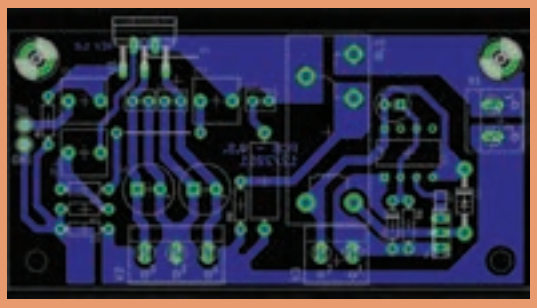
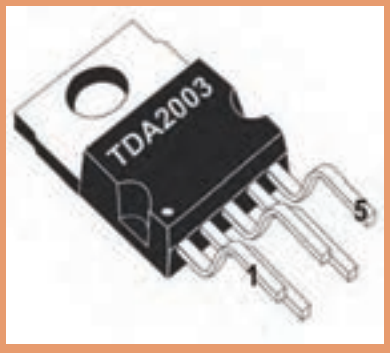
# پودمان ۳

## پروژه کاربردی آنالوگ





آیا تا به‌حال با خود اندیشیده‌اید در گذشته انتقال صوت به‌فواصل دور به چه صورت بوده است؟ سخنرانان چگونه صدای خود را به اشخاصی که در نقاط دورتر قرار داشتند می‌رساندند؟ در این رابطه معماران و طراحان ساختمان‌ها هم وارد این حیطه شدند و معماری مساجد و ساختمان‌ها را طوری طراحی کردند تا صدا با سهولت بیشتری پخش شود. اما این نمی‌توانست نیاز بشر را تأمین کند. از این رو دانشمندان و متخصصان الکترونیک به فکر ساخت تقویت‌کننده‌های صوتی افتادند. در حال حاضر انواع مختلفی از تقویت‌کننده‌ها در بازار ساخته می‌شوند که هر یک کاربرد خاص خود را دارد. در این فصل ضمن بیان مفاهیم مورد نیاز با تقویت‌کننده‌ها و چگونگی اتصال آنها به یکدیگر آشنا می‌شوید و همچنین برخی از مدارهای کاربردی را به‌صورت نرم‌افزاری و سخت‌افزاری آزمایش می‌کنید، در نهایت نمونه‌هایی از پروژه کاربردی را به‌طورکامل به اجرا در می‌آورید.

# واحد یادگیری ۴

# مونتاژ پروژه کاربردی آنالوگ

## آیا تا به‌حال فکر کرده‌اید:

- یک آمپلی‌فایر صوتی از چند طبقه تشکیل می‌شود؟
- اتصال طبقات تقویت‌کننده به‌یکدیگر با چند روش قابل اجرا است؟
- هنگام اتصال طبقات مختلف تقویت‌کننده به‌یکدیگر، چه نکاتی را باید رعایت کرد؟
- چند نمونه آی‌سی آمپلی فایر صوتی ساخته شده و عملاً مورد استفاده قرار می‌گیرد؟
- ساخت مدارهای یک‌پارچه (Modular) آماده چه ضرورتی دارد؟

سیگنال الکتریکی حاصل از امواج صوتی مکانیکی انسان دارای دامنهٔ ولتاژ و جریان ضعیف است. این سیگنال‌ها باید به اندازه‌ای تقویت شود تا بتواند با توان مناسب بلندگو را راه‌اندازی کند. برای اجرای این فرایند به چند طبقه تقویت‌کننده صوتی نیاز داریم. اتصال طبقات مختلف تقویت‌کننده به‌یکدیگر را کوپلاژ می‌نامند. امروزه به‌جای استفاده از چند طبقه تقویت‌کننده با قطعات مجزا، از مدارهای مجتمع (آی‌سی) استفاده می‌کنند. در این واحد یادگیری ضمن آشنایی با شیوه‌های اتصال طبقات تقویت‌کننده به‌یکدیگر، اصول کار تقویت‌کننده‌ها و آی‌سی‌های آمپلی‌فایر را تشرح می‌کنیم. در ادامه یک مدار آمپلی‌فایر با آی‌سی را مونتاژ می‌کنید. در پایان چند ماژول آماده معرفی می‌شود. در تمام مراحل کار باید نکات ایمنی و بهداشتی و به‌کارگیری شایستگی‌های غیر فنی مانند کار گروهی، دقت و تمرکز در اجرای کار، یادگیری مادام‌العمر، مدیریت منابع و کاربرد فناوری مورد توجه قرار گیرد و عملاً رعایت شود.

## استاندارد عملکرد

مونتاژ پروژه کاربردی آنالوگ با رعایت استانداردهای تعریف‌شده

## ۱ـ۴ مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز

ابزار عمومی برق یا الکترونیک ـ لوازم‌التحریر ـ منبع تغذیه ـ مولتی‌متر ـ رایانه ـ نرم‌افزار پیشرفته طراحی مدارچاپی ـ ماژول‌های مورد نیاز و به‌روز موجود در بازار ـ اسید مدارچاپی ـ وان اسید ـ مواد پاک‌کننده ـ دریل ـ مته مناسب ـ قطعات مورد نیاز آزمایش آمپلی‌فایر

مشخصات فنی تجهیزات و تعداد آن در سند برنامه درسی آمده است.

## ۲ـ۴ تقویت‌کننده‌های چند طبقه

در درس‌های قبل با تقویت‌کننده آشنا شده‌اید. از آنجا که تقویت‌کننده‌های یک طبقه محدودیت‌هایی دارند نمی‌توانیم در سیستم‌های الکترونیکی تنها از یک‌طبقه‌تقویت‌کننده استفاده کنیم. در این شرایط برای به‌دست آوردن بهره موردنیاز، باید چند طبقه تقویت‌کننده را پشت سرهم ببندیم. به این ترتیب تقویت‌کننده‌های چندطبقه شکل می‌گیرد. در شکل ۱ـ۴ بلوک دیاگرام آمپلی‌فایر صوتی در ۵ طبقه نشان داده شده است.

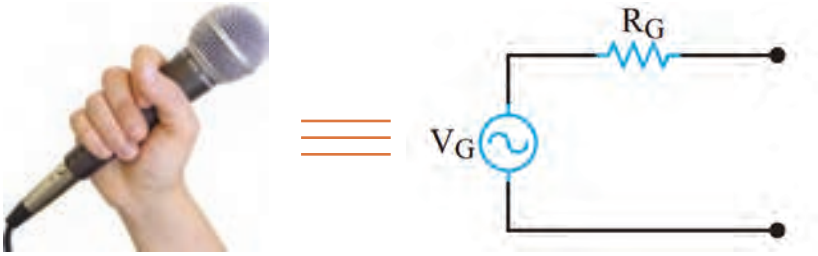
**شکل ۱ـ۴ـ بلوک دیاگرام کامل یک آمپلی‌فایر صوتی**

فیلم

فیلم تقویت‌کننده‌های چند طبقه را ببینید.

### شرح خلاصه عملکرد هر طبقه

☑ **طبقه اول:** طبقه اول مولد سیگنال صوتی ضعیف مانند میکروفون است. مدار معادل الکتریکی میکروفون شامل یک منبع ولتاژ و یک مقاومت سری با آن ($R_G$) است که امپدانس خروجی این طبقه را تشکیل می‌دهد، شکل ۲ ـ۴.




**شکل ۲ـ۴ـ مدار الکتریکی معادل میکروفون**

☑ **طبقه دوم:** برای آنکه حداکثر توان از طبقه اول به طبقه دوم انتقال داده شود، باید امپدانس خروجی طبقه اول ($R_G$) با امپدانس ورودی طبقه دوم برابر باشد. لذا در طبقه دوم از تقویت‌کننده‌هایی استفاده می‌شود که بتواند تطبیق امپدانس بین طبقه اول و دوم را به‌درستی برقرار کند. مثلاً میکروفون‌های کریستالی یا خازنی، امپدانس داخلی زیادی دارند. بنابراین برای تطبیق امپدانس، باید امپدانس ورودی طبقه دوم زیاد باشد.

☑ **طبقه سوم:** در طبقه سوم ولتاژ و جریان سیگنال صوتی درحدی تقویت می‌شود که بتواند طبقه تقویت‌کننده قدرت را راه‌اندازی کند. به‌این طبقه، مدار راه‌انداز یا درایور **(Driver)** می‌گویند. درطبقه راه‌انداز معمولاً یک یا چند طبقه تقویت‌کننده امیتر مشترک قرار می‌گیرد.

☑ **طبقه چهارم:** این طبقه، تقویت‌کننده قدرت نام دارد. در این طبقه معمولاً یک تقویت‌کننده جریان قرار می‌گیرد تا بتواند جریان کافی را برای تحریک و راه‌اندازی بلندگو فراهم کند.

☑ **طبقه پنجم:** در طبقه انتهایی تقویت‌کننده معمولاً بلندگو قرار می‌گیرد. بلندگو سیگنال الکتریکی صوت را به ارتعاشات مکانیکی صوت تبدیل می‌کند و امواج صوتی قابل شنیدن را با شدت و توان کافی مهیا می‌سازد.

## دلایل استفاده از چند طبقه

عمل تقویت در چند طبقه به‌این دلیل انجام می‌شود که یک طبقه تقویت‌کننده معمولی نمی‌تواند بهره ولتاژ، بهره جریان و بهره توان بسیار بالا و درحد نیاز را تولید کند. همچنین استفاده از یک طبقه تقویت‌کننده نمی‌تواند تطابق لازم را بین مبدل‌های ورودی (میکروفون) و خروجی (بلندگو) برقرار نماید. هنگام پشت سرهم قراردادن تقویت‌کننده‌ها باید به دو نکته مهم زیر توجه کنید:

الف) تطبیق امپدانس بین طبقات و مبدل‌های ورودی و خروجی تقویت‌کننده.

ب) برقراری ارتباط بین دوطبقه تقویت‌کننده.

چگونگی ارتباط بین دو طبقه تقویت‌کننده را کوپلاژ **(Coupling)** می‌گویند. شکل ۳ـ۴ چندطبقه تقویت‌کننده را که به‌صورت بلوک دیاگرام به‌هم اتصال داده شده‌اند، نشان‌می‌دهد. شرط تطبیق امپدانس، برابر بودن امپدانس خروجی هر طبقه با ورودی طبقه بعدی است.

**شکل ۳ـ۴ـ بلوک دیاگرام اتصال چند طبقه تقویت‌کننده به‌هم**

پژوهش

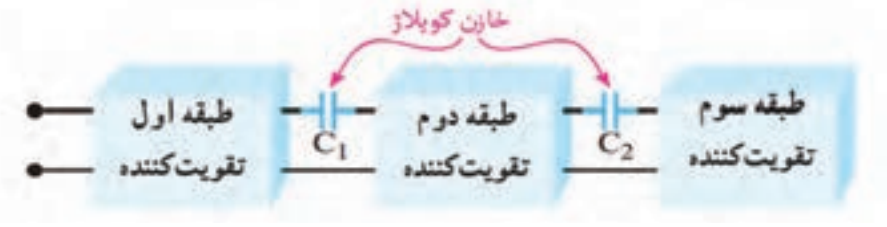
به‌مقدار امپدانس خروجی هر طبقه و امپدانس ورودی طبقه بعد توجه کنید. در صورتی که در طبقه اول به‌جای میکروفون خازنی از میکروفون الکترودینامیکی استفاده کنیم، چه اتفاقی برای مدار رخ می‌دهد؟ چرا؟ با مراجعه به رسانه‌های مختلف نتیجه را در قالب یک گزارش ارائه دهید.

## ۳ـ۴ اتصال تقویت‌کننده‌ها به‌یکدیگر

برای انتقال سیگنال از یک طبقه تقویت‌کننده به طبقه دیگر، باید دو طبقه را به‌یکدیگر اتصال دهیم. چگونگی اتصال دو طبقه تقویت‌کننده را به‌یکدیگر کوپلاژ (**Coupling**) می‌گویند. اتصال بین طبقات به‌وسیله خازن، ترانسفورماتور یا به‌طورمستقیم انجام می‌شود. از این‌رو سه نوع کوپلاژ خازنی، کوپلاژ ترانسفورماتوری و کوپلاژ مستقیم تعریف می‌شود.

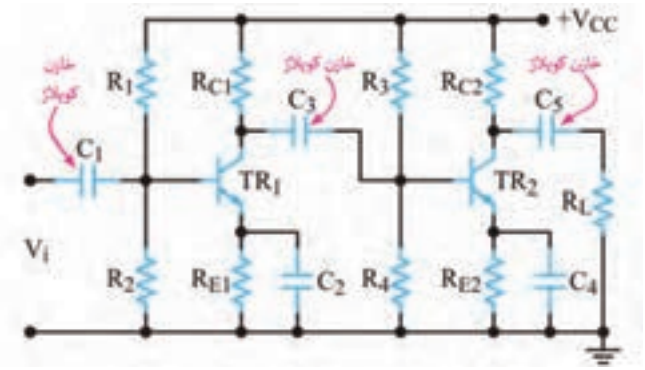
### کوپلاژ خازنی

اگر دو یا چندطبقه تقویت‌کننده را به‌وسیله یک یا چند خازن به‌یکدیگر وصل کنیم، می‌گوییم کوپلاژ بین طبقات تقویت‌کننده به‌صورت خازنی است. در شکل ۴ ـ۴ بلوک دیاگرام سه طبقه تقویت‌کننده و خازن‌های کوپلاژ بین آنها نشان داده شده است.




شکل ۴ـ۴ـ بلوک دیاگرام سه طبقه تقویت‌کننده با کوپلاژ خازنی

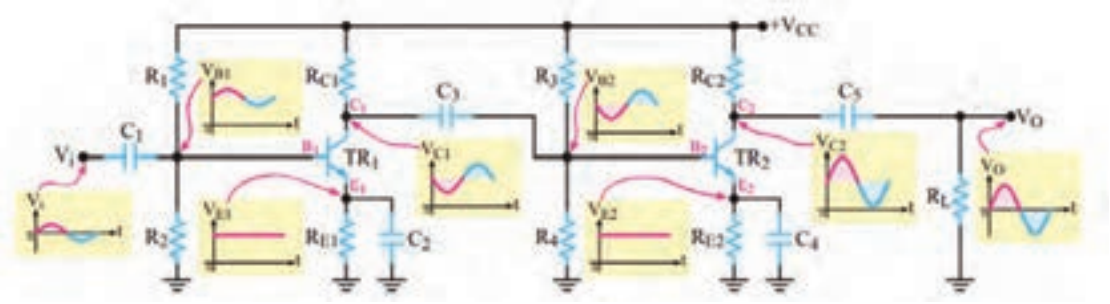
**مدار تقویت‌کننده با کوپلاژ خازنی:** به کوپلاژ خازنی، کوپلاژ RC نیز می‌گویند. دلیل این نام‌گذاری وجود خازن‌های کوپلاژ و مقاومت‌های موجود در کلکتور ترانزیستور است که در طبقات تقویت‌کننده وجود دارد و یک مدار RC را تشکیل می‌دهد. در شکل ۵ ـ۴ مدار یک تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ RC نشان داده شده است. خازن‌های $C_1$ و $C_3$ و $C_5$ خازن‌های کوپلاژ هستند. به‌علت وجود خازن‌ها، ارتباط DC از خروجی یک طبقه به ورودی طبقه بعدی تقویت‌کننده قطع می‌شود.




شکل ۵ـ۴ـ مدار یک تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ RC

فعالیت

در شکل ۶ ـ۴ تقویت‌کننده دو طبقه و شکل موج نقاط مختلف آن رسم شده است. در مورد عملکرد مدار و شکل موج نقاط مختلف گزارش کوتاهی بنویسید.




