‌کند و برای اندازه‌گیری مداوم (پایش) فشار و نیروکاربرد دارد.




شکل ۴۱

**نکته مهم:** LM۳۹۳ یا LM۱۹۳ یک مقایسه‌کننده ولتاژ دقیق با توان مصرفی کم است. محدوده تغذیه آن از ۲ تا ۳۶ ولت و با تغذیه متقارن از ±۱ ولت تا ±۱۸ 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 چند نمونه بسته‌بندی این آی‌سی و شماره پایه‌های آن را نشان می‌دهد.




شکل ۴۲

**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 به‌صورت سری با مقاومت $R_1$ قرارگرفته و یک مدار تقسیم ولتاژ تشکیل می‌دهد. ولتاژ خروجی این تقسیم ولتاژ (Vx) به پایه غیرمعکوس‌کننده مقایسه‌گر LM۱۹۳ اعمال می‌شود.

از طرف دیگر، یک تقسیم ولتاژ دیگر با استفاده از مقاومت R۳ و مقاومت متغیر RV۱ تشکیل شده است. ولتاژ خروجی(VSP) این بخش به پایه معکوس‌کننده آی‌سی مقایسه‌گر داده می‌شود. مقاومت متغیر RV۱ 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 R۱ (Vx) نسبت به ولتاژ خروجی تقسیم ولتاژ ساخته شده (VSP) کمتر است؛ بنابراین خروجی مقایسه‌گر فعال نمی‌شود. اما با اعمال نیرو به سنسور، مقاومت آن کاهش می‌یابد و در نتیجه ولتاژ خروجی تقسیم ولتاژ مربوط به (Vx) افزایش پیدا می‌کند.

در این حالت، ولتاژ پایه غیرمعکوس‌کننده مقایسه‌گر از ولتاژ پایه معکوس‌کننده بیشتر می‌شود. در نتیجه خروجی مقایسه‌گر فعال شده و ترانزیستور ۲N۲۲۲۲ را که مشابه یک کلید الکترونیکی است، راه‌اندازی می‌کند. پس از فعال شدن ترانزیستور، رله ۱۲ ولتی وصل می‌شود و می‌تواند یک وسیله مصرف‌کننده جریان متناوب AC را با جریان نامی مناسب، روشن کند.

**مراحل اجرای کار:**

۱ مدار شکل ۴۱ را روی بِردبُرد ببندید.

۲ منبع تغذیه را به مدار وصل کنید و مدار را راه‌اندازی کنید.

**نکته ایمنی :** ولتاژ ۲۲۰ ولت جریان متناوب در ابتدا به برد اتصال ندهید. پس از اینکه از راه‌اندازی صحیح مدار مطمئن شدید، با نظارت هنرآموز کارگاه ولتاژ ۲۲۰ ولت را به مدار اتصال داده و یک مصرف‌کننده 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(Vx) تشکیل‌شده ازحسگر FSR و مقاومت $R_1$ را اندازه‌گیری کنید. این اندازه‌گیری باید زمانی انجام شود که به سنسور FSR همان مقدار فشاری را وارد کرده‌اید که می‌خواهید مدار در آن نقطه فعال شود؛ به این مقدار، نقطه تحریک یا Trigger Point گفته می‌شود.

سپس ولتاژ خروجی تقسیم ولتاژ ساخته‌شده با مقاومت‌های $R_2$ و R۳ را کمی کمتر از ولتاژ اندازه‌گیری‌شده در مرحله قبل تنظیم کنید. با این تنظیم، وقتی فشار واردشده به سنسور به مقدار تعیین‌شده برسد، ولتاژ ورودی پایه غیرمعکوس‌کننده مقایسه‌گر (Vx) از ولتاژ مرجع بیشتر شده ($V_{SP}$) و خروجی مقایسه‌گر فعال می‌شود. در نتیجه، ترانزیستور راه‌اندازی شده، رله وصل می‌شود، تا مصرف‌کننده متصل به مدار را روشن کند. این کار باعث می‌شود مدار دقیقاً در فشار موردنظر شما عمل کند.

۴ پس‌از عملکرد صحیح مدار و وصل رله، با حفظ رعایت نکات ایمنی اتصال ولتاژ ۲۲۰ ولت AC برای فعال کردن مصرف‌کننده مدار را برقرار کنید.

۵ وظیفه ترانزیستور در مدار را شرح دهید.

۶ نقش دیود۱N۴۰۰۱ را توضیح دهید.

۷ رابطه ولتاژ متغیرForce Sensing Resistor در مدار را بنویسید.

## خود ارزیابی

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 به‌جای 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** | مونتاژکاران تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی | **کدپیمانه/پودمان** | ۸۲۱۲۱۳۰۱۴ |
| **کد وظیفه شغل** | ۸۲۱۲۲۳۰۱ | **وظیفه شغل** | ساخت بردهای الکترونیکی | **سطح صلاحیت** | ۳ |
| **کد کار** | ۸۲۱۲۲۳۰۱۴۱ | **کار** | تبدیل کمیت‌های فیزیکی به الکتریکی | **سطح شایستگی** | مهارت |

**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.

| ردیف | مراحل کار | شرایط انجام کار (ابزار،مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...) | ابزارهای ارزشیابی | استاندارد (شاخص‌ها/داوری/نمره‌دهی) | نتایج ممکن | نمره کسب‌شده |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | شناسایی کمیت‌های فیزیکی (نور، دما، فشار، رطوبت و...) و انتخاب مبدل (ترانس‌دیوسر) مناسب براساس محدوده و دقت موردنیاز | انواع حسگرها (LDR، TDR، LM۳۵، Reed Relay و...)، ترانس دیوسرها، مولتی‌متر، رایانه، برگه‌های اطلاعاتی حسگرها وزمان تعیین‌شده در کارگاه الکترونیک | مشاهده عملکرد، بررسی انتخاب حسگر و تطبیق آن با مشخصات مندرج در برگه‌های اطلاعاتی و پرسش‌وپاسخ | 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 | شبیه سازی نرم افزاری و پیاده‌سازی دقیق مدارهای تبدیل سیگنال آنالوگ بروی بردبُردبا رعایت ایمنی و استفاده صحیح از تجهیزات (مولتی‌متر و منبع تغذیه) | نرم‌افزار شبیه‌سازی مدار، بردبُرد، حسگرها، مولتی‌متر، منبع تغذیه، رایانه و زمان تعیین‌شده 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 دراجرا 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، بردبُرد، 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 نقص جزئی وگزارش 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 | | مشاهده‌رفتارهنرجو درحین انجام فعالیت، میزان رعایت اصول ایمنی و نظم، فعالیت‌های گروهی، مدیریت زمان و مسئولیت‌پذیری | رعایت کامل ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست ،رفتار حرفه‌ای، نظم و مسئولیت‌پذیری 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:**

ـ کسب حداقل نمره ۲ درمراحل 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).

ـ کسب حداقل نمره ۲ ازبخش شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش

ـ کسب حداقل میانگین ۲ ازمراحل 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، عیب یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.

# واحد یادگیری ۲ : راه‌اندازی مدار کنترل کمیت‌های فیزیکی با حسگرها

## آیا تا به حال فکر کرده‌اید

- مدار الکترونیکی فتوسل چگونه با تشخیص میزان نور محیط، چراغ‌های خیابان را در شب به‌طور خودکار روشن و در روز خاموش می‌کند.
- ترموستات هوشمند خانه شما چگونه دمای اتاق را همیشه روی عدد دلخواه شما ثابت نگه می‌دارد؟
- وقتی آب جوش می‌آید کتری برقی چگونه به‌طور خودکار خاموش می‌شود تا از سرریز شدن جلوگیری کند؟
- سیستم‌های آبیاری خودکار در کشاورزی، چگونه با سنجش رطوبت خاک، زمان مناسب برای آبیاری را تشخیص می‌دهند؟
- اگر حسگرهای دما و سطح مایع وجود نداشتند، مدیریت انرژی و منابع آب در ساختمان‌ها و صنایع چقدر دشوار بود؟

در واحد یادگیری اول، با مبانی ابزار دقیق و اصول تبدیل کمیت‌های فیزیکی به سیگنال‌های الکتریکی در حسگرهایی نظیر جابه‌جایی، فشار و نیرو آشنا شدیم. اکنون در این واحد، با هدف انتقال از دانش نظری به مهارت عملی، به پیاده‌سازی مدارهای کنترل‌کننده خواهیم پرداخت.

در این بخش، تمرکز بر حسگرهای دما، نور، سطح مایع و رطوبت خواهد بود. هنرجویان با بهره‌گیری از محتوای دانشی مختصر و راهنمایی‌های گام‌به‌گام، توانایی طراحی و پیاده‌سازی عملی مدارهای الکترونیکی این حسگرها را کسب خواهند کرد. هدف از این واحد، تقویت مهارت هنرجویان در طراحی، مونتاژ و راه‌اندازی مدارهای کنترلی پرکاربرد در صنایع مختلف است.

در ادامه، هر یک از این حسگرها به ترتیب، همراه با مدار الکترونیکیِ راه‌انداز و یک کار عملی مرتبط معرفی خواهند شد. در نهایت نیز، مجموعه‌ای از پروژه‌های پیشنهادی و قابلِ اجرا برای تثبیت یادگیری در پایان این واحد ارائه شده است.

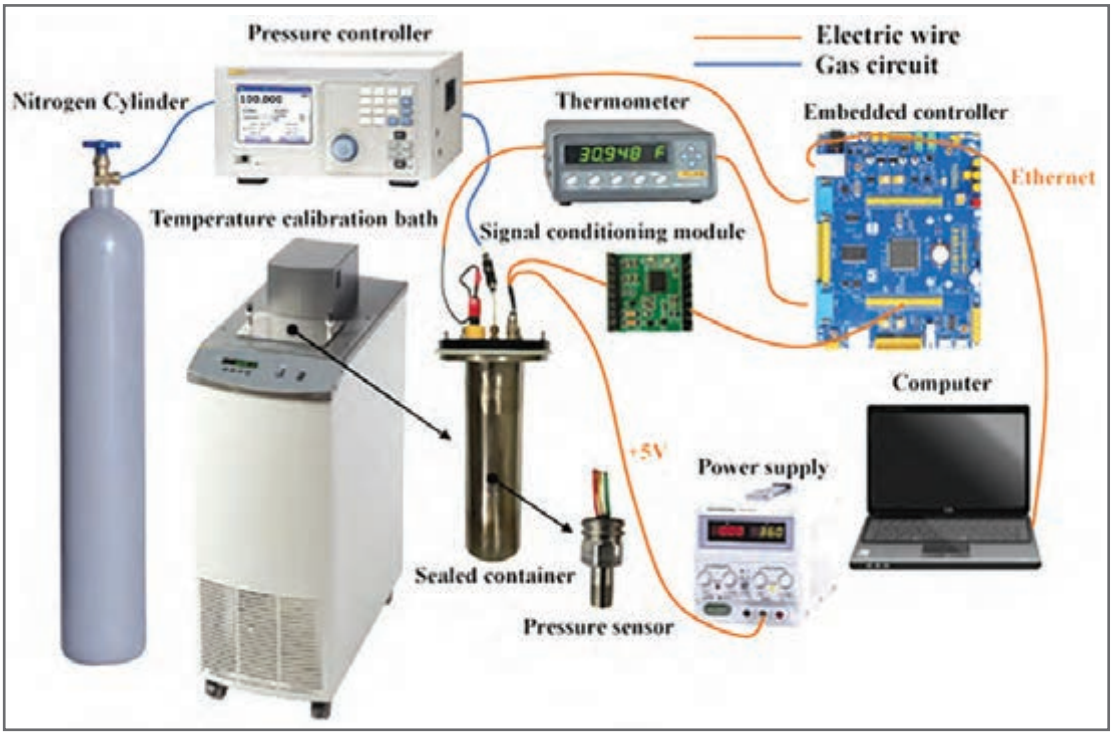
بدیهی است برای تحلیل و بررسی و اجرای عملی یک مدار کاربردی، باید در تمام مراحل کار عملی رعایت نکات ایمنی و بهداشتی و توجه به مهارت‌های غیرفنی مانند کارگروهی، مسئولیت‌پذیری، پایبندی به نظم و ترتیب از مواردی است که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و باید رعایت شود.

## استاندارد عملکرد

مدارهای کنترل کمیت فیزیکی را پیاده‌سازی 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 به‌عنوان ورودی، تغییرات محیطی را «حس» کرده و به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کنند. به‌عنوان 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

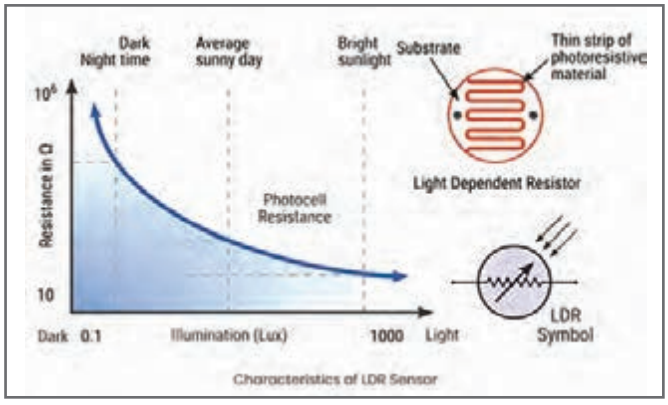
LDR یک قطعه الکترونیکی (مقاومت وابسته نور) است که مقدار مقاومت آن بستگی به شدت نور دارد. به مقاومت وابسته به نور (LDR) فتورزیستور نیز گفته می‌شود.

این قطعه دو پایه دارد و قطبیت ندارد. ساختمان داخلی آن ازمواد 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

هنگامی‌که 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).




شکل ۴۴

پرکاربردترین سنسور نوری مقاومتی، سلول فوتورزیستور (فتوهادی) «سولفید کادمیوم» مدل ORP۱۲ 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 (۱۰ MΩ) است که با تابش کامل نور، به حدود ۱۰۰ اهم (۱۰۰ Ω) 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 شکل۴۵ 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.

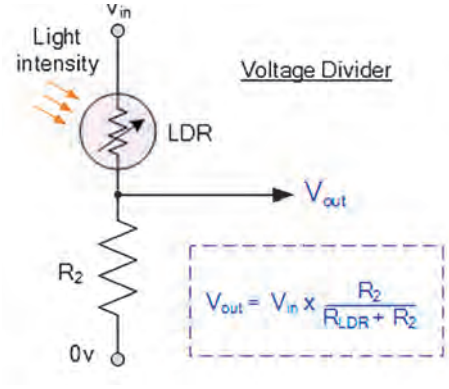
**سنجش شدت نور:** اندازه‌گیری دقیق نور در محیط‌هایی نظیر آتلیه‌های عکاسی یا محیط‌های باز.




شکل ۴۵

## تبدیل تغییرات مقاومت LDR به ولتاژ قابل درک برای واحد کنترل

اتصال یک مقاومت وابسته به نور (LDR) به‌صورت 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 $R_۲$، توسط مقدار مقاومت LDR ($R_{LDR}$) تعیین می‌شود. این قابلیتِ تولید ولتاژهای مختلف، منجر به ایجاد یک مدار بسیار کاربردی به تقسیم ولتاژ می‌شود (شکل ۴۶).




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.

$$V_{OUT} = V_{CC} \times \frac{R_۲}{R_{LDR} + R_۲}$$

### محاسبه در شرایط تاریکی مطلق (Darkness)

در تاریکی مطلق، مقاومت LDR بسیار زیاد است (تقریباً ۱۰ MΩ یا ۱۰/۰۰۰ kΩ).

اگر $R_۲$= ۱۰ kΩ درنظر گرفته شود در این‌صورت خواهیم داشت:

$$V_{OUT} = ۵V \times \frac{۱۰k\Omega}{۱۰/۰۰۰k\Omega + ۱۰k\Omega} = ۵V \times \frac{۱۰k\Omega}{۱۰/۰۱۰k\Omega} = ۰/۰۰۵V \simeq ۰V$$

**نتیجه:** در تاریکی، ولتاژ خروجی به صفر نزدیک می‌شود.

**محاسبه در شرایط نور کامل (Bright Light)**

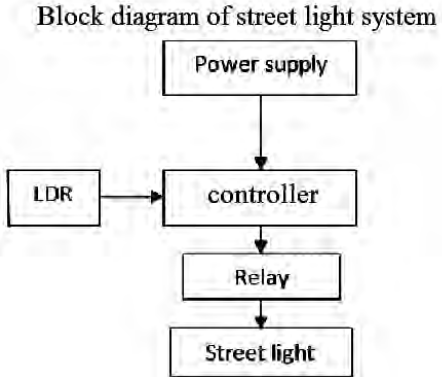
در نور کامل (نور خورشید)، مقاومت LDR بسیار کم است (تقریباً ۱۰۰ Ω یا ۰/۱ kΩ).

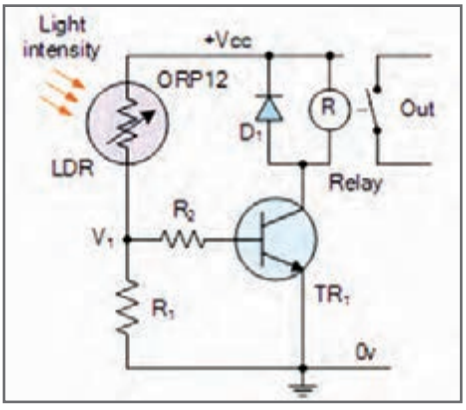
$$V_{OUT} = ۵V \times \frac{۱۰k\Omega}{۰/۱k\Omega + ۱۰k\Omega} = ۵V \times \frac{۱۰k\Omega}{۱۰/۱k\Omega} = ۴/۹۵ \simeq ۵V$$

**نتیجه:** در روشنایی، ولتاژ خروجی به ۵ ولت (ولتاژ منبع) نزدیک می‌شود.

## روشنایی خودکار معابر

در شکل۴۷ 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.



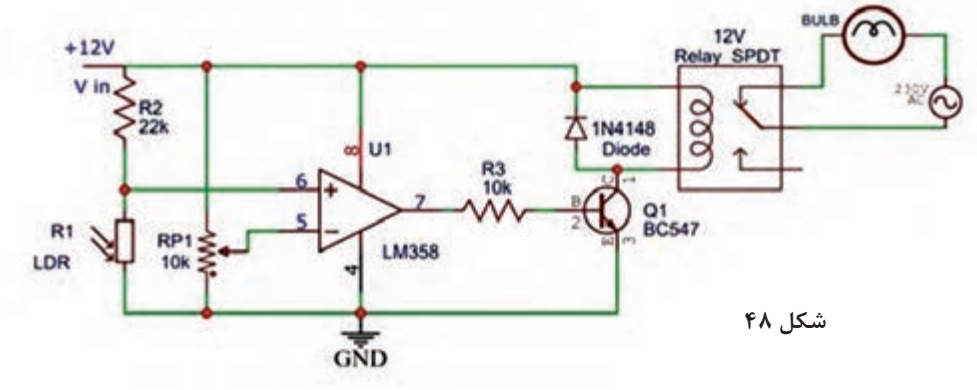




شکل ۴۷

## بررسی عملکرد مدار سوئیچ نوری (LDR) با تقویت‌کننده عملیاتی

**ـ در شرایط تاریکی**

عملکرد این مدار به این‌صورت است که وقتی نوری وجود ندارد (در شب)، مقاومت سنسور نوری (LDR) افزایش می‌یابد. درنتیجه، 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 $Q_1$ روشن شده و رله را فعال می‌کند؛ رله نیز فعال شده و لامپ AC را روشن می‌کند.




شکل ۴۸

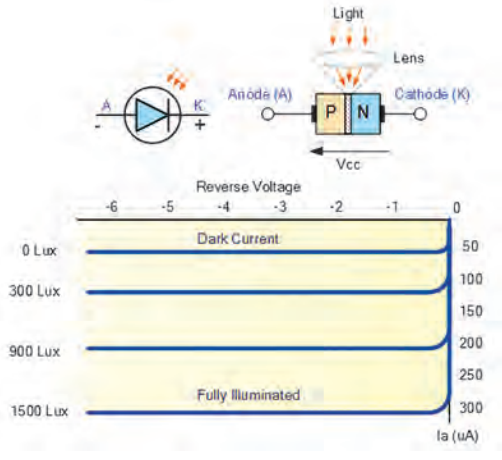
**ـ در شرایط روشنایی**

در طول روز، به‌دلیل وجود نور خورشید، مقاومت LDR کاهش می‌یابد و درنتیجه ولتاژ دو سر آن نیز کم می‌شود. سرانجام، ولتاژ پایه غیرمعکوس‌کننده عملیاتی کمتر از ولتاژ پایه معکوس‌کننده می‌شود. و خروجی تقویت‌کننده عملیاتی به سطح پایین (Low) تغییر وضعیت می‌دهد و باعث خاموش شدن ترانزیستور BJT و درنتیجه قطع شدن رله می‌گردد و لامپ را خاموش می‌کند.

**تنظیم (کالیبراسیون):** برای اینکه بتوان نقطه کلیدزنی مدار را تنظیم کرد (به‌عنوان مثال، فعال‌سازی رله در زمان سحر به‌جای تاریکی مطلق)، کافی است مقاومت ثابت $R_1$ با یک پتانسیومتر ($VR_1$) جایگزین شود. در کاربردهای دقیق، اغلب به‌جای استفاده از یک ترانزیستور، از یک «تقویت‌کننده عملیاتی» (Op-Amp) در پیکربندی مقایسه‌کننده (Comparator) استفاده می‌شود تا سیگنال کلیدزنی دیجیتال دقیق‌تر و پایدارتری حاصل شود.

## فتودیود (Photodiode)

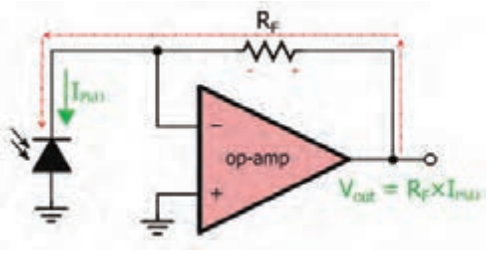
فتودیود یک قطعه نیمه‌هادی است که وقتی نور به آن می‌تابد، جریان الکتریکی کوچکی از خود عبور می‌دهد (یا ولتاژ تولید می‌کند). شدت جریان یا ولتاژ تولید شده، متناسب با شدت نور است. فتودیودها سریع‌تر از LDRها به تغییرات نور واکنش نشان می‌دهند (شکل ۴۹).




شکل ۴۹

مشخصه جریان ـ ولتاژ (منحنی‌های I/V) یک فوتودیود بدون نور در محل اتصال آن (حالت تاریک) بسیار شبیه به یک دیود سیگنال یا یکسوکننده 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 تقویت‌کننده عملیاتی با نوع کاربری مبدل جریان به ولتاژ (انتقال‌دهنده امپدانس TIA) استفاده می‌شود تا جریان خروجی فتودیود به ولتاژ خروجی تبدیل گردد. در این مدار فتودیود به ورودی معکوس‌کننده تقویت‌کننده عملیاتی متصل شده و با فیدبک مقاومتی $R_f$ جریان در ورودی جمع می‌شود. رابطه ولتاژ خروجی ایده‌آل به‌صورت زیر است:



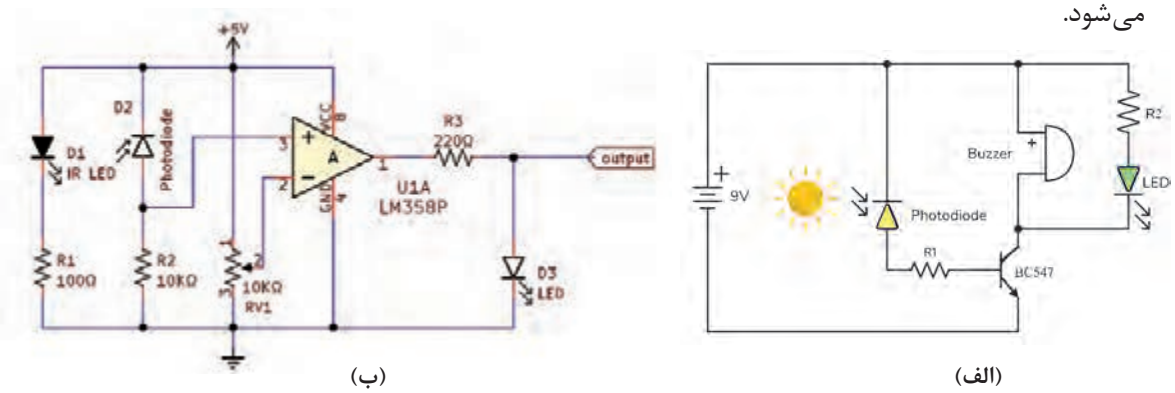

شکل ۵۰

$$V_{out} = - I_{ph} \times R_f$$

علامت منفی به دلیل مدار تقویت‌کننده عملیاتی به‌صورت معکوس‌کننده است (شکل ۵۰).

## کاربرد عملی فتو دیود

**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 به‌عنوان حسگر در سامانه‌های کنترل فرایند مشاهده می‌شود.




(ب) (الف)

شکل ۵۱

در شکل ۵۱ـ الف وقتی نور مادون‌قرمز (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 BC۵۴۷ 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 ۶۹ـ ب یک مدار ساده برای تشخیص مانع است که با LED مادون‌قرمز (IR)، فتودیود و تقویت‌کننده عملیاتی LM۳۵۸P ساخته می‌شود.
مدار اجسامی را که نور مادون‌قرمز 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

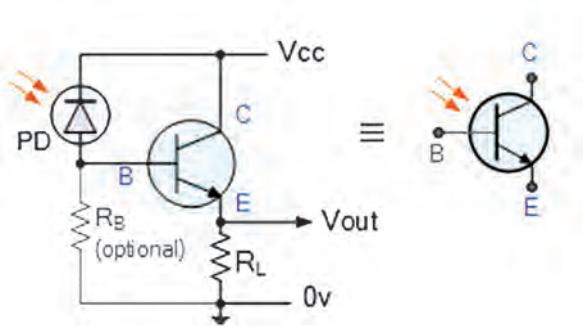
تحقیق کنید

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 به‌کارگاه ارائه دهید.

## فتوترانزیستور

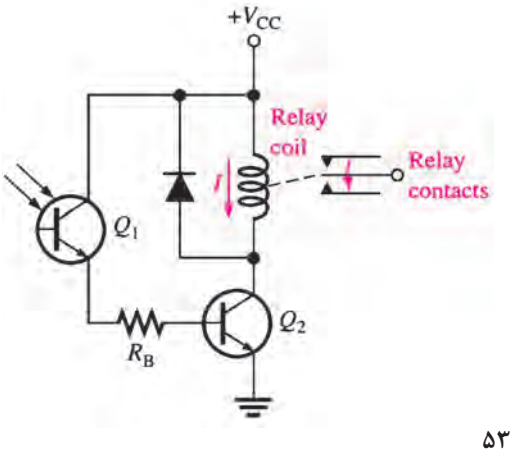
فتوترانزیستور یک قطعه نیمه‌رسانای حساس به نور است که با جذب فوتون‌ها در پیوند بیس،کلکتور، جریان پایه مؤثر ایجاد کرده و جریان کلکتور، امیتر را تقویت می‌کند (شکل ۵۲).

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.




شکل ۵۲

خروجی فتوترانزیستور متناسب با شدت تابش (در یک بازه مشخص) تغییر می‌کند و در مدارهای اندازه‌گیری به‌صورت کلید نوری یا حسگر آنالوگ به‌کار می‌رود (شکل ۵۳).