**شکل ۶ـ۴ـ مدار یک تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ RC**

☑ **مزایا و معایب کوپلاژ خازنی:** اتصال چند طبقه تقویت‌کننده از طریق کوپلاژ خازنی به‌یکدیگر، دارای مزایا و معایبی به‌شرح زیر است:

**الف)** یکی از مزایای این نوع کوپلاژ، در این است که طبقات از نظر مقادیر DC (نقطه کار ترانزیستورها) کاملاً مستقل از هم هستند و تغییر نقطه کار یک طبقه، روی سایر طبقات اثر نمی‌گذارد.

**ب)** اِشکال عمده کوپلاژ خازنی آن است که تقویت‌کننده، سیگنال‌های با فرکانس پایین را به‌درستی تقویت نمی‌کند.

**پ)** همچنین در این نوع تقویت‌کننده‌ها، به‌علت استفاده از تعداد زیاد مقاومت‌ها، تلفات توان افزایش می‌یابد و قدرت اعمال شده به بار کم می‌شود. در عمل، کوپلاژ خازنی در تقویت‌کننده‌های با قدرت کم به‌کار می‌رود.

جست و جو

الف) با مراجعه به رسانه‌های مختلف، علت کاهش پاسخ فرکانسی در کوپلاژ **RC** را بیابید و در قالب یک گزارش به کارگاه ارائه دهید.

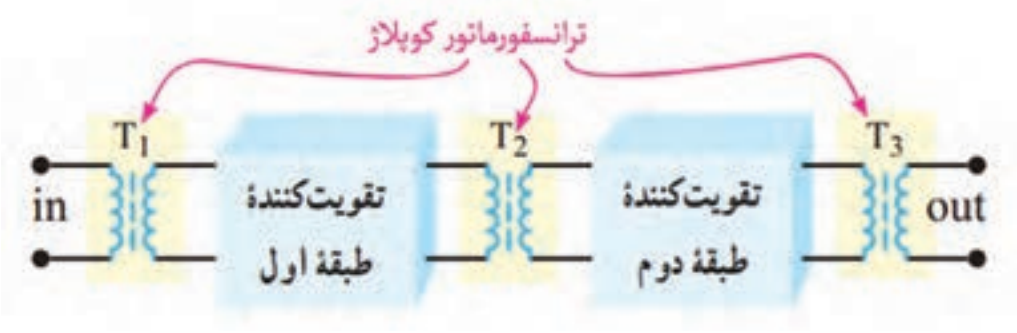
ب) جدولی مطابق جدول ۱ـ۴ تهیه کنید و مزایا و معایب تقویت‌کننده با کوپلاژ خازنی را به‌طور خلاصه و به‌تفکیک بنویسید.

**جدول ۱ ـ۴ـ مزایا و معایب**

| ردیف | مزایا | معایب |
|---|---|---|
| ۱ | | |
| ۲ | | |
| ۳ | | |

## تقویت‌کننده‌های با کوپلاژ ترانسفورماتوری

در کوپلاژ RC به‌دلیل اینکه در هر تقویت کننده باید بین کلکتور ترانزیستور و منبع تغذیه یک مقاومت R وجود داشته باشد، افت توان در مقاومت R به‌وجود می‌آید. به این ترتیب، قدرتی که به بار می‌رسد کم است. برای برطرف‌کردن این عیب، به‌ویژه در تقویت‌کننده‌های با قدرت زیاد، از کوپلاژ ترانسفورماتوری استفاده می‌کنند. به‌این ترتیب که اولیه یک ترانسفورماتور را به‌جای مقاومت R در کلکتور ترانزیستور قرار می‌دهند و موج خروجی را از ثانویه آن می‌گیرند و به ورودی طبقه بعدی می‌رسانند. ترانسفورماتورهای کوپلاژ ممکن است از نوع افزاینده یا کاهنده ولتاژ باشند. در واقع ترانسفورماتور جایگزین شبکه RC کوپلاژ می‌شود. ترانسفورماتور نیز مانند خازن مانع اثرگذاری ولتاژ DC طبقات روی یکدیگر می‌شود. شکل ۷ ـ۴ چگونگی اتصال دو طبقه تقویت‌کننده را به‌صورت بلوک دیاگرام و با کوپلاژ ترانسفورماتوری نشان می‌دهد.

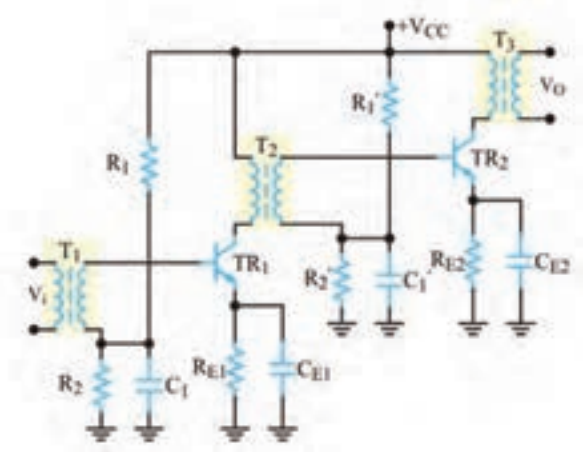



**شکل ۷ـ۴ـ بلوک دیاگرام دو طبقه تقویت‌کننده با کوپلاژ ترانسفورماتوری**

نکته

هر ترانسفورماتور علاوه برکوپلاژ، نقش تطبیق امپدانس بین طبقات را نیز به‌عهده دارد.

☑ **مدار تقویت‌کننده با کوپلاژترانسفورماتوری:** در شکل ۸ـ۴ مدار یک نمونه تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ ترانسفورماتوری را مشاهده می‌کنید.




**شکل ۸ـ۴ـ مدار تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ ترانسفورماتوری**

تحقیق

به چه دلیل کوپلاژ ترانسفورماتوری در فرکانس‌های بالا و پایین به‌خوبی عمل نمی‌کند؟ بررسی کنید و نتایج را به کارگاه ارائه دهید.

## مزایا و معایب کوپلاژ ترانسفورماتوری

تقویت‌کننده با کوپلاژ ترانسفورماتوری دارای مزایا و معایبی به‌شرح زیر است:

الف) از مزایای ترانسفورماتور کاهش تلفات تقویت‌کننده و افزایش راندمان مدار است.

ب) تطبیق امپدانس بین طبقات به‌راحتی انجام می‌شود.

پ) ابعاد این نوع تقویت‌کننده‌ها به‌علت وجود ترانسفورماتور، بزرگ می‌شود.

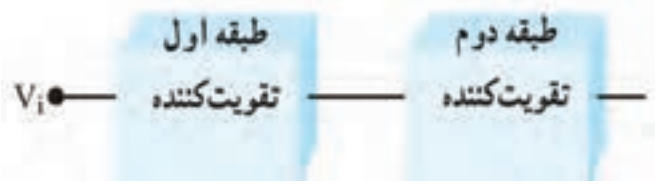
ت) در فرکانس‌های پایین به‌علت استفاده از بار سلفی پاسخ فرکانسی بدی دارند.

ث) قیمت این تقویت‌کننده‌ها به‌علت استفاده از ترانسفورماتور افزایش می‌یابد. امروزه به‌دلیل وجود عیوب یادشده، در دستگاه‌های صوتی و تصویری به‌ندرت از تقویت‌کننده‌های با کوپلاژ ترانسفورماتوری استفاده می‌شود.

فعالیت

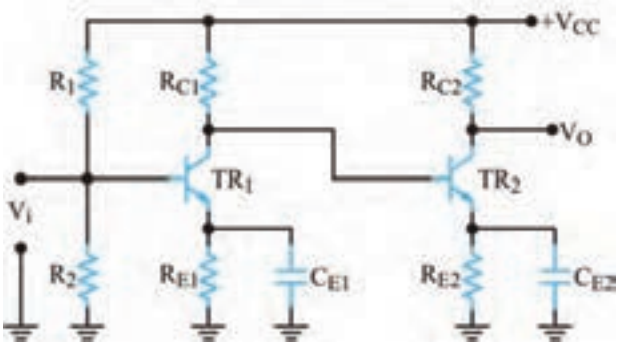
مزایا و معایب تقویت‌کننده با کوپلاژ ترانسفورماتوری را در جدولی به‌طور خلاصه به‌تفکیک بنویسید.

☑ **کوپلاژ مستقیم**: در این نوع کوپلاژ، دوطبقه تقویت‌کننده به‌صورت مستقیم به‌یکدیگر وصل می‌شوند. شکل ۹ـ۴ بلوک دیاگرام دو طبقه تقویت‌کننده را که به‌صورت کوپلاژ مستقیم به‌هم وصل شده‌اند، نشان می‌دهد.




شکل ۹ـ۴ـ بلوک دیاگرام دو طبقه تقویت‌کننده با کوپلاژ مستقیم

☑ **مدار تقویت‌کننده با کوپلاژ مستقیم**: در شکل ۱۰ـ۴ مدار یک تقویت‌کننده دوطبقه با کوپلاژ مستقیم نشان داده شده است. در این مدار هر دو طبقه تقویت‌کننده از نوع امیتر مشترک هستند. در این نوع کوپلاژ، طبقات تقویت‌کننده از نظر ولتاژ و جریان DC از یکدیگر مستقل نیستند.




شکل ۱۰ـ۴ـ مدار تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ مستقیم

☑ **مزایا و معایب کوپلاژ مستقیم**: مزایا و معایب تقویت‌کننده با کوپلاژ مستقیم به شرح زیر است:

الف) از مزایای کوپلاژ مستقیم صرفه‌جویی در قطعات و مقرون به صرفه‌بودن آن از نظر اقتصادی است.

ب) در این نوع تقویت‌کننده، فرکانس‌های خیلی کم حتی DC نیز به‌خوبی تقویت می‌شوند.

پ) تغییرات نقطه کار یک طبقه روی نقطه کار سایر طبقات تأثیر می‌گذارد.

ت) مدار به‌شدت نسبت به حرارت حساس است.
ث) در صورت بروز عیب در یکی ازطبقات به سایرطبقه‌ها نیز آسیب وارد می‌سازد. بنابراین هنگام تعمیر دستگاه‌هایی که در آن تقویت‌کننده‌های با کوپلاژ مستقیم به‌کار رفته است، باید توجه داشته باشید که درصورت سوختن یکی از ترانزیستورها، کلیه ترانزیستورها را مورد آزمایش قرار دهید و از صحت آنها اطمینان حاصل کنید.

فعالیت

الف) حداقل مدار دو نمونه تقویت‌کننده را از نظر کوپلاژ بررسی کنید و نتیجه را به کارگاه ارائه دهید.
ب) جدولی تهیه کنید و مزایا و معایب تقویت‌کننده با کوپلاژ مستقیم را به‌تفکیک بنویسید.

## الگوی پرسش

۱ـ برای انتقال حداکثر توان از یک طبقه تقویت‌کننده به طبقه دیگر باید امپدانس ..... طبقه اول با امپدانس ..... طبقه دوم برابر باشد.

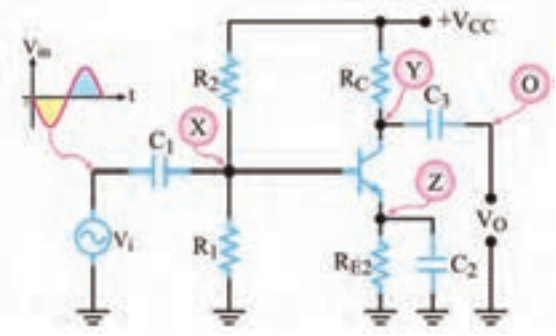
۲ـ با قطع خازن کوپلاژ نقطه کار DC تقویت‌کننده تغییر می‌کند. صحیح ☐ غلط ☐

۳ـ کوپلاژ را تعریف کنید و انواع آن را نام ببرید.

۴ـ مزایا و معایب کوپلاژ ترانسفورماتوری را شرح دهید.

۵ـ برای کوپلاژ دوتقویت‌کننده که در فرکانس‌های خیلی کم کار می‌کنند کدام نوع کوپلاژ مناسب‌تر است؟

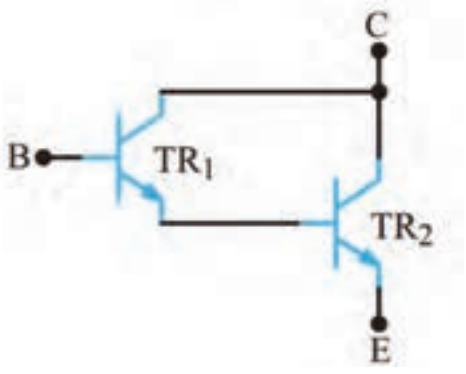
۶ـ با توجه به شکل موج ورودی تقویت‌کننده شکل ۱۱ـ۴ شکل موج نقاط X،Y،Z و O را رسم کنید.




شکل ۱۱ـ۴ـ مدار تقویت‌کننده

## ۴ـ۴ زوج دارلینگتون (Darlington Pair)

یک‌نمونه از تقویت‌کننده‌های دوطبقه با کوپلاژ مستقیم، زوج دارلینگتون است که در شکل ۱۲ـ۴ نشان داده شده است. از آنجا که ترانزیستورهای قدرت اغلب دارای ضریب تقویت جریان ($\beta$) کمی هستند، برای به‌دست آوردن ضریب تقویت جریان بزرگ‌تر از ترانزیستورهای زوج دارلینگتون استفاده می‌شود. مدار تقویت‌کننده زوج دارلینگتون دارای مقاومت ورودی زیاد است. اگر ضریب تقویت جریان ترانزیستور $TR_1$ را $\beta_1$ و ضریب تقویت جریان ترانزیستور $TR_2$ را $\beta_2$ فرض کنیم،




شکل ۱۲ـ۴ـ تقویت‌کننده زوج دارلینگتون

می‌توان ثابت کرد که ضریب تقویت جریان زوج دارلینگتون از رابطه $\beta_T \approx \beta_1 \beta_2$ به‌دست می‌آید.

با مراجعه به رسانه‌های مختلف، روش اثبات رابطه $\beta_T \approx \beta_1 \beta_2$ را بیابید و در قالب یک گزارش ارائه کنید.

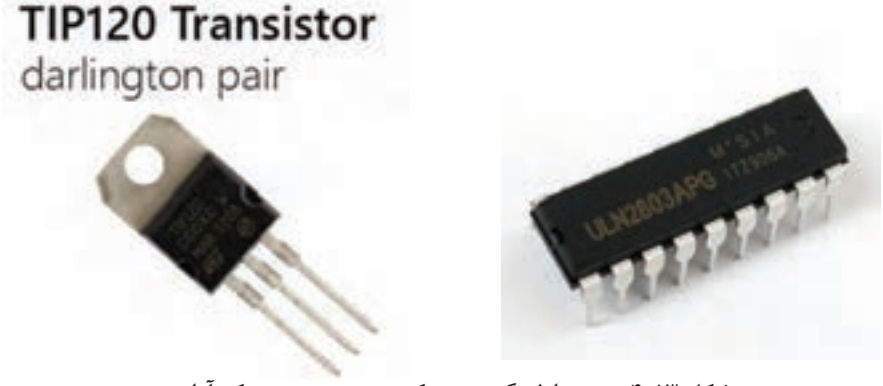
جست‌وجو

## آشنایی با مخترعین و دانشمندان

آقای سیدنی دارلینگتون مهندس برق بود و در سال ۱۹۰۶در آمریکا متولد شد. وی در سال ۱۹۵۳توانست ترانزیستور ترکیبی زوج دارلینگتون را اختراع کند. چند سال بعد یک دانشمند مجارستانی به نام جورج کلیفورد زیکلای اختراع ایشان را کامل کرد و ترانزیستور مکمل دارلینگتون را بااستفاده از یک ترانزیستور PNP و یک ترانزیستور NPN اختراع نمود. دارلینگتون مکمل (Complementary) به نام ایشان (زوج زیکلای ـ Sziklai Pair) نامیده شد. سیدنی دارلینگتون درسال ۱۹۹۷چشم از جهان بربست.