شکل ۵۳

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 ۵۴

کار عملی ۱

## اجرای مدارهای کاربردی با حسگرهای نور (LDR و Opto_Coupler)

**هدف:**

برای دستیابی به:

۱ بررسی عملکرد مدار لوکس‌متر (نورسنج) با نمایشگر LED

۲ بررسی عملکرد مدار تاکومتر (دورسنج) با اپتوکوپلر

**مواد، ابزار وتجهیزات:** رایانه،نرم‌افزار، نوشت‌افزار، منبع تغذیه ۱۲ ولت، IC تقویت‌کننده عملیاتی LM۳۲۴، IC LM۳۲۴ مقایسه‌گر، IC۷۴۹۳ شمارنده باینری IC۷۴۴۷ رمزگشای ۷ قطعه‌ای، IC۷۴۱۴ اشمیت تریگر، ۷ قطعه‌ای (۷Seg) آند مشترک هرکدام یک عدد، دیود نورانی LED ده عدد، اپتوکوپلر یو شکل یک عدد، مقاومت‌های LDR، ۲/۲KΩ، ۱۲KΩ، ۳/۳KΩ، ۱۵۰Ω، ۴۷Ω هر کدام یک عدد و مقاومت‌های ۱۰KΩ، ۱KΩ هر کدام دو عدد برِد بُرد، سیم‌های رابط

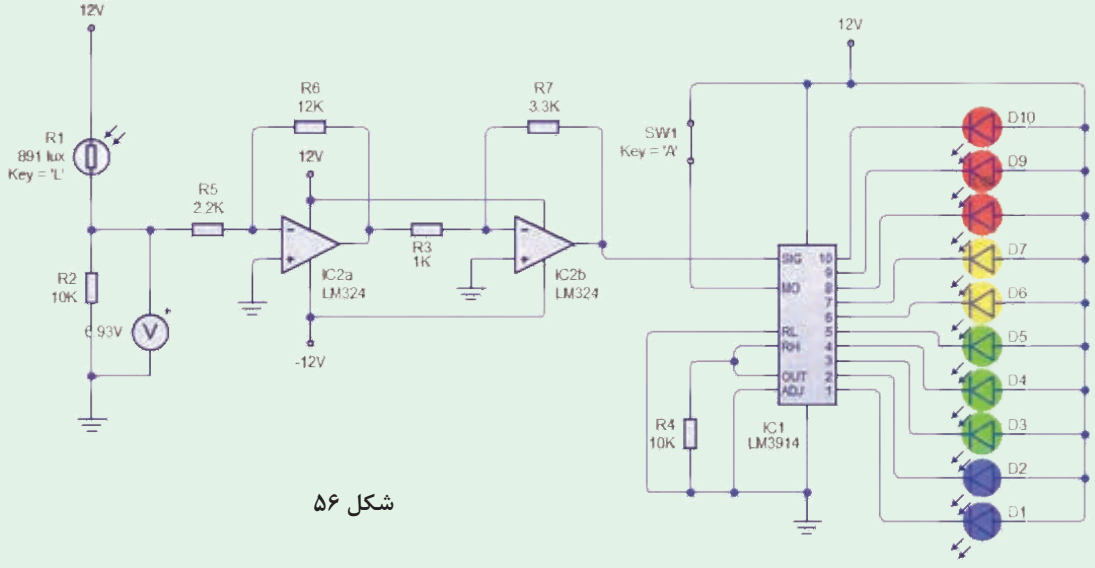



شکل ۵۵

**لوکس‌مترِ** (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. لوکس‌متر برای کنترل استاندارد نور در محیط‌های کاری شکل ۵۵ برای سلامت چشم وجلوگیری 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 روشن‌شده تغییر می‌یابد که در واقع سطح نور محیط را به‌صورت بصری نشان می‌دهد.
۳ با فعال کردن کلید $S_1$، حالت نمایش از نقطه‌ای(Dot Mode) به نواری (Bar Mode) تغییر می‌کند،کلید راتغییر دهید، و روشن شدن LEDها را مشاهده کنید.
۴ مدار را مطابق با نقشه شماتیک شکل ۷۴ بر روی بردبُرد 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 روشن‌شده 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؟

.....

.....

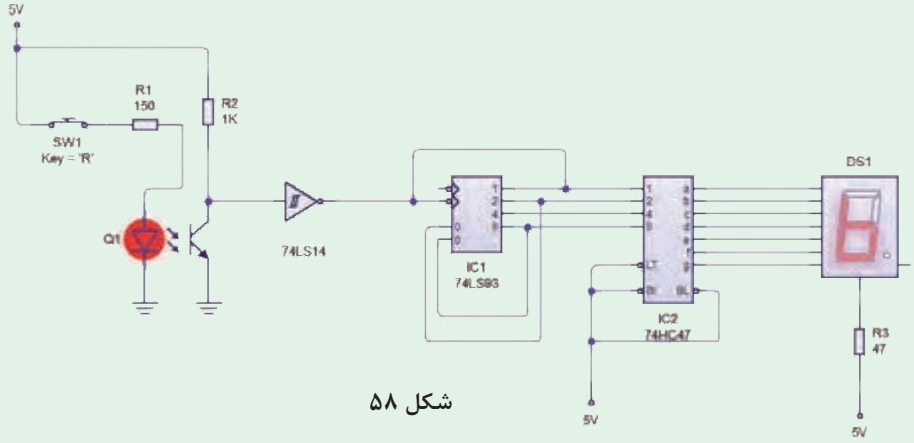
تاکومتر (Tachometer) ابزاری است که برای اندازه‌گیری سرعت چرخش یک شفت یا دیسک (مانند محور موتور در ماشین‌آلات یا ربات‌ها) استفاده می‌شود. این دستگاه معمولاً تعداد دور در دقیقه (RPM) را بر روی یک صفحه مدرج آنالوگ یا یک نمایشگر دیجیتال نشان می‌دهد، (شکل ۵۷). در ساختار این دستگاه، از یک ماژول حسگر مادون قرمز (IRSensor) یو (U) شکل برای تشخیص چرخش استفاده می‌شود. این حسگر با تشخیص گذشتنِ نقاط مشخص از مقابل خود، سیگنال‌هایی تولید می‌کند که توسط یک مدار شمارنده پردازش شده و در نهایت، سرعت چرخش به‌صورت عدد روی نمایشگر نمایش داده می‌شود.



**شکل ۵۷**

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 به‌کار رفته است، نتیجه را در کارگاه به بحث بگذارید.

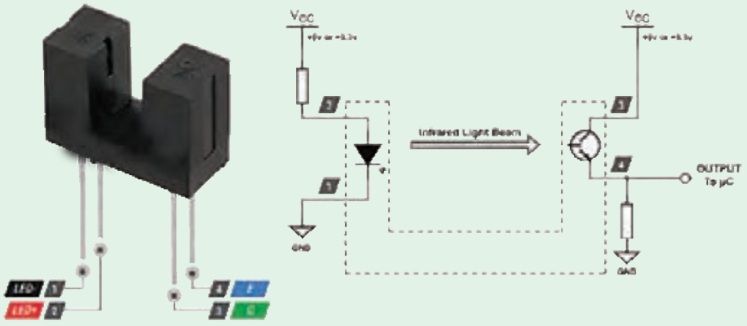



شکل ۵۸

۸ مدار شکل ۵۸ را با قطعات واقعی بر روی بِرد بُرد ببندید.

**توجه:** در شکل ۵۹ مدار داخلی یک نمونه اپتوکوپلر یوشکل نشان داده شده است.

۹ با عبور یک کارت یا کاغذ تیره از شکاف حسگر، مدار را فعال کنید و شمارش اعداد را مشاهده کنید.



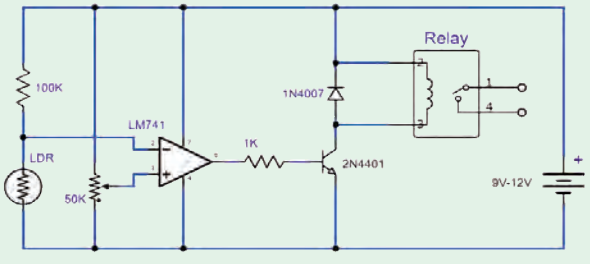

شکل ۵۹

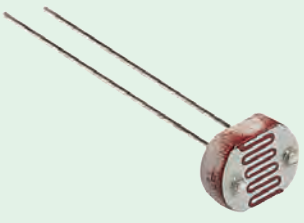
**فکر کنید :** برای افزایش محدوده اندازه‌گیری مدار جهت نمایش سرعت‌های بسیار بالاتر، چه تغییراتی در بخش مدار شمارنده لازم است؟ یا چه نوع مدار جایگزینی می‌توان برای آن استفاده کرد؟

**فعالیت خارج از ساعات درسی:** در صورت داشتن وقت اضافی در محیط کارگاه مدار الکترونیکی یک نمونه فتوسل را درمحیط نرم‌افزار ببندید.

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

## خودارزیابی

۱ مقاومت LDR در تاریکی چگونه است؟

الف) حدود ۱۰۰ اهم
ب) بسیار کم
ج) بسیار زیاد (حدود ۱۰ مگااهم)
د) صفر اهم

۲ مقاومت LDR با افزایش شدت نور چگونه تغییر می‌کند؟

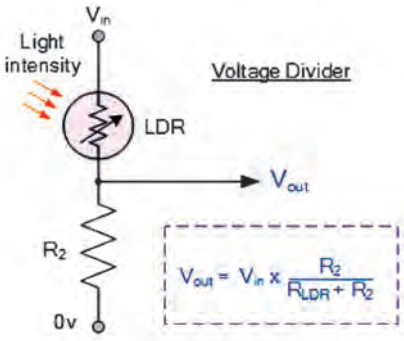
الف) افزایش می‌یابد
ب) ثابت می‌ماند
ج) کاهش می‌یابد
د) ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد

۳ مهم‌ترین کاربرد LDR در مدارالکترونیکی روشنایی معابر چیست؟

الف)تقویت جریان
ب) تولید نور
ج) روشن و خاموش کردن خودکار چراغ‌ها
د) ذخیره انرژی

۴ در مدار تقسیم ولتاژ شکل ۶۱، با افزایش شدت نور، ولتاژ خروجی ($V_{OUT}$) چه تغییری می‌کند؟

الف) کاهش می‌یابد
ب) تقریباً صفر می‌شود
ج) به ولتاژ منبع (حدود ۵ ولت) نزدیک می‌شود
د) ثابت می‌ماند.



شکل ۶۱

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؟

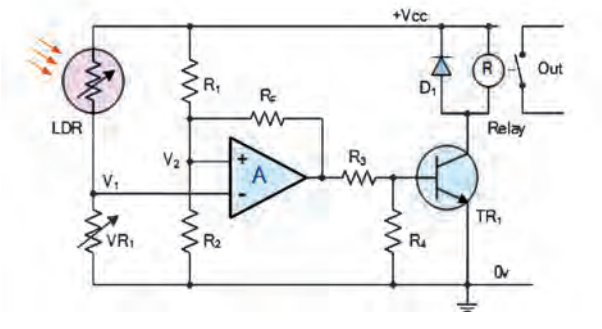
الف) Vout = Iph + Rf
ب) Vout = Iph/Rf
ج) Vout = –Iph × Rf
د) Vout = Rf/Iph

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 قطعه‌ای جایگزین می‌شود؟

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

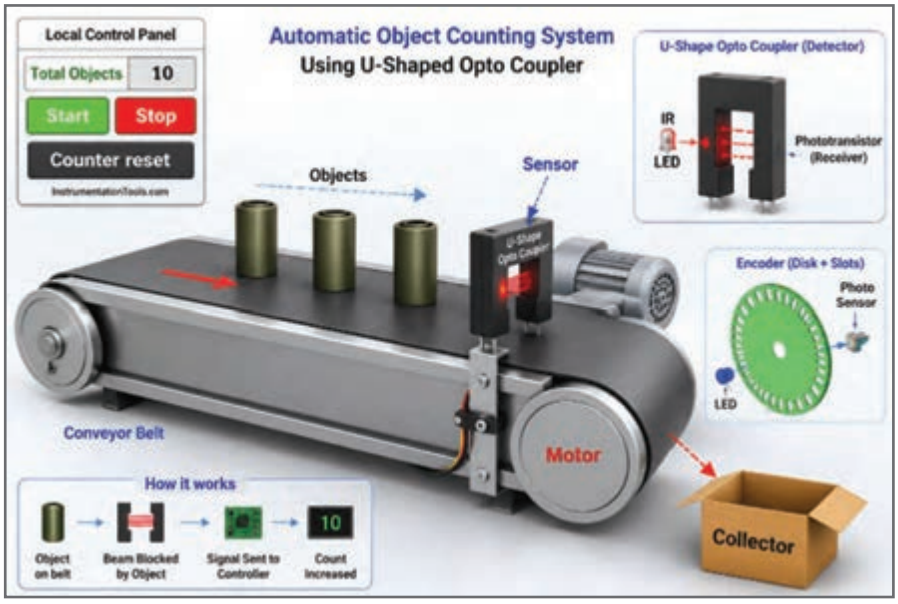
۱۱ فتوترانزیستور نسبت به فتودیود سرعت پاسخ‌دهی بیشتری دارد. □ صحیح □ غلط

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 فوتوترانزیستور 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 به‌صورت 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 نجات‌بخش 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:

ـ ترمیستورهای با ضریب دمایی منفی (NTC)

ـ آشکارسازهای دمای مقاومتی (RTD)

ـ ترموکوپل‌ها

ـ 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.

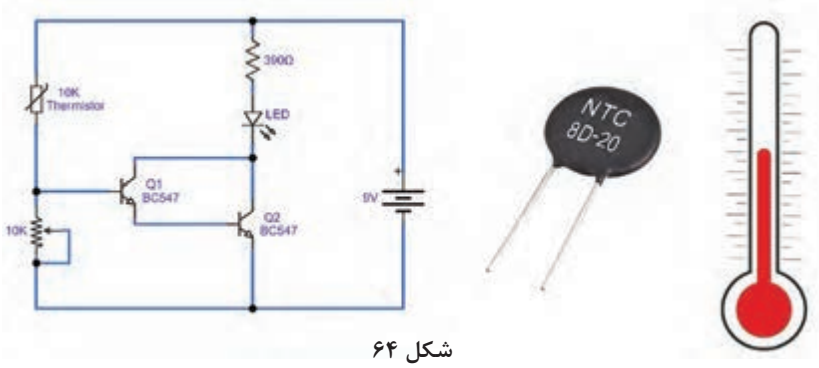
مدار حسگر حرارت با ترمیستور NTC در شکل ۶۴ نشان داده شده است

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 به‌صورت 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**

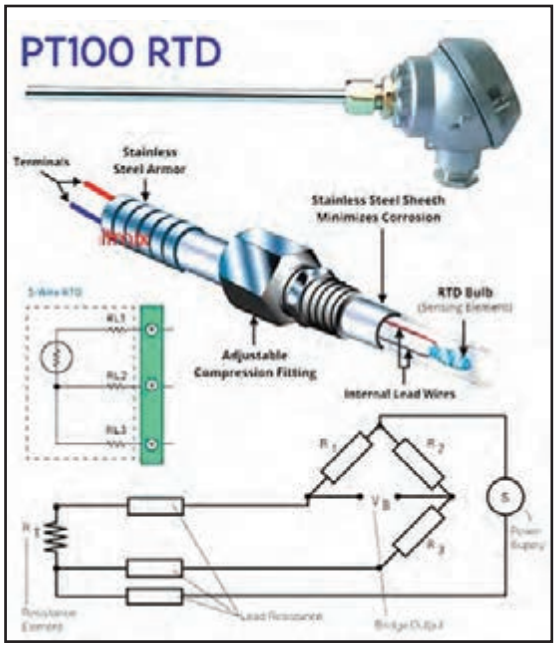
با تنظیم مقاومت متغیر می‌توان دمای آستانه روشن شدن LED را تغییر داد. این مدار نمونه‌ای ساده از کاربرد ترمیستور در سیستم‌های کنترل دما است. که بدون نیاز به کنترل دستی، در هنگام افزایش دما خروجی هشدار (روشن شدن LED) ایجاد کند.

## آشکارساز دمای مقاومتی (RTD)

RTD (Resistance Temperature Detector) به معنی آشکارساز مقاومتی دما است.

RTDها نوعی حسگر دما هستند که در آن یک سیم فلزی یا لایه نازک فلزی به‌عنوان عنصر حسگر به‌کار می‌رود، (شکل ۶۵).

در ساختمان RTD، یک سیم نازک و ظریف به‌صورت سیم‌پیچ، دور یک هسته سرامیکی یا شیشه‌ای پیچیده می‌شود. این عنصر معمولاً بسیار حساس و شکننده است؛ بنابراین اغلب درون یک محافظ یا غلاف قرار داده می‌شود. حسگر دمای RTD نسبت به برخی حسگرهای دما مانند ترموکوپل‌ها و ترمیستورها، دقت و پایداری بیشتری دارد. معمولاً در ساخت RTDها از سیم‌های نیکل، پلاتین یا مس استفاده می‌شود؛ زیرا این مواد دارای ضریب دمایی مثبت هستند، یعنی با افزایش دما، مقاومت آنها نیز افزایش می‌یابد. رایج‌ترین نوع RTD، PT۱۰۰ است.




شکل ۶۵

وقتی دما تغییر می‌کند، مقاومت عنصر حسگرنیز تغییر می‌کند. با اندازه‌گیری این مقاومت، می‌توان مقدار دما را تعیین کرد. رابطه کلی تغییر مقاومت با دما به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$R_t = R_\circ(1 + \alpha\Delta T)$$

$$\Delta T = T - T_\circ$$

که در آن:

- $R_t$: مقاومت در دمای موردنظر T
- $R_\circ$: مقاومت در دمای مرجع، معمولاً $(T_\circ) 0C^\circ$
- $\alpha$ (alphaα): ضریب تغییرات مقاومت نسبت به دما
- $\Delta T$: تغییرات دما بر حسب درجه سلسیوس

مثال

یک حسگر Pt۱۰۰ در دمای (صفردرجه $0^\circ C$) دارای مقاومت ۱۰۰Ω است. اگر دما به $50^\circ C$ برسد، مقدار تغییر مقاومت و مقاومت نهایی RTD را به‌دست آورید.

**حل:**

RTD پلاتینی، معمولاً: $\alpha = 0/00385\ ^\circ C^{-1}$ است

$$R_\circ = 100\Omega$$

$$\Delta T = T - T_\circ$$

$$\Delta T = 50 - 0 = 50^\circ C$$

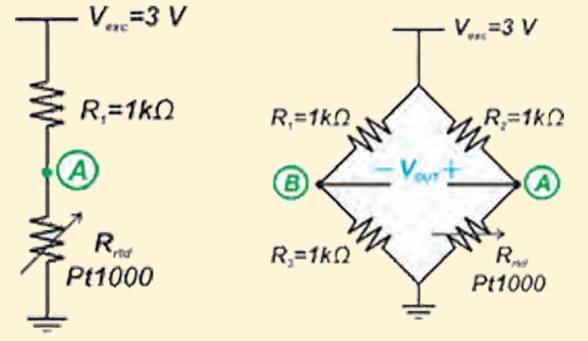
$$R_t = R_0(1 + \alpha\Delta T) = 100[1 + (0/00385 \times 50)] = 119/25\Omega$$

تمرین

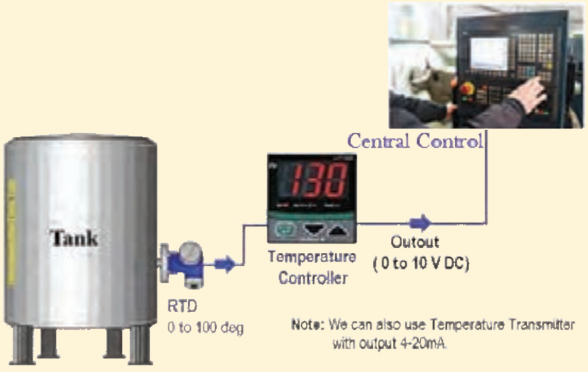
برای تبدیل تغییرات مقاومت آشکارساز دمای مقاومتی (RTD) به یک سیگنال ولتاژ، می‌توان از یک مدار تقسیم‌کننده ولتاژ مقاومتی ساده که در دو بازوی یک پل وتستون قرار می‌گیرد استفاده کرد.

همان‌گونه که در شکل الف ـ ۶۶ نشان داده شده است، یک مدار متداول برای اتصال RTD پلاتینی در مدار با یک مقاومت ۱KΩ 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 ـ ۶۶).

اختلاف ولتاژ دو نقطه AB در مدار پل وتستون را در دمای ۵۰ °C محاسبه کنید.




(الف)

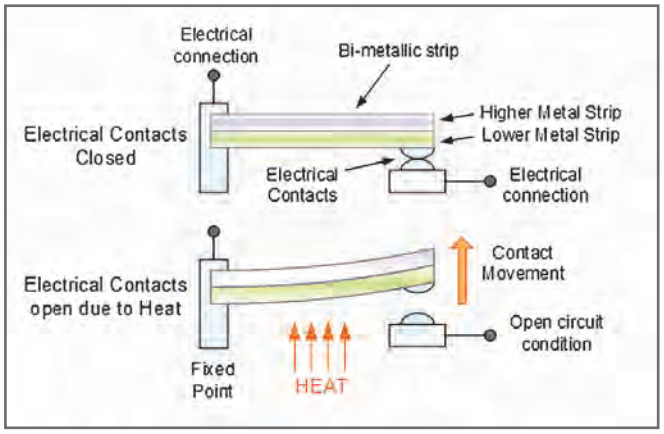



(ب)

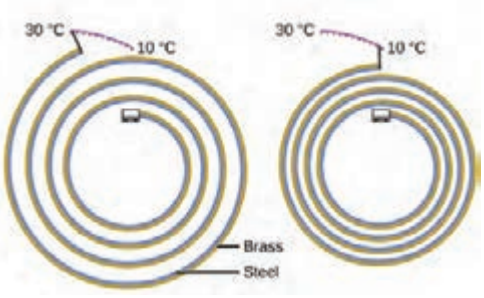
شکل ۶۶

**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.

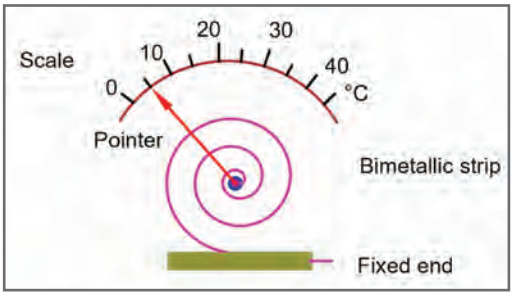



شکل ۶۷




شکل ۶۸

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.

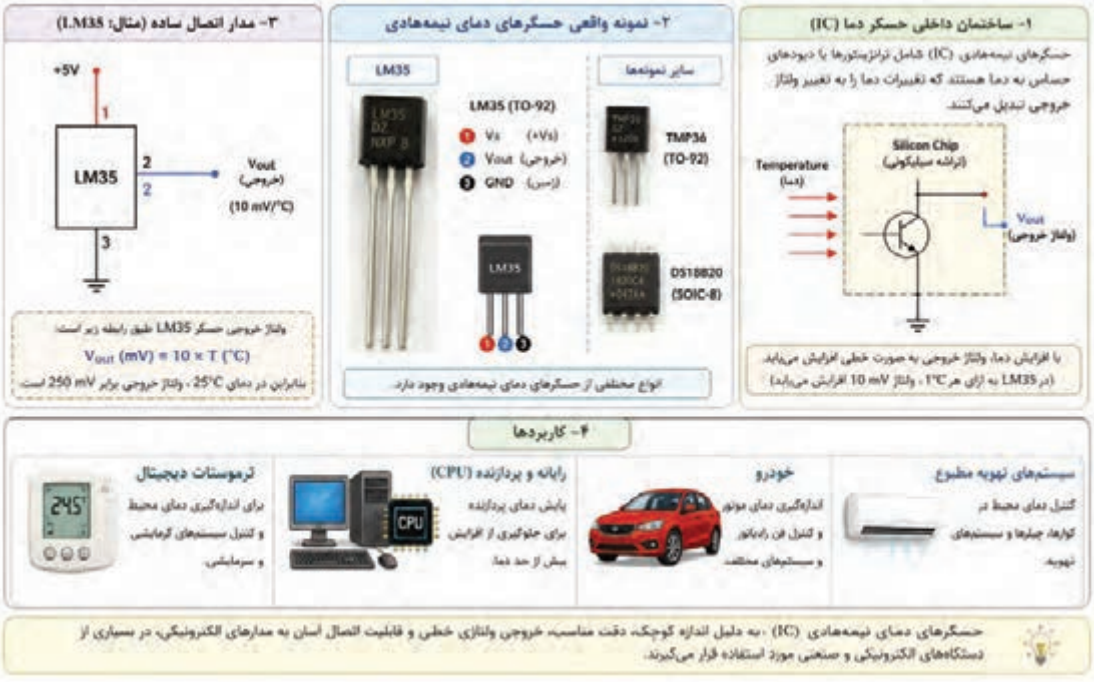



شکل ۶۹

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 به‌کار 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 ــ 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 به‌صورت خطی اندازه‌گیری می‌کنند. آنها در محدوده دمایی محدودی کار می‌کنند و معمولاً در دستگاه‌های الکترونیکی کوچک و ارزان قیمت به‌کار گرفته می‌شوند، در شکل ۷۰ نمونه‌هایی از این حسگرها نشان داده شده است.

کار عملی ۲

**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 بایک مدار ساده با استفاده از ترموستات حرارتی (بی‌متال) و لامپ



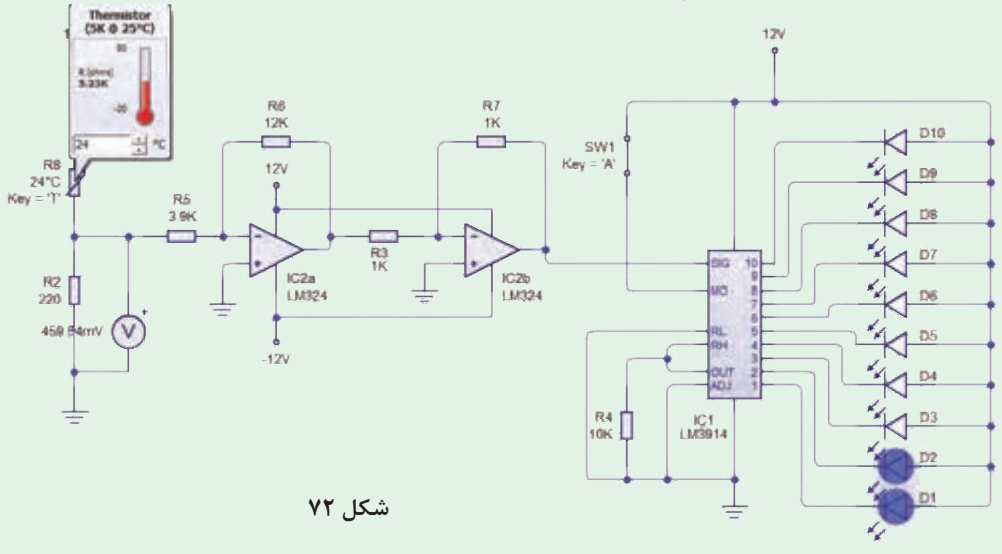
شکل ۷۱

**مواد، ابزار وتجهیزات:** 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، ۱۰KΩ، ۴/۷ KΩ، ۳۹Ω هر کدام یک عدد و مقاومت ۱KΩ دو عدد،پتانسیومتر ۱۰KΩ یک عدد، ترانزیستور BC۵۴۷ یک عدد،برِد بُرد، سیم‌های رابط، رله ۱۲ ولت (SPDT) یک عدد، فن ۹ ولتی یک عدد

**ترمومتر** مداری است که با مدیریت هوشمند دما در سیستم‌های سرمایشی/گرمایشی و صنایع غذایی و دارویی، و همچنین با نظارت بر ایمنی موتورها 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 روشن‌شده تغییر می‌یابد که در واقع سطح دمای محیط را به‌صورت بصری نشان می‌دهد.

۳ با فعال کردن کلید S۱، حالت نمایش از نقطه‌ای(Dot Mode) به نواری(Bar Mode) تغییر می‌کند،کلید راتغییر دهید، و روشن شدن LEDها را مشاهده کنید.

۴ مدار را مطابق با نقشه شماتیک شکل(۷۲) بر روی بردبُرد 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 روشن‌شده 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.

.....

.....

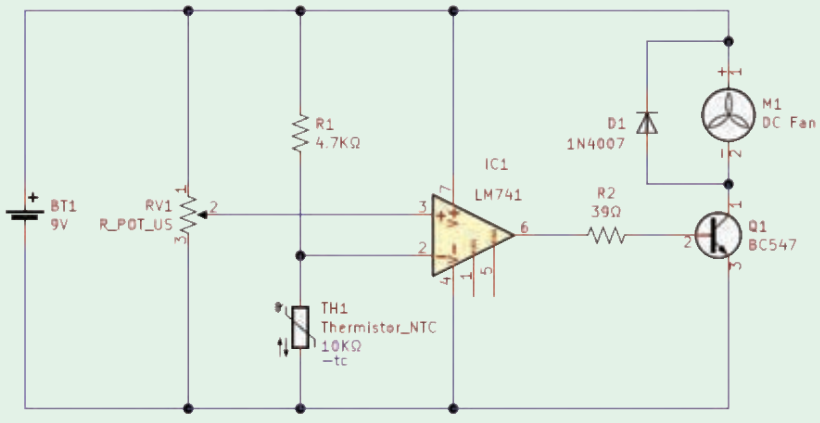
۳ آیا مدار طراحی شده توانایی نمایش دقیق حرارت محیط واقعی را دارد؟ چرا؟

.....

.....

**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 مصرف کننده 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 آپ‌اَمپ طراحی شده است را در شکل ۷۳ مشاهده می‌کنید. مقاومت ترمیستور با تغییر دمای محیط تغییر می‌کند؛ به‌طوری‌که 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.

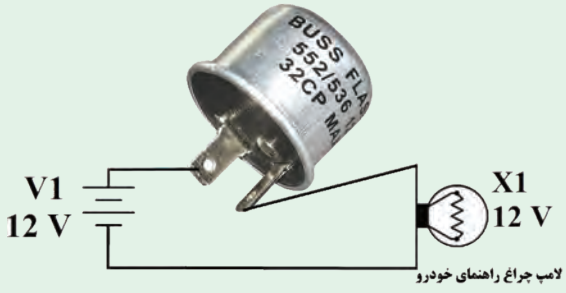



شکل ۷۳

۶ مدار را مطابق با نقشه شماتیک شکل ۷۳ بر روی بردبُرد ببندید و اتصالات را برقرار کنید.
۷ با توجه به تشریح نحوه عملکرد مدار، آن راه‌اندازی کنید.

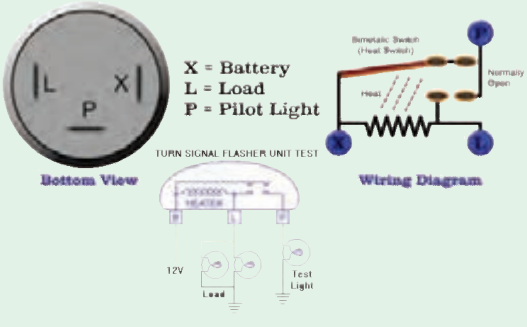
در مدار شکل ۷۳، از یک تقویت‌کننده عملیاتی (op amp) برای مقایسه کردن ولتاژهای ورودی (+V و -V) و از یک ترانزیستور BC۵۴۷ به‌عنوان کلید الکترونیکی استفاده شده است. آپ‌اَمپ با مقایسه ولتاژهای ورودی، روشن یا خاموش شدن ترانزیستور را کنترل می‌کند و در نتیجه، فن DC را به منبع تغذیه متصل یا از آن جدا می‌سازد.
مقاومت متغیر VR۱ به منبع تغذیه متصل است و ولتاژ مرجع را برای ورودی غیرمعکوس‌کننده (+V) آی‌سی ۷۴۱ فراهم می‌کند. از طرف دیگر، ترمیستور NTC به همراه مقاومت R۱ یک تقسیم‌کننده ولتاژ تشکیل می‌دهند و ولتاژ حاصل به ورودی معکوس‌کننده (-V) آی‌سی اعمال می‌شود. خروجی آپ‌اَمپ نیز از طریق مقاومت R۲ به پایه بیس ترانزیستور Q۱ متصل است.
با افزایش دمای محیط، مقاومت ترمیستور NTC کاهش می‌یابد و ولتاژ ورودی آپ‌اَمپ تغییر می‌کند. هنگامی که دما به مقدار آستانه تنظیم‌شده توسط VR۱ برسد، خروجی تقویت‌کننده عملیاتی (op amp) تغییر کرده و ترانزیستور Q۱ روشن می‌شود. در این حالت، مسیر عبور جریان فن کامل شده و فن شروع به‌کار می‌کند.
با کاهش دما و کمتر شدن آن از مقدار آستانه، خروجی آپ‌اَمپ ترانزیستور را خاموش می‌کند. در نتیجه، جریان فن قطع شده و فن نیز از کار می‌ایستد.
بنابراین، این مدار می‌تواند بدون نیاز به دخالت کاربر، فن را متناسب با دمای محیط به‌طور خودکار روشن و خاموش کند.

**فعالیت** : در صورت در اختیار داشتن فلاشر ترموستاتی چراغ‌های راهنمای خودرو و لامپ چراغ راهنما در کارگاه، مدار کنترل دما در شکل۷۴ را ببندید.




شکل ۷۴

نحوه عملکرد یک نمونه مدار چراغ‌های راهنمای خودرو با فلاشر سه پایه در شکل ۷۵ نشان داده شده است با وصل شدن تغذیه مدار فلاشر،جریان از باتری به مقاومت گرم‌کن و سپس از بی‌متال ترموستات عبور می‌کند.
عبور جریان باعث افزایش دمای بی‌متال می‌شود.
پس از رسیدن به دمای مشخص، تیغه بی‌متال تغییر شکل داده و مدار را قطع می‌کند؛ در نتیجه لامپ خاموش می‌شود.
پس از قطع جریان، بی‌متال سرد شده و دوباره به حالت اولیه بازمی‌گردد و مدار را وصل می‌کند.
این عمل به‌صورت تکراری انجام شده و باعث چشمک‌زدن لامپ راهنما (فلاشر) می‌شود.




شکل ۷۵

## خودارزیابی

۱ وظیفه اصلی سنسور دما چیست؟

الف) اندازه‌گیری فشار
ب) اندازه‌گیری رطوبت
ج) اندازه‌گیری دما
د) اندازه‌گیری نور

۲ با افزایش دما، مقاومت ترمیستور NTC چگونه تغییر می‌کند؟

الف) افزایش می‌یابد
ب) ثابت می‌ماند
ج) کاهش می‌یابد
د) ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد

۳ کدام حسگر بیشترین دقت و پایداری را دارد؟

الف) ترموکوپل
ب) سنسور نیمه‌هادی
ج) RTD
د) ترموستات

۴ رایج‌ترین نوع RTD کدام است؟

الف) Pt۵۰
ب) Pt۱۰۰
ج) NTC
د) K_Type

۵ ترموکوپل از چه چیزی تشکیل شده است؟

الف) دو مقاومت
ب) دو نیمه‌هادی
ج) دو فلز متفاوت
د) یک سیم مسی

۶ ترموستات در وسایل خانگی چه کاری انجام می‌دهد؟

الف) برقراری ولتاژ دستگاه
ب) قطع و وصل مدار در دمای تنظیم‌شده
ج) اندازه‌گیری ولتاژ
د) ذخیره انرژی

۷ با افزایش دما، مقاومت ترمیستور NTC افزایش می‌یابد.

□ صحیح □ غلط

۸ RTD معمولاً از فلزاتی مانند پلاتین، نیکل یا مس ساخته می‌شود.

□ صحیح □ غلط

۹ ترموکوپل نسبت به RTD دقت بیشتری دارد.

□ صحیح □ غلط

۱۰ ترموستات دارای هیسترزیس است تا از قطع و وصل مداوم جلوگیری کند.

□ صحیح □ غلط

۱۱ حسگرهای نیمه‌هادی معمولاً در دستگاه‌های الکترونیکی کوچک و ارزان‌قیمت استفاده می‌شوند.

□ 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 می‌رود.

## 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.

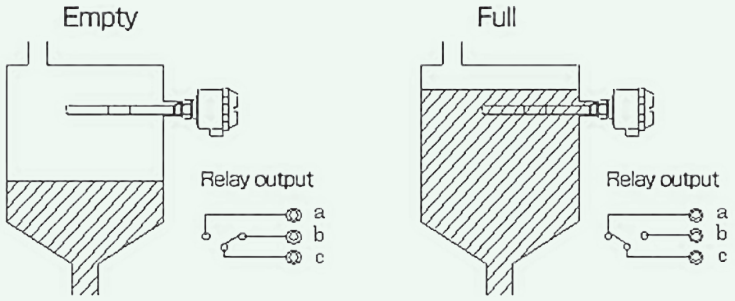
مثال

### 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

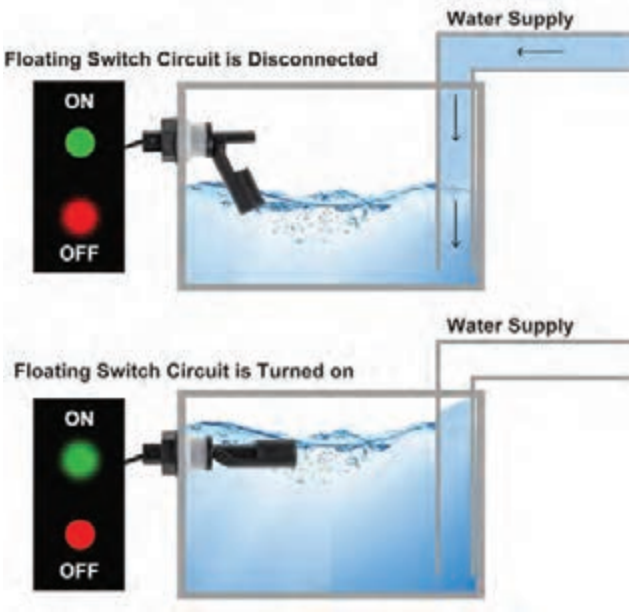
### ۱ حسگرهای شناوری (Float Switches)

این حسگر دارای یک شناوراست 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

ـ کنترل سطح آب در مخازن: روشن یا خاموش کردن خودکار پمپ آب.

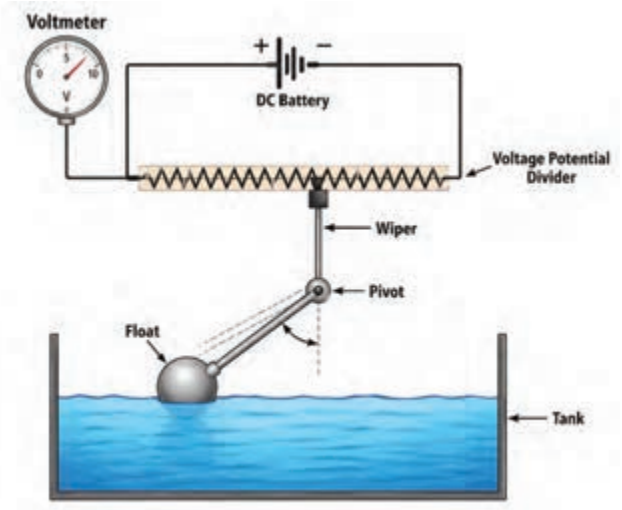
ـ لوازم خانگی: مانند ماشین لباسشویی برای کنترل ورود آب.




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

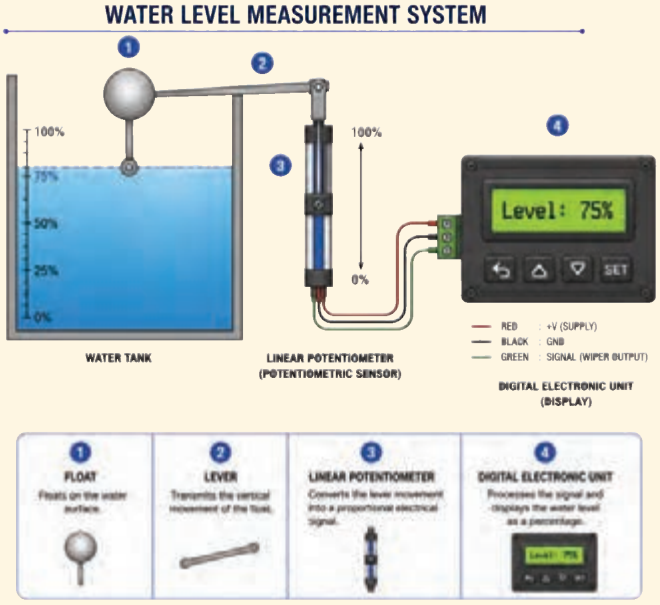
با جابه‌جایی لغزنده، مقدار مقاومت و در نتیجه ولتاژ خروجی مدار تقسیم ولتاژ تغییر می‌کند و این تغییرات می‌تواند مقدار سطح مایع را نشان دهد.

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.

فعالیت

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.




شکل ۷۹

**جدول ۸**

| ترجمه |
| --- |
| ۱ |
| ۲ |
| ۳ |
| ۴ |

کار عملی ۳

## هدف

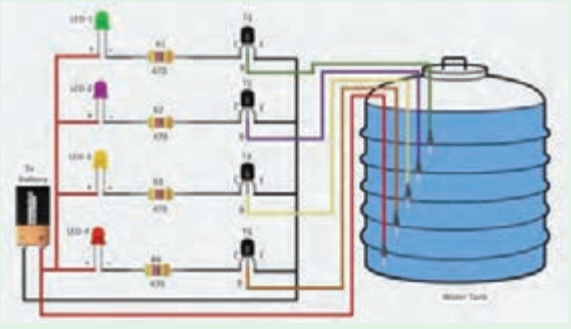
۱ اجرای سخت افزاری ارتفاع سنج مایع(Tank Water Level Indicator)

۲ بستن مدار الکترونیکی تشخیص ارتفاع سطح مایع مخزن به‌صورت نوری

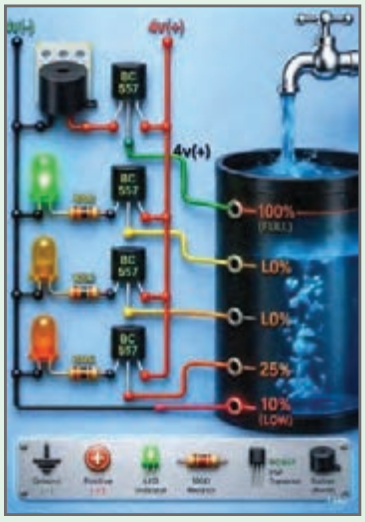
**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه،نرم‌افزار مناسب، نوشت افزار

منبع تغذیه ۶ ولت، دیود معمولی ۱N۴۰۰۱ یک عدد، دیود نورانی LED دو عدد، ترانزیستور BC۵۴۸B یک عدد، مقاومت‌های ۵۶۰Ω، ۱۰KΩ هر کدام یک عدد و مقاومت ۲۲۰ Ω دوعدد، بردِ 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 خودکارپمپ 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 D۱ 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. LED۱ 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 LED۲ 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 بازر 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.

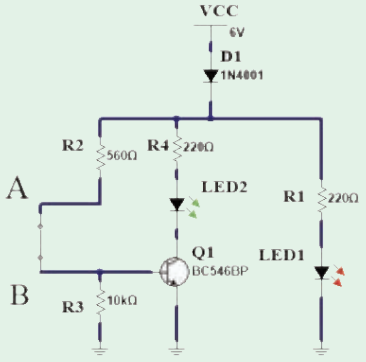


الف

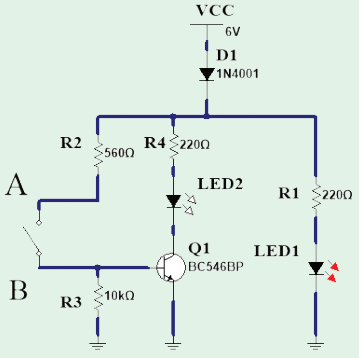



ب

شکل ۸۰ــ یک نمونه مدار نشانکر ارتفاع مایع در مخزن



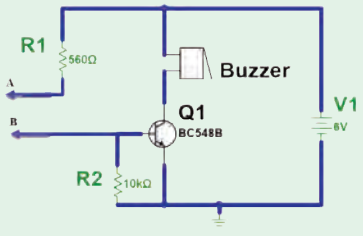

شکل ۸۱ــ فعال شدن ترانزیستور



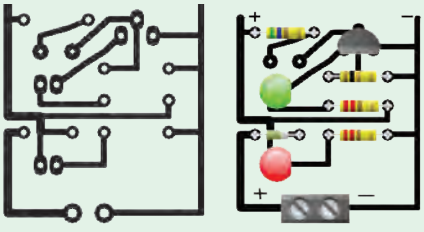

شکل ۸۲ــ مدار تعیین ارتفاع سنج مایع



شکل ۸۳ــ مدار برای سنجش ۶ ارتفاع




شکل ۸۴ــ مدار با بازر

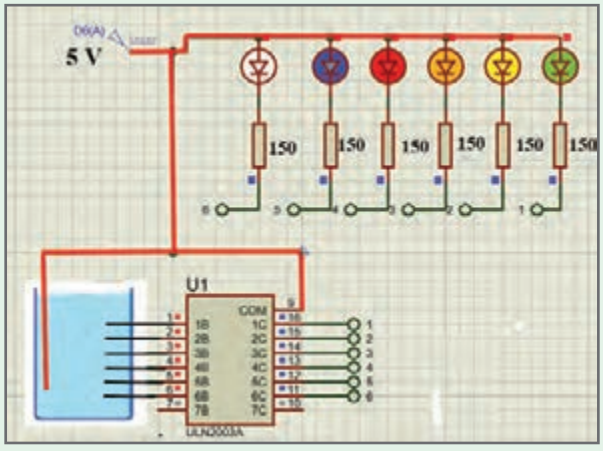


شکل ۸۵ــ طرح مدار چاپی و چیدمان قطعات یک ارتفاع

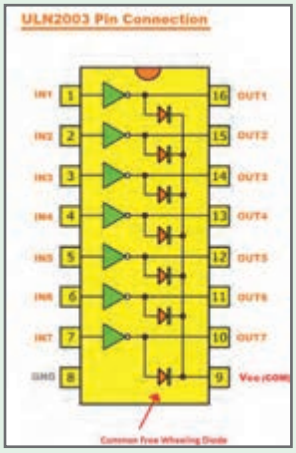


شکل ۸۶ــ لایه زیرین

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 آی سی 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 ۸۷ــ مدار نشانگر

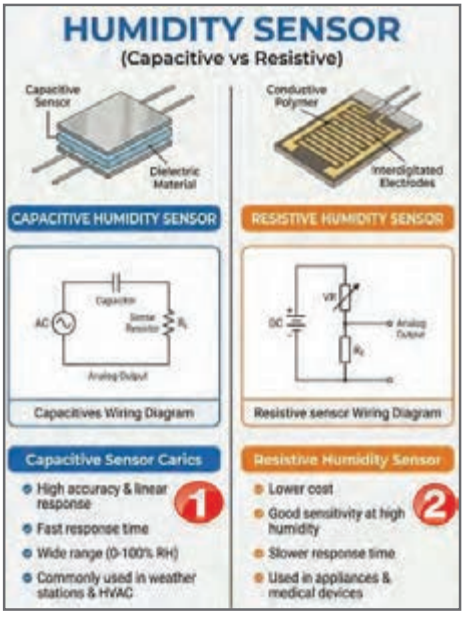



شکل ۸۸ــ پایه‌های آی‌سی

**فعالیت:** در مورد مشخصات آی سی‌های درایور با شماره فنی ULN XXXX جست‌وجو کنید و نتایج را در قالب یک گزارش ارائه دهید.

## رطوبت

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.




شکل ۸۹

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 خازنیِ سنسور شناسایی می‌شود؛ در حالی که حسگرهای رسانایی حرارتی، تغییراتِ هدایت گرمایی هوا را برای اندازه‌گیری رطوبت به‌کار می‌گیرند.

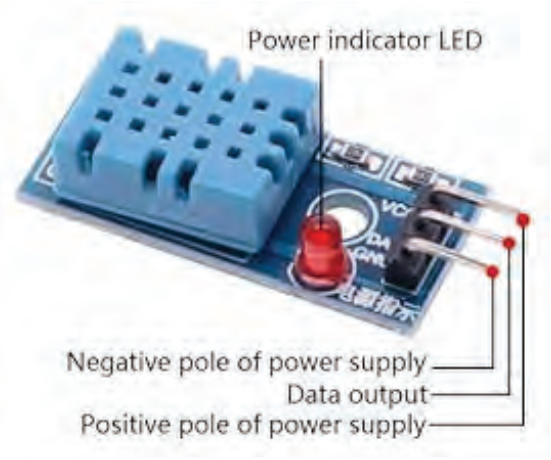
ترجمه کنید

قسمت ۱و۲ شکل ۸۹ را ترجمه کنید، سپس ویژگی‌های حسگرهای رطوبت را باهم مقایسه کنید.

در شکل ۹۰ یک برد الکترونیکی (ماژول) حسگر DHT۱۱، 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 ارزان‌قیمت با پروتکل ارتباطی One-Wire است که از طریق یک پایه داده (Data Pin) با میکروکنترلر ارتباط برقرار می‌کند.




شکل ۹۰

### پارامترهای عملکردی

**محدوده رطوبت:** ۲۰ تا ۹۰٪ (با دقت ±۵٪ RH)

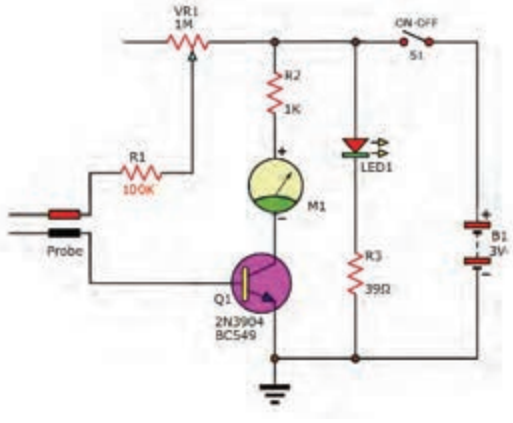
**محدوده دما:** ۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد(با دقت ±۲°C)

**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 کیلواهمی 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 $R_2$ برای تنظیم جریان مرجع (۱ میلی‌آمپر) در نمایشگر انتخاب می‌شود. عملکرد این مدار بر پایه رابطه مستقیم رطوبت و جریان است؛ به‌طوری که با افزایش میزان رطوبت خاک، مقدار جریان عبوری و در نتیجه عدد نمایش‌داده‌شده درآمپرمتر افزایش می‌یابد. برای الکترودهای (Probe) حسگر از سیم مسی یا میخ‌های بلند تمیز می‌توان استفاده کرد.



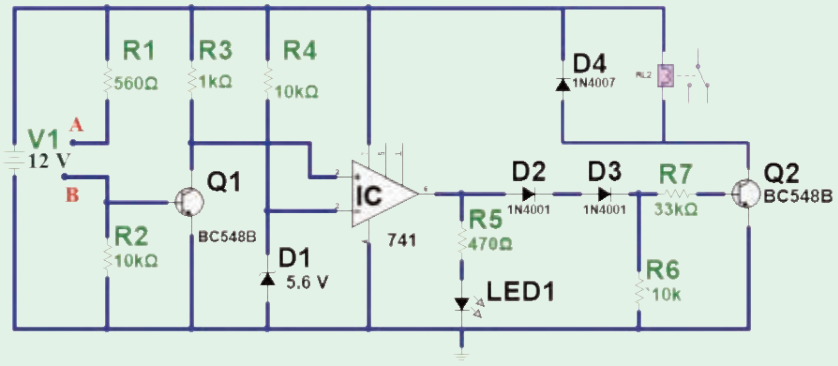

شکل ۹۱

**هدف:** رطوبت سنج خاک (Moisture Sensor Soil) بستن یک مدار الکترونیکی تشخیص رطوبت

**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه، نرم‌افزار مناسب، نوشت افزار

منبع تغذیه ۱۲ ولت، IC تقویت‌کننده عملیاتی LM۷۴۱ یک عدد، دیود معمولی ۱N۴۰۰۱ ۴ عدد ـ دیود ۱N۴۰۰۷ یک عدد، دیود نورانی LED یک عدد، دیود زنر ۵/۶ ولت یک عدد، ترانزیستور BC۵۴۸B دو عدد، مقاومت‌های ۵۶۰Ω، ۴۷۰Ω، ۱KΩ، ۳۳KΩ هر کدام یک عدد و مقاومت ۱۰KΩ دوعدد بِرد بُرد، سیم‌های رابط رله ۱۲ ولت (SPDT) یک عدد

با توجه به اهمیت مدیریت صحیح آبیاری، استفاده از سنسور رطوبت خاک، یکی از روش‌های کنترل مصرف آب در کشاورزی و نگهداری گیاهان است. استفاده از رطوبت سنج یک روش آبیاری هوشمند است و سیستم زمانی فعال می‌شود که خاک به آب نیاز دارد به این ترتیب از هدر رفت منابع جلوگیری می‌کند و زمان و مقدار آبیاری بهینه می‌شود. با توجه به آموخته‌ها در این مقطع تحصیلی یک نمونه مدار جهت اجرای یک پروژه ساده معرفی می‌شود. شکل ۹۲ مدار رطوبت سنج را نشان می‌دهد.



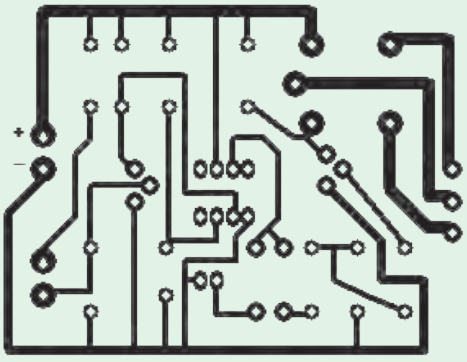

**شکل ۹۲ـ مدار رطوبت سنج**

در مدار از مقایسه‌گر ۷۴۱ استفاده شده است. به دو نقطه A و B پروب (میله حسگر) اتصال داده می‌شود. شکل ۹۳ میله حسگر را نشان می‌دهد.