## زوج دارلینگتون در یک بسته‌بندی

کارخانه‌های سازنده قطعات نیمه‌هادی، زوج دارلینگتون را در یک بسته‌بندی و مشابه ترانزیستورهای ساده نیز به بازار عرضه می‌کنند. برای نمونه سری ترانزیستورهای ۲N ۶۳۸۴، ۲N ۶۳۸۵ و ۲N ۶۳۸۶ به‌صورت ترکیب دارلینگتون هستند. این ترانزیستورها به‌صورت NPN با $\beta$ نزدیک به ۳۰۰۰ و قدرتی برابر ۱۰۰ وات ساخته می‌شوند. در شکل ۱۳ـ۴ ترانزیستور زوج دارلینگتون در یک بسته‌بندی نشان داده شده است.




**شکل ۱۳ـ۴ـ زوج دارلینگتون در یک بسته‌بندی و در یک آرایه**

فعالیت

با مراجعه به رسانه‌های مختلف برگه اطلاعات یک نمونه زوج دارلینگتون ساده و آرایه‌ای را بیابید و مشخصات آن‌را در یک جدول ارائه کنید.

## الگوی پرسش

۱ـ زوج دارلینگتون دارای بهره جریان..... و مقاومت ورودی..... است.

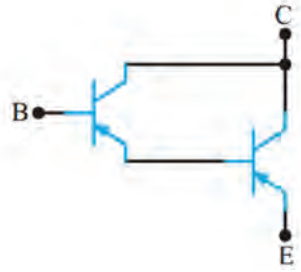
۲ـ مدار شکل ۱۴ـ۴ زوج دارلینگتون NPN یا PNP است؟ $\beta_T$ کدام است؟

۱) NPN ، $\beta_T \approx \beta_1 \beta_2$ ۲) PNP ، $\beta_T \approx \beta_1 \beta_2$

۳) PNP ، $\beta_T \approx \beta_1 + \beta_2$ ۴) NPN ، $\beta_T \approx \beta_1 + \beta_2$

۳ـ در زوج دارلینگتون، کوپلاژ بین دو ترانزیستور از نوع مستقیم است.

صحیح ☐ غلط ☐




شکل ۱۴ـ۴ـ زوج دارلینگتون

کار عملی۱

## بستن مدار تقویت‌کننده دو طبقه در نرم‌افزار

**هدف:** بستن مدار تقویت‌کننده دو طبقه در نرم‌افزار و به‌دست آوردن نقطه کار DC و بهره ولتاژ مدار

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

نکته

ترانزیستوری که برای بستن مدار انتخاب می‌کنید باید دارای بتای ($\beta$) ۷۵ تا ۱۰۰ باشد. ترانزیستورهای ۲N۲۲۱۹، BC۱۰۷، ۲SC۸۲۹ یا هر نوع ترانزیستور عمومی دیگرکه دارای بتای بین ۷۵ تا ۱۰۰ هستند را می‌توانید به‌کار ببرید.

### مراحل اجرای کار

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

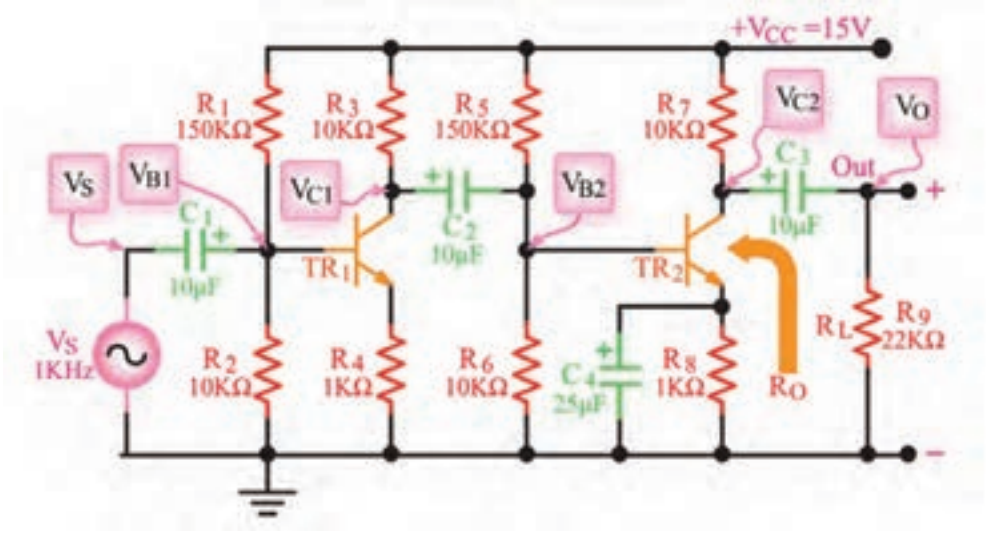
۲ـ مدار شکل ۱۵ـ۴ را در فضای نرم‌افزار ببندید.

۳ـ منبع تغذیه ۱۵ ولت را به مدار وصل کنید.

۴ـ در حالی که سیگنال ژنراتور خاموش است به‌وسیله ولت‌متر DC ولتاژ هر یک از پایه‌های ترانزیستور را نسبت به نقطهٔ مبنا (زمین) اندازه بگیرید و مقادیر را در جدول ۲ـ۴ بنویسید.

جدول ۲ ـ۴

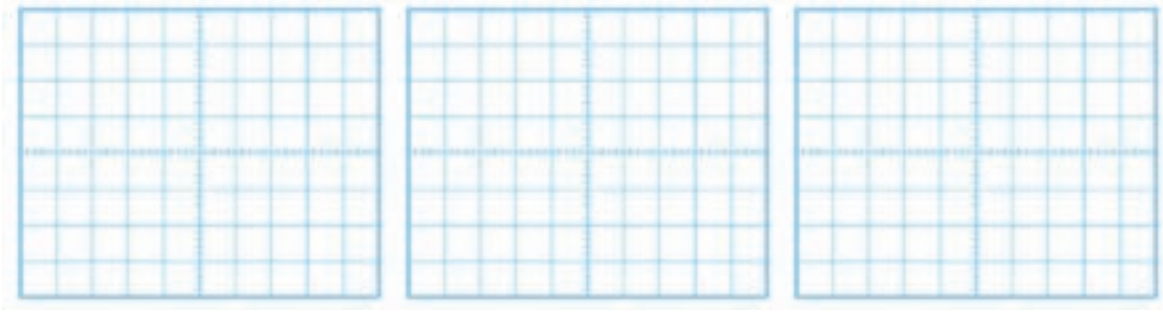
| ردیف | کمیت مورد اندازه‌گیری | مقدار | واحد |
|---|---|---|---|
| ۱ | $V_{B1}$ | | |
| ۲ | $V_{BE1}$ | | |
| ۳ | $V_{C1}$ | | |
| ۴ | $V_{B2}$ | | |
| ۵ | $V_{BE2}$ | | |
| ۶ | $V_{C2}$ | | |




**شکل ۱۵ـ۴ـ مدار تقویت‌کننده دو طبقه**

۵ـ سیگنال ژنراتور را روشن کنید، فرکانس را روی ۱KHz موج سینوسی قرار دهید و دامنهٔ ولتاژ ورودی را طوری تنظیم کنید که دامنهٔ سیگنال خروجی ($V_O$) بدون تغییر شکل (اعوجاج) برابر با ۶ ولت پیک‌تاپیک شود.

۶ ـ به‌وسیله اسیلوسکوپ شکل موج‌های $V_{B1}$ ، $V_{B2}$ و $V_O$ را با مقیاس و فاز صحیح در نمودارهای شکل ۱۶ـ۴ رسم کنید. روی محورهای افقی مقدار Time/Div و روی محورهای قائم مقدار Volt/Div را مشخص کنید.



شکل موج $V_{B1}$ | شکل موج $V_{B2}$ | شکل موج $V_O$

**شکل ۱۶ـ۴ـ شکل موج نقاط مختلف مدار**

۷ـ آیا فرایند تقویت در هر طبقه انجام شده است؟ آیا در هر طبقهٔ تقویت‌کننده اختلاف فاز ۱۸۰درجه وجود دارد؟ توضیح دهید. همچنین ولتاژ $V_{C2}$ و $V_O$ را از نظر DC مورد تجزیه و تحلیل قرار دهید و عملکرد خازن کوپلاژ را بررسی کنید. نتیجه را به‌اختصار بنویسید. .....

.....

.....

۸ ـ مقدار پیک‌تاپیک هر یک از سیگنال‌ها را اندازه‌گیری کنید و نتایج را در جدول ۳ ـ۴ بنویسید.

۹ـ با استفاده از رابطه $A_V = \frac{V_O}{V_{in}}$ و مقادیر اندازه‌گیری شده، مقدار بهرهٔ ولتاژ را در هر یک از طبقات و بهرهٔ کل را با استفاده از جدول ۳ـ۴ محاسبه کنید.

۱۰ـ مقدار $A_V$ کل مدار را از رابطه $A_V = \frac{V_O}{V_{in}}$ محاسبه کنید.

جدول ۳ ـ۴

| ردیف | کمیت مورد اندازه‌گیری | مقدار | واحد |
|---|---|---|---|
| ۱ | $V_{B1(PP)}$ | | |
| ۲ | $V_{C1(PP)}$ | | |
| ۳ | $A_{V1} = \frac{V_{C1(PP)}}{V_{B1(PP)}}$ | | |
| ۴ | $V_{B2(PP)}$ | | |
| ۵ | $V_{C2(PP)}$ | | |
| ۶ | $A_{V2} = \frac{V_{C2(PP)}}{V_{B2(PP)}}$ | | |
| ۷ | $V_{O(PP)}$ | | |
| ۸ | کل $A_V = \frac{V_{O(PP)}}{V_{B1(PP)}}$ | | |

پژوهش

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

## ۵ـ۴ ترانزیستور اثر میدان FET (Field Effect Transistor)

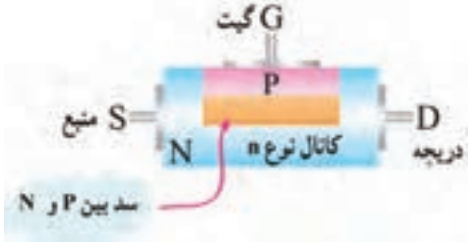
ترانزیستورهای معمولی به‌دلیل ساختار فیزیکی خاصی که دارند ترانزیستورهای دوپیوندی یا BJT نامیده می‌شوند.این ترانزیستورها قطعاتی هستند که جریان را کنترل می‌کنند. به‌زبانی دیگر جریان عبوری بیس ترانزیستور جریان کلکتور را کنترل می‌کند. همچنین مقاومت ورودی ترانزیستور BJT کم است. از سوی دیگر در دستگاه‌های اندازه‌گیری مانند ولت‌متر و اسیلوسکوپ باید مقاومت ورودی زیاد باشد تا باعث بارگذاری روی مدار نشود و جریان نکشد. بنابراین استفاده از ترانزیستورهای BJT در این‌گونه دستگاه‌ها، کارایی لازم را ندارند. قطعه دیگری به‌نام ترانزیستور اثر میدان یا FET وجود دارد که جایگزین BJT می‌شود. ساختمان داخلی ترانزیستورهای اثر میدان یا FET در مقایسه با ترانزیستورهای BJT ساده‌تر است و مقاومت ورودی بسیار زیاد در حدود ۱۰MΩ تا ۱۰۰۰MΩ دارند. ترانزیستورهای اثرمیدان با ولتاژ کنترل می‌شوند و در ساختمان داخلی آنها فقط دو نوع نیمه‌هادی به‌کار می‌رود، به‌همین علت این ترانزیستورها را یک قطبی (Unijunction Transistor) یا تک‌پیوندی می‌گویند. ترانزیستورهای اثر میدان را در دو نوع JFET و MOSFET می‌سازند. MOS از اول کلمات Metal Oxide Semiconductor و به‌معنی نیمه‌هادی اکسیدفلز گرفته شده است.

## ۶ـ۴ ترانزیستور با اثر میدان پیوندی یا JFET (Junction Field Effect Transistor)

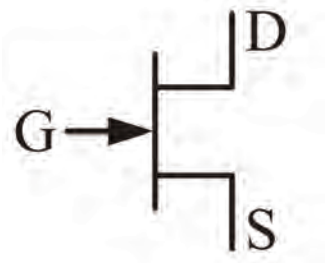
این ترانزیستور در دو نوع با کانال N و P تولید می‌شود. درنوع کانال N، یک میله با ناخالصی کم از نوع N را در نظر می‌گیرند، این میله مانند یک مقاومت عمل می‌کند. اگر یک باتری، مطابق شکل ۱۷ـ۴ به دو سر این میله وصل کنیم، جریانی متناسب با ولتاژ دوسر باتری از آن عبور می‌کند. یک انتهای میله را که الکترون‌ها از آن خارج می‌شوند دریچه یا درین (Drain) و انتهای دیگر میله را، که الکترون‌ها به آن وارد می‌شوند منبع یا سورس (Source) نام‌گذاری می‌کنند. اگر در قسمتی از این میله یک فلز سه ظرفیتی نفوذ دهیم، لایه P شکل می‌گیرد و یک پیوند pn به‌وجود می‌آید. در این حالت ناحیه n را کانال و نیمه‌هادی نوع p را دروازه یا گیت (Gate) می‌نامند. با اتصال دو سیم به دو طرف لایه N و یک سیم به لایه P یک عنصر سه‌پایه حاصل می‌شود که به ترانزیستور با اثر میدان‌پیوندی معروف است.

شکل ۱۸ ـ۴ ساختمان JFET با کانال N و پایه‌های آن را نشان می‌دهد. علامت اختصاری JFET با کانال N را در شکل ۱۹ ـ۴ ملاحظه می‌کنید. توجه داشته باشید که نوک پیکان به‌سمت داخل معرف گیت از نوع P است.

شکل ۱۷ـ۴ـ نیمه‌هادی با ناخالصی N به عنوان کانال




شکل ۱۸ـ۴ـ ساختمان JFET با کانال N



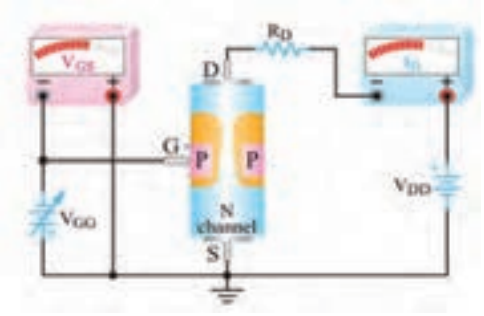

شکل ۱۹ـ۴ـ علامت اختصاری JFET با کانال N

فیلم

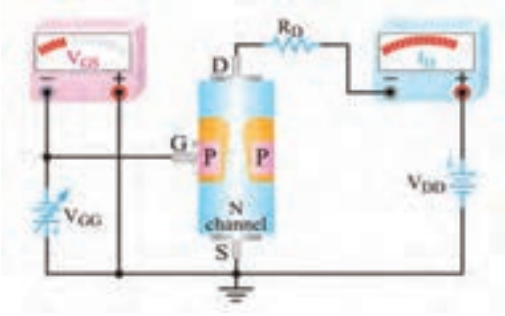
فیلم رفتار JFET را در مدار ملاحظه کنید.

### رفتار JFET در مدار

چنانچه مطابق شکل ۲۰ـ۴ گیت سورس را در گرایش معکوس قرار دهیم، موجب افزایش مقاومت کانال و کاهش جریان درین می‌شود. شکل ۲۱ـ۴ نشان می‌دهد که با کاهش $V_{GG}$، عرض کانال بیشتر می‌شود و مقاومت کانال را کاهش می‌دهد. در این شرایط جریان درین بیشتری از مدار می‌گذرد. در شکل ۲۲ـ۴ مقدار $V_{GS}$ را منفی‌تر کرده‌ایم. در این حالت، کانال باریک‌تر می‌شود و مقاومت کانال را افزایش می‌دهد. لذا جریان درین ($I_D$) کمتری از مدار می‌گذرد.



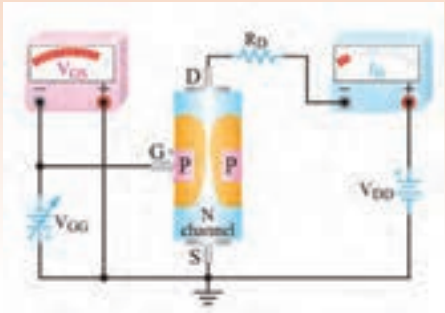

شکل ۲۰ـ۴ـ $V_{GG}$ پیوند PN را به بایاس مخالف می‌برد.




شکل ۲۱ـ۴ـ با $V_{GG}$ کمتر ID بیشتر است.

فکر کنید

شباهت‌های بین عبور جریان آب در یک شیر مانند شکل ۲۳ـ۴ و عبور جریان درین از یک ترانزیستور JFET را بیابید. آیا بسته‌شدن شیر با منفی‌تر شدن ولتاژ $V_{GG}$ قابل مقایسه است؟



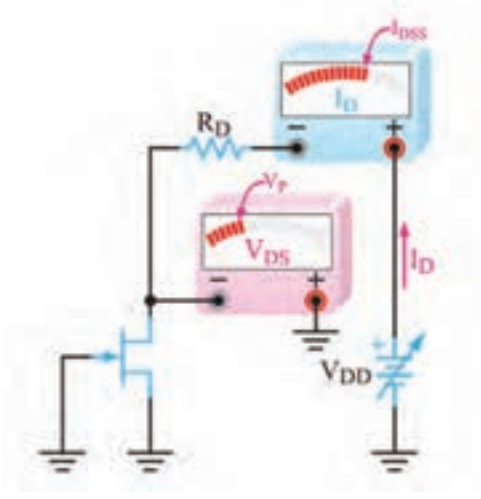

شکل ۲۲ـ۴ـ با $V_{GG}$ بیشتر ID کم شده است.

شکل ۲۳ـ۴

## ۴ـ۷ مقادیر حد در FET

☑ **ولتاژ بحرانی $V_P$ (Pinch off Voltage)**: اگر $V_{GS}$ = ۰ باشد به مقدار $V_{DS}$ که به بسته‌شدن حداکثری کانال منجر می‌شود، ولتاژ بحرانی ($V_P$) می‌گویند. در این حالت جریان درین ($I_D$) ثابت می‌ماند. برای یک FET با شماره فنی معین، مقدار $V_P$ در برگه اطلاعات آن داده می‌شود.

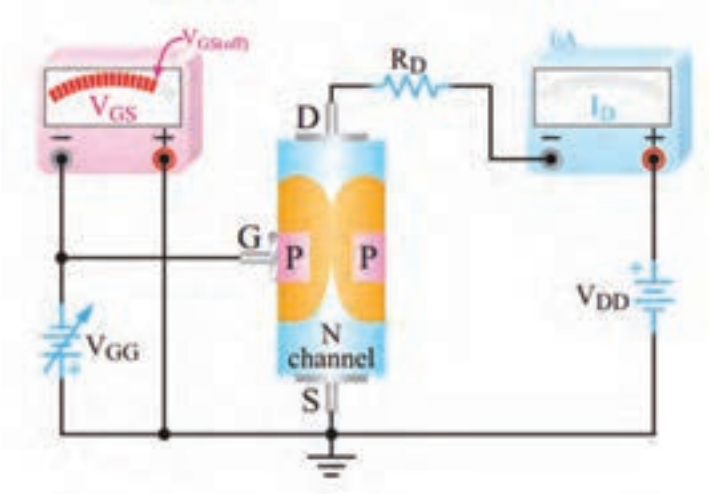
☑ **جریان درین سورس اشباع $I_{DSS}$ ($I_{DS}$ Saturation)**: اگر $V_{DS}$ به مقدار $V_P$ و بیشتر از آن برسد، $I_D$ ثابت می‌ماند. این جریان را جریان درین‌سورس اشباع می‌نامند و آن‌را با ($I_{DSS}$) نمایش می‌دهند. $I_{DSS}$ ماکزیمم جریانی است که JFET می‌تواند از خود عبور دهد. این جریان در برگه اطلاعات نوشته می‌شود. شکل ۲۴ـ۴ مداری از




شکل ۲۴ـ۴ـ $I_D$ , $V_{DS}$ = $V_P$ ثابت و برابر $I_{DSS}$ است.

JFET را نشان می‌دهد که در آن $V_{DS} = V_P$ است و جریان درین برابر با $I_{DSS}$ شده است.

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




**شکل ۲۵ـ۴ـ JFET در ناحیه قطع قرار دارد.**

☑ **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 ۲۵ـ۴ JFET را در حالت قطع (cut off) نشان می‌دهد.

☑ **برگهٔ اطلاعات**: همان‌طور که قبلاً گفته شد، مشخصات فنی ترانزیستورهای اثر میدان در برگه‌های اطلاعات (data sheet) داده می‌شود.برای دسترسی به اطلاعات کامل می‌توانید به سایت Alldatasheet.Com مراجعه نمایید. در شکل ۲۶ ـ۴ بخشی از مشخصات یک نمونه JFET باکانال N با شماره LS ۸۴۶ آمده است.

**نکته مهم**

درصورت طرح سؤال جهت آزمون، جداول مربوط به data sheet به زبان اصلی حتماً در اختیار هنرجویان قرار داده شود.

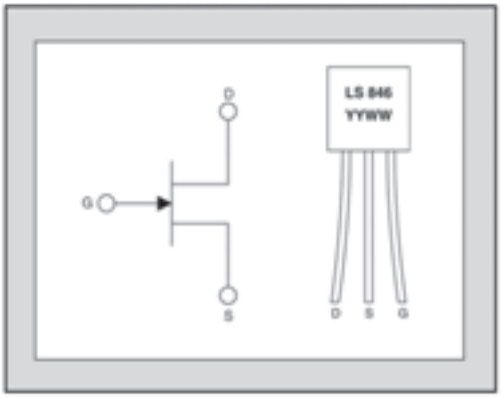
LINEAR SYSTEMS سیستم خطی

*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 درجهٔ 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 ۲۶ـ۴ـ 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 پیدا کنید 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 در قالب یک گزارش ارائه دهید.

## الگوی پرسش

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

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

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

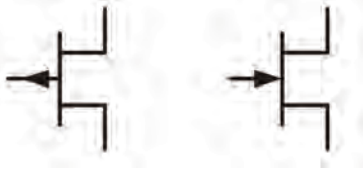
۴ـ FET یک ترانزیستور تک قطبی (unipolar) است. ☐ صحیح ☐ غلط

۵ـ $I_{DSS}$ کدام است؟

۱) جریان درین وقتی سورس اتصال کوتاه است. ۲) جریان درین در حالتی که مدار قطع است.

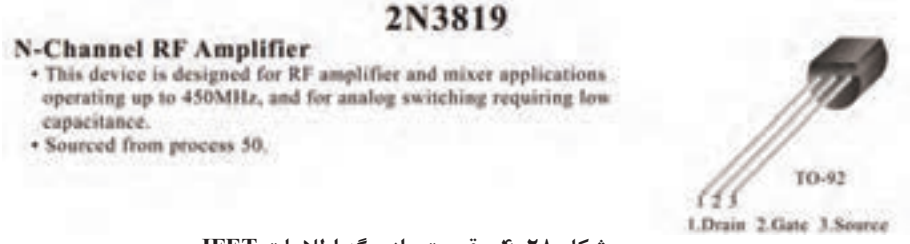
۳) حد متوسط (میانگین) جریان درین ۴) حداکثر جریان ممکن درین

۶ـ نام پایه‌های JFET در شکل ۲۷ـ۴ را روی هر پایه بنویسید و سپس نوع کانال (P یا N) را مشخص کنید.



شکل ۲۷ـ۴ـ دو نوع JFET

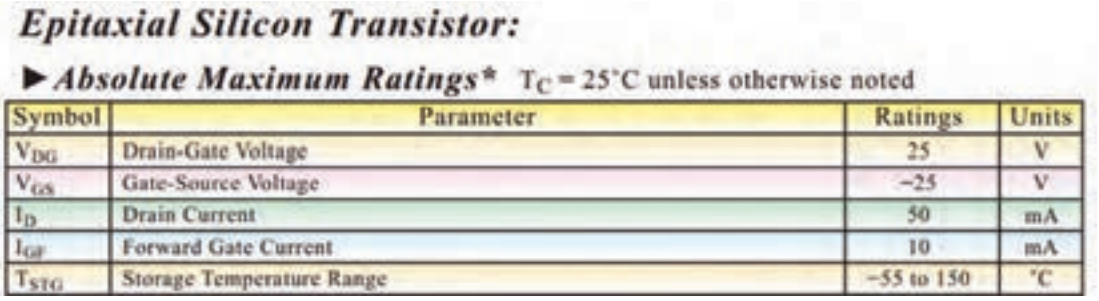
۷ـ شکل ۲۸ـ۴ بخشی از برگه اطلاعات ترانزیستور JFET با شماره فنی ۲N۳۸۱۹ است. آن را به فارسی ترجمه کنید.




شکل ۲۸ـ۴ـ قسمتی از برگه اطلاعات JFET

۸ـ با توجه به برگه اطلاعات شکل ۲۹ـ۴ که مربوط به ترانزیستور۲N۳۸۱۹ است. مقادیر ماکزیمم مطلق را بنویسید.

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



***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 |

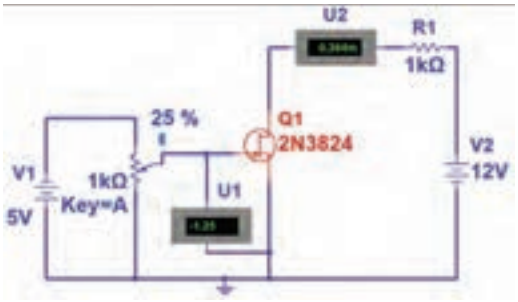
شکل ۲۹ـ۴ـ قسمتی از برگه اطلاعات JFET

کارعملی ۲

## آزمایش JFET در نرم‌افزار

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

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




شکل ۳۰ـ۴ـ مدار کار عملی نرم‌افزاری

### مراحل اجرای کار:

۱ـ نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هر نرم‌افزار مناسب دیگری را راه‌اندازی کنید.
۲ـ مدار شکل ۳۰ ـ۴ را در فضای نرم‌افزار ببندید.
۳ـ منبع تغذیه ۱۲ولت را به مدار وصل کنید.
۴ـ با تغییر مقدار مقاومت پتانسیومتر، مقدار $V_{GS}$ و $I_D$ را اندازه بگیرید و جدول ۴ـ۴ را کامل کنید.
۵ـ بیشترین جریان درین با چه مقداری از $V_{GS}$ به‌وجود می‌آید؟
۶ـ جریان درین به‌ازای چه مقدار از $V_{GS}$ برابر با صفر می‌شود؟

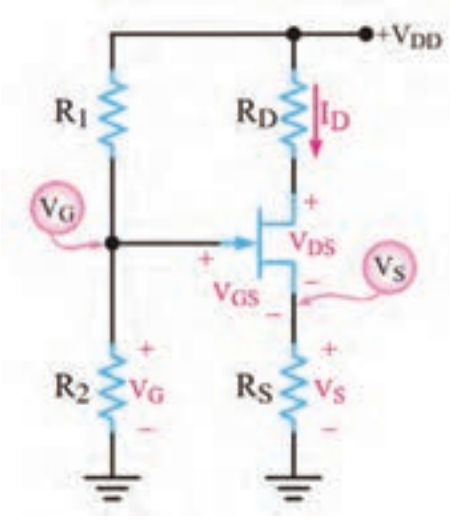
**جدول ۴ ـ۴**

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

## ۸ـ۴ تغذیه JFET

برای ایجاد یک نقطه کار 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، از این‌رو جریان بسیار کمی درحدود چند نانوآمپر یا پیکوآمپر از گیت عبور می‌کند. بنابراین معمولاً در محاسبات، $I_G$ را مساوی صفر در نظر می‌گیرند.

ترانزیستور FET نیز با روش‌های مختلف بایاس می‌شود که یک نوع آن شرح داده شده است.



شکل ۳۱ـ۴ـ مدار بایاس با تقسیم‌کننده ولتاژ

### بایاس تقسیم‌کننده ولتاژ (Voltage Divider Bias):

در این روش ازمدار مقاومتی مطابق شکل ۳۱ـ۴ 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 دو مسیر مختلف برای تأمین $V_{GS}$ این نوع تغذیه را، تغذیهٔ مرکب نیز می‌گویند. با توجه به اینکه از گیت ترانزیستور جریانی نمی‌گذرد، ولتاژ گیت برابر افت پتانسیل در دو سر 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.

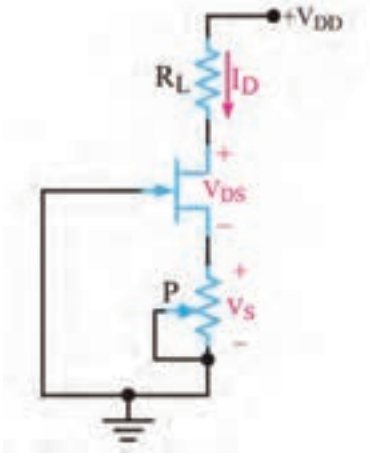
فیلم

فیلم مربوط به کاربُرد ترانزیستور FET را ببینید.

## ۹ـ۴ موارد کاربرد ترانزیستورهای اثر میدان

### استفاده از FET درساختن منابع جریان

منبع جریان مداری است که بتواند به بارهای مختلف جریان ثابت بدهد. اگر یک ترانزیستور FET مطابق شکل ۳۲ـ۴ تغذیه شود، در صورتی که $V_{DS}$ آن بیش از $V_P$ باشد، با تغییر $R_L$ در بازه مشخص می‌تواند جریان ثابت $I_D$ را ایجاد کند.



شکل ۳۲ـ۴ـ مدار منبع جریان با FET

کارعملی ۳

## آزمایش منبع جریان با JFET در نرم‌افزار

**هدف:** بررسی تأثیر تغییر بار بر روی جریان درین

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

**مراحل اجرای کار:**

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

۲ـ مدار شکل ۳۳ ـ۴ رادر فضای نرم‌افزار ببندید.

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

شکل ۳۳ـ۴ـ مدار منبع جریان با FET

نکته

پتانسیومتر به‌عنوان بار متغیر در مدار قرار دارد. با تغییر بار ولتاژ دو سر آن تغییرکرده و جریان عبوری از آن تقریباً ثابت می‌ماند.