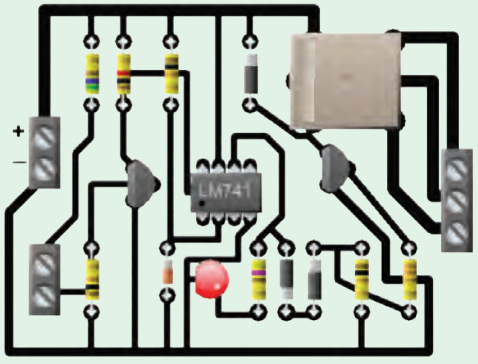


**شکل ۹۳ـ میله حسگر**

زمانی که خاک رطوبت ندارد ترانزیستور Q۱ قطع و خروجی مقایسه‌گر در تراز ولتاژ بالا قرار دارد وترانزیستور Q۲ وصل و رله عمل می‌کند و پمپ یا شیر برقی عمل آبیاری را انجام می‌دهند. با مرطوب شدن خاک ترانزیستور Q۱ فعال شده و خروجی مقایسه‌گر در تراز ولتاژ کم قرار گرفته وترانزیستور Q۲ قطع شده و رله غیر فعال می‌گردد. در شکل ۹۴ یک نمونه طرح مدار چاپی و در شکل ۹۵ چیدمان قطعات را مشاهده می‌کنید. در شکل ۹۶ یک نمونه مدار ساخته شده نشان داده شده است



شکل ۹۴ـ طرح مدار چاپی




شکل ۹۵ـ چیدمان قطعات

**مراحل اجرای کار:**

۱ بررسی تئوری مدار

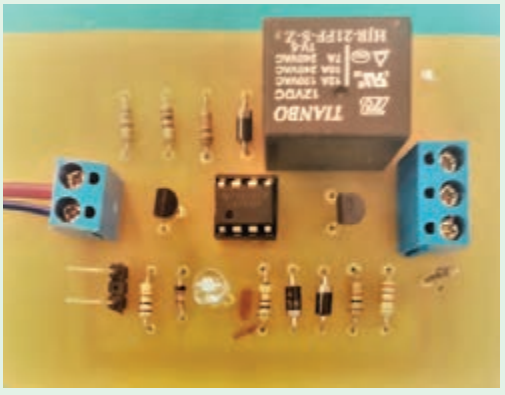
ـ مفهوم کنترل رطوبت سطح را مرور کنید.

ـ مدار پروژه، با یک خروجی فعال تحلیل کنید.

۲ بستن مدار رطوبت‌سنج

● نقشه مدار الکترونیکی شکل در نرم‌افزار مناسب ببندید و با شبیه‌سازی آن از صحت عملکرد مدار اطمینان حاصل کنید.

۳ فهرست قطعات موردنیاز را تهیه کنید.




شکل ۹۶ـ مدار ساخته شده

۴ مدار الکترونیکی پروژه شکل۹۲ را بر روی برِد 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 به‌صورت فایل رایانه‌ای مستندسازی کنید و آن‌را برای ارزشیابی به هنرآموز خود ارائه دهید.

## خودارزیابی

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 می‌کند؟

الف) نور　　ب) رادیو

ج) صوت با فرکانس بالا　　د) مادون قرمز

۹ مزیت مهم حسگر اولتراسونیک چیست؟

الف) تماس مستقیم با مایع　　ب) اندازه‌گیری 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 هزینه‌های انرژی در سامانه‌های 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 روش‌های زیر برای اندازه‌گیری 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 «خانه‌های هوشمند» را بنویسید؟

# ارزشیابی شایستگی راه‌اندازی مدار کنترل کمیت‌های فیزیکی با حسگرها

| نام و نام خانوادگی : | | شماره ملی: | | تاریخ ارزشیابی: | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **کد حرفه** | ۸۲۱۲۲۳ | **حرفه** | مونتاژکاران تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی | **کدپیمانه/پودمان** | ۸۲۱۲۱۳۰۱۴ | **استاندارد عملکرد:** مدارهای کنترل کمیت فیزیکی را پیاده‌سازی می‌کند و با رعایت استانداردها، پایداری خروجی را بررسی و تست کند. |
| **کد وظیفه شغل** | ۸۲۱۲۲۳۰۱ | **وظیفه شغل** | ساخت بردهای الکترونیکی | **سطح صلاحیت** | L۳ | |
| **کد کار** | ۸۲۱۲۲۳۰۱۴۲ | **کار** | کنترل کمیت‌های فیزیکی با حسگرها | **سطح شایستگی** | مهارت | |

| ردیف | مراحل کار | شرایط انجام کار (ابزار،مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...) | ابزارهای ارزشیابی | استاندارد (شاخص‌ها/داوری/نمره‌دهی) | نتایج ممکن | نمره کسب‌شده |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ترسیم و شبیه‌سازی مدار کنترل کمیت فیزیکی در نرم‌افزار و بررسی اولیه عملکرد آن | رایانه، نرم‌افزار شبیه‌سازی مدار (مانند Multisim)، برگه اطلاعات قطعات و زمان ۶۰ تا ۱۲۰دقیقه در کارگاه‌الکترونیک | مشاهده عملکرد، بررسی فایل شبیه‌سازی مدار، چک‌لیست مهارتی و پرسش شفاهی | ترسیم دقیق مدار، شبیه‌سازی صحیح و بررسی کامل عملکردمدار | ۳ | |
| | | | | ترسیم، شبیه‌سازی و تحلیل عملکرداولیه قابل‌قبول مداربا‌خطای‌جزئی | ۲ | |
| | | | | ترسیم نادرست یا شبیه‌سازی ناموفق و بررسی ناقص عملکرد مدار | ۱ | |
| ۲ | انتخاب قطعات مناسب و مونتاژ صحیح مدار روی بردبورد با ایمنی و آرایش صحیح پایه‌ها | بردبُرد، قطعات الکترونیکی، سیم رابط، ابزار مونتاژ، مولتی‌متر، منبع تغذیه، نقشه مدار و زمان تعیین‌شده در کارگاه‌الکترونیک | مشاهده عملکرد فراگیر هنگام مونتاژ مدار، بررسی صحت اتصالات و استفاده از چک‌لیست ارزیابی مهارتی | انتخاب صحیح قطعات و مونتاژ اصولی مدار با رعایت ایمنی و آرایش پایه‌ها | ۳ | |
| | | | | انتخاب و مونتاژ قابل‌قبول با خطای جزئی | ۲ | |
| | | | | انتخاب نادرست یا مونتاژ با خطاهای اساسی | ۱ | |
| ۳ | راه‌اندازی مدار و اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی (ولتاژ، جریان یا سیگنال خروجی) با تجهیزات اندازه‌گیری | مدار مونتاژشده روی بردبُرد، منبع تغذیه، مولتی‌متر، اسیلوسکوپ و زمان تعیین‌شده در کارگاه الکترونیک | راه‌اندازی صحیح مدار، دقت در اندازه‌گیری، استفاده درست از تجهیزات و ثبت نتایج | راه‌اندازی صحیح مدار و اندازه‌گیری دقیق | ۳ | |
| | | | | راه‌اندازی و اندازه‌گیری با خطاهای جزئی | ۲ | |
| | | | | راه‌اندازی نادرست مدار یا اندازه‌گیری اشتباه | ۱ | |
| ۴ | بررسی پایداری خروجی‌مدار درشرایط مختلف، ثبت‌نتایج، مستندسازی مراحل و ارائه گزارش کار | مدار راه‌اندازی‌شده، منبع تغذیه، اسیلوسکوپ، مولتی‌متر، فرم گزارش کار و زمان تعیین‌شده در کارگاه الکترونیک | بررسی گزارش کار، مشاهده عملکرد، تحلیل داده‌های ثبت‌شده و استفاده از چک‌لیست‌مستندسازی | بررسی دقیق پایداری، ثبت کامل و تحلیل درست نتایج و ارائه گزارش کامل | ۳ | |
| | | | | بررسی و ثبت قابل‌قبول با نقص جزئی | ۲ | |
| | | | | تحلیل نادرست 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 | | | مشاهده‌رفتارهنرجو درحین‌انجام‌فعالیت، میزان رعایت اصول‌ایمنی و نظم، فعالیت‌های گروهی، مدیریت زمان و مسئولیت‌پذیری | رعایت کامل ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست ،رفتار حرفه‌ای، نظم و مسئولیت‌پذیری بالا | ۲ | |
| | | | | رعایت نسبی ایمنی و بهداشت با خطاهای جزئی، رفتارکاری مناسب | ۱ | |
| **ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)** | | | | | بلی ☐ | |
| | | | | | خیر ☐ | |

**توضیحات:**

**معیار شایستگی انجام کار:**

- کسب حداقل نمره ۲ درهمه شاخص‌ها و اجرای صحیح شامل مونتاژ اصولی، راه‌اندازی ایمن، اندازه‌گیری دقیق، بررسی پایداری خروجی و ثبت و ارائه گزارش‌کار (مراحل بحرانی).
- کسب حداقل نمره ۲ ازبخش شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش
- کسب حداقل میانگین ۲ ازمراحل 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، 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 بر اساس خاصیت کلیدزنی عناصر نیمه‌هادی قدرت پایه‌گذاری شده است. برای مثال در کنترل کننده‌های 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. درنهایت 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 زیادکردن روشنایی یک لامپ وجود دارد؟
- چگونه دورموتورجاروبرقی و ماشین لباسشویی تغییر می‌کند؟
- شارژرهای اتوماتیک برچه‌اساسی کار می‌کنند؟
- جایگزین کنتاکتورها کدام قطعات الکترونیکی هستند؟
- دمای بالای کوره‌های صنعتی چگونه کنترل می‌شود؟

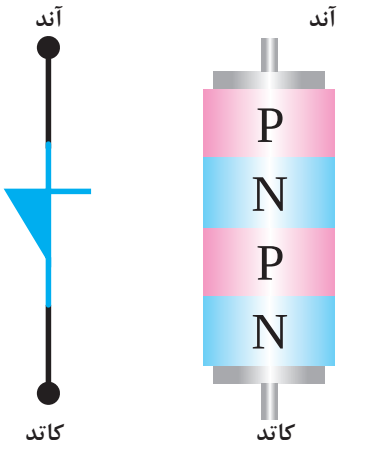
قطعات الکترونیک صنعتی، معادل کلید عمل می‌کنند. کلیدی‌که حرکت مکانیکی ندارند، درنتیجه عمر آن‌ها طولانی است. برخی از این قطعات قادر هستند ولتاژهای زیاد تاحدود چند هزار ولت و جریان‌های زیاد تا حدود چند صدآمپر را با سرعت زیاد قطع و وصل‌کنند. لذا این قطعات به جای رله‌های الکترومغناطیسی و کنتاکتورها درصنایع کاربرد وسیعی دارند. دراین واحد یادگیری، ساختمان داخلی، نماد فنی، نقشه‌مداری و کاربُرد قطعات متداول الکترونیک صنعتی شرح داده می‌شود. همچنین برخی از مدارهای‌کاربُردی با این قطعات را به‌صورت نرم‌افزاری و سخت‌افزاری آزمایش می‌کنیم. درادامه چند پروژه کاربُردی با قطعات الکترونیک صنعتی را اجرا می‌کنیم. درتمام مراحل انجام‌کار، رعایت نکات ایمنی و بهداشتی و شایستگی‌های غیرفنی مانند کارگروهی، رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها، دقت و تمرکز دراجرای‌کار باید موردتوجه قرار گیرد.

## استاندارد عملکرد

شناخت قطعات الکترونیک صنعتی و آزمایش عملکرد قطعات با رعایت استانداردهای تعریف‌شده.

## معرفی قطعات الکترونیک صنعتی

تریستور (Thyristor) یک کلمه یونانی به مفهوم در است. تریستورها به مجموعه‌ای از عناصر الکترونیکی نیمه‌هادی گفته می‌شود که درمدارهای کنترل قدرت به‌کار می‌روند و مانند یک کلید الکترونیکی عمل می‌کنند. برخی ازاین 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 به‌جای کنتاکتورها و رله‌های الکترومکانیکی درصنعت به‌کار برده شوند. این عناصر برای کنترل دورموتورهای الکتریکی، کنترل دمای المان‌های حرارتی پرقدرت، سیستم‌های روشنایی و وسایلی از این نوع درحد گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. دراین فصل به شرح قطعاتی مانند دیود چهارلایه (FLD)، یکسوساز کنترل‌شده سیلیکونی (SCR)، SCR قابل کنترل با نور (LA SCR)، دیاک یا دیود جریان متناوب (DIAC)، ترایاک یا عنصر سه‌قطبی قابل‌کنترل با جریان متناوب (TRIAC)، ترانزیستور تک اتصالی (UJT) و ترانزیستور تک اتصالی قابل برنامه‌ریزی (PUT) می‌پردازیم.



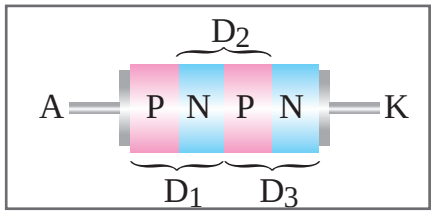

الف ساختمان کریستالی ب نماد FLD

شکل ۱ـ ساختمان کریستالی و نماد FLD

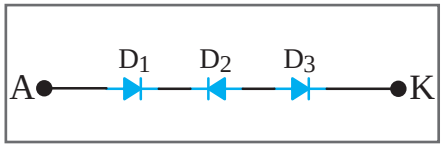
### دیود چهارلایه Four Layer Diode یا FLD

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. درشکل ۱ـالف ساختمان کریستالی و درشکل ۱ـب نماد دیود شاکلی نشان داده شده است.

■ **مدارمعادل دیودی FLD:** دردیود چهارلایه (FLD) می‌توان هراتصال PN را معادل یک دیود درنظرگرفت، لذا دیود چهارلایه مطابق شکل ۲ به سه اتصال PN تقسیم می‌شود. به‌این‌ترتیب مدارمعادل دیودی FLD با استفاده از سه دیود به‌صورت شکل ۳ در می‌آید.




شکل ۲ـ هر اتصال PN معادل یک دیود




شکل ۳ـ مدار معادل دیودی FLD

■ **چگونگی بایاس‌کردن دیود چهارلایه:** اتصال ولتاژ به دو سردیود چهارلایه به‌دو صورت امکان‌پذیر است.

**الف)** آند به قطب مثبت و کاتد آن به قطب منفی باتری وصل شود، دراین شرایط اصطلاحاً می‌گویند دیود چهارلایه در بایاس موافق قراردارد، زیرا باتوجه به شکل ۴ دو دیود $D_1$ و $D_3$ دربایاس موافق و تنها دیود $D_2$ دربایاس مخالف قرار می‌گیرد. دراین‌حالت فقط جریان نشتی از دیود عبور می‌کند.

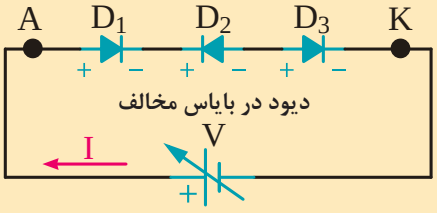
**ب)** اگر آند به قطب منفی و کاتد به قطب مثبت باتری وصل شود، دراین‌حالت اصطلاحاً می‌گویند دیود چهارلایه در بایاس مخالف قراردارد، زیرا باتوجه به شکل ۵ دراین شرایط، دو دیود $D_1$ و $D_3$ دربایاس مخالف و تنها دیود $D_2$ دربایاس موافق است. دراین‌حالت تنها جریان نشتی از دیود عبور می‌کند.

بحث کنید

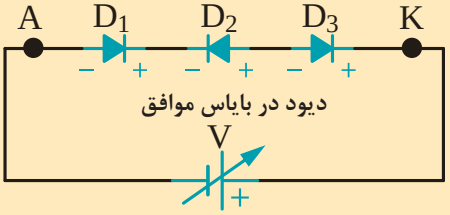
به‌چه دلیل در شکل ۴ و ۵ فقط جریان نشتی از مدار عبور می‌کند؟

نکته

توجه داشته باشید که اصطلاح بایاس موافق و بایاس مخالف برای دیود چهارلایه مشابه دیود معمولی نیست و تنها تعداد دیودهایی‌که دربایاس موافق یا مخالف قراردارند شرایط مداررا تعیین می‌کند.

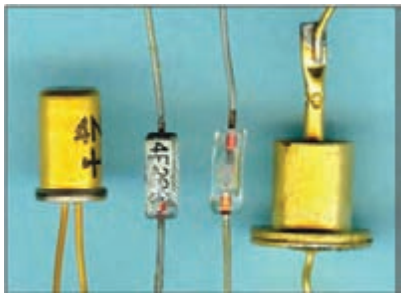



شکل ۴ـ دیود چهارلایه در بایاس موافق




شکل ۵ـ دیود چهارلایه در بایاس مخالف

■ **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 این‌که FLD درحالت هدایت موافق بماند باید جریان عبوری آن از جریان نگهدارنده ($I_H$=Holding Current) کمترنباشد. 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 بازعمل می‌کند. درشکل ۶ چند نمونه دیود شاکلی نشان‌داده‌شده است.



شکل ۶ـ چند نمونه دیود شاکلی

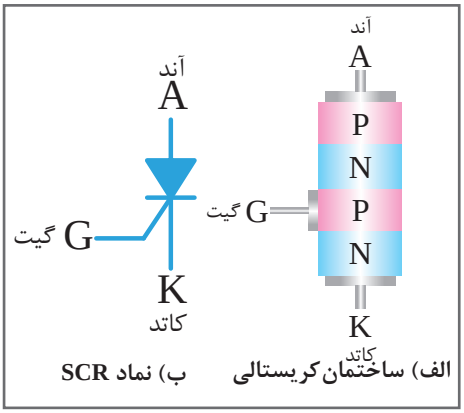
فعالیت

درساعت‌های غیردرسی بامراجعه به رسانه‌های مختلف، یک نمونه برگه اطلاعات FLD را پیداکنید و مقادیر ولتاژ شکست موافق ($V_{BRF}$) و جریان نگهدارنده ($I_H$) آن‌را به‌دست آورید. نتیجه را درقالب یک گزارش‌کوتاه ارائه دهید.

### یکسوساز کنترل‌شده سیلیکونی SCR (Silicon Controlled Rectifier)

دربین قطعات چهارلایه، یکسوساز کنترل شده سیلیکونی یکی‌از پرمصرف‌ترین قطعات است. ازموارد کاربردهای SCR می‌توان کنترل سرعت موتورها (درایوها)، راه‌اندازهای نرم‌الکترونیکی، منابع تغذیه با ولتاژ DC متغیر، مدارهای کنترل رله، تأخیر زمان، منبع تغذیه تثبیت شده، کلید استاتیک و کنترل کننده فاز را نام برد. درسال‌های اخیر، SCRهایی طراحی و ساخته شده‌اندکه قادرند جریان و توان بسیاربالایی را کنترل کنند.

**ساختمان SCR:** SCR یک قطعه چهارلایه PNPN شبیه دیود چهارلایه است با ین تفاوت‌که علاوه‌بر دو پایه آند و کاتد یک پایه گیت نیز دارد. درشکل ۷ـالف و ب ساختمان کریستالی و نماد SCR نشان داده شده است. نحوه بسته‌بندی (Typical package) و شکل ظاهری چند نمونه SCR را درشکل ۸ مشاهده می‌کنید.

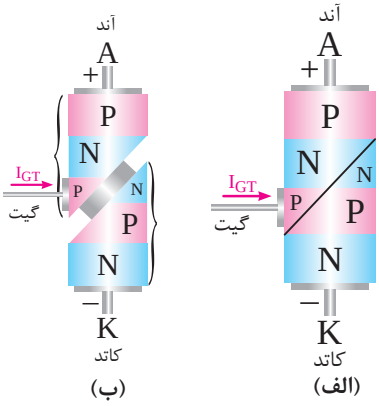



شکل ۷ـ ساختمان کریستالی و نماد SCR



شکل ۸ـ بسته‌بندی چند نمونه 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 آن‌را مطابق شکل ۹ـ الف برش داد و آن را به دو نیمه جداگانه مانند شکل ۹ـ ب تقسیم کرد.




شکل ۹ـ ساختمان کریستالی برش‌خورده SCR

فعالیت

با توجه به شکل ۹ـ ب مدارمعادل ترانزیستوری SCR را درشکل ۱۰رسم‌کنید و درمورد چگونگی روشن‌شدن ترانزیستورها (معادل SCR) با هم‌گروهی خود بحث‌کنید ونتیجه را به‌طورخلاصه بنویسید.

پاسخ: .....

.....

.....

.....

شکل ۱۰ـ محل ترسیم مدارمعادل ترانزیستوری SCR



شکل ۱۱ـ مدار آزمایش

■ **روشن‌کردن SCR:** برای روشن‌کردن SCR باید آند آن را نسبت به کاتد در بایاس موافق قراردهیم و به‌طور همزمان یک سیگنال راه‌انداز به پایه گیت آن متصل کنیم. به‌منظور تشریح بهتر عملکرد SCR چند حالت مختلف را درقالب کارعملی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهیم.

کار عملی ۱

**روشن کردن SCR درنرم‌افزار**

**هدف:** چگونگی تحریک گیت SCR و راه‌اندازی آن

**مواد، ابزار و تجهیزات:** نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هرنرم‌افزار مناسب دیگر ـ رایانه ـ لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

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

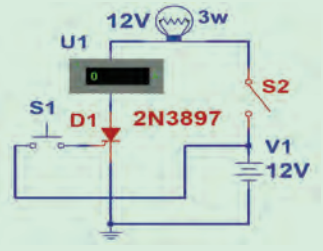
۲ مدار (شکل ۱۱) را درمحیط نرم‌افزار ببندید. ازکلیدهای (NO ـ PB و SPST) در نرم‌افزار استفاده کنید.

۳ کلید $S_۲$ را وصل کنید. دراین‌حالت پایه‌های آند وکاتد SCR بایاس شده است. آیا لامپ روشن می‌شود؟ جریان عبوری از لامپ و ولتاژ دو سر SCR (ولتاژ آند نسبت به کاتد) چقدر است؟ شرح دهید.

$I_A$=..... mA  $V_{AK}$=.....V

۴ کلید $S_۱$ را برای لحظه‌ای وصل و سپس قطع کنید. آیا لامپ روشن می‌شود و همواره روشن باقی می‌ماند؟ جریان عبوری از لامپ و ولتاژ دوسر SCR چقدر است؟ شرح دهید.

$I_A$=..... mA  $V_{AK}$=.....V



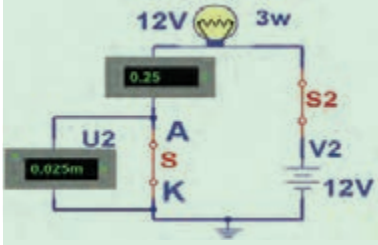
شکل ۱۲ـ مدار آزمایش

**نکته :** برای تحریک گیت می‌توانید به‌جای استفاده از یک باتری جداگانه از همان باتری ۱۲ ولت مطابق شکل ۱۲ استفاده کنید.

۵ آیا پس از تحریک گیت و وصل‌شدن SCR، اتصال بین آند و کاتد آن درحالت ایده‌آل مانند یک کلید بسته (کلید s درشکل ۱۳) عمل می‌کند؟ شرح دهید.

.....

.....



شکل ۱۳ـ مدار معادل

۶ باتوجه به نتایج حاصل ازاین آزمایش، چگونگی روشن‌کردن SCR را به‌طورخلاصه بنویسید.

.....

.....

فعالیت

باتوجه به بخشی از برگه اطلاعات تریستور C۱۰۶D درشکل ۱۴، به سوالات زیر پاسخ دهید.

**Thyristors logic level** **C106D**

**GENERAL DESCRIPTION**

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.

**QUICK REFERENCE DATA**

| SYMBOL | PARAMETER | MAX. | UNIT |
|---|---|---|---|
| $V_{DRM}$ $V_{RRM}$ | Repetitive peak off-state voltages | 400 | V |
| $I_{T(AV)}$ | Average on-state current | 2.5 | A |
| $I_{T(RMS)}$ | RMS on-state current | 4 | A |
| $I_{TSM}$ | Non-repetitive peak on-state current | 38 | A |

شکل ۱۴ــ قسمتی از برگه اطلاعات

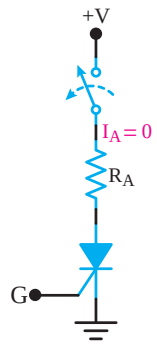
۱ ولتاژ قابل تحمل درحالت قطع چندولت است؟.....

۲ معدل جریان قابل تحمل درحالت وصل چندآمپر است؟.....

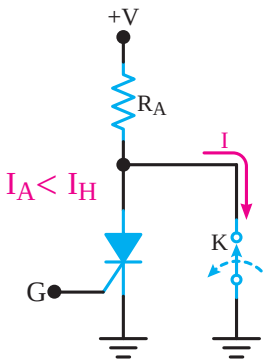
۳ جریان لحظه‌ای قابل تحمل درحالت وصل چندآمپر است؟.....

■ **روش‌های خاموش کردن SCR:** دریک SCR روشن، اگر ولتاژ و جریان تحریک گیت SCR را قطع کنیم، SCR خاموش نمی‌شود و هم‌چنان درناحیه هدایت موافق، باقی می‌ماند. زمانی می‌توانیم SCR را خاموش کنیم که جریان آند را به مقداری کمتراز جریان نگهدارنده ($I_H$) برسانیم. لذا برای خاموش کردن SCR، ابتدا ولتاژ و جریان تحریک گیت را قطع می‌کنیم. سپس با استفاده ازیکی‌از روش‌های زیرSCR را خاموش می‌کنیم.

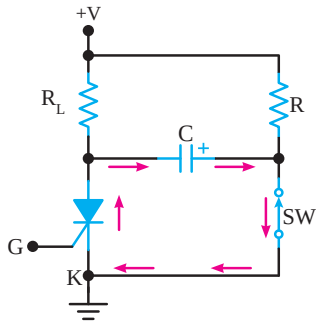
■ درزمانی‌که $V_G$ قطع است ولتاژ آند را برای لحظه‌ای به صفر می‌رسانیم. برای این منظور مطابق شکل ۱۵ کلیدی را با آند SCR به‌صورت سری می‌بندیم. با باز نمودن کلید، جریان آند را برای لحظه‌ای به صفر می‌رسانیم. دراین‌حالت باید $V_G$ قطع باشد.




شکل ۱۵ــ صفرشدن جریان آند




شکل ۱۶ــ صفرشدن ولتاژ آندکاتد




شکل ۱۷ــ ایجاد جریان برخلاف جریان اصلی

■ مطابق شکل ۱۶ پس از قطع ولتاژ $V_G$ کلید K را بین آند و کاتد SCR به صورت موازی قرار می‌دهیم. با وصل‌کردن کلید، آندSCR به کاتد آن اتصال‌کوتاه می‌شود و $I_A$ را به صفر می‌رساند. با صفرشدن $I_A$، SCR خاموش می‌شود.

■ راه دیگر برای خاموش‌کردن SCR، ایجاد جریانی برخلاف جریان اصلی عبوری از SCR است. این جریان سبب می‌شود، جریان آند ($I_A$) به مقداری‌کمتر ازجریان نگهدارنده ($I_H$) برسد. درشکل ۱۷ مدار مربوط به این روش رسم شده است.

باتوجه به شکل ۱۷هنگامی‌که SCR روشن است کلید SW که معمولاً یک کلید ترانزیستوری است درحالت قطع قراردارد. دراین‌شرایط خازنC از طریق R تا ولتاژ منبع V+ شارژ می‌شود. با بسته شدن‌کلید SW ولتاژ دو سر خازن C مطابق شکل ۱۷ در دوسر SCR قرار می‌گیرد و جریانی برخلاف جریان اصلی درSCR ایجاد می‌کند.

کار عملی ۲

### خاموش‌کردن SCR روشن درنرم‌افزار

**هدف:** اجرای نرم‌افزاری روش‌های خاموش‌کردن SCR روشن

**مواد، ابزار و تجهیزات:** نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هرنرم‌افزار مناسب دیگر ـ رایانه ـ لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

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

۲ مدار (شکل ۱۸) را درمحیط نرم‌افزار ببندید.