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

.....

جست‌وجو

بررسی کنید به‌چه دلیل جریان در مقاومت $R_L$ ثابت می‌ماند. نتیجه را در قالب یک گزارش ارائه دهید.

۵ـ با تغییر پتانسیومتر از صفر درصد تا صددرصد، جریان درین چقدر تغییر نموده است؟

۶ ـ مطابق جدول ۵ ـ۴ در سه مرحله مقادیر خواسته شده را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

**جدول ۵ ـ۴**

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

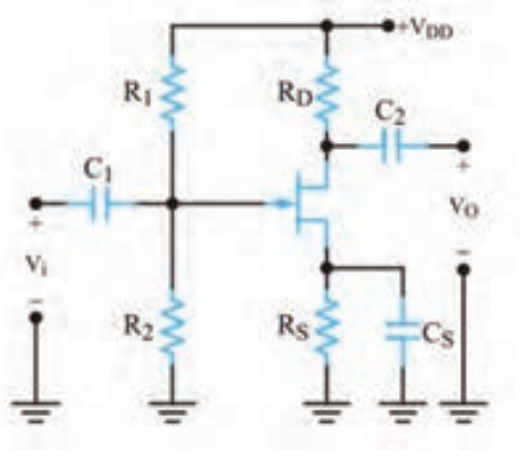
## استفاده از FET به‌عنوان تقویت‌کنندهٔ اولیه با امپدانس ورودی زیاد

چون تقویت‌کننده FET امپدانس ورودی زیادی دارد، می‌توان به عنوان تقویت‌کننده اولیه برای اتصال به منابعی مانند میکروفون‌های خازنی که مقاومت خروجی زیادی دارند، استفاده شود.

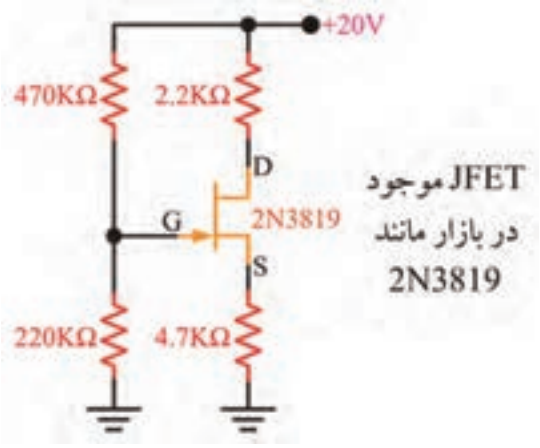
☑ **تقویت‌کننده‌های سیگنال کوچک FET:** یکی از کاربردهای مهم ترانزیستور FET در مدارهای تقویت‌کننده ولتاژ است. یک FET ممکن است به‌صورت تقویت‌کننده‌های سورس مشترک،گیت مشترک یا درین مشترک استفاده شود. هر یک از این سه آرایش، مشابه آرایش‌های ترانزیستورBJT است که مشخصات ورودی و خروجی خاص خود را دارد.

☑ **مدار تقویت‌کنندهٔ سورس مشترک (Common Source=CS):** در شکل ۳۴ـ۴ مدار تقویت‌کننده سورس مشترک با ترانزیستور JFET با کانال N را مشاهده می‌کنید.

در شکل ۳۵ ـ۴ مدار با مقادیر مقاومت‌های بایاس رسم شده است.




شکل ۳۴ـ۴ـ مدار تقویت‌کننده سورس‌مشترک




شکل ۳۵ـ۴ـ یک نمونه مقادیر مقاومت‌های بایاس

کارعملی ۴

### آزمایش تقویت‌کننده سورس‌مشترک در نرم‌افزار

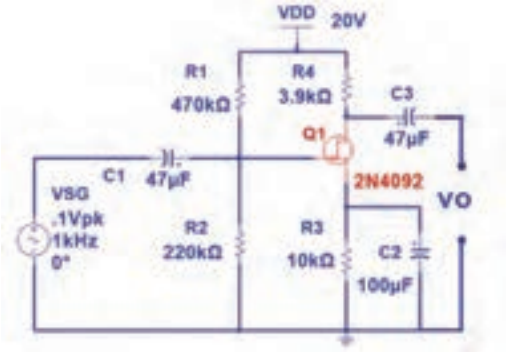
**هدف:** به‌دست آوردن بهره ولتاژ و اختلاف فاز در تقویت‌کننده سورس مشترک

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

**مراحل اجرای کار:**

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

۲ـ مدار شکل ۳۶ ـ۴ را در فضای نرم‌افزار ببندید.




شکل ۳۶ـ۴ـ مدار تقویت‌کننده با FET

۳ـ منبـــع تغذیه ۲۰ ولـــت را به مدار وصل کنیـــد.
۴ـ قبل از اعمال ولتاژ متناوب به مدار، به‌وسیله ولت‌متر موجود در نرم‌افزار $V_{GS}$ و $V_{DS}$ را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

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

۵ـ سیگنال سینوسی با دامنهٔ ۰/۱ ولت پیک و فرکانس ۱۰۰۰ هرتز را به مدار اعمال کنید.
۶ـ موج ورودی و خروجی مدار را روی صفحهٔ اسیلوسکوپ نرم‌افزار به‌صورت پایدار ظاهر کنید.
۷ـ دامنهٔ پیک تا پیک موج ورودی و خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.
۸ـ بهره ولتاژ مدار را محاسبه کنید.
۹ـ اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و خروجی مدار را اندازه بگیرید.

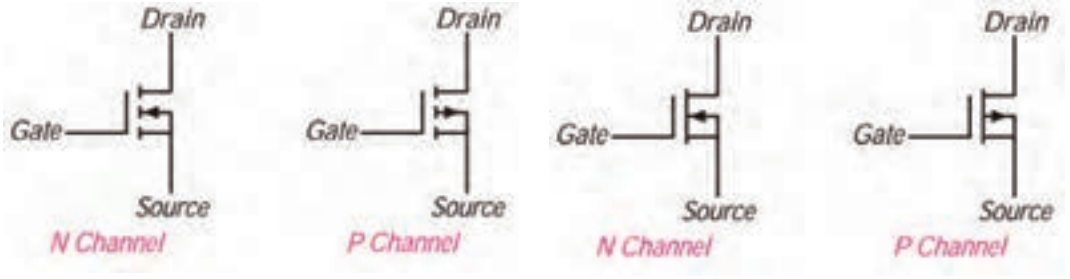
$V_{IN(PP)}$=.....ولت $V_{O(PP)}$=.....ولت $A_V$=.....مرتبه Φ=..... درجه

فیلم

فیلم ترانزیستورهای IGFET (MOSFET) و MOSFETهای قدرت را ببینید.

## ۱۰ـ۴ ترانزیستور اثر میدان با گیت عایق شده یا IGFET (Insulated Gate FET)

در این ترانزیستور، گیت با لایه اکسید سیلیکون از کانال جدا می‌شود و هیچ جریانی ازگیت عبور نمی‌کند. لذا مقاومت ورودی آن فوق‌العاده افزایش می‌یابد. این ترانزیستور را بیشتر به‌نام MOSFET می‌شناسند. نامی که از ساختار فیزیکی آن برگرفته شده است و اول کلمات Metal Oxide Semiconductor FET به مفهوم ترانزیستور اثر میدان با نیمه‌هادی اکسید فلز است. MOSFETها در دو نوع با کانال تهی‌شونده و کانال تشکیل‌شونده ساخته می‌شوند. نماد این نوع ترانزیستورها در شکل ۳۷ ـ۴ نشان‌داده شده است.




الف) MOSFET با کانال تهی‌شونده ب) MOSFET با کانال تشکیل‌شونده

شکل ۳۷ـ۴ـ علامت اختصاری MOSFETها

### MOSFETهای قدرت (POWER MOSFET)

در MOSFETهای با کانال تشکیل‌شونده متداول فقط لایه نازکی از کانال به‌صورت افقی قرار دارد. این لایه مقاومت نسبتاً بالایی را بین درین و سورس ایجاد می‌کند. لذا این نوع MOSFETها برای کار در قدرت‌های پایین مورد استفاده

قرار می‌گیرند. اما MOSFETهای قدرت که LD MOSFET (Laterally Diffused MOSFET) نام‌گذاری شده‌اند ساختاری با کانال عرضی متفاوت با MOSFETهای با کانال تشکیل‌شونده دارند و از نوع بهبود یافته هستند و برای کاربرد درقدرت‌های بالا طراحی شده‌اند. کانال در این قطعه نسبت به MOSFETهای متداول، کوتاه‌تر است در نتیجه مقاومت کمتری ایجاد می‌کند. این خاصیت سبب تحمل ولتاژ بالاتر و عبور جریان بیشتر می‌شود.

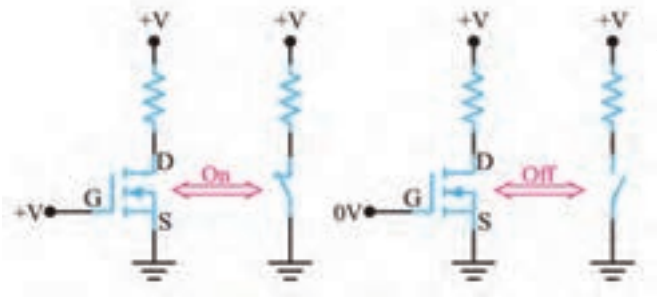
### VMOSFET

مثال دیگری از MOSFETهای قدرت، VMOSFETها هستند که برای قدرت بالاتر طراحی شده‌اند. در این نوع MOSFETها، کانال کوتاه‌تر و عریض‌تر است، لذا مقاومت کمتری را بین درین و سورس ایجاد می‌کند. در نهایت جریان بیشتری می‌تواند از کانال عبور نماید. به‌این ترتیب VMOSFETها توان بیشتری دارند و پاسخ فرکانسی آنها مطلوب‌تر است. شکل ۳۸ـ۴ تصویر ظاهری یک نمونه MOSFET قدرت را نشان می‌دهد.

**شکل ۳۸ـ۴ـ یک نمونه MOSFET قدرت**

## ۱۱ـ۴ عملکرد MOSFET به‌عنوان کلید (MOSFET Switching Operation)

MOSFETهای با کانال تشکیل‌شونده علاوه بر تقویت‌کنندگی، به‌عنوان کلید نیز به‌کار می‌روند. شکل ۳۹ـ۴ مدار MOSFET را به‌عنوان کلید نشان می‌دهد.




**شکل ۳۹ـ۴ـ MOSFET به عنوان کلید**

فعالیت در منزل

کارعملی ۵

### آزمایش MOSFET به‌عنوان کلید در نرم‌افزار

**هدف:** بررسی عملکرد MOSFET به‌عنوان کلید

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

**مراحل اجرای کار:**

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

۲ـ مدار شکل ۴۰ ـ۴ را در فضای نرم‌افزار ببندید.

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

۴ ـ منبع ولتاژ متغیر ($V_1$) را به‌تدریج از صفر ولت افزایش دهید. کمترین ولتاژ $V_{GS}$ که به‌ازای آن

جریان در مدار برقرار و کلید ترانزیستوری وصل می‌شود، چند ولت است؟

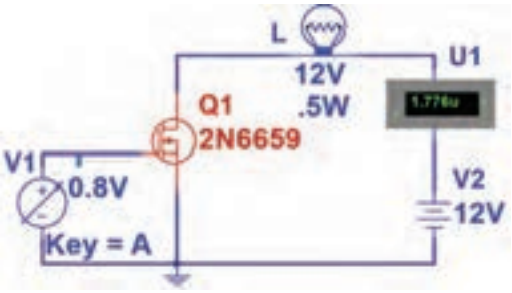
V..... = ولتاژ وصل کلید

V..... = ولتاژ آستانه روشن شدن

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

$I_D$ =..... A

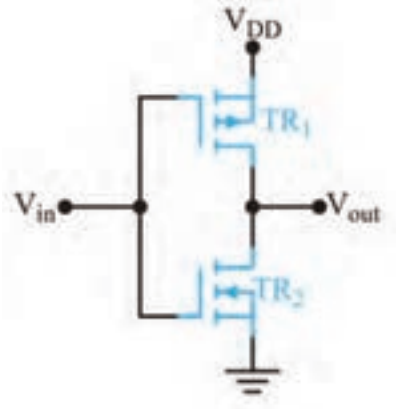
نتایج به‌دست آمده را در قالب یک گزارش ارائه دهید.




شکل ۴۰ـ۴ـ MOSFET به عنوان کلید

## (ComplementaryMOSFET): CMOS

با سری کردن دو نوع MOSFET با کانال N و P مانند شکل ۴۱ـ۴ CMOS ساخته می‌شود. از مزایای CMOS تلفات توان بسیارکم آن است. زیرا با سری شدن دو نوع MOSFET یکی از MOSFETها همواره قطع است و اساساً از منبع جریانی کشیده نمی‌شود. این مدار مانندگیت 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 ۴۱ـ۴ـ CMOS

کار عملی ۶

### آزمایش CMOS به‌عنوان گیت NOT در نرم‌افزار

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

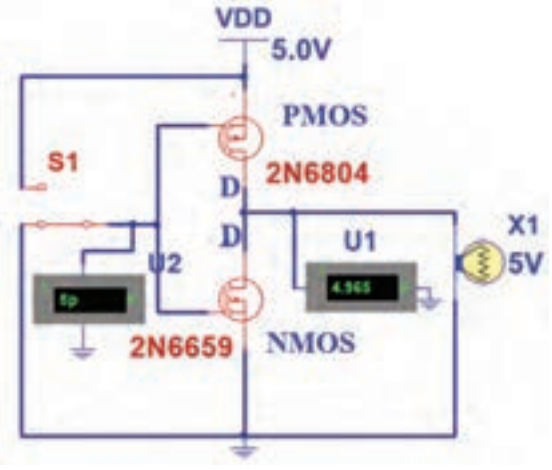
**مواد ، ابزار و تجهیزات:** رایانه ـ نرم‌افزار مناسب ـ لوازم التحریر

**مراحل اجرای کار:**

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

۲ـ مدار شکل ۴۲ـ۴ را در فضای نرم‌افزار ببندید.

۳ـ کلید S1 را در وضعیت صفر (۰) منطقی (اتصال به زمین) و یک (۱) منطقی (اتصال به ۵+) قرار دهید و عملکرد گیت NOT را بررسی کنید.




شکل ۴۲ـ۴

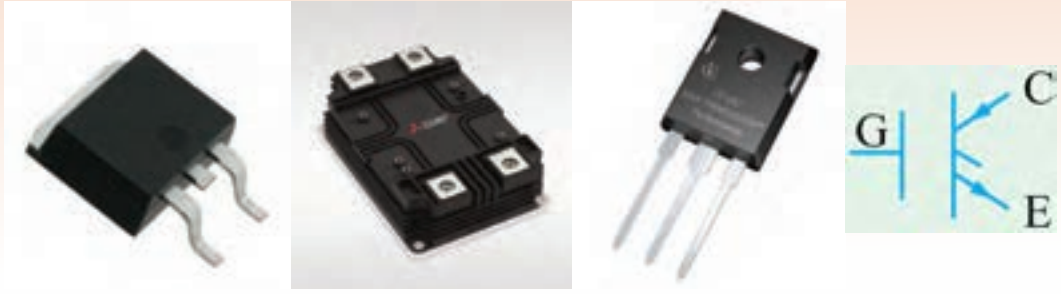
## ۱۲ـ۴ شکل ظاهری ترانزیستورهای FET

در شکل ۴۳ـ۴ نمای ظاهری چند نمونه JFET و MOSFET را مشاهده می‌کنید.