۳ SCR را روشن کنید. برای خاموش‌کردن SCR ابتدا ولتاژ تحریک گیت را قطع‌کنید، سپس با قطع کلید $S_۲$ جریان آند صفر می‌شود و SCR به‌حالت خاموش می‌رود. این موضوع را تجربه کنید.

۴ مدار(شکل ۱۹) را درمحیط نرم افزار ببندید. سپس SCR را روشن کنید.

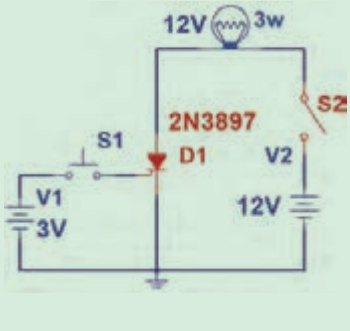
۵ اگر کلید $S_۴$ را برای لحظه‌ای وصل و سپس قطع‌کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟ چرا؟ این موضوع را تجربه‌کنید سپس نتایج را یادداشت کنید.

.....

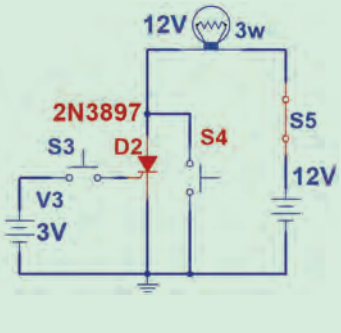
۶ مدار شکل ۲۰ را درمحیط نرم‌افزار ببندید. سپس SCR را روشن کنید.

۷ اگرکلید S را وصل‌کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟ چرا؟ این موضوع را تجربه کنید سپس نتایج را یادداشت کنید.

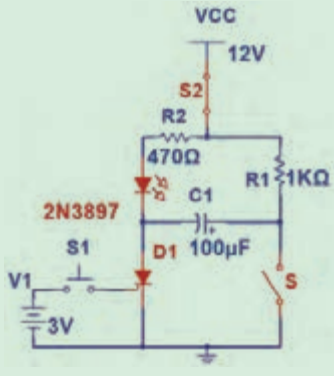
.....




شکل ۱۸ـ مدار آزمایش




شکل ۱۹ـ مدار آزمایش




شکل ۲۰ـ مدار آزمایش

کار عملی ۳

## روشن وخاموش کردن SCR با قطعات واقعی

**هدف:** روشن کردن SCR به‌صورت لمسی

**مواد، ابزار و تجهیزات:** منبع تغذیه- بِردبُرد- ترانزیستور BC۱۰۷ و BC۱۴۰ از هرکدام یک عدد - SCR با شماره‌فنی C۱۰۶ یک عدد - مقاومت ۱KΩ و ۴۷۰Ω $\frac{۱}{۴}$ وات از هرکدام یک عدد LED یک عدد سیم‌های رابط -کلید PB -NO یک عدد

**مراحل اجرای کار:**

۱ مدار (شکل ۲۱) را روی بِردبُرد ببندید.

۲ منبع تغذیه ۹ ولت را به مدار وصل کنید.

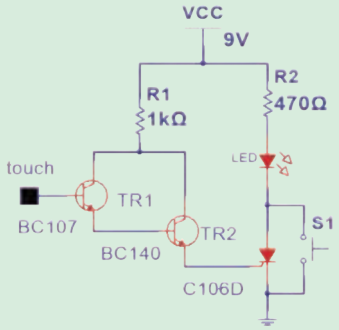
۳ بیس ترانزیستور $TR_۱$ را لمس کنید. دراین‌حالت گیت SCR تحریک شده، SCR وصل و LED روشن می‌شود.

**سؤال:** کلید $S_۱$ را برای لحظه‌ای وصل و سپس قطع کنید. چه اتفاقی رخ می‌دهد؟ شرح دهید

.....

.....

.....




**شکل ۲۱- مدار آزمایش**

نکته

می‌توانید یک موتور DC یا رله را با این مدار و به‌صورت لمسی راه‌اندازی کنید.

پرسش

۱ تریستور به مفهوم ..... است.

۲ ساختمان کریستالی و نماد فنی FLD را رسم کنید.

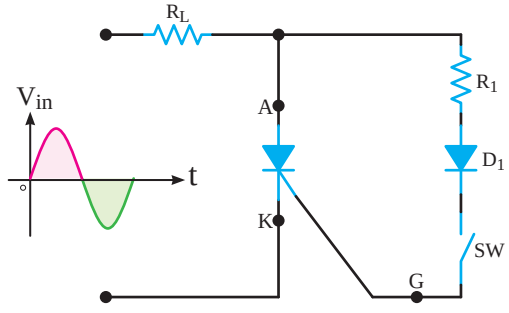
۳ با اتصال پالس منفی به گیت SCR روشن می‌توان آن را خاموش نمود. درست ☐ نادرست ☐

۴ اگر ولتاژ تحریک گیت SCR روشن را قطع کنیم و آند آن‌را برای یک لحظه به کاتد، اتصال کوتاه کنیم، SCR خاموش می‌شود. درست ☐ نادرست ☐

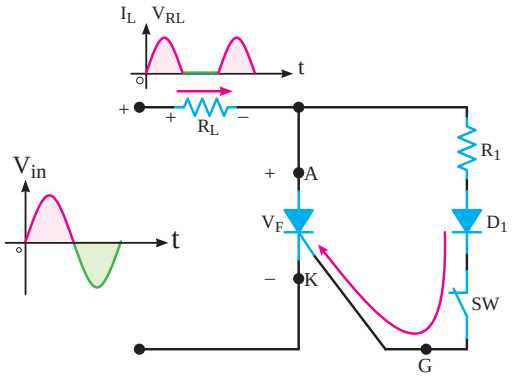
## کاربردهای SCR

SCR درمدارهای DC و AC کاربردهای زیادی دارد. دراین بخش چندکاربرد مهم آن را معرفی می‌کنیم.

**کلید استاتیکی:** درشکل ۲۲یک کلید استاتیک سری نیم موج نشان داده شده است. اگر طبق شکل ۲۲ کلید SW را ببندیم جریان گیت از طریق $R_۱$ و دیود $D_۱$ درنیم‌سیکل مثبت سیگنال ورودی جاری می‌شود و SCR را روشن می‌کند. مقاومت $R_۱$ جریان گیت را محدود می‌سازد. وقتی‌که SCR روشن می‌شود، مانند یک‌کلید وصل عمل می‌کند وجریان بار که همان جریان عبوری از SCR است افزایش می‌یابد. برای قسمت منفی سیگنال ورودی، SCR خاموش خواهد شد. زیرا آند نسبت به‌کاتد منفی است. دیود $D_۱$ مانع اعمال ولتاژ منفی به‌گیت می‌شود. درشکل ۲۳ موج‌های ولتاژ و جریان بار نشان داده شده است.




شکل ۲۲ـ مدارکلید استاتیکی سری نیم‌موج

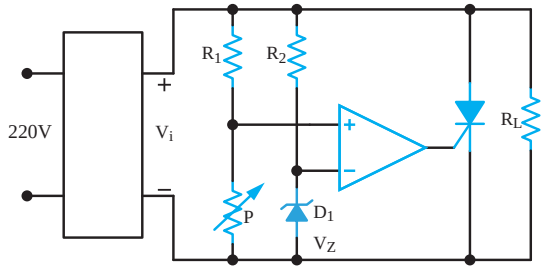



شکل ۲۳ـ شکل موج ولتاژ و جریان دوسر بار

تحقیق کنید

به‌چه‌دلیل وقتی نیم‌سیکل منفی ولتاژ متناوب به SCR می‌رسد، SCR به‌حالت خاموش می‌رود؟ بامراجعه به رسانه‌های مختلف موارد کاربرد این مدار را بیابید و درقالب یک گزارش ارائه دهید.

■ **محافظ بار درمقابل اضافه ولتاژ: (Load protector)**: اکثر مدارهای مجتمع دیجیتالی قادربه تحمل افزایش ولتاژ تغذیه نیستند. برای جلوگیری از خراب شدن این نوع مدارهای مجتمع، که اغلب گران‌قیمت نیز هستند، می‌توانیم از محافظ SCR استفاده کنیم. در شکل ۲۴ یک نمونه مدارمحافظ بار با استفاده از مدارمقایسه‌گر و SCR نشان داده شده است. این مدارادارای سرعت عمل نسبتاً بالایی است. دراین مدار بااستفاده از دیود زنر $D_1$ و مقاومت $R_2$، ولتاژ مرجع $V_Z$ برای ورودی منفی مقایسه‌کننده تأمین می‌شود. پتانسیومتر P و مقاومت $R_1$ نیز ولتاژ ورودی مثبت مقایسه‌کننده را تأمین می‌کنند. به‌کمک پتانسیومتر P می‌توان سطح ولتاژ ورودی مثبت مقایسه‌گر را تغییرداد. اگر ولتاژ ورودی مثبت مقایسه‌کننده از $V_Z$ بیشتر باشد، خروجی آن مثبت می‌شود و گیت SCR را تحریک می‌کند. درحالت عادی SCR قطع است. زیرا به‌وسیله پتانسیومتر ولتاژ ورودی مثبت مقایسه‌کننده روی مقداری کمتر از ولتاژ $V_Z$ تنظیم شده است. لذا خروجی مقایسه کننده نمی‌تواند SCR را به‌کار اندازد. اگر به هردلیلی ولتاژ خروجی منبع تغذیه ($V_i$) افزایش یابد، ولتاژ ورودی مثبت مقایسه‌کننده از $V_Z$ بیشتر می‌شود. ولتاژ خروجی تقویت‌کننده عملیاتی (مقایسه‌گر) به حدود ولتاژ تغذیه (ولتاژ اشباع) می‌رسد وSCR هادی می‌شود. با هادی شدن SCR، دوسر بار اتصال‌کوتاه می‌شود و منبع تغذیه را خاموش می‌کند. منابع تغذیه مجهز به محافظ SCR به نوعی محدودکننده جریان نیاز دارند تا درهنگام هدایت SCR، جریان به مقداربیش‌ازحد افزایش نیابد.




شکل ۲۴ـ مدارمحافظ بار با SCR منبع تغذیه مقایسه‌گر بار

پژوهش

با مراجعه به رسانه‌های مختلف، بررسی کنید آیا مدارشکل ۲۴ کاربرد عملی دارد؟ موارد را بیابید و درقالب یک گزارش ارائه دهید.

فکر کنید

چگونه دوریک موتور مثلاً دوریک ماشین لباسشویی و یا نورچراغ مانند شکل ۲۵ را کم و زیاد می‌کنند؟

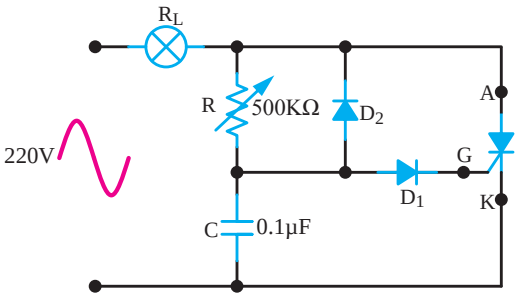
## مداردیمر یا تاریک‌کننده (Dimmer):

به مدارهایی‌که می‌توانند نورلامپ را کنترل‌کنند، تاریک‌کننده یا دیمر می‌گویند. در(شکل ۲۶) مدار دیمر نشان داده شده است. دراین مدار با تغییر پتانسیومتر R می‌توان لحظه روشن شدن SCR را کنترل‌کرد. به این ترتیب میزان توان داده شده به لامپ کنترل می‌شود. ولتاژ ورودی مدار، ولتاژ ۲۲۰ ولت برق شهر است که یک لامپ ۶۰ وات را تغذیه می‌کند.



شکل ۲۵

در نیم‌سیکل منفی موج سینوسی برق شهر، SCR قطع است و جریانی از لامپ عبور نمی‌کند. بنابراین فقط می‌توانیم در نیم‌سیکل مثبت موج سینوسی، جریان لامپ را کنترل کنیم. در نیم سیکل مثبت، خازن C از طریق پتانسیومتر R و لامپ $R_L$ شارژ می‌شود. وقتی ولتاژ دوسر خازن به ۱/۴ ولت می‌رسد، دیود $D_1$ درولتاژ موافق قرارمی‌گیرد و جریان درمسیر گیت SCR برقرار می‌شود. از این لحظه به بعد SCR به صورت کلید بسته عمل کرده و درحالت روشن باقی می‌ماند.




شکل ۲۶ـ مداردیمر

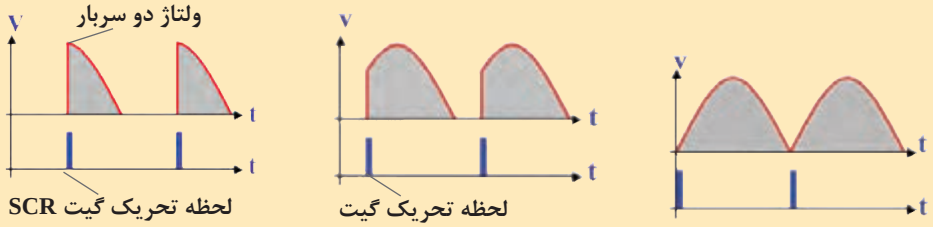
سوال

چرا وقتی ولتاژ خازن به ۱/۴ولت می‌رسد، SCR وصل می‌شود؟

.....

نکته

اگر موج یکسوشده شکل ۲۷ ـ الف را به ورودی مدار شکل ۲۶ بدهیم و درلحظات نشان داده شده درشکل ۲۷ گیت SCR را تحریک کنیم، درلحظات تحریک SCR روشن شده، جریان از بار می‌گذرد. اگربه زمان‌های تحریک درشکل‌های ۲۷ـ الف، ب و پ دقت کنیم درمی‌یابیم که درحالت الف قدرت بیش‌تری درمقایسه با حالت ب به بار می‌رسد. همچنین کم‌ترین قدرت درحالت پ در دوسر بار قرار می‌گیرد. لحظه وصل یا روشن شدن SCR را زاویه آتش SCR (زاویه بُرش) می‌نامند.




الف) بیش‌ترین توان

ب) توان کمتر در مقایسه با الف

پ) کم‌ترین توان

شکل ۲۷ـ لحظه تحریک گیت SCR

زمان رسیدن ولتاژ خازن به ۱/۴ولت (زاویه بُرش ولتاژ) به مقدارمقاومت پتانسیومتر (R) و ظرفیت خازن (C) بستگی دارد. پس ازگذشت ۱۸۰ درجه (پایان نیم سیکل مثبت)، ولتاژ دوسر SCR ابتدا صفر می‌شود. درشروع نیم‌سیکل منفی، ولتاژ دوسر مدار درجهت عکس افزایش می‌یابد. لازم به یادآوری است‌که درست درلحظه صفرشدن ولتاژ درنیم‌پریود مثبت، SCR قطع می‌شود، بنابراین درنیم‌پریود منفی SCR خاموش است و جریانی از بار (لامپ ۶۰ واتی) عبور نمی‌کند. در شروع نیم سیکل منفی خازن C ازطریق دیود $D_2$ درجهت عکس شارژ می‌شود. به این ترتیب درنیم‌پریود مثبت می‌توانیم با استفاده از مقاومت R، مقدار شارژ خازن را در محدوده وسیعی کنترل‌کنیم 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 ۱۸۰درجه کنترل کند.

جست‌وجو

به‌چه‌دلیل ولتاژ منفی شارژ شده درخازن درنیم‌سیکل منفی سبب بزرگ‌تر شدن زاویه برش می‌شود؟

سوال

در(شکل ۲۷) درکدام‌یک ازحالات، زاویه برش بزرگ است؟ شرح دهید.

کار عملی ۴

**عملکرد دیمر در نرم‌افزار**

**هدف:** بررسی زاویه بُرش در مدار دیمر

**مواد، ابزار و تجهیزات:** نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هرنرم‌افزارمناسب دیگر ـ رایانه ـ لوازم‌التحریر

**مراحل اجرای کار:**

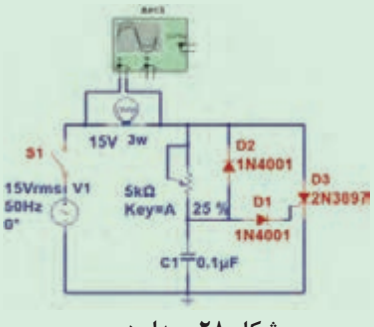
۱ نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هر نرم‌افزار مناسب دیگر را راه‌اندازی کنید.

۲ مدار (شکل ۲۸) را درمحیط نرم‌افزار ببندید.

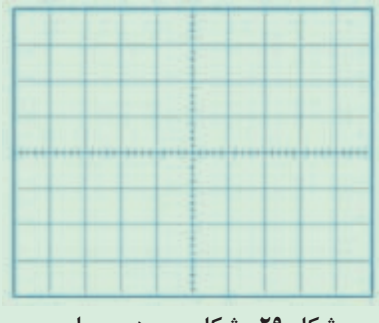
۳ کلید مدار را وصل کنید. شکل موج دو سر لامپ را توسط اسیلوسکوپ نرم‌افزار به‌صورت پایدار ظاهر کنید.

۴ سر متغیر پتانسیومتر نرم‌افزار را تغییر دهید و تغییر زاویه بُرش سیگنال دوسر بار را مشاهده‌کنید.

۵ مقدار پتانسیومتر را درحالت ۵۰ درصد بگذارید و شکل موج دوسر بار را دراین‌حالت با مقیاس مناسب و تعیین T/D و V/D روی محورها درنمودار شکل ۲۹ رسم کنید.




شکل ۲۸ـ مدار دیمر



شکل ۲۹ـ شکل موج دوسر بار

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.

### SCR نوری (Light Activated SCR = LASCR)

SCR نوری یک نیمه هادی چهارلایه (تریستور) است که مانند یک SCR معمولی عمل می‌کند، بااین‌تفاوت که توسط نور تحریک می‌شود. درصورتی که SCR نوری به‌طورصحیح بایاس شده باشد و نورکافی به آن بتابد، به حالت روشن می‌رود و جریان را دریک جهت از خود عبور می‌دهد. هدایت LASCR تا زمانی که جریان آن به حدی کمتراز مقدار تعریف شده در برگه اطلاعات برسد، ادامه می‌یابد. درشکل ۳۰ نماد LASCR نشان داده شده است.

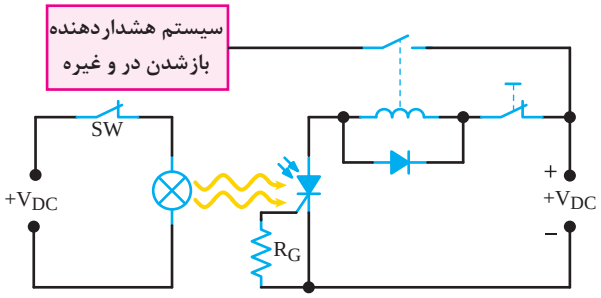



شکل ۳۰ـ نماد LASCR

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 درقالب یک گزارش ارائه دهید.

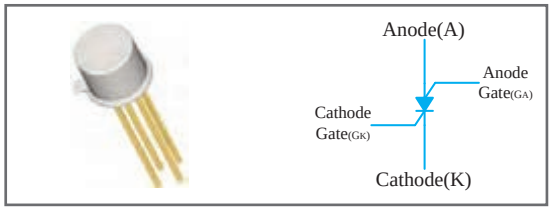
**یک نمونه کاربرد LASCR:** شکل ۳۱ مدار LASCR را برای راه‌اندازی یک رله نشان می‌دهد. باوصل‌کلیدSW، لامپ روشن می‌شود. نورلامپ سبب تحریک LASCR می‌شود و آن را وصل می‌کند. با روشن شدن LASCR، جریان $I_A$ برقرار می‌شود و جریان مورد نیاز سیم‌پیچ رله را تأمین می‌کند و سبب تحریک آن می‌شود. باتحریک رله، کنتاکت‌های آن وصل شده و مداردیگری را به‌کار می‌اندازد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود دراین مدار، ولتاژ تحریک ورودی، با سایر قسمت‌های مدار ارتباط الکتریکی ندارد.




شکل ۳۱ـ مدارکاربُردی با LASCR

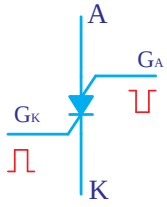
### کلید قابل کنترل سیلیکونی Silicon controlled Switch) SCS)

SCS تریستوری است که چهارپایه دارد. دو پایه SCS را گیت می‌نامند. با تحریک یکی‌ازگیت‌ها می‌توان SCS را وصل یا قطع کرد. نماد این قطعه و نام پایه‌های آن درشکل ۳۲ـ الف نشان داده شده است. درشکل ۳۲ـ ب شکل ظاهری یک نمونه SCS را مشاهده می‌کنید.




الف) نماد SCS ب) یک نمونه SCS

شکل ۳۲ـ SCS و نماد آن




شکل ۳۳ـ روشن‌کردن SCS

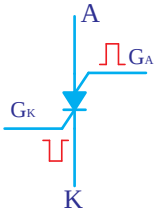
**چگونگی روشن‌نمودن SCS:** هرگاه به گیت کاتدی SCS ($G_k$) ولتاژی مثبت نسبت به‌کاتد آن اعمال کنیم، SCS روشن می‌شود. توسط گیت آندی SCS ($G_A$) نیز می‌توان SCS را روشن‌کرد. برای این منظور لازم است پالسی منفی به گیت آندی ($G_A$) بدهیم. شکل ۳۳ روشن‌کردن SCS را با پالس‌های مثبت و منفی نشان می‌دهد.

بارش فکری

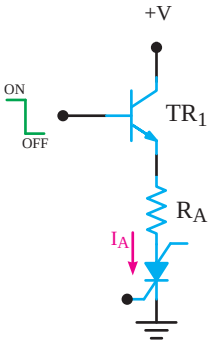
به‌چه‌دلیل باید به $G_k$ ولتاژ مثبت و به $G_A$ ولتاژ منفی بدهیم تا SCS روشن شود؟ نتیجه را ازطریق بارش فکری جمع‌بندی کنید.

**روش‌های خاموش‌کردن SCS:** SCR را پس‌از روشن‌کردن نمی‌توانیم ازطریق گیت آن خاموش کنیم ولی امکان خاموش‌کردن SCS ازطریق گیت وجود دارد. خاموش‌کردن SCS بادوروش به‌شرح زیر امکان‌پذیراست:

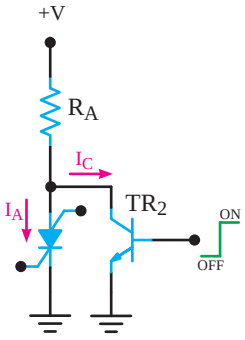
- می‌توان پالس مثبتی را به‌گیت آندی ($G_A$) متصل کرد. این پالس SCS را خاموش می‌کند.
- همچنین می‌توان با اعمال پالسی منفی به‌گیت‌کاتدی ($G_K$) SCS را به‌حالت خاموش بُرد. شکل ۳۴ روش‌های خاموش‌کردن SCS روشن را نشان می‌دهد.
- می‌توان مطابق شکل ۳۵ـ الف و ب، از یک ترانزیستور به‌عنوان کلید، به‌صورت سری یا موازی با SCS استفاده کرد.




شکل ۳۴ـ خاموش‌کردن SCS روشن




الف) ترانزیستور به عنوان کلید سری




ب) ترانزیستور به عنوان کلید موازی

شکل ۳۵ـ خاموش‌کردن SCS روشن با استفاده ازکلید الکترونیکی

بارش فکری

چگونگی خاموش‌شدن SCS را در مدارهای شکل ۳۵ تشریح کنید و در قالب یک گزارش کوتاه بنویسید.

.....

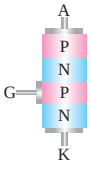
.....

.....

## خود ارزیابی

۱ SCS روشن را می‌توان با اتصال پالس مناسب به‌گیت آن خاموش نمود. صحیح ☐ غلط ☐

۲ نماد مداری مربوط به ساختمان کریستالی شکل ۳۶ کدام است؟




شکل ۳۶

۱- 

۲- 

۳- 

۴- 

۳ نماد  مربوط به کدام قطعه است؟

۱ دیود شاکلی ۲ SCR ۳ SCS ۴ LASCR

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 درشکل ۳۷ است. متن را به فارسی ترجمه کنید

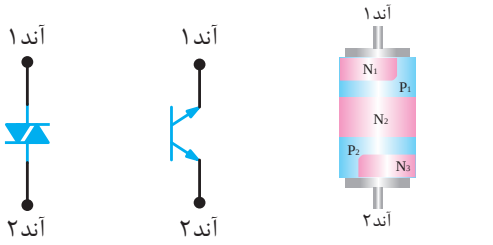
An SCR rated about ۱۰۰ amperes, ۱۲۰۰ volts mounted on a heat sink-the two small wires are the gate trigger lead



شکل ۳۷

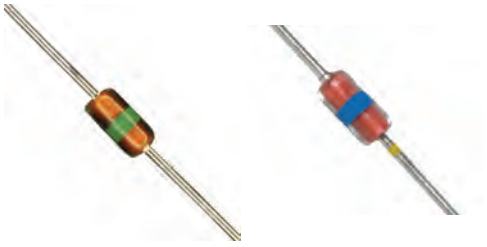
## دیاک DIAC (Diode Alternating Current)

دیاک یک قطعه نیمه‌هادی چهارلایه است که دوپایه دارد. این قطعه درهر دو جهت تحریک می‌شود و حالت روشن به خود می‌گیرد. بزرگترین مزیت کاربرد دیاک، هدایت آن درهر دو نیم‌سیکل مثبت و منفی است. درشکل ۳۸ـ الف ساختمان کریستالی و در شکل ۳۸ـ ب نمادهای آن نشان‌داده‌شده است. در شکل ۳۹ شکل ظاهری دونمونه دیاک را مشاهده می‌کنید. در دیاک پایه‌ای به‌نام‌کاتد وجود ندارد و پایه‌های آن با آند شماره۱ (الکترود ۱) و آند شماره ۲ (الکترود۲) شناخته می‌شود.




الف) ساختمان کریستالی ب) نماد

شکل ۳۸ـ ساختمان کریستالی و نمادهای مداری دیاک



شکل ۳۹ـ شکل ظاهری دیاک

نکته

ولتاژ شکست دیاک‌های متداول ۳۰ تا ۴۰ولت است.

فعالیت

باتوجه به ساختمان کریستالی شکل ۳۸ـ الف، دیاک معادل دو دیود چهارلایه است. مدار معادل آن را درشکل ۴۰ رسم کنید و درمورد چگونگی روشن‌شدن دیاک با هم‌گروهی خود بحث کرده و نتیجه را یادداشت کنید.

**پاسخ:** .....

**شکل ۴۰ـ مدار معادل دیاک**

فعالیت

باتوجه به بخشی از برگه اطلاعات دیاک درشکل ۴۱ به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

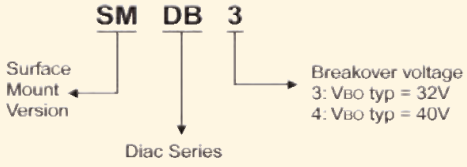
۱ ولتاژ شکست دیاک با شماره فنی DB۳ چندولت است؟.....

.....

۲ ماکزیمم جریان تکراری درحالت وصل و درنوع نصب سطحی آن چندآمپر است؟.....

.....