شکل ۴۳-۴ نمای ظاهری چند نمونه MOSFET

**بیشتر بدانید**

امروزه ترانزیستورهای خاص با نام (Insulated - Gate - Bipolar - Transisor IGBT) 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 دو قطبی (BJT) است. درشکل۴۴ـ۴ نماد و چند نمونه از شکل ظاهری IGBT نشان داده شده است.




شکل ۴۴ـ۴ـ نماد و شکل نمای ظاهری چند نمونه IGBT

از این قطعه می‌توان جریان بسیار زیاد (حدود صدها آمپر) را عبور داد. همچنین ولتاژ کار آن بالا بوده و می‌تواند به‌حدود ۶۰۰۰ ولت برسد. به این ترتیب IGBT قادر است توان صدها کیلووات را تحمل کند. این قطعه به‌دلیل 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.

فیلم

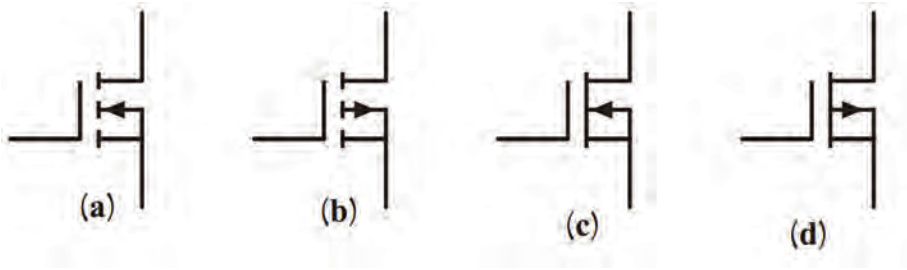
فیلم مربوط به IGBTها و کاربرد آن را ببینید.

### الگوی پرسش

۱ـ انواع MOSFET را نام ببرید.

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

۳ـ با مراجعه به منابع مختلف، نام پایه‌های قطعات نشان داده شده در شکل ۴۵ـ۴ (a, b, c, d) را بنویسید. نوع کانال N یا P و از نظر ساخت (تشکیل‌شونده یا تهی‌شونده) را تعیین کنید.




شکل ۴۵ـ۴

۴ـ عملکرد MOSFET با کانال N تشکیل‌شونده را به‌عنوان سوئیچ شرح دهید.

## ۱۳ـ۴ تقویت‌کنندهٔ تفاضلی (Differential Amplifier)

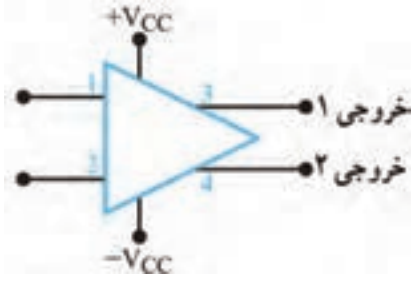
در تقویت‌کننده‌های معمولی مانند امیتر مشترک می‌توان به‌ضریب تقویت کافی و پایداری حرارتی مناسب دست یافت. ولی به‌دلیل وجود خازن، در این نوع تقویت‌کننده‌ها فرکانس‌های کم و سیگنال DC به درستی تقویت نمی‌شوند و ضریب تقویت کاهش می‌یابد. برای تقویت سیگنال‌های با فرکانس پایین و DC از تقویت‌کننده تفاضلی (differential amp ـ دیفرانسیلی) استفاده می‌کنیم. یکی از مشکلات تقویت‌کننده‌هایی که تاکنون آنها را بررسی کرده‌ایم ناتوانی در تفکیک 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 تقویت متفاوتی به‌خروجی مدار منتقل کند.

فیلم

فیلم تقویت‌کننده تفاضلی را ببینید.

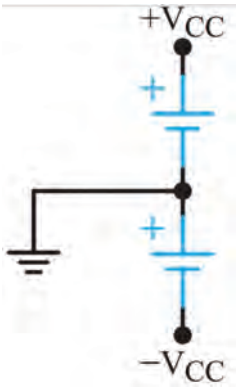
### نقشهٔ فنی تقویت‌کنندهٔ تفاضلی

در شکل ۴۶ـ۴ نقشه فنی تقویت‌کننده تفاضلی نشان داده‌شده است. همان‌طور که می‌بینید، در این شکل دو ترمینال ورودی مثبت و منفی و دو ترمینال خروجی وجود دارد. به‌منظور استفاده ازاین تقویت‌کننده‌ها، ابتدا باید ارتباط این ترمینال‌ها را با هم بدانیم تا بتوانیم تقویت‌کننده را به‌کار ببریم. به شکل ۴۶ـ۴دقت کنید، در این شکل علاوه بر ترمینال‌های ورودی و خروجی، دو ترمینال دیگر نیز برای




شکل ۴۶ـ۴ـ نقشه فنی تقویت‌کننده تفاضلی

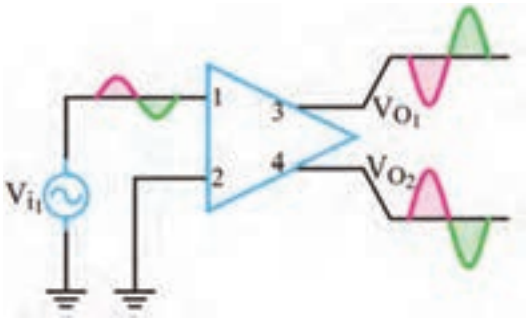
اتصال به خط تغذیه متقارن وجود دارد. چگونگی ایجاد خط تغذیه متقارن در شکل ۴ـ۴۷ نشان داده شده است. ولتاژهای ورودی را می‌توان به یک یا هر دو ترمینال ورودی اعمال کرد. ولتاژ خروجی نیز در هر دو ترمینال خروجی ظاهر می‌شود. البته از نظر زاویه فاز، بین ترمینال‌های ورودی و خروجی، قطب‌های متفاوتی وجود دارد.




شکل ۴ـ۴۷ـ چگونگی ایجاد تغذیه متقارن

## آرایه‌های تقویت‌کننده‌های تفاضلی

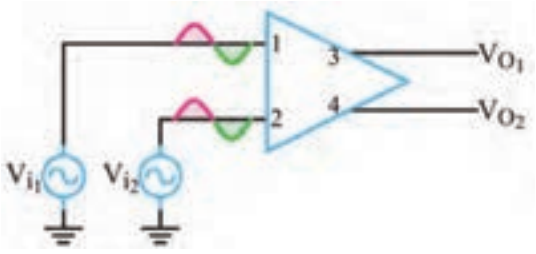
در شکل‌های ۴ـ۴۸ تقویت‌کننده تفاضلی را به‌صورت نقشه بلوکی مشاهده می‌کنید. این تقویت‌کننده درحالت یک ورودی و دو خروجی بسته شده است. به‌شکل موج‌های ورودی و خروجی مدار توجه کنید. در این مدار با اعمال یک ورودی، دو سیگنال با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز و دامنه برابر در خروجی به‌وجود آمده است. در این حالت مدار به‌عنوان جداکننده فاز استفاده شده است.




شکل ۴ـ۴۸ـ تقویت‌کننده تفاضلی با یک ورودی و دو خروجی

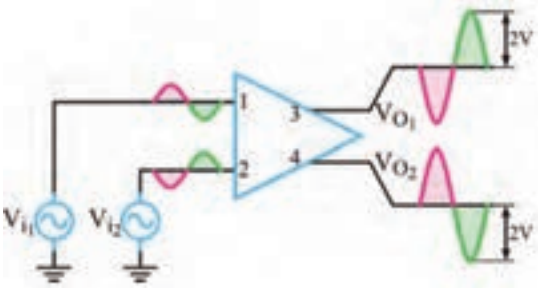
از مدار تقویت‌کننده تفاضلی با یک ورودی و دو خروجی می‌توان به‌عنوان مدار ایجادکننده دو موج با دامنهٔ مساوی و فاز مخالف (جداکننده فاز) استفاده کرد.

در شکل ۴ـ۴۹ دو ورودی هم فاز و با دامنه مساوی به ورودی تقویت‌کننده داده شده است. در این حالت دامنه هر دو خروجی صفر است. این حالت را حالت سیگنال مشترک یا common mode می‌گویند.




شکل ۴ـ۴۹ـ تقویت‌کننده با دو ورودی مساوی و هم‌فاز و دو خروجی

در شکل ۴ـ۵۰ همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با دادن دو سیگنال با فاز مخالف به ورودی‌ها، دو سیگنال تقویت شده به اندازه دو برابر شرایط معمولی در خروجی به‌دست می‌آید.




شکل ۴ـ۵۰ـ تقویت‌کننده تفاضلی با عملکرد دو ورودی تفاضلی و دو خروجی

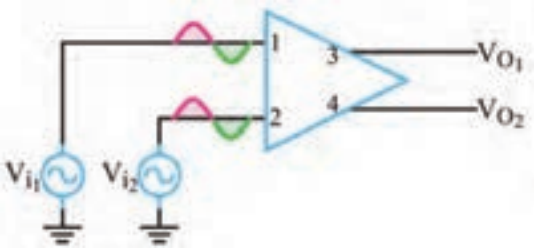
**بارش فکری:**

اگر به دو ورودی تقویت‌کنندهٔ تفاضلی دو موج با دامنهٔ مساوی و فاز برابر طبق شکل ۴ـ۵۱ بدهیم، این حالت سیگنال‌مشترک (Common Mode Input) نام دارد. در این حالت دامنهٔ $V_{O1}$ و $V_{O2}$ چقدر است؟ این مدار چه کاربُردی دارد؟

## الگوی پرسش

تحقیق

با مراجعه به رسانه‌های مختلف بررسی کنید به‌چه دلیل سیگنال‌های خروجی تعریف شده در شکل ۴ـ۴۸ تا ۴ـ۵۰ به‌وجود می‌آید.




**شکل ۵۱ـ۴ـ تقویت‌کننده تفاضلی در حالت سیگنال مشترک**

۱ـ تقویت‌کننده تفاضلی می‌تواند سیگنال‌های بافرکانس..... و..... را تقویت کند.
۲ـ با توجه به شکل ۵۱ ـ۴ درصورتی که دامنه هردو سیگنال ورودی هم‌زمان کاهش یا افزایش یابد چه تغییری در خروجی ایجاد می‌شود؟
۳ـ تقویت‌کننده تفاضلی در حالت یک ورودی و دو خروجی، دو سیگنال تقویت شده با دامنهٔ برابر و ۱۸۰ درجه اختلاف فاز تولید می‌کند. صحیح ☐ غلط ☐

## ۴ـ۱۴ تقویت‌کنندهٔ عملیاتی (Operational Amplifier - op -Amp)

در تقویت‌کننده‌های عملیاتی از تقویت‌کننده‌های تفاضلی استفاده شده است. تقویت‌کننده‌های عملیاتی که به اختصار Op ـ Amp نامیده می‌شوند تقویت‌کننده‌هایی با کوپلاژ مستقیم هستند که ضریب تقویت ولتاژ بسیار بزرگی دارند. بنابراین اگر به ورودی‌های Op ـ Amp اختلاف پتانسیل بسیار کوچکی اعمال شود، در خروجی آن ولتاژ بسیار بزرگی به وجود می‌آید و در عمل، تقویت‌کننده وارد ناحیه اشباع می شود. ولی ضریب تقویت Op_Amp به روش‌های مختلف قابل کنترل است. تقویت‌کننده‌های عملیاتی در سیستم‌های الکترونیکی کاربردهای متنوعی دارند. از نظر اقتصادی نیز ارزان قیمت‌اند و از مزایایی چون ابعاد کوچک، قابلیت اطمینان بالا و پایداری حرارتی خوب برخوردارند. امروزه تقریباً تقویت‌کننده‌های عملیاتی جایگزین قطعات مجزا شده‌اند.

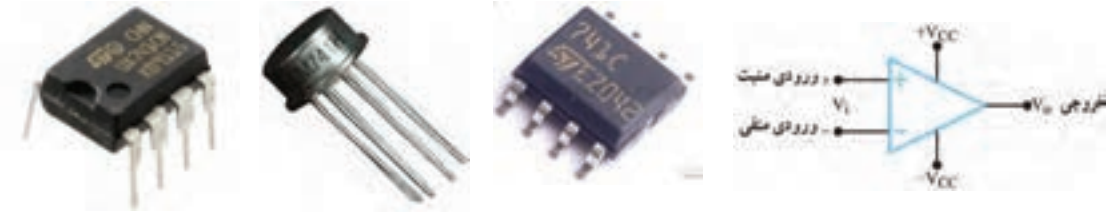
### نماد و شکل ظاهری تقویت‌کننده عملیاتی

برای نخستین بار نام تقویت‌کننده عملیاتی به تقویت‌کننده‌هایی اختصاص داده شد که دارای ضریب تقویت بسیار زیاد بودند. این تقویت‌کننده‌ها نیاز به ولتاژ بالایی داشتند و برای انجام عملیات ریاضی مانند جمع، تفریق، ضرب و تقسیم مورد استفاده قرار می‌گرفتند. با مرور زمان و پیشرفت فناوری، نوع پیشرفته و جدید تقویت‌کننده‌های عملیاتی با مشخصات:

- ولتاژ کار کم
- قیمت ارزان
- دسترسی آسان

طراحی و ساخته شدند و به بازار عرضه گردیدند. این تقویت‌کننده‌ها در زمینه‌های مختلف مانند کامپیوتر، سیستم‌های کنترل، ارتباطات، منابع تغذیه، مولدسیگنال، نمایشگر و دستگاه‌های اندازه‌گیری به‌کار می‌روند.

نماد (نشانه فنی) استاندارد و شکل چند نمونه تقویت‌کننده عملیاتی (Op ـ Amp) در شکل الف و ب ۵۲ـ ۴ نشان داده شده است.



الف) نماد تقویت‌کننده عملیاتی

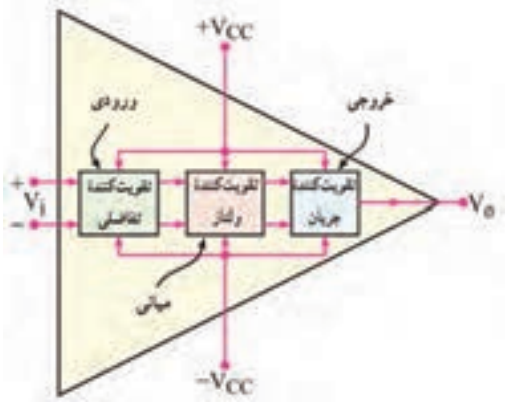
ب) چند نمونه شکل ظاهری تقویت‌کننده عملیاتی

**شکل ۵۲ـ۴ـ نماد و شکل ظاهری تقویت‌کننده عملیاتی**

## بلوک دیاگرام مدار داخلی تقویت‌کنندهٔ عملیاتی

در شکل ۵۳ـ۴ بلوک دیاگرام مدار داخلی یک تقویت‌کننده عملیاتی نشان داده شده است. تقویت‌کننده‌های عملیاتی تعداد قطعات الکترونیکی زیادی دارند و به‌صورت‌های مختلف و پیچیده ساخته می‌شوند. در مجموع بلوک دیاگرام یک تقویت‌کننده عملیاتی از سه قسمت اصلی تشکیل شده است.

الف) طبقه ورودی (تفاضلی)  ب) طبقه میانی (ولتاژ)  پ) طبقه خروجی (تقویت توان)




**شکل ۵۳ـ۴ـ بلوک‌دیاگرام داخلی تقویت‌کننده عملیاتی**

درشکل ۵۴ـ۴ مدار ساخته‌شده با قطعات مجزا را مشاهده می‌کنید.

پژوهش

با مراجعه به سامانه‌های مختلف، نقشه فنی مدار داخلی تقویت کننده Op ـ Amp با شماره فنی ۷۴۱ را بیابید و در مورد تعداد قطعات موجود در آن گزارشی تهیه کنید و ارائه دهید.

## تقویت‌کنندهٔ عملیاتی ایده‌آل

یک تقویت‌کننده عملیاتی ایده‌آل باید دارای مشخصاتی به شرح زیر باشد:

۱ـ مقاومت ورودی بی‌نهایت ۲ـ مقاومت خروجی صفر ۳ـ بهره ولتاژ بی‌نهایت ۴ـ بهره جریان بی‌نهایت.

## مشخصات تقویت‌کنندهٔ عملیاتی واقعی

تقویت‌کننده عملیاتی ایده‌آل، درعمل وجود ندارد ولی کارخانه‌های سازنده سعی می‌کنند تا حد امکان به این

**شکل ۵۴ـ۴ـ مدار داخلی آی‌سی ۷۴۱ با قطعات مجزا**

ضرایب نزدیک شوند. تقویت‌کننده‌های عملیاتی به‌صورت مدارهای مجتمع یک پارچه (IC) ساخته می‌شوند که معمول‌ترین آنها، آی‌سی XX۷۴۱ است.

**نکته**

به جای XX معمولاً دو یا چندحرف قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال آی‌سی‌های LM ۷۴۱ و µA ۷۴۱ نمونه‌هایی از این موارد است. تقویت‌کننده‌های سری ۷۴۱ غالباً دارای مشخصات تقریبی به شرح زیر هستند:

$Z_I$ = مقاومت ورودی = ۲MΩ  $Z_O$ = مقاومت خروجی = ۵۰Ω

$A_I$ = بهره جریان = $۵\times۱۰^{۹}$  $A_V$ = بهره ولتاژ = $۲\times۱۰^{۵}$

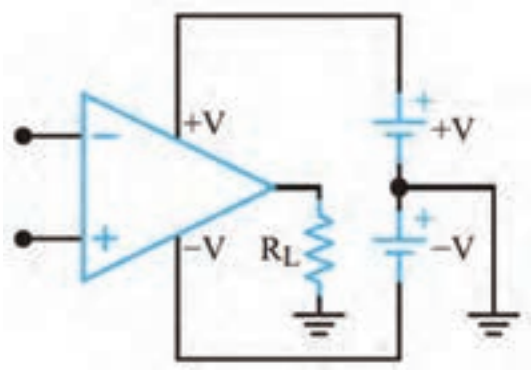
**تحقیق**

با مراجعه به سایت‌های اینترنتی مانند Datasheet.com مشخصات چند نمونه آی‌سی تقویت‌کننده عملیاتی را استخراج کنید.

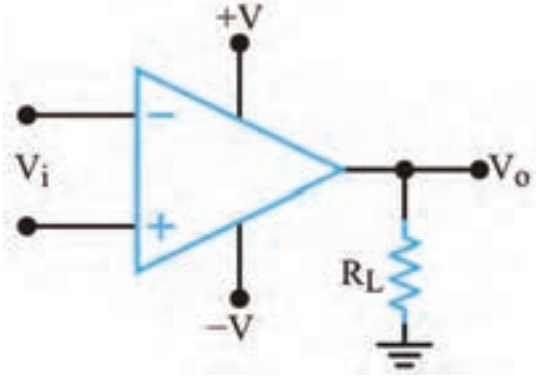
## پایه‌های تقویت‌کنندهٔ عملیاتی و کمیت‌های مربوط به آن

☑ **پایه‌های تغذیه**: در Op_Ampها پایه‌هایی که با علامت V+ و V- مشخص شده‌اند به‌منبع تغذیه متقارن وصل می‌شوند. منبع تغذیه متقارن دارای سه پایه مثبت، منفی و مشترک (زمین) است. مقدار ولتاژ تغذیه Op_Ampها معمولاً درمحدوده ۶± ولت، ۱۲± ولت، ۱۵± ولت و ۱۸± ولت قرار دارد. شکل ۵۵ـ۴ چگونگی اتصال منبع تغذیه و بار را به پایه‌های Op_Amp نشان می‌دهد. حداکثر ولتاژی که می‌توان بین پایه‌های V+و V– اعمال کرد معمولاً ۳۶ولت یا ۱۸± ولت است که این ولتاژ در برگه اطلاعات Op_Amp مشخص می‌شود.

☑ **پایهٔ خروجی**: پایه خروجی Op_Amp به‌یک طرف مقاومت بار ($R_L$) وصل می‌شود و طرف دیگر $R_L$ به‌نقطه زمین اتصال می‌یابد. مقدار $V_O$ (ولتاژ خروجی) همیشه نسبت به زمین اندازه‌گیری می‌شود. در شکل ۵۶ـ۴ مقاومت بار به Op_Amp متصل شده است.




شکل ۵۵-۴- اتصال تغذیه به پایه‌های Op-Amp




شکل ۵۶-۴- نحوه اتصال مقاومت بار به Op-Amp

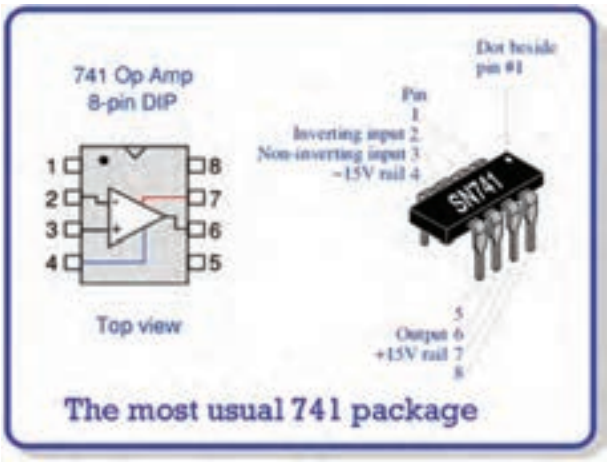
☑ **پایه‌های ورودی Op_Amp:** Op_Amp دارای دو ورودی است که آنها را با علامت‌های + و − مشخص می‌کنند. این دو ورودی را پایه‌های ورودی تفاضلی (Differential Input Terminals) نیز می‌نامند. زیرا درصورت اعمال ولتاژ به ورودی، مقدار ولتاژ خروجی ($V_O$) تابعی از اختلاف ولتاژ بین دو پایه ورودی (Vd) و ضریب بهره ولتاژ تقویت‌کننده است. اگر فقط سیگنال را به ورودی منفی Op_Amp بدهیم، در خروجی Op_Amp، سیگنال تقویت می‌شود و ولتاژهای با فاز مخالف ورودی به‌وجود می‌آید. اگر فقط سیگنال را به ورودی مثبت بدهیم، در خروجی Op_Amp تقویت‌شده و سیگنالی هم فاز با ورودی به‌وجود می‌آید.

فعالیت

با توجه به شکل ۴ـ۵۷، جدول ۶ـ۴ را کامل کنید.

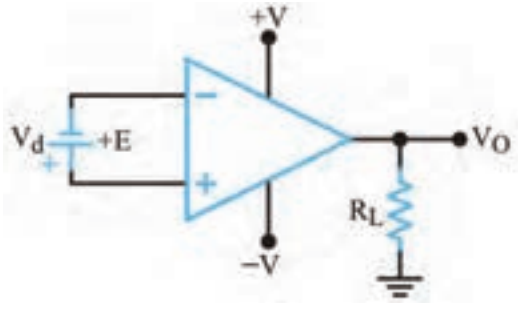
**جدول ۶ـ۴**

| ردیف | شماره پایه | نام پایه به زبان انگلیسی | معنی فارسی |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۲ | | |
| ۲ | ۳ | | |
| ۳ | ۴ | | |
| ۴ | ۶ | | |
| ۵ | ۷ | | |




**شکل ۴ـ۵۷ـ شماره پایه‌ها**

## ۱۵ـ۴ بهرهٔ ولتاژ حلقهٔ باز (Open Loop Voltage Gain ـ OL)




**شکل ۴ـ۵۸ـ تقویت‌کننده عملیاتی به‌صورت حلقه باز**

اگر هیچ‌گونه اتصال فیدبک (بازخورد) بین خروجی و ورودی Op_Amp وجود نداشته باشد، در این حالت Op_Amp به‌صورت حلقه باز استفاده شده است. بهره ولتاژ را در این شرایط، بهره حلقه باز می‌نامند. همان‌طور که قبلاً اشاره شد بهره حلقه باز را با $A_{OL}$ نشان می‌دهند. شکل ۵۸ ـ۴ Op_Amp را درحالت حلقه باز (بدون فیدبک) نشان می‌دهد. در این حالت بهره ولتاژ خیلی زیاد است و خروجی تقریباً در حد ولتاژ تغذیه به اشباع می‌رود.

فیلم

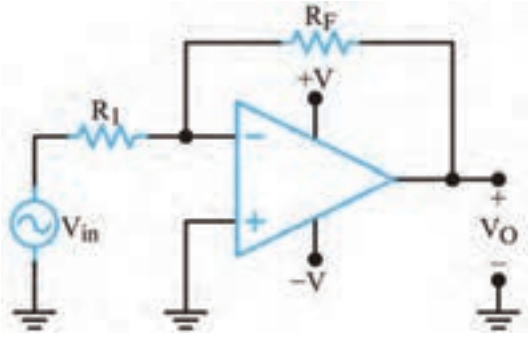
فیلم مربوط به مدارهای کاربردی تقویت‌کننده‌های عملیاتی را ببینید.

## ۱۶ـ۴ کاربردهای تقویت‌کنندهٔ عملیاتی

تقویت‌کننده‌های عملیاتی کاربردهای متنوعی دارند. در این قسمت، چند کاربرد مهم آنها را بررسی می‌کنیم.

### تقویت‌کنندهٔ معکوس‌کننده (وارونگر ـ Inverting Amplifier):

مدار شکل ۴ـ۵۹ یک تقویت‌کننده معکوس‌کننده را نشان می‌دهد. در این حالت سیگنال خروجی به‌اندازهٔ ۱۸۰ درجه با ورودی اختلاف فاز دارد. بهره ولتاژ این تقویت‌کننده از رابطه $Av = -\frac{R_F}{R_1}$ محاسبه می‌شود. اگر $R_F$ با $R_1$ برابر باشد، ضریب تقویت مدار (۱-) می‌شود. این مدار را بافر (Buffer) منفی می‌نامند.




شکل ۴ـ۵۹ـ تقویت‌کننده معکوس‌کننده

کار عملی ۷

### تقویت‌کننده معکوس‌کننده در نرم‌افزار

**هدف:** بررسی عملکرد تقویت‌کننده عملیاتی به صورت حلقه باز در نرم‌افزار

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

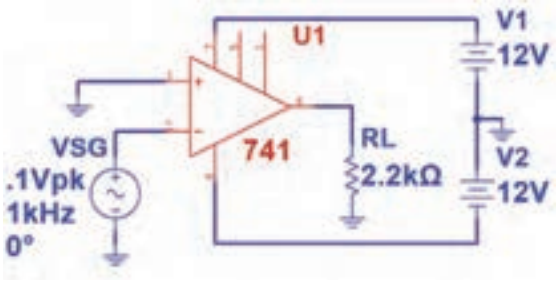
**مراحل اجرای کار**

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

۲ـ مدار شکل ۴ـ۶۰ را در محیط نرم‌افزار ببندید.

۳ـ مدار را راه‌اندازی کنید.

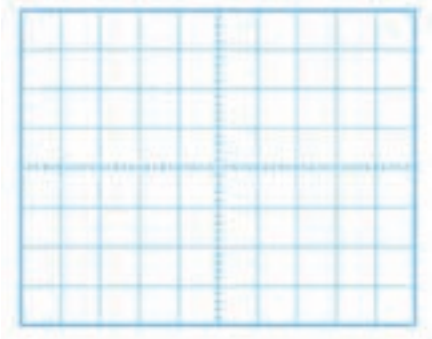
۴ـ شکل موج ورودی و خروجی مدار را روی صفحه اسیلوسکوپ نرم‌افزار به‌صورت پایدار ظاهر کنید. سپس شکل موج‌ها را در نمودار شکل ۴ـ۶۱ رسم کنید.



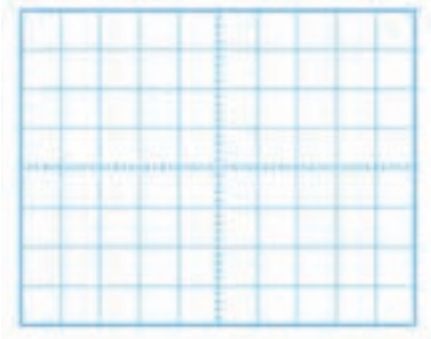

شکل ۴ـ۶۰

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

.....



الف) شکل موج ورودی



ب) شکل موج خروجی

شکل۶۱ـ۴ـ شکل موج ورودی و خروجی

کارعملی۸

## تقویت‌کننده معکوس‌کننده با قطعات واقعی

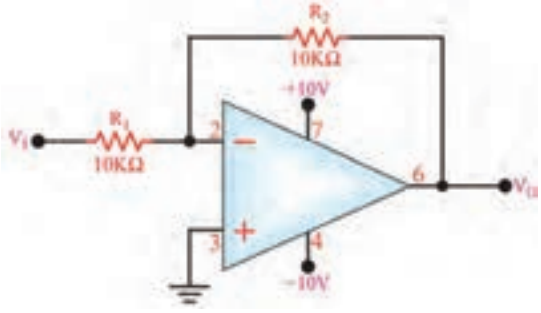
**هدف:** بررسی عملکرد تقویت‌کننده معکوس‌کننده و محاسبه بهره ولتاژ مدار در آزمایشگاه

**مواد، ابزار و تجهیزات:** بِرد بُرد یک قطعه ـ اسیلوسکوپ یک دستگاه ـ منبع تغذیه یک دستگاه ـ سیگنال ژنراتور یک دستگاه ـ مقاومت $K\Omega$ ۱۰ دو عدد ـ مقاومت $K\Omega$ ۲۲ یک عدد ـ آی‌سی ۷۴۱ یک عدد ـ سیم‌های رابط

۱ـ مدار شکل ۶۲ ـ۴ را روی بردبُرد ببندید.

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

۳ـ به ورودی مدار یک سیگنال سینوسی با فرکانس ۱ کیلوهرتز وصل کنید. دامنهٔ پیک‌تاپیک و اختلاف فاز ولتاژهای $V_O$ و $V_i$ را با استفاده از اسیلوسکوپ اندازه بگیرید، سپس بهره ولتاژ مدار را به‌دست‌آورید و یادداشت کنید.