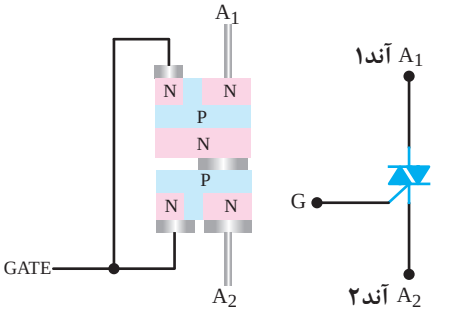

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (limiting values)

| Symbol | Parameter | | Value | Unit |
|---|---|---|---|---|
| $I_{TRM}$ | Repetitive peak on-state current tp = 20 µs F= 120 Hz | SMDB3 | 1.00 | A |
| | | DB3 / DB4 | 2.00 | |
| Tstg Tj | Storage temperature range Operating junction temperature range | | -40 to + 125 | °C |

**شکل۴۱ـ بخشی از برگه اطلاعات یک نوع دیاک**

## ترایاک (Triode Alternating current) TRIAC

ساختمان کریستالی ترایاک مانند دیاک است با این تفاوت که پایه سومی نیز به نام گیت دارد. نماد ترایاک همراه با نام پایه‌های آن و ساختمان کریستالی ترایاک در شکل الف و ب ۴۲ نشان داده شده است. در شکل ۴۳ چند نمونه ترایاک را مشاهده می‌کنید.

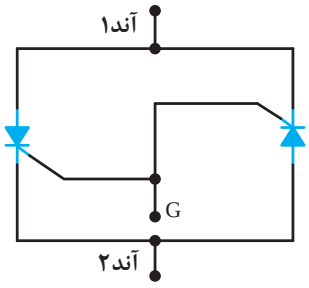



**ب)ساختمان کریستالی** **الف) نماد مداری**

**شکل۴۲ـ ساختمان کریستالی و نماد مداری ترایاک**



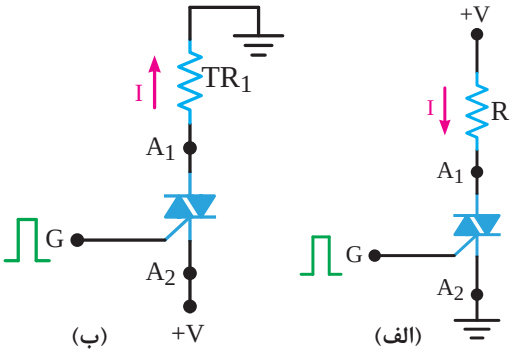
شکل ۴۳ـ چند نمونه تراياک




شکل ۴۴ـ معادل تراياک

**مدار معادل تراياک:** تراياک را می‌توانیم معادل دو SCR که به‌طور موازی و درجهت مخالف به‌هم وصل شده‌اند و گیت‌های آن‌ها نیز مشترک است درنظربگیریم. شکل ۴۴ تراياک را به‌صورت معادل دو SCR نشان می‌دهد.

**چگونگی تحریک تراياک:** برای راه‌اندازی تراياک طبق شکل ۴۵ـ الف باید شرایط زیرحاکم 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 تراياک روشن می‌شود و جریان را درمدار برقرار می‌کند. همچنین می‌توان مطابق شکل ۴۵ـ ب، $A_2$ را نسبت به $A_1$ بایاس مثبت کرد و گیت را نسبت به $A_1$ با پالس مثبتی تحریک نمود. دراین حالت نیز تراياک وصل شده و جریان درمدار برقرار می‌شود. بنابراین نتیجه می‌گیریم تراياک درهر دو جهت هدایت می‌کند.

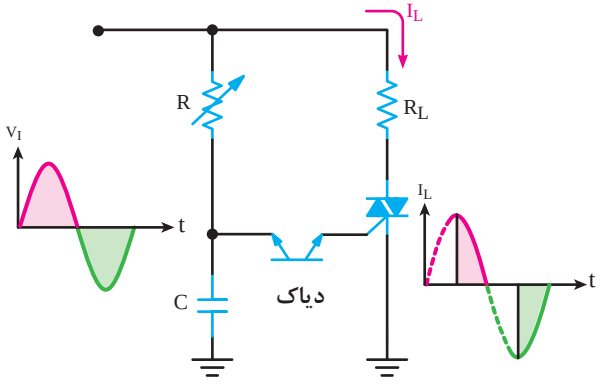



شکل ۴۵ـ شیوه‌های تحریک تراياک

پژوهش کنید

کوادراک (Quadrac) ترکیبی از دیاک و تراياک در یک بسته‌بندی است. درمورد آن تحقیق کنید و نتایج را به کارگاه ارائه دهید.

**مدار کنترل فاز (توان) توسط دیاک و تراياک:** در شکل ۴۶ مدار کنترل فاز توسط دیاک و تراياک رسم شده است.




۴۶ـ مدار کنترل فاز توسط دیاک و تراياک

در نیم سیکل مثبت، خازن C از طریق مقاومت R شارژمی‌شود. 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 بارعبور می‌نماید. درنیم سیکل منفی سیگنال ورودی، خازن درجهت منفی شارژ می‌شود و دیاک را روشن کرده و ترایاک را درمسیر معکوس فعال می‌کند. شکل موج ورودی و شکل موج جریان عبوری از بار RL را درشکل ۴۷ مشاهده می‌کنید. زاویه هدایت ترایاک با تغییر مقاومت R، قابل کنترل است.

کار عملی ۵

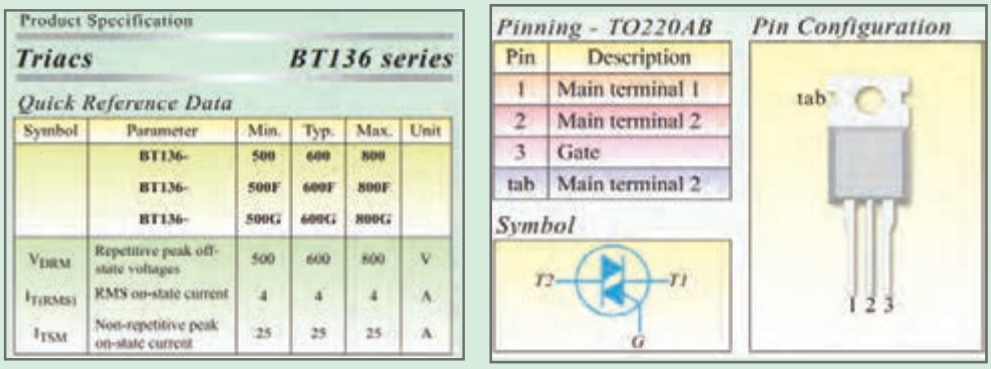
**روشن‌کردن ترایاک**

**هدف:** تعیین پایه‌های ترایاک و روش‌های روشن‌کردن آن:

**مواد، ابزار و تجهیزات:** منبع تغذیه،مولتی متر، بِردبُرد، سیم‌های بِردبُرد،سیم‌های رابط منبع تغذیه ترایاک BT۱۳۶، مقاومت ۱۰۰ اهم و ۳۳۰ اهم از هرکدام یک عدد، LED دوعدد

**مراحل اجرای کار:**

۱ برگه اطلاعات شکل ۴۷را مطالعه کنید و برخی از اطلاعات مربوط به ترایاک سری BT۱۳۶ 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 voltages | 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 | Description |
|---|---|
| 1 | Main terminal 1 |
| 2 | Main terminal 2 |
| 3 | Gate |
| tab | Main terminal 2 |

Symbol



Pin Configuration



شکل ۴۷ـ قسمتی از برگه اطلاعات ترایاک

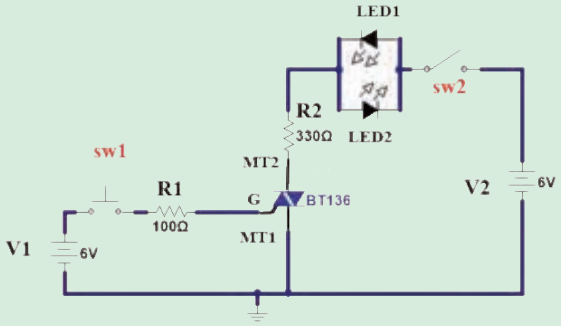
**جدول ۱**

| 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 $MT_1$ ازهردوطرف مقاومت کمی را نشان می‌دهد. لذا نمی‌توان این دو پایه را از هم تشخیص داد. $MT_2$ نسبت به $MT_1$ و گیت ازهردوطرف مقاومت بی‌نهایت را نشان می‌دهد و فقط این‌پایه با اهم‌متر قابل تشخیص است. با استفاده از اهم‌متر پایه $MT_2$ را تعیین کنید.

۳ آیا پایه‌ای راکه تعیین کرده‌اید با پایه مشخص شده دربرگه اطلاعات تطابق دارد؟

۴ مدارشکل ۴۸ را روی بِردبُرد ببندید.




شکل ۴۸ـ 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 ـ $MT_۱$ 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

۱ DIAC اول کلمات انگلیسی ..... و به‌معنی ..... ..... است.

۲ هنگام تحلیل عملکرد ترایاک می‌توان آن را معادل ..... که به طور موازی و در جهت ..... به‌هم وصل شده‌اند در نظر گرفت.

۳ در شکل ۴۹ قطعات ستون الف را با خط به نماد آنها در ستون ب اتصال دهید.

| الف | ب |
|---|---|
| دایاک | |
| ترایاک | |

شکل ۴۹

۴ دایاک یک قطعه سه پایه است.

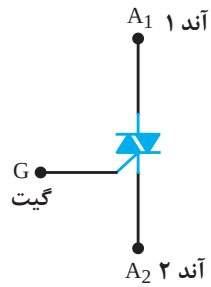
صحیح ☐ غلط ☐

۵ نماد شکل ۵۰ مربوط به ترایاک است.

صحیح ☐ غلط ☐

۶ با اتصال پالس منفی به گیت ترایاک روشن می‌توان آن را خاموش کرد.

صحیح ☐ غلط ☐



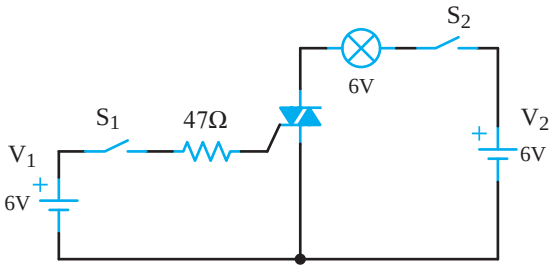

شکل ۵۰

۷ درشکل ۵۱ مدارتحریک یک ترایاک نشان داده شده است.

الف) اگر کلید $S_1$ را ببندیم و کلید $S_2$ را لحظه‌ای فشاردهیم، آیا لامپ روشن می‌شود؟

ب) کلید $S_2$ را بازکنید آیا لامپ خاموش می‌شود؟

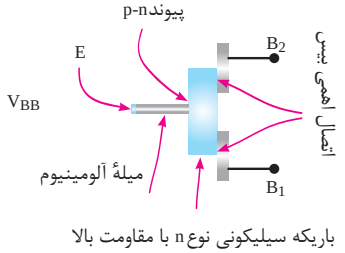
پ) اگر پلاریته $V_1$ و $V_2$ هردو معکوس شوند، چندحالت برای روشن‌کردن لامپ وجود دارد؟ شرح دهید.



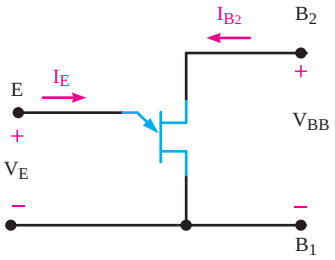

شکل ۵۱

## ترانزیستور تک اتصالی UJT (Uni Junction Transistor)

ترانزیستور تک‌اتصالی یا تک پیوندی (UJT) یک قطعه سه پایه است. درشکل ۵۲ـالف و ب ساختمانی کریستالی و نماد UJT و درشکل ۵۳ شکل ظاهری UJT نشان داده شده است. ترمینال‌های UJT را امیتر (E)، بیس یک ($B_1$) و بیس دو ($B_2$) نام‌گذاری کرده‌اند.




الف ـ ساختمان کریستالی



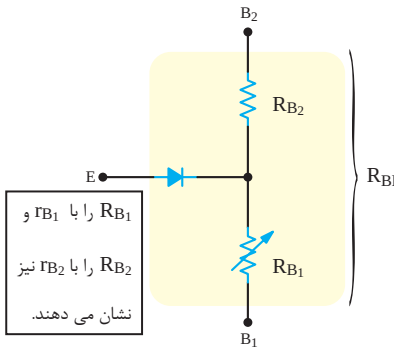

ب ـ علامت اختصاری

شکل ۵۲ـ ساختمان کریستالی و علامت اختصاری UJT




شکل ۵۳ـ یک نمونه UJT

همان‌طورکه درشکل ۵۲ مشاهده می‌کنید، میله‌ای ازکریستال سیلیکونی با ناخالصی‌کم و مقاومت زیاد، ساختار اصلی UJT را تشکیل می‌دهد. به دوطرف این میله، دومیله آلومینیومی اتصال داردکه پایه‌های بیس یک ($B_1$) و بیس دو ($B_2$) را تشکیل می‌دهد. درقسمت وسط یک میله آلومینیومی متصل است‌که آن را امیتر (E) می‌نامند. به‌این‌ترتیب، یک پیوند PN درمحل اتصال میله آلومینیومی و میله سیلیکونی نوع N به وجود می‌آید. وجود همین پیوند PN دلیل نام‌گذاری این قطعه به‌عنوان ترانزیستور تک‌پیوندی (UJT) است. درشکل ۵۴ مدارمعادل 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 بین امیتر (E) و بیس دو ($B_2$)) تغییرمی‌کند. مقاومت کل بین دو بیس از مجموع $R_{B1}$ و $R_{B2}$ به‌دست می‌آید. مقاومت بین دو بیس را (Inter Base Resistance) می‌نامند. مقدارآن از رابطه زیر به‌دست می‌آید.




شکل ۵۴ـ مدارمعادل UJT

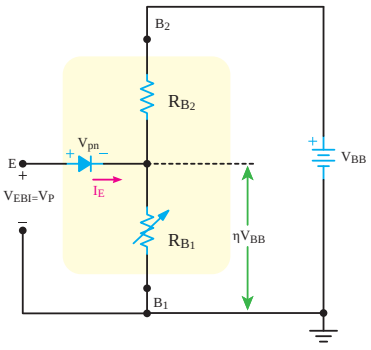
$$R_{BB}=R_{B1}+R_{B2}$$

فعالیت عملی

یک عدد UJT را در اختیار بگیرید. با استفاده از مولتی‌متر، پایه‌های آن را تشخیص دهید. مقدار مقاومت $R_{B1}$ و $R_{B2}$ را اندازه بگیرید و یادداشت کنید. سپس از برگه اطلاعات (Data Sheet) کمیت‌های ذکر شده را استخراج کنید و با مقادیر اندازه‌گیری 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 می‌شود و در دوسرمقاومت $R_{B1}$ ولتاژی افت می‌کندکه مقدارآن از رابطه زیربه‌دست می‌آید.




شکل ۵۵ــ چگونگی بایاس نمودن UJT

$$V_{RB1} = \frac{V_{BB} \times R_{B1}}{R_{B1}+R_{B2}} = \frac{V_{BB} \times R_{B1}}{R_{BB}}$$

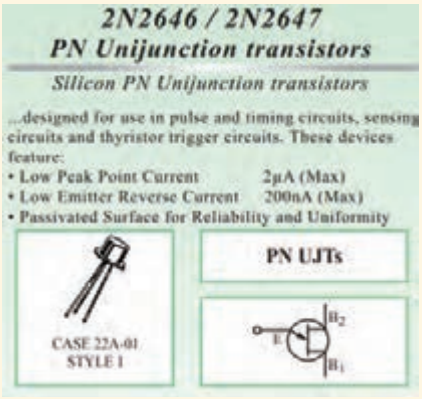
اگربه شکل ۵۵ توجه کنیم، درمسیر امیتر و $B_1$ افت ولتاژهای دوسر $R_{B1}$ و ولتاژ پتانسیل سد دیود EB ($V_{pn}$) وجود دارد. اگر این ولتاژ را با $V_p$ نشان دهیم، مقدار ولتاژ مورد نیاز برای هدایت دیود EB از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$V_P = V_{RB1} + V_{PN}$$

$V_P$ ولتاژ هدایت دیود EB است. این ولتاژ را ولتاژ نقطه اوج نیز می‌نامند. وقتی ولتاژ امیتر بیس یک ($V_{EB1}$) به $V_P$ می‌رسد، اتصال PN هادی شده و جریان امیتر ($I_E$) برقرار می‌شود و هدایت بین امیتر و بیس یک افزایش می‌یابد و مقاومت $R_{B1}$ را کاهش می‌دهد.

فعالیت

برگه اطلاعات شکل ۵۶ را مطالعه کنید و برخی از اطلاعات مربوط به UJT با شماره سری ۲N۲۶۴۶/۲N۲۶۴۷ را استخراج کنیدودر 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.

۵۶ــ قسمتی از برگه اطلاعات UJT

## جدول ۲

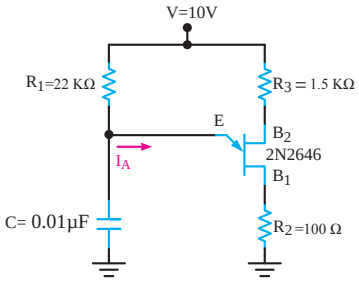
| ردیف | کمیت مورد نظر | معنی فارسی | مقدار | واحد |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | $P_D$ | | | |
| ۲ | $I_{E(RMS)}$ | | | |
| ۳ | $I_E$ | | | |
| ۴ | $V_{B_2E}$ | | | |
| ۵ | $V_{B_2B_1}$ | | | |

### کاربردهای UJT

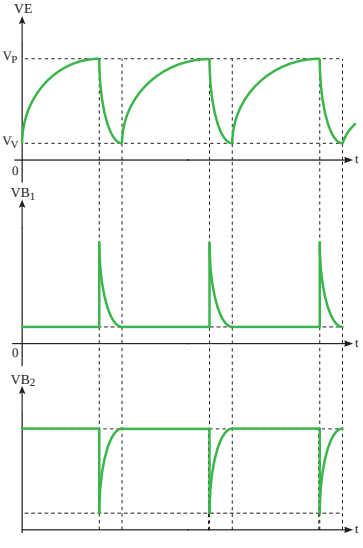
از ترانزیستور UJT در نوسان‌سازها، مدارهای تریگر، کنترل‌کننده‌های فاز و مدارهای تایمر استفاده می‌شود، دراین قسمت یک مورد ازکاربردهای مهم UJT را توضیح می‌دهیم.

**نوسان‌ساز UJT:** درشکل ۵۷ مدار یک نوسان‌ساز با ترانزیستور UJT نشان داده شده است. طرزکار مدار به‌شرح زیر است:

- با وصل شدن خط تغذیه V، جریان از طریق مقاومت $R_1$، خازن C را به آهستگی شارژ می‌کند.
- با شارژ خازن، ولتاژ امیتر UJT (ولتاژدوسر خازن) افزایش می یابد.
- به محض این‌که $V_E$ به حدی می‌رسد که بتواند UJT را هادی کند، خازن C از طریق $EB_1$ و مقاومت $R_2$ به‌سرعت خالی می‌شود.
- این جریان ممکن است ترانزیستور را بسوزاند. لذا مقاومت $R_2$ جریان ناشی ازخالی شدن خازن را محدود می‌کند.
- شکل موج پایه‌های E، $B_1$ و $B_2$ درشکل ۵۸ نشان داده شده است.
- مقاومت $R_2$ درتغییر فرکانس نقش کمی دارد، لذا به علت کم بودن این نقش، از آن صرف‌نظر شده است.




شکل ۵۷ــ مدار نوسان‌ساز با UJT




شکل ۵۸ــ شکل موج پای‌های UJT

بحث کنید

فرکانس موج‌های مدار نوسان‌ساز به چه عواملی بستگی دارد؟ با همکار گروه خود بحث کنید و نتیجه را یادداشت کنید.

.....

.....

پژوهش

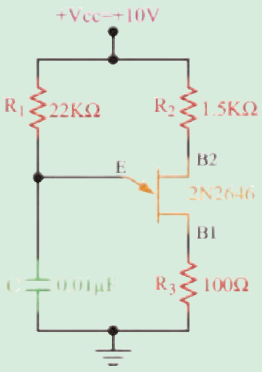
از شکل موج‌های ایجادشده در چه مدارهایی استفاده می‌شود؟ تحقیق کنید و نتیجه را به کارگاه ارائه دهید.

کار عملی ۶

## مدار نوسان‌ساز UJT با قطعات واقعی

**هدف:** بررسی شکل موج‌های تولیدی توسط نوسان‌ساز UJT

**مواد، ابزار و تجهیزات:** منبع تغذیه ـ اسیلوسکوپ ـ بِردبُرد ـ UJT با شماره ۲N۲۶۴۶ یک عدد ـ مقاومت‌های ۲۲KΩ، ۱/۵KΩ، ۱۰۰Ω، $\frac{۱}{۴}$ وات ازهرکدام یک عدد ـ خازن ۱۰nf یک عدد ـ سیم‌های رابط




شکل ۵۹ـ مدار نوسان‌ساز

۱ مدار (شکل ۵۹)را روی بِردبُرد ببندید.

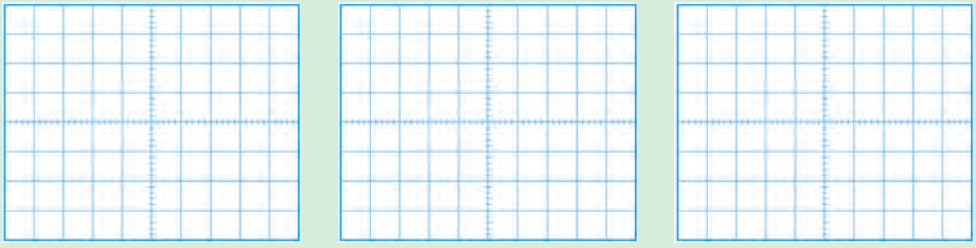
۲ ولتاژ تغذیه را به مدار وصل کنید.

۳ به وسیله اسیلوسکوپ، شکل موج ولتاژ پایه‌های E، $B_۱$ و $B_۲$ را با مقیاس مناسب و درج T/D و V/D روی محورهای مختصات درنمودارهای شکل ۶۰ ترسیم کنید.

۴ زمان تناوب موج‌ها را اندازه بگیرید و فرکانس موج‌ها را محاسبه و یادداشت کنید.

$TB_۲$= $TB_۱$= TE=

$FB_۲$= $FB_۱$= FE=



الف) شکل موج E ب) شکل موج $B_۱$ پ) شکل موج $B_۲$

شکل ۶۰ـ شکل موج پایه‌های UJT

## خودارزیابی

۱ UJT اول کلمات انگلیسی..... و به معنی ..... است.

۲ UJT را می‌توان معادل یک ..... و دو مقاومت درنظرگرفت.

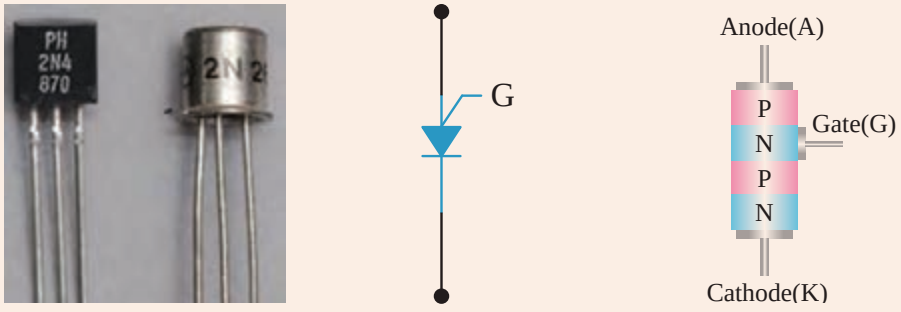
۳ ساختمان کریستالی و معادل دیودی UJT را رسم کنید.

## ترانزیستور تک قطبی قابل برنامه‌ریزی PUT (Programmable UniJunction Transistor)

PUT یک ترانزیستور تک قطبی قابل برنامه‌ریزی است. ساختمان داخلی آن از چهارلایه نیمه‌هادی نوع P وN 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 چهارلایه است. درشکل ۶۱ ـالف ساختمان کریستالی PUT نشان داده شده است. درشکل ۶۲ ـب نماد (علامت اختصاری) PUT را مشاهده می‌کنید. دو نمونه PUT را درشکل ۶۱ـپ مشاهده می‌کنید.

جست‌وجو

با مراجعه به رسانه‌های مختلف، علت نام‌گذاری این ترانزیستور تحت عنوان قابل برنامه‌ریزی را بیابید و درقالب یک گزارش ارائه دهید.




ب) علامت اختصاری — پ) دو نمونه PUT

**شکل ۶۱ـ ساختمان کریستالی و علامت اختصاری و دو نمونه PUT**

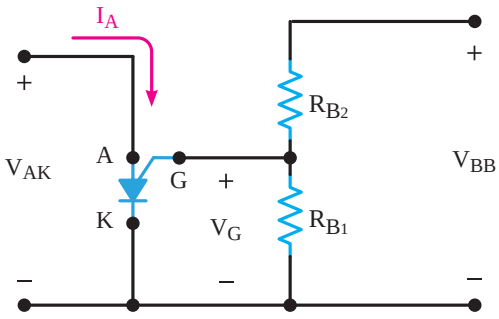
همان‌طوری که درشکل ۶ـالف مشاهده می‌شود، این قطعه چهارلایه PNPN و یک گیت داردکه گیت به لایه N میانی متصل است. این قطعه درواقع نوعی SCR از نوع گیت آندی است.

### بایاس کردن PUT

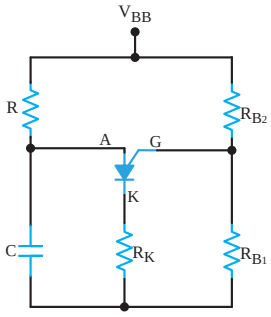
نحوه بایاس کردن PUT درشکل ۶۲ نشان داده شده است. ولتاژ بین دو مقاومت $R_{B1}$ و $R_{B2}$ تقسیم می‌شود و پتانسیل گیت را نسبت به کاتد همواره مثبت می‌کند. وقتی ولتاژ آند حدود ۰/۷ ولت بیش‌تر از پتانسیل گیت شود، اتصال PN موجود بین آند وگیت هادی می‌شود و PUT را روشن می‌کند.

### نوسان‌ساز PUT

درشکل ۶۳ نوسان‌ساز PUT را مشاهده می‌کنید. با وصل‌کردن منبع تغذیه، خازن C ازطریق R شروع به شارژشدن می‌کند. وقتی ولتاژ دوسرخازن به ولتاژ وصل PUT برسد آن را روشن می‌کند. با روشن شدن PUT، خازن به سرعت ازطریق PUT و $R_K$ تخلیه می‌شود. وقتی ولتاژ خازن به یک سطح پایین نزول کرد، PUT باردیگر خاموش می‌شود و سیکل شارژ دوباره تکرارمی‌گردد. شکل موج پایه‌های آند، کاتد و گیت این نوسان‌ساز شبیه نوسان‌ساز UJT است.




شکل ۶۲ـ چگونگی بایاس نمودن PUT




شکل ۶۳ـ مدار نوسان‌ساز با PUT

فعالیت گروهی

با مراجعه به رسانه‌های مختلف مشخصات یک نمونه ترانزیستور UJT و PUT را از برگه اطلاعات آنها استخراج کنید و سپس عملکرد آنها را دریک جدول باهم مقایسه‌کنید. نتیجه را درقالب گزارش ارائه دهید.

بحث‌گروهی

فرکانس موج‌های مدارنوسان‌ساز به چه عواملی بستگی دارد؟ با همکارگروه خود بحث‌کنید و نتیجه را یادداشت کنید.

.....

.....

کار عملی ۷

**مدارنوسان‌ساز PUT درنرم‌افزار یا به صورت سخت‌افزاری**

**هدف:** بررسی شکل موج‌های تولیدی توسط نوسان‌ساز PUT

**مواد، ابزار و تجهیزات:** نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هرنرم‌افزار مناسب دیگر ـ رایانه ـ لوازم‌التحریر

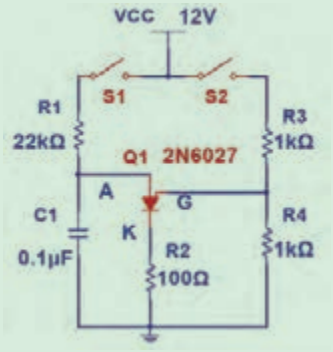
**مراحل اجرای کار:**

۱ نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هرنرم‌افزار مناسب دیگر را راه‌اندازی کنید.

۲ مدار(شکل ۶۴) را درمحیط نرم‌افزار ببندید.

۳ کلید $S_۲$ را وصل‌کنید و با ولت‌متر نرم‌افزار، ولتاژ گیت نسبت به زمین را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

ولت ..... $V_G$=



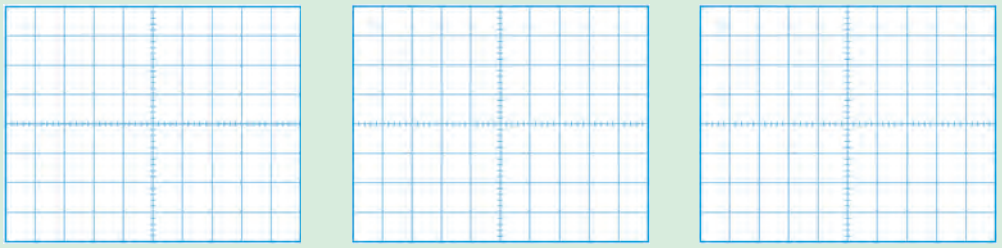

شکل۶۴ـ مدار آزمایش

۴ کلید $S_۱$ را وصل‌کنید ولتار آند (ولتاژ دو سرخازن) به حدود چند ولت برسد،PUT هدایت می‌کند؟

.....

۵ به وسیله اسیلوسکوپ نرم‌افزار، شکل موج ولتاژ پایه‌های آند (دوسرخازن $C_۱$)، گیت وکاتد نسبت به زمین را مشاهده‌کنید، سپس درنمودارهای شکل۶۵ ترسیم‌کنید.

۶ زمان تناوب موج‌ها را اندازه بگیرید و فرکانس موج‌ها را محاسبه و یادداشت کنید.



الف) شکل موج آند　　ب) شکل موج گیت　　پ) شکل موج کاتد

شکل ۶۵ـ شکل موج پایه‌های PUT

فعالیت گروهی

چگونگی عملکرد مدارشکل۶۴ را مورد تجزیه و تحلیل قراردهید، سپس نحوه تولید شکل موج دراین نوسان‌ساز را در قالب یک گزارش ارائه دهید.

T=.....

F=.....

پژوهش کنید

با جست‌وجو درفضای مجازی، موارد کاربرد PUT را بیاید.

خودارزیابی

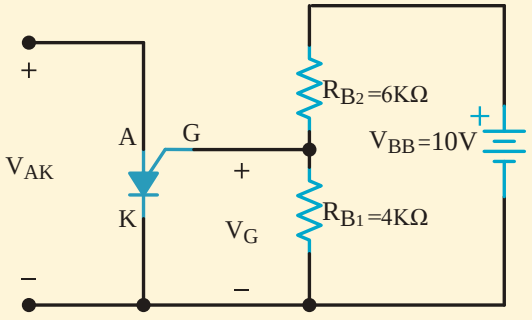
۱ PUT اول کلمات انگلیسی..... و به معنی..... است.

۲ PUT همان SCR از نوع گیت آندی است.　صحیح ☐　غلط ☐

۳ ساختمان کریستالی و نماد مداری PUT را رسم کنید.

۴ مدارنوسان‌ساز شکل۶۴ چه کاربردی دارد؟

۵ درشکل۶۶ ولتاژگیت نسبت به زمین چندولت است؟ محاسبه‌کنید. ولتاژ آند به چندولت برسد PUT وصل می‌کند؟




شکل ۶۶

# ارزشیابی شایستگی تست عملکرد قطعات الکترونیک صنعتی

| نام و نام خانوادگی : | | شماره ملی: | | تاریخ ارزشیابی: | |
|---|---|---|---|---|---|
| کد حرفه | ۸۲۱۲۲۳ | حرفه | مونتاژکاران تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی | کدپیمانه/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 |

**استاندارد عملکرد:**
شناخت قطعات الکترونیک صنعتی و آزمایش عملکرد قطعات با رعایت استانداردهای تعریف‌شده

| ردیف | مراحل کار | شرایط انجام کار (ابزار، مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...) | ابزارهای ارزشیابی | استاندارد (شاخص‌ها/داوری/نمره‌دهی) | نتایج ممکن | نمره کسب‌شده |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ترسیم و شبیه‌سازی مدار در نرم‌افزار و بررسی عملکرد قطعات پیش از مونتاژ روی بِردبُرد | نرم‌افزار شبیه‌سازی مدار، رایانه، نقشه مدار و برگه اطلاعات قطعات الکترونیکی، بردبرد و زمان تعیین‌شده درکارگاه الکترونیک | مشاهده عملکرد، چک‌لیست مهارتی، بررسی صحت ترسیم و نتایج شبیه‌سازی مدار | ترسیم و شبیه‌سازی صحیح و بررسی کامل عملکرد قطعات | ۳ | |
| | | | | ترسیم و شبیه‌سازی قابل قبول باخطای جزئی درتحلیل عملکرد | ۲ | |
| | | | | ترسیم و شبیه‌سازی نادرست و عدم‌بررسی صحیح عملکرد قطعات | ۱ | |
| ۲ | انتخاب قطعات استاندارد، بررسی سلامت آنها و مونتاژ صحیح و ایمن مدار روی بردبرد با رعایت ترتیب پایه‌ها | بِردبرد، قطعات الکترونیکی استاندارد، مولتی‌متر، سیم‌های اتصال، منبع تغذیه، نقشه مدار و برگه اطلاعات قطعات در زمان تعیین‌شده و کارگاه الکترونیک | مشاهده عملکرد، بررسی صحت انتخاب و سلامت قطعات و ارزیابی صحت اتصالات روی بِردبرد | انتخاب قطعات استاندارد و سالم، مونتاژ دقیق و با رعایت ایمنی | ۳ | |
| | | | | انتخاب و مونتاژ قطعات باخطای جزئی و عملکرد قابل‌قبول مدار | ۲ | |
| | | | | انتخاب نادرست قطعات و مونتاژ اشتباه و عملکرد نادرست | ۱ | |
| ۳ | تست عملی مدار با دستگاه‌های اندازه‌گیری و رفع خطاهای سیم‌کشی، اتصالات یا قطعات معیوب | بِردبُرد منبع تغذیه، مولتی‌متر، اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور، قطعات مدار و نقشه مدار درزمان تعیین‌شده و کارگاه الکترونیک | انجام صحیح تست مدار با دستگاه‌های اندازه‌گیری، 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 درتست مدار و رفع خطاها | ۱ | |
| ۴ | تنظیم و ارائه مستندات و گزارش کار | فرم گزارش کار یا کتاب، داده‌ها و نتایج آزمایش، نمودارها و تصاویر مدار درزمان تعیین‌شده و کلاس یا کارگاه الکترونیک | دقت در ثبت مستندات، کامل‌بودن گزارش، نظم و ساختار ارائه و بررسی توضیح مراحل و نتایج | گزارش و مستندات دقیق و کامل | ۳ | |
| | | | | گزارش نسبتاً کامل بانقص‌های جزئی درتوضیحات یا مستندات | ۲ | |
| | | | | گزارش ناقص یا بدون مستندات | 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 مطابق‌با دستورالعمل‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای | مشاهده‌رفتارهنرجودرحین 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 | ۲ | |
| | | | | رعایت نسبی ایمنی و بهداشت باخطاهای جزئی، رفتارکاری مناسب | ۱ | |
| **ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار)** | | | | | بلی ☐ | |
| | | | | | خیر ☐ | |

**توضیحات:**

۱ـ معیار شایستگی انجام کار:

ـ کسب حداقل نمره ۲ درهمه شاخص‌ها و اجرای صحیح تمامی مراحل شامل شبیه‌سازی مدار، انتخاب و تست قطعات، مونتاژ صحیح روی بردبورد، تست و عیب‌یابی مدار و ارائه گزارش‌کار (مراحل بحرانی).

ـ کسب حداقل نمره ۲ ازبخش شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش

ـ کسب حداقل میانگین ۲ ازمراحل کار

۲ـ تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر ازاین‌که یک تکلیف‌کاری درچه سطحی از صلاحیت حرفه‌ای انجام می شود، درهرمحیط کاری ممکن است انجام هرکار باکیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام‌کار، معیاراساسی ارزشیابی است.

ـ مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه‌ریزی و تحلیل، پاسخ‌گویی دربرابرکارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت ها

ـ تسلط (سطح چهار): خبرگی درانجام‌کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب‌یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.

# واحد یادگیری ۲ : اجرای پروژه الکترونیک صنعتی

## آیا تا به حال فکر کرده‌اید؟

- برای کنترل دورموتور و کنترل میزان روشنایی از چه مدارهایی استفاده می‌شود؟
- رله‌های جامد با رله‌های الکترومغناطیسی چه تفاوتی دارند؟
- MOSFET های قدرت چه نقشی درمدارهای صنعتی دارند؟
- کاربرد IGBT درصنعت چیست؟

الکترونیک قدرت یا صنعتی محدود به تریستورها و ترایاک و سایر قطعات، شناسایی و راه‌اندازی آنها نمی‌شود بلکه به طراحی، ساخت و کاربرد تجهیزات الکترونیکی درمحیط‌های صنعتی می‌پردازد. لذا نیروی محرکه تحول درصنایع مدرن است. این فناوری درکنترل دقیق سرعت، گشتاور و موقعیت موتورهای الکتریکی AC و DC، امکان اتوماسیون و رباتیک‌سازی خطوط تولید و پایش صنعتی، درصنایع خودروسازی، اینترنت اشیا و مواردی‌که به نیروی محرکه بالا نیاز است کاربرد فراوان دارد. برخی مزایای الکترونیک قدرت را می‌توان درافزایش بهره‌وری، افزایش دردقت و کیفیت محصولات صنعتی، کاهش هزینه عملیاتی و افزایش ایمنی نام برد. دراین واحد یادگیری با برخی دیگر از قطعات قدرت مانند MOSFET قدرت و IGBT آشنا می‌شوید و به اجرای پروژه صنعتی می‌پردازید. دراجرای پروژه رعایت نکات ایمنی بسیارمهم است. توصیه اکید می‌شود درانتخاب پروژه با هنرآموز محترم مشاوره و پروژه به تأیید ایشان برسد. رعایت شایستگی‌های غیرفنی مانند کارگروهی، رعایت نظم و ترتیب، توجه به فناوری‌های نوین و رعایت نکات ایمنی و زیست محیطی مهم بوده و باید درمراحل انجام‌کار به آنها توجه شود.

## استاندارد عملکرد

راه‌اندازی و عیب‌یابی پروژه کاربُردی الکترونیک صنعتی با رعایت استانداردهای تعریف‌شده.

# مدار کنترل دور موتور و روشنایی

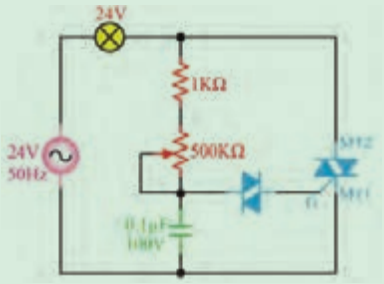
کار عملی ۱

## مدار دیمر با قطعات واقعی

**هدف:** اجرای مدار کنترل فاز توسط دیاک و ترایاک با قطعات واقعی

**مواد، ابزار و تجهیزات:** منبع تغذیه یک دستگاه ـ اسیلوسکوپ یک دستگاه ـ بِردبُرد یک قطعه ـ دیاک یک عددـ ترایاک شماره BT۱۳۶یک عدد ـ مقاومت $\frac{۱}{۴}$ ۱KΩ وات یک عدد ـ لامپ ۲۴ ولت ۳ وات یک عدد ـ پتانسیومتر ۵۰۰ ΩK یک عدد ـ ترانسفورماتور ۲۴ـ۲۲۰ ولت یک عدد ـ سیم‌های رابط به مقدار کافی

**نکته بسیار مهم ایمنی:** برای جلوگیری ازخطر برق‌گرفتگی، آزمایش مدار دیمر را با ولتاژ ۲۴ ولت انجام دهید. این ولتاژ به‌وسیله ترانسفورماتور ۲۴ـ۲۲۰ ولت تأمین می‌شود. هنگام اتصال ترانسفورماتور به برق شهر، کلیه نکات ایمنی را رعایت کنید.




۶۷ـ مدار کنترل فاز توسط دیاک و ترایاک

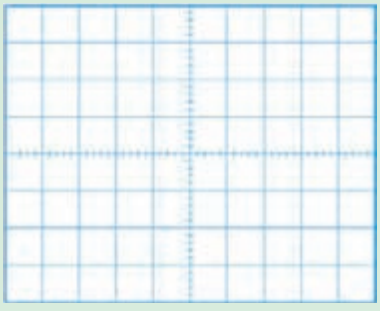
**مراحل اجرای کار**

۱ مدار (شکل ۶۷) را روی بِردبُرد ببندید.

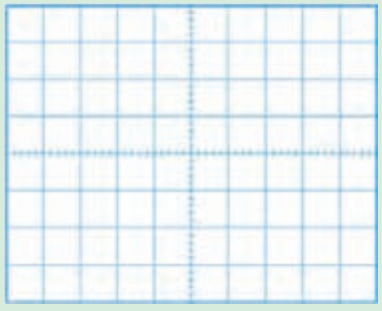
۲ ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور را به مدار وصل کنید.

۳ سرمتغیر پتانسیومتر را تغییر دهید. در نور لامپ چه تغییری ایجاد می‌شود؟ شرح دهید. .....

۴ شکل موج دو سر بار را به‌وسیله اسیلوسکوپ در دو حالت، مقدار اهم پتانسیومتر درحداقل و مقدار اهم پتانسیومتر درحد وسط ببینید. شکل موج‌ها را با مقیاس مناسب (T/D و V/D روی محورها مشخص شود) در نمودارهای شکل ۶۸ ترسیم کنید.



الف) شکل موج دو سر بار، پتانسیومتر درحداقل



ب) شکل موج دو سر بار، پتانسیومتر درحد وسط

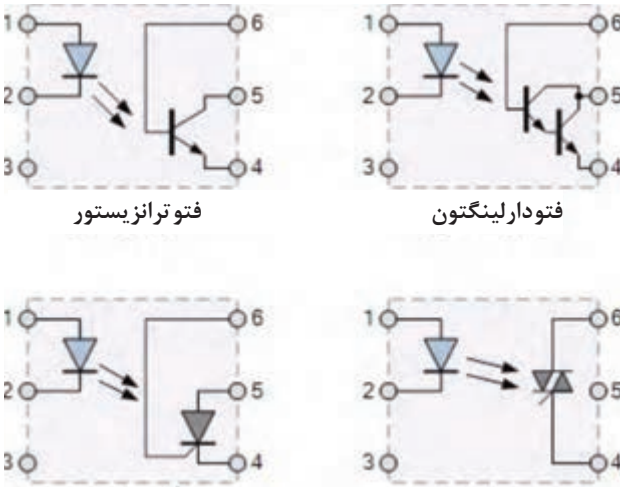
شکل ۶۸ـ شکل موج دو سر بار

۵ چون دیاک و ترایاک در هر قطع و وصل نویز ایجاد می‌کنند، باید برای حذف نویز از فیلترC, L استفاده شود.

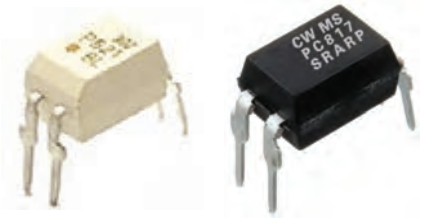
**رله جامد SSR (Solid State Relay):**

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. اپتو کوپلر 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 درشکل ۷۰ دو نمونه اپتوکوپلر نشان داده شده است. با ولتاژکم DC بخش ورودی فعال می‌شود.



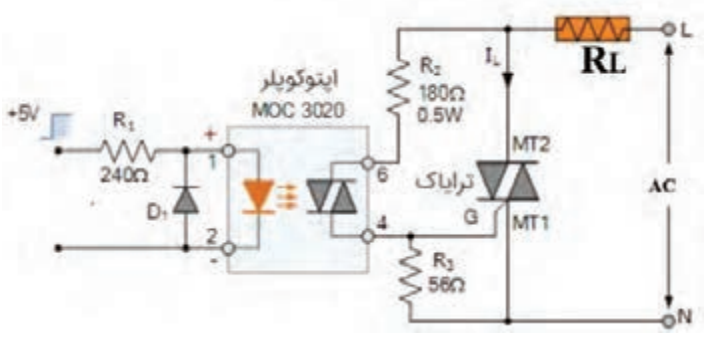

شکل ۶۹ ــ مدار چند نمونه اپتوکوپلر




شکل ۷۰ــ دو نمونه اپتوکوپلر

۲ **بخش راه‌انداز (Driver):** مدار راه‌انداز سیگنال نوری را به ولتاژ مناسب برای کلید قدرت تبدیل می‌کند.

۳ **بخش خروجی:** دراین بخش کلید قدرت قراردارد. یک یا چند قطعه نیمه هادی قدرت مانند ترایاک، تریستور یا MOSFET قدرت یا IGBT عمل سوئیچ را انجام می‌دهند. درشکل ۷۱ مداریک نمونه SSR را مشاهده می‌کنید. دراین مدار از یک ترایاک به عنوان سوئیچ قدرت استفاده شده است.




شکل ۷۱ــ مدار یک نمونه SSR




شکل ۷۲ـ یک نمونه SSR

### مزایای SSR:

- طول عمر نامحدود
- قطع و وصل بدون صدا و لرزش
- سوییچینگ بسیارسریع
- عدم ایجاد جرقه و قوس الکتریکی
- ایزولاسیون کامل بین ورودی کنترل و خروجی قدرت

در شکل ۷۲یک نمونه رله جامد صنعتی را مشاهده می‌کنید.

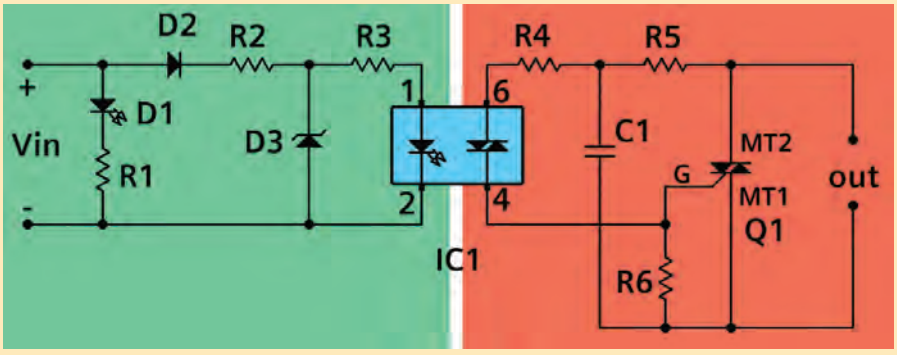
## پروژه ساخت مدار رله جامد صنعتی

### شرح پروژه

نقشه فنی مدار پروژه درشکل ۷۳ رسم‌شده است. به ورودی مدار ولتاژ DC اعمال می‌شود و از طریق خروجی می‌توان به مدارهای موردنظر فرمان داد. اگر به ورودی کنترل سوئیچ یک ولتاژ مستقیم از ۵ تا ۱۲ وصل کنیم، ترایاک موجود در خروجی رله روشن می‌شود. درشکل ۷۴ یک نمونه ترایاک و مشخصات آن نشان داده شده است. از آن‌جایی که از اپتوکوپلر (Opto Coupler) برای جداسازی بین ورودی و خروجی مدار بخش کلیدزنی، استفاده شده است، این دو بخش هیچ‌گونه ارتباط الکتریکی با یکدیگر ندارند.

نکته

برای راه‌اندازی رله جامد باید حتماً تغذیه AC و بارخروجی به رله وصل باشد تا رله عمل کند. چرا؟




شکل ۷۳ـ نقشه شماتیک رله جامد




شکل ۷۴ـ یک نمونه ترایاک

**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 دراثر ولتاژ معکوس می‌شود. مقاومت $R_2$ و دیود زنر $D_3$ مدار تثبیت‌کننده ولتاژ هستند. این مدار ولتاژ ورودی ۵ الی ۱۲ ولت را به ولتاژ ثابت ۳/۳ ولت تبدیل می‌کند. درصورتی‌که 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 روشن شدن خودبه‌خود ترایاک است. خازن پلی‌استر $C_1$ نیز برای از بین بردن و جلوگیری ازتاثیر نویز برروی گیت تریاک به‌کار رفته است. ترایاک به‌عنوان قطعه کلیدزنی اصلی بوده و مانند یک کلید، ترمینال‌های خروجی را به هم وصل می‌کند. می‌توان به جای MOC۳۰۲۱ از اپتوکوپلرهای MOC۳۰۲۲ یا MOC۳۰۲۳ نیز استفاده کرد.

بحث کنید

با اعضای گروه خود درباره نقش سایر قطعات موجود درمدار بحث کنید و نتیجه را درقالب یک گزارش ارائه دهید.

**فهرست قطعات مورد نیاز مدار:** قطعات مورد نیاز پروژه درجدول ۳ آورده‌شده است.

**جدول ۳**

| مشخصات | قطعه | مشخصات | قطعه |
|---|---|---|---|
| دیود LED قرمز ۵ میلی‌متری | $D_1$ | ۲/۲KΩ ـ ۱/۴W | $R_1$ ،$R_5$ |
| ۱N۴۰۰۷ | $D_2$ | ۱۲۰Ω ـ ۱W | $R_2$ |
| دیود زنر ۳/۳V با توان ۱/۴W | $D_3$ | ۲۴۰Ω ـ ۱/۴W | $R_3$ |
| ترایاک BT۱۳۸ | $Q_1$ | ۱۸۰Ω ـ ۱/۴W | $R_4$ |
| اپتوکوپلر MOC۳۰۲۱ | $IC_1$ | ۱۰KΩ ـ ۱/۴W | $R_6$ |
| ترمینال ۵mm | $TB_2$ ،$TB_1$ | ۱۰۰nF ـ ۴۰۰V | $C_1$ |

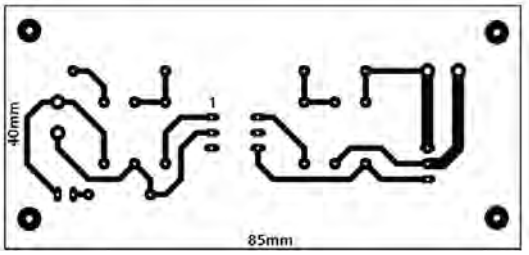
نکته

درصورتی‌که بخواهید از رله جهت قطع و وصل جریان‌های بیشتراز ۲ آمپر استفاده کنید، باید ترایاک را مانند شکل ۷۵ روی گرماگیر نصب کنید. توجه داشته باشیدکه بدنه فلزی ترایاک BT۱۳۸ ازداخل قطعه به پایه $MT_2$ متصل است. لذا باید قسمت فلزی قطعه با بدنه گرماگیر (Heatsink) توسط طلق مخصوص و خمیر سیلیکونی ازنظر الکتریکی عایق شود.

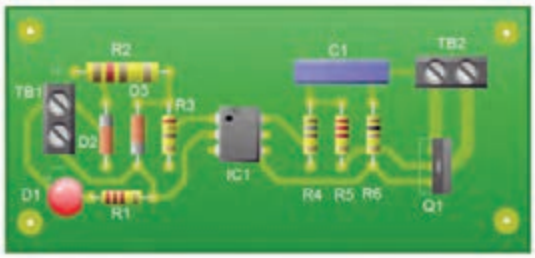
**طرح مدارچاپی و نقشه چیدمان قطعات:** طرح نمونه فیبر مدار چاپی در ابعاد ۸۵ میلی‌متر در ۴۰ میلی‌متر در شکل ۷۶ آورده شده است. درشکل ۷۷ چگونگی چیدمان قطعات بر روی فیبر مدارچاپی را مشاهده کنید.

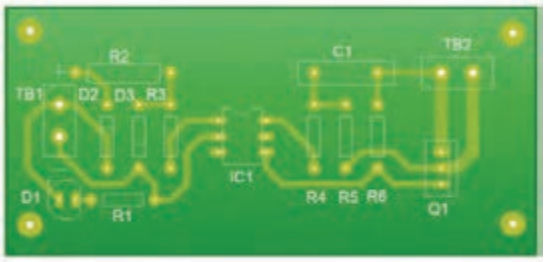


شکل ۷۵ــ ترایاک متصل‌شده به گرماگیر




شکل ۷۶ــ طرح مدار چاپی پروژه



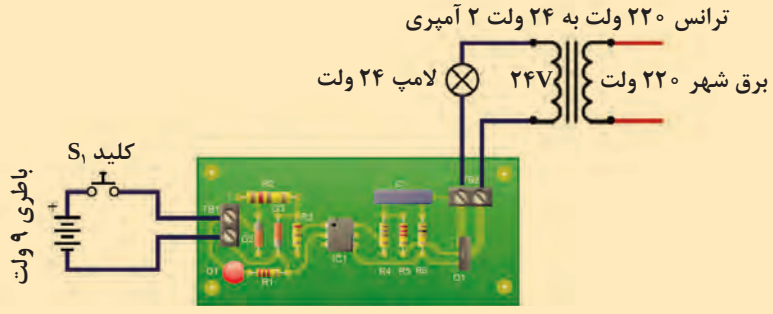




شکل ۷۷ــ راهنمای چیدمان قطعات روی برد

**تست پروژه:** بعد از مونتاژ مدار و اتمام لحیم‌کاری، 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 جریان‌دهی 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 درخروجی روشن و با قطع کردن کلید لامپ خاموش می‌شود. قطع و وصل کلید را چندبار تکرار کنید تا از عملکرد صحیح مدار اطمینان حاصل نمایید. قراردادن پروژه درداخل یک جعبه عایق مناسب، می‌تواند ایمنی بیشتری را فراهم کند و باعث بالا رفتن طول عمر آن شود.

توجه

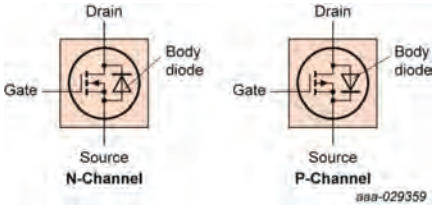
طرح مدارچاپی داده شده یک نمونه طراحی است. برای اجرای پروژه لازم است، طراحی مدارچاپی را با ابعاد تعریف شده، خودتان انجام دهید.