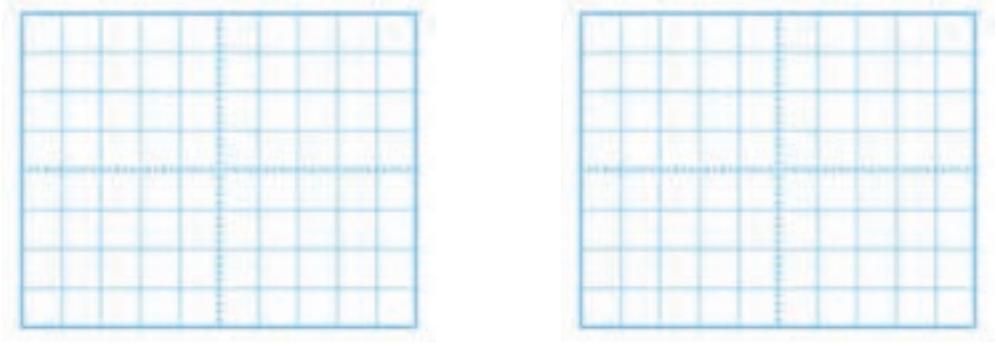

شکل۶۲ـ۴

نکته مهم

سیگنال خروجی باید دارای بیشترین دامنه و بدون تغییر شکل (اعوجاج) باشد.

$\Phi$=..... درجه $A_V$= ..... مرتبه $V_{O(PP)}$= ..... ولت $V_{IN(PP)}$ = .....ولت

۴ـ شکل موج سیگنال‌های ورودی و خروجی را هنگامی که $R_۲=۲۲K\Omega$ است و خروجی بیشترین دامنه بدون تغییر شکل را دارد، در نمودار شکل ۶۳ـ۴ با مقیاس مناسب رسم کنید T/D و V/D را روی محورهای مختصات مشخص کنید.



الف) شکل موج ورودی ب) شکل موج خروجی

شکل ۶۳ـ۴ـ شکل موج ورودی و خروجی

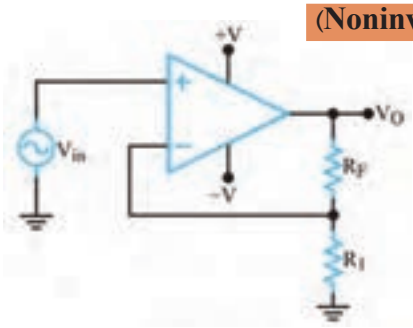
۵ـ با توجه به مقادیر $V_O$ و $V_i$، مقدار بهره ولتاژ و اختلاف فاز ولتاژهای $V_O$ و $V_i$ را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

درجه .....=Φ ، مرتبه ..... =$A_V$ ، ولت ..... =$V_{O(PP)}$، ولت.....= $V_{IN(PP)}$

۶ـ با توجه به مقادیر $V_O$ و $V_i$ درکدام حالت تقویت‌کننده به بافر منفی تبدیل می‌شود؟ در این‌حالت $A_V$ چقدر است؟ شرح دهید.

## تقویت‌کنندهٔ غیرمعکوس‌کننده (وارونگر ـ Noninveting Amplifier)

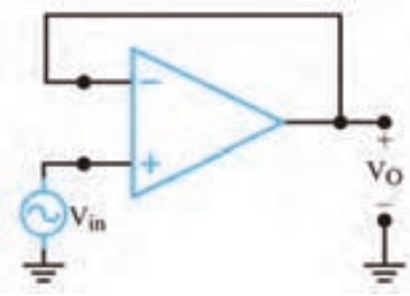
مدار تقویت‌کننده غیرمعکوس‌کننده در شکل ۶۴ـ۴ رسم شده است. سیگنال ورودی Vin به ورودی مثبت Op_Amp اتصال دارد. در این مدار سیگنال خروجی با سیگنال ورودی هم‌فاز است. بهره ولتاژ این تقویت‌کننده از رابطه $A_V = ۱ + \frac{R_F}{R_۱}$ محاسبه می‌شود.




شکل ۶۴ـ۴ـ تقویت‌کننده غیرمعکوس‌کننده

## مدار بافر مثبت

بافر مثبت نوع خاصی‌از تقویت‌کننده غیرمعکوس‌کننده است. در این مدار مطابق شکل ۶۵ـ۴ تمام سیگنال خروجی به ورودی منفی برگشت داده شده است.




شکل ۶۵ـ۴ـ مدار بافر مثبت

نکته

این مدار دارای بهره ولتاژ ۱+ است و ولتاژ خروجی از لحاظ دامنه و فاز عیناً برابر با ولتاژ ورودی است. این مدار را دنباله‌رو ولتاژ (Voltage follower) یا بافر (Buffer) نیز می‌گویند.

یکی از مشخصات مهم بافر مثبت، ایجاد تطبیق بین امپدانس بسیار زیاد با امپدانس کم است. زیرا عملاً امپدانس ورودی مدار بافر بسیار زیاد و امپدانس خروجی آن بسیار کم است.
**هدف:** بررسی عملکرد تقویت‌کننده غیرمعکوس‌کننده و محاسبه بهره ولتاژ مدار

کار عملی۹

## تقویت‌کننده غیر معکوس‌کننده با قطعات واقعی

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

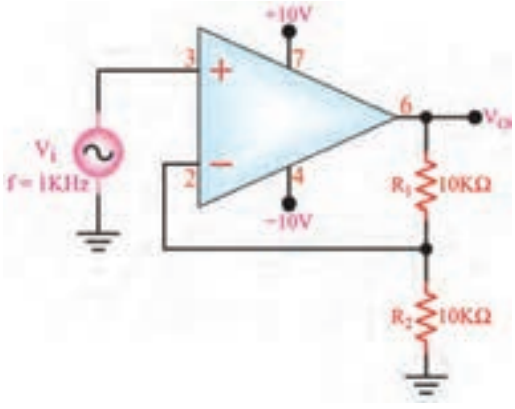
**مراحل کار عملی:**

۱ـ مدار شکل ۶۶ ـ۴ را روی بردبُرد ببندید.

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

۳ـ به ورودی مدار یک سیگنال سینوسی با فرکانس ۱کیلوهرتز وصل کنید. دامنه سیگنال ورودی را طوری تغییر دهید که سیگنال خروجی دارای بیشترین دامنه و بدون تغییر شکل (اعوجاج) باشد.

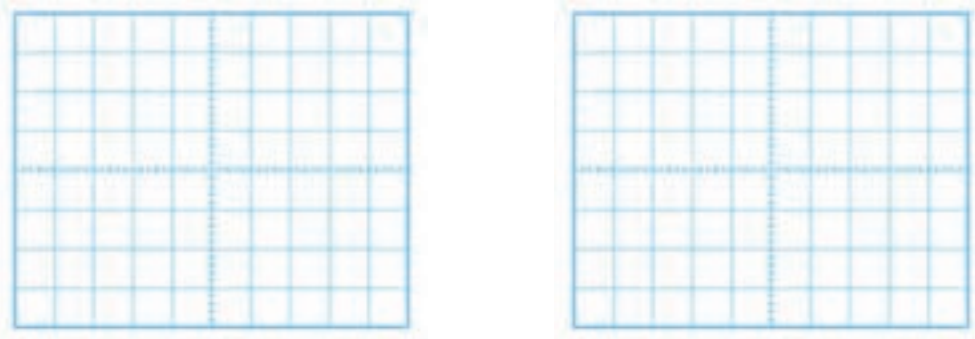
۴ـ دامنهٔ پیک‌تاپیک و اختلاف فاز ولتاژهای $V_O$ و $V_i$ را با استفاده از اسیلوسکوپ اندازه بگیرید سپس بهره ولتاژ مدار را به‌دست آورید و یادداشت کنید.



شکل ۶۶ـ۴ـ تقویت‌کننده غیر معکوس‌کننده

درجه .....Φ= ، مرتبه.....$A_V$= ، ولت .....$V_{O(PP)}$= ، ولت.....$V_{IN(PP)}$ =

۵ـ شکل موج سیگنال‌های ورودی و خروجی را هنگامی که $R_1$=۲۲KΩ است و خروجی بیشترین دامنه بدون تغییر شکل را دارد، در نمودار شکل ۶۷ ـ۴ با مقیاس مناسب رسم کنید. مقادیر T/D و V/D را روی محورها مشخص کنید.


الف) شکل موج ورودی ب) شکل موج خروجی

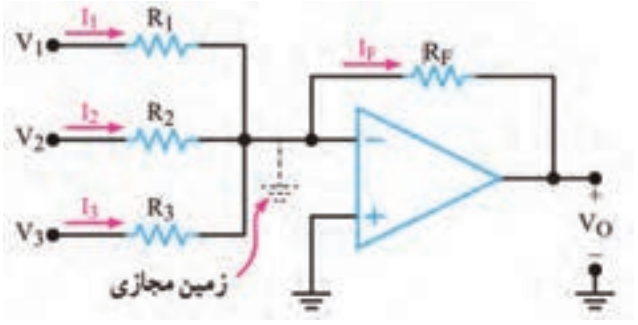
شکل۶۷ـ۴ـ شکل موج ورودی و خروجی

۶ـ با توجه به مقادیر $V_O$ و $V_i$ مقدار بهره ولتاژ و اختلاف فاز ولتاژهای $V_O$ و $V_i$ را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

درجه ..... =Φ، مرتبه ..... =$A_V$، ولت ..... =$V_{O(PP)}$، ولت ..... = $V_{IN(PP)}$

## 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 ۶۸ـ۴ یک جمع‌کننده با سه ورودی را نشان می‌دهد.




شکل ۶۸ـ۴ـ جمع‌کننده

ولتاژ خروجی از رابطهٔ $V_O = -R_F(\frac{V_۱}{R_۱}+\frac{V_۲}{R_۲}+\frac{V_۳}{R_۳})$ محاسبه می‌شود. تحت شرایط خاص چنانچه $R_۱=R_۲=R_۳=R_F$ باشد خواهیم داشت. $V_O = -(V_۱ + V_۲ + V_۳)$

کار عملی ۱۰

### جمع‌کننده در نرم‌افزار

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

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

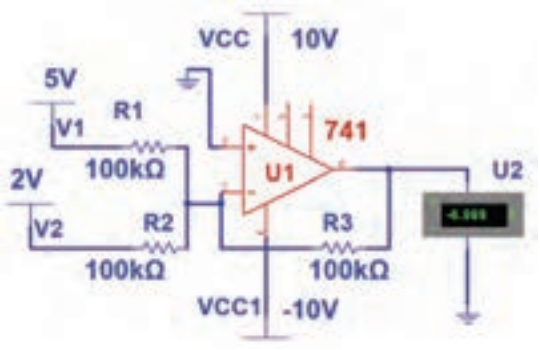
**مراحل کار عملی:**

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

۲ـ مدار شکل ۶۹ ـ۴ را در محیط نرم‌افزار ببندید.

۳ـ مدار را راه‌اندازی کنید.

۴ـ ولت‌متر نرم‌افزار را به خروجی مدار وصل کنید.

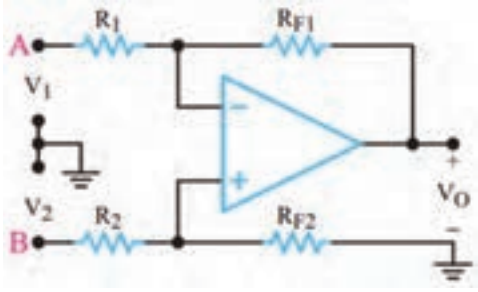



شکل ۶۹ـ۴ـ جمع‌کننده

۵ـ آیا مقدار ولتاژ خروجی مجموع ولتاژهای ورودی است؟ شرح دهید.

## 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. به‌عنوان مثال باید در طبقه ورودی یک دستگاه الکتروکاردیوگراف میزان نویز مربوط به ۵۰ هرتز برق شهر را به‌شدت کاهش داد. در این دستگاه دو الکترود به نقاط مختلف بدن یک انسان متصل می‌شوند و ضربان‌های کوچک قلب را دریافت می‌کنند. سپس این ضربان‌ها، تقویت می‌شود و به بلندگو، اسیلوسکوپ یا نوار ثبت‌کننده می‌رسد. نتیجه به‌دست آمده برای مطالعه و بررسی در اختیار پزشک قرار می‌گیرد. متأسفانه علاوه بر جذب ضربان‌های قلب مقداری نویز ۵۰ هرتز نیز جذب می‌شود. با به‌کار بردن یک تقویت‌کننده با ورودی تفاضلی می‌توان مقدار این نویز را به حداقل رساند. در شکل ۷۰ـ۴ تقویت‌کننده با ورودی تفاضلی نشان داده شده است.



شکل ۷۰ـ۴ـ تقویت‌کننده با ورودی تفاضلی

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

$$V_O = \frac{R_F}{R}(V_۲ - V_۱)$$

به‌خاطر داشته باشید که خروجی تقویت‌کننده می‌تواند نسبت به زمین، مثبت یا منفی باشد. بنابراین، $V_O$ ممکن است متناسب با مقدار و جهت $V_۱$ و $V_۲$ مثبت یا منفی شود. وقتی ورودی‌ها به‌صورت تفاضلی استفاده می‌شوند، اگر دو سیم A و B به یکدیگر نزدیک باشند، هیچ اتصال زمینی‌مورد نیاز نیست. در هر صورت، در الکتروکاردیوگرافی گاهی ضرورت دارد که توسط سیم سومی زمین دستگاه را به بدن بیمار متصل کنند. این سیم زمین بر روی نقاط مختلف بدن تغییر داده می‌شود تا ۵۰ هرتز جذب شده در هر دو سیم مشابه شوند. به این ترتیب با جابه‌جایی سیم‌ها، سیگنال خروجی مربوط به ۵۰ هرتز صفر می‌شود. به محض اینکه نویز به صفر رسید، تقویت‌کننده می‌تواند سیگنال‌های ضعیف ضربان قلب را آشکار کند.

کار عملی ۱۱

### تقویت‌کننده با ورودی تفاضلی در نرم‌افزار

**هدف:** بررسی عملکرد تقویت‌کننده با ورودی تفاضلی در نرم‌افزار

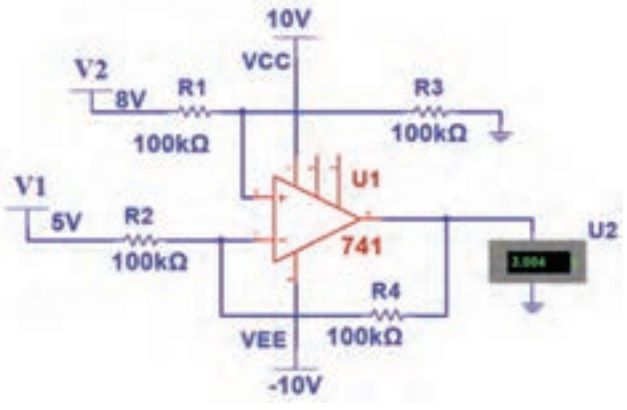
**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه ـ نرم‌افزار ـ لوازم‌التحریر

**مراحل کار عملی:**

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

۲ـ مدار شکل ۷۱ـ۴ را در محیط نرم‌افزار ببندید.

۳ـ اگر کلیه مقاومت‌ها در مدار تقویت‌کننده با ورودی تفاضلی با هم برابر باشند، فرمول روبه‌رو چه‌تغییری می‌کند؟ در این حالت فرمول را بنویسید.




شکل۷۱ـ۴ـ تقویت‌کننده با ورودی تفاضلی

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

۴ـ مدار را راه‌اندازی کنید.

۵ـ ولت‌متر نرم‌افزار را به خروجی مدار وصل کنید. ولتاژ خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۶ـ آیا مقدار ولتاژ خروجی تفاضل ولتاژهای ورودی است؟ شرح دهید.

۷ـ اگر به‌جای دو باتری $V_1$ و $V_2$، دو موج سینوسی با دامنه، فرکانس و فاز برابر به مدار بدهیم، شکل موج خروجی چگونه است؟ این موضوع را تجربه کنید. در این حالت مدار چه کاربردی دارد؟ شرح دهید.