شکل ۷۸ــ تست صحت عملکرد مدار

## MOSFET قدرت

با ساختمان ترانزیستورهای اثرمیدان و عملکرد آنها آشنا شده‌اید. ماسفت‌های قدرت نوعی ترانزیستور اثرمیدان با ساختار عمودی هستندکه 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. درشکل 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 درناحیه اشباع، ماسفت مانند کلید بسته عمل می‌کند.




**شکل ۷۹ــ نماد ماسفت با کانال N و P**



**شکل ۸۰ــ یک نمونه ماسفت**

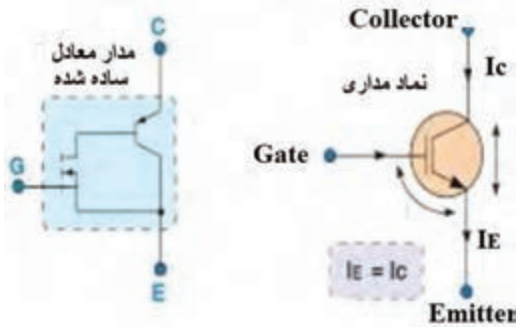
### مزایای ماسفت قدرت

- دارای سرعت کلیدزنی (سوییچینگ) بالا است و می‌تواند درفرکانس‌های بالا تاحدود بالاتر از یک‌مگاهرتز درحدود نانوثانیه قطع و وصل کند.
- چون درحالت روشن مقاومت کم دارد تلفات توان آن کم بوده و بازده بالایی دارد.
- امپدانس ورودی زیاد آن سبب می‌شود در ورودی جریان بسیارناچیز بکشد لذا کنترل شده با ولتاژ بوده و راه‌اندازی آن ساده است.
- به‌علت وجود دیود معکوس درمقابل ولتاژ معکوس برگشتی حفاظت می‌شود.
- پایداری حرارتی خوبی دارد.

**کاربرد:** از ماسفت‌های قدرت درکنترل موتورهای صنعتی، منابع تغذیه سوئیچینگ، مبدل‌های DC به DC ،اینورترها، کنترل‌کننده‌های روشنایی، سیستم‌های جوشکاری، سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر، سیستم‌های UPS، کنترل‌کننده‌های دما و مبدل‌های فرکانس استفاده می‌شود.

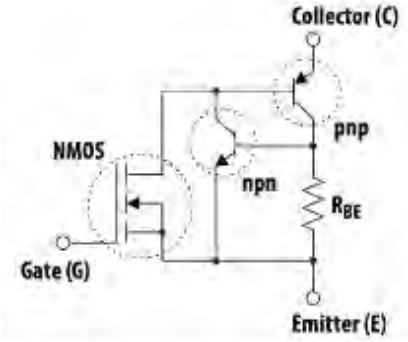
**IGBT:** ترانزیستور IGBT از ترکیب دو ترانزیستور BJT و MOSFET ساخته می‌شود. امپدانس ورودی زیاد و سرعت سوییچینگ بالای MOSFET و ولتاژ اشباع کم BJT ترانزیستور IGBT را با خواص جدید ایجاد نموده است.

IGBT اول کلمات انگلیسی Insulated Gate Bipolar Transistor به معنی ترانزیستور دوقطبی باگیت عایق شده است.پایه‌های IGBT گیت، کلکتور و امیتر نام دارند. این ترانزیستور مانند یک MOSFET قطعه‌ای کنترل‌شده با ولتاژ است که قادر به عبورجریان زیادی از کلکتور امیتر می‌باشد. البته ترانزیستور BJT با ولتاژ و جریان بالا دردسترس هستند ولی سرعت سوئیچینگ آنها پایین است. درشکل ۸۱ مدارمعادل ساده شده IGBT و نماد فنی آن نشان داده شده است. درشکل ۸۲ مدار معادل دیگری از IGBT رسم شده است. درشکل ۸۳ دو نمونه IGBT را مشاهده می‌کنید.




**شکل ۸۱ــ مدار معادل ساده شده و نماد فنی IGBT**

با اعمال ولتاژ مثبت به دو سرگیت و امیتر می‌توان IGBT را روشن نمود و با صفرشدن یا کمی منفی‌شدن ولتاژگیت می‌توان آن را خاموش‌کرد. درواقع IGBT مانند یک‌کلید فوق‌العاده سریع عمل می‌کند و با اعمال ولتاژکم به گیت می‌تواند جریان بسیاربالا تا صدها آمپر و ولتاژ بالا تا چندکیلو ولت را سوئیچ کند. هنگامی‌که ولتاژ مثبت به گیت داده شود، از کلکتور به امیتر یک کانال رسانا تشکیل شده و جریان ازکلکتور به امیتر برقرار می‌شود. با قطع ولتاژگیت، جریان قطع می‌شود. IGBT فقط دریک جهت ازکلکتور به امیتر جریان را هدایت می‌کند. برای جریان معکوس نیاز به دیود موازی است.




**شکل ۸۲ــ مدار معادل دیگری از IGBT**

## کاربردها

IGBT به‌طورگسترده 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.



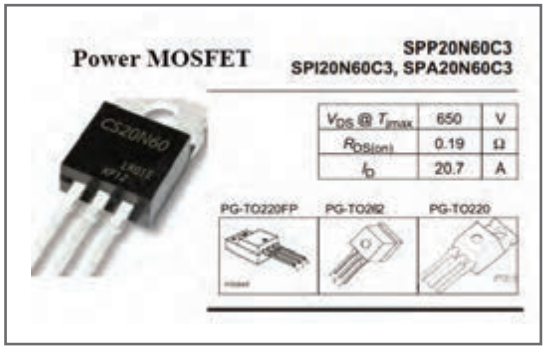
**شکل ۸۳ــ دو نمونه IGBT**

**MOSFET قدرت یا IGBT کدام را باید انتخاب نمود؟**

اگر فرکانس کلیدزنی(سوئیچینگ) بالاتراز ۵۰ کیلوهرتز تا چند مگاهرتز است و ولتاژ کم‌تر از ۲۵۰ ولت و جریان‌کم تا متوسط حدود چند ده‌آمپر و درمنابع تغذیه کوچک و مبدل‌های DC به‌DC و درایورهای LED و شارژرهای سریع MOSFET قدرت ارجحیّت دارد.

در ولتاژهای بالا بیشتراز ۳۰۰ تا چندکیلوولت و جریان بالا از ده‌ها آمپر تا هزاران آمپر و فرکانس متوسط تا حدود ۲۰ کیلوهرتز استفاده از IGBT توصیه می‌شود. درشکل ۸۴ برخی مشخصات MOSFET قدرت و IGBT برای مقایسه آورده شده است.



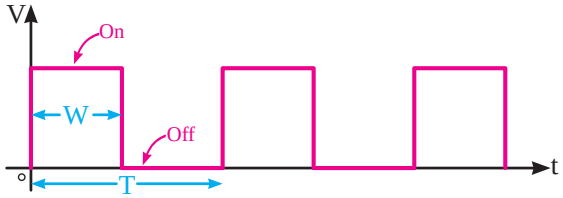

**شکل ۸۴ــ برخی مشخصات یک نمونه IGBT و یک نمونه MOSFET قدرت**

## پروژه‌کنترل دورموتور با مدولاسیون عرض پالس

درمدولاسیون عرض پالس زمان تناوب پالس ثابت است ولی چرخه‌کار یا سیکل وظیفه پالس تغییر می‌کند و قدرت موثر خروجی را تغییر می‌دهد.

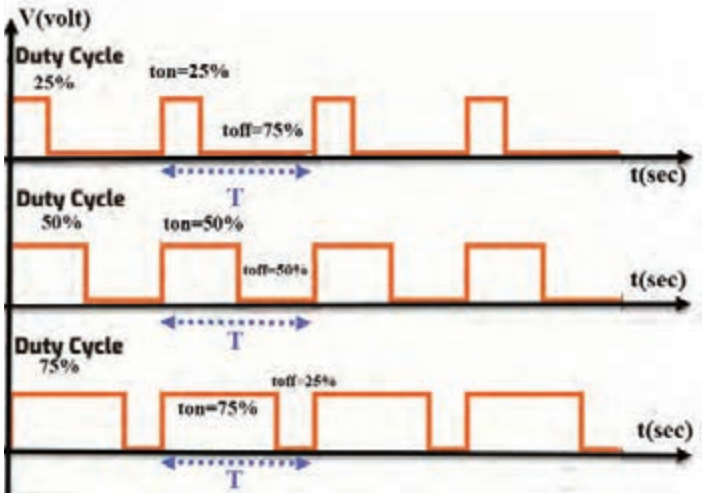
**چرخه‌کار (Duty Cycle):** دریک پالس مطابق شکل ۸۵ نسبت زمان وصل پالس(W) به زمان تناوب (T) را چرخه‌کار یا سیکل وظیفه (Duty Cycle) می‌گویند و آن‌را با D نشان می‌دهند.

$$D = \frac{\text{پهنای پالس}}{\text{زمان تناوب}} = \frac{W}{T}$$




شکل ۸۵ــ پالس و زمان وصل و قطع آن

با تغییر چرخه‌کار پالس، می‌توان ولتاژ خروجی را کنترل نمود. درشکل ۸۶ سه پالس با زمان تناوب یکسان و سیکل وظیفه متفاوت را مشاهده می‌کنید.




شکل ۸۶ــ پالس‌های با سیکل وظیفه متفاوت

پاسخ دهید

اگر سه پالس مطابق شکل ۸۷ را توسط خازن صاف کنیم، ولتاژ خروجی هرپالس را درشکل مشاهده می‌کنید. باتوجه به شکل به سوالات پاسخ دهید.

۱ افزایش چرخه‌کار پالس، ولتاژ خروجی را افزایش می‌دهد.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ولتاژ خروجی به چرخه‌کار بستگی دارد.

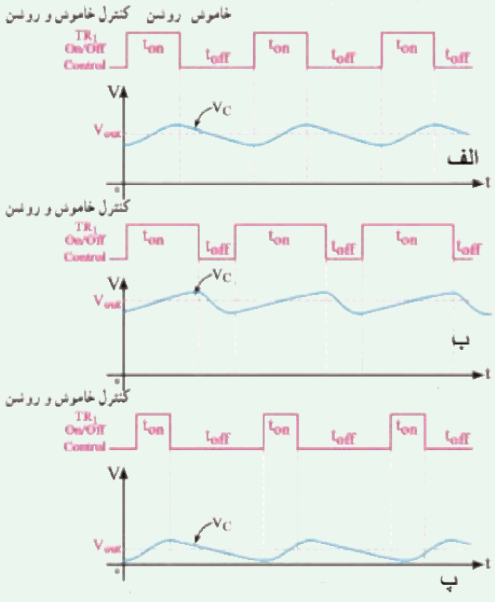
صحیح ☐ غلط ☐

۳ کدام پالس سیکل وظیفه بزرگ‌تری دارد؟

الف ☐ ب ☐ پ ☐

۴ درکدام پالس معدل ولتاژ خروجی کم‌تر است؟

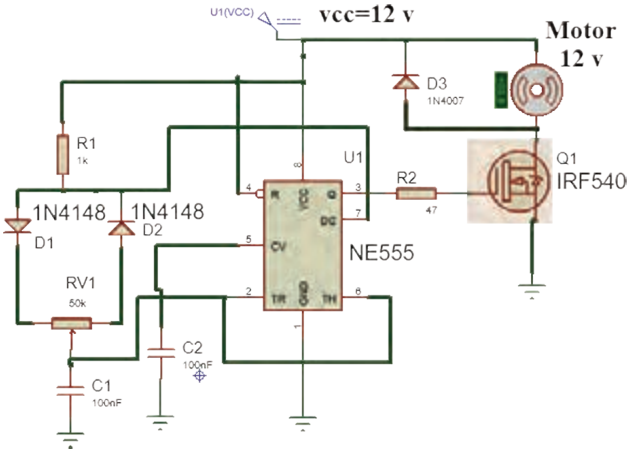
الف ☐ ب ☐ پ ☐



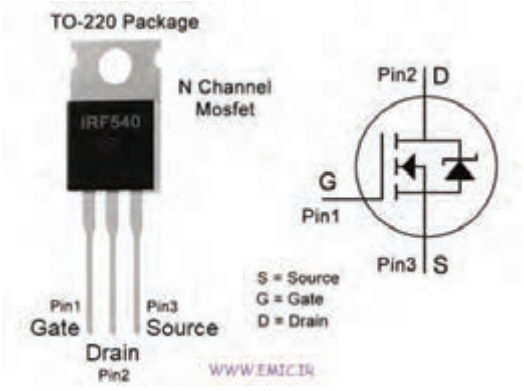

شکل ۸۷ــ پالس‌های با چرخه‌کار متفاوت و میزان ولتاژ خروجی

## شرح مختصر عملکرد مدار پروژه PWM

درمدارشکل ۸۸ از آی‌سی ۵۵۵ به‌عنوان مولد پالس استفاده شده است. این آی‌سی می‌تواند به‌صورت مدولاسیون عرض پالس (PWM=Pulse Wi dth Modulation) به‌کارگرفته شود. در PWM فرکانس پالس ثابت است و عرض پالس تغییر می‌کند. قدرت مؤثر خروجی بستگی به این داردکه چه درصدی از زمان تناوب، پالس درحالت (۱) یا روشن قراردارد. باتغییر پتانسیومتر عرض پالس تغییر نموده و دور موتور کم یا زیاد می‌شود. درایور موتور DC ترانزیستور ماسفت قدرت IRF۵۴۰ 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 درمنابع تغذیه سوئیچینگ و درایور موتورهای DC مورد استفاده قرار می‌گیرد. درشکل ۸۹ شکل ظاهری و شماره پایه‌های آن رسم شده است. درشکل ۹۰ بلوک دیاگرام مدار درشکل ۹۱ طرح مدارچاپی و در شکل ۹۲ جای قطعات را مشاهده می‌کنید. یک نمونه مدار ساخته شده درشکل ۹۳ نشان داده شده است.




شکل ۸۸ـ مدار مولد PWM



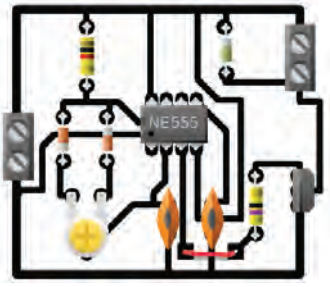

شکل ۸۹ـ پایه‌های ماسفت



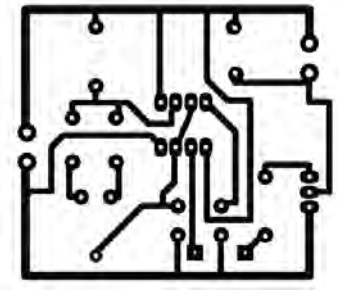

شکل ۹۰ـ بلوک دیاگرام مدار



شکل ۹۳ـ یک نمونه مدار ساخته شده




شکل ۹۲ـ جای قطعات



شکل ۹۱ـ طرح مدار چاپی

## خود ارزیابی

۱ نماد (علامت اختصاری) قطعات زیر را رسم‌کنید و نام پایه‌های هرقطعه را مشخص‌کنید.

الف) دیود چهارلایه ب) ترایاک پ) PUT ت) UJT

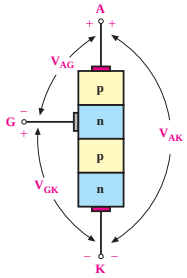
۲ ساختمان کریستالی و علامت اختصاری SCR را رسم‌کنید و روش روشن‌کردن آن‌را شرح دهید.

۳ ساختمان کریستالی شکل ۹۴ مربوط به‌کدام قطعه است؟

الف) دیاک ب) ترایاک پ) SCR ت) PUT

۴ SCR فقط در نیم‌سیکل مثبت و ترایاک درهر دو نیم‌سیکل مثبت و منفی وصل می‌شود.

صحیح ☐ غلط ☐




شکل ۹۴

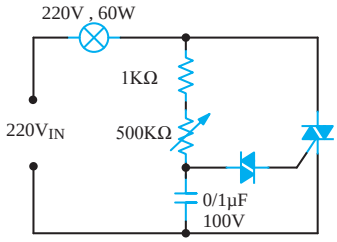
۵ درمدار شکل ۹۵:

الف ـ نام مدار را بنویسید.

ب ـ نام قطعات الکترونیک صنعتی به‌کاررفته درمدار را بنویسید.

پ ـ لامپ می‌تواند درهر دو نیم سیکل روشن شود.

صحیح ☐ غلط ☐




شکل ۹۵

۶ مدارمعادل ترایاک را با دو SCR رسم‌کنید و روش‌های روشن کردن آن‌را شرح دهید.

۷ PUT همان SCR گیت آندی است.

صحیح ☐ 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.

صحیح ☐ غلط ☐

۱۰ SSR اول کلمات انگلیسی.....

..... و به معنی.....

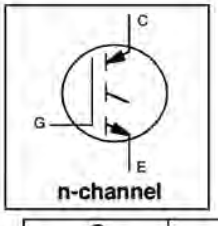
.....است.

این مدار الکترونیکی جای چه قطعه‌ای به‌کار می‌رود؟ نقش اپتوکوپلر را درمدار آن شرح دهید.

۱۱ باتوجه به شکل ۹۶ VCE درحالت روشن ..... ولت و جریان قابل‌تحمل ..... آمپر است.

IRG7IC28UPbF

| Key Parameters | | |
|---|---|---|
| $V_{CE}$ min | 600 | V |
| $V_{CE(ON)}$ typ. @ $I_C$ = 40A | 1.70 | V |
| $I_{RP}$ max @ $T_C$= 25°C ① | 225 | A |
| $T_J$ max | 150 | °C |







| G | C | E |
|---|---|---|
| Gate | Collector | Emitter |

شکل ۹۶

## تعمیق و تثبیت یادگیری

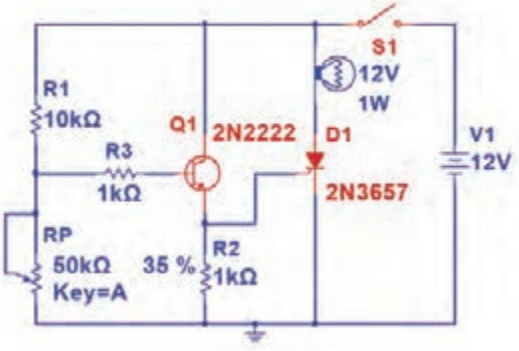
۱ نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هرنرم‌افزار مناسب دیگر را راه‌اندازی کنید.

۲ مدار شکل ۹۷ را درمحیط نرم‌افزار ببندید.

۳ $R_P$ را در صفردرصد قراردهید سپس کلید $S_1$ را وصل‌کنید. آیا لامپ روشن می‌شود؟ علت را شرح دهید.

۴ به تدریج سر متغیر پتانسیومتر را تغییر دهید. در مرحله‌ای لامپ روشن می‌شود. علت را شرح دهید.

۵ بعد از روشن شدن لامپ، آیا می‌توان باتغییر مقاومت پتانسیومتر، لامپ را خاموش نمود؟ این موضوع را تجربه کنید و علت را شرح دهید.




شکل ۹۷

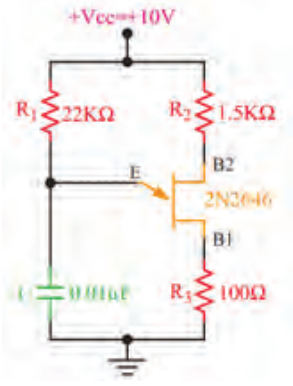
## الگوی آزمون با قطعات واقعی پایان واحد یادگیری

۱ مدارشکل ۹۸ را روی بِردبُرد ببندید.

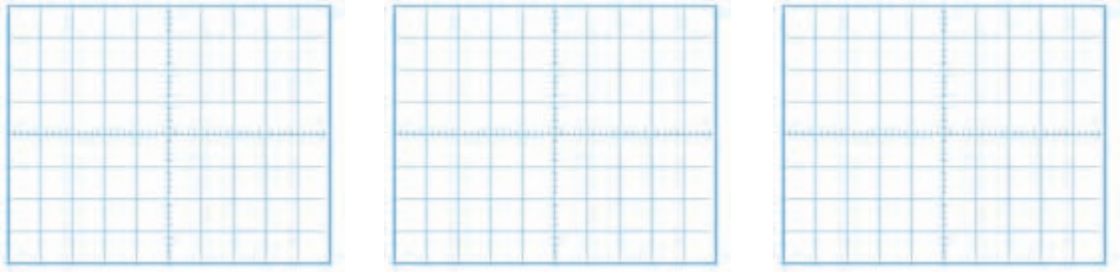
۲ ولتاژ تغذیه را به مدار وصل کنید.

۳ به‌وسیله اسیلوسکوپ، شکل موج ولتاژ پایه‌های E، $B_1$ و $B_2$ را درنمودارهای شکل ۹۹ ترسیم کنید.

۴ زمان تناوب موج‌ها را اندازه بگیرید و فرکانس موج‌ها را محاسبه و یادداشت کنید.




شکل ۹۸ــ مدار نوسان‌ساز



الف) شکل موج آند ب) شکل موج گیت پ) شکل موج کاتد

شکل ۹۹

# ارزشیابی شایستگی اجرای پروژه الکترونیک صنعتی

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| نام و نام خانوادگی : | | شماره ملی: | | تاریخ ارزشیابی: | |
| کد حرفه | ۸۲۱۲۲۳ | حرفه | مونتاژکاران تجهیزات الکتریکی والکترونیکی | کدپیمانه/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 |

استاندارد عملکرد:
راه‌اندازی و عیب‌یابی پروژه کاربُردی الکترونیک صنعتی با رعایت استانداردهای تعریف‌شده

| ردیف | مراحل کار | شرایط انجام کار (ابزار،مواد، تجهیزات، زمان، مکان و ...) | ابزارهای ارزشیابی | استاندارد (شاخص‌ها/داوری/نمره‌دهی) | نتایج ممکن | نمره کسب‌شده |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | مونتاژ قطعات، بررسی مدار و اطمینان از صحت اتصالات قبل از روشن‌کردن با رعایت استانداردها | مولتی‌متر، اسیلوسکوپ، منبع تغذیه، بردبرد، سیم‌های اتصال، نقشه مدار و ابزار بررسی اتصالات در زمان تعیین‌شده و کارگاه الکترونیک | مشاهده عملکرد، بررسی صحت مونتاژ قطعات و کنترل اتصالات پیش از روشن‌کردن 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 | راه‌اندازی اولیه و مشاهده رفتار آن درشرایط عادی عملکرد | مدار مونتاژشده، منبع تغذیه، مولتی‌متر و درصورت نیاز اسیلوسکوپ در زمان تعیین‌شده و کارگاه الکترونیک | مشاهده عملکرد، بررسی نحوه راه‌اندازی مدار و ارزیابی مشاهده و ثبت رفتار مدار | راه‌اندازی و مشاهده دقیق و صحیح | ۳ | |
| | | | | راه‌اندازی و مشاهده قابل قبول باخطاهای جزئی درعملکرد یا ثبت | ۲ | |
| | | | | راه‌اندازی نادرست مدار | ۱ | |
| ۳ | پایش ولتاژ و جریان مدار با استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری | مولتی‌متر یا سایر دستگاه‌های اندازه‌گیری، منبع تغذیه، مدارالکترونیک صنعتی، سیم‌های اتصال، درزمان تعیین‌شده وکارگاه الکترونیک | مشاهده عملکرد، دقت در اندازه‌گیری ولتاژ و جریان، استفاده صحیح از دستگاه‌ها، و ثبت درست نتایج | اندازه‌گیری دقیق ولتاژ و جریان | ۳ | |
| | | | | اندازه‌گیری قابل‌قبول باخطاهای جزئی دراستفاده یا ثبت نتایج | ۲ | |
| | | | | استفاده نادرست از دستگاه‌ها یا اندازه‌گیری غیردقیق | ۱ | |
| ۴ | مقایسه نتایج واقعی با شبیه‌سازی و ثبت گزارش نهایی عملکرد مدارهای پروژه | ساخت مدار پروژه یا مدار پیاده‌سازی شده روی بردبُرد، رایانه، نرم‌افزار شبیه‌سازی، دستگاه‌های اندازه‌گیری، ابزار ثبت گزارش درزمان تعیین‌شده و کارگاه الکترونیک | بررسی گزارش‌کار، چک لیست مستندسازی، دقت در مقایسه نتایج، تحلیل اختلاف بین شبیه‌سازی و مدار واقعی | مقایسه دقیق، تحلیل کامل اختلاف‌ها و ارائه‌گزارش جامع | ۳ | |
| | | | | مقایسه قابل قبول با تحلیل نسبی و نقص‌های جزئی در گزارش | ۲ | |
| | | | | مقایسه نادرست یا ناقص و گزارش غیردقیق بدون‌تحلیل مناسب | 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 | مشاهده رفتار هنرجو درحین 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 | ۲ | |
| | | | | رعایت نسبی ایمنی و بهداشت باخطاهای جزئی، رفتار کاری مناسب | ۱ | |
| ارزشیابی کار (شایستگی انجام کار) | | | | | بلی ☐ | |
| | | | | | خیر ☐ | |

**توضیحات:**

۱ـ معیار شایستگی انجام کار:

ـ کسب حداقل نمره ۲ درهمه شاخص‌ها و اجرای صحیح مراحل شامل مونتاژ صحیح مدارهای الکترونیک صنعتی و مدارهای پروژه، بررسی اتصالات پیش از روشن‌کردن، راه‌اندازی اولیه مدار، استفاده صحیح از دستگاه‌های اندازه‌گیری و ثبت و گزارش نتایج (مراحل بحرانی).

ـ کسب حداقل نمره ۲ ازبخش شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش

ـ کسب حداقل میانگین ۲ ازمراحل کار

۲ـ تعریف سطوح شایستگی: صرف نظر ازاین‌که یک تکلیف‌کاری درچه سطحی از صلاحیت حرفه‌ای انجام می شود، درهرمحیط کاری ممکن است انجام هرکار باکیفیت مشخصی مورد انتظار باشد. سطح شایستگی انجام‌کار، معیاراساسی ارزشیابی است.

ـ مهارت (سطح سه): ماهر و قادر به آموزش و هدایت دیگران، توانایی برنامه‌ریزی و تحلیل، پاسخ‌گویی دربرابرکارهای خود، سروکار داشتن با سطح وسیعی از کارها و فعالیت ها

ـ تسلط (سطح چهار): خبرگی درانجام‌کار و آموزش دیگران، ایجاد نوآوری، سازگاری، عیب‌یابی، هدایت و راهنمایی دیگران.

# منابع


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 ـ شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران

۳ کتاب الکترونیک عمومی پایهٔ سوم هنرستان، شاخه فنی‌وحرفه‌ای، تألیف یداله رضازاده، غلام‌حسین نصری، فتح اله نظریان و ... چاپ ۱۳۹۴ ـ شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.

۴ کتاب مبانی مخابرات و رادیو پایهٔ سوم هنرستان شاخه فنی‌و حرفه‌ای ـ سید محمود صموتی، شهرام نصیری سوادکوهی و ... چاپ ۱۳۹۴ ـ شرکت چاپ‌ونشر کتاب‌های درسی ایران.

۵ کتاب الکترونیک کاربردی تألیف: شهرام نصیری سوادکوهی شهرام خدادادی ـ چاپ ۱۳۸۰ ـ 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 آنـان مـی‌توانند نظر اصلاحـی خـود را دربـاره مطالب کتاب‌های درسی از طریق سامانه «نظرسنجی از محتوای کتاب درسی» به نشانی «nazar. roshd.ir» یا نامه به نشانی تهران ـ صندوق پستی ۴۸۷۴ ـ ۱۵۸۷۵ ارسال کنند.

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی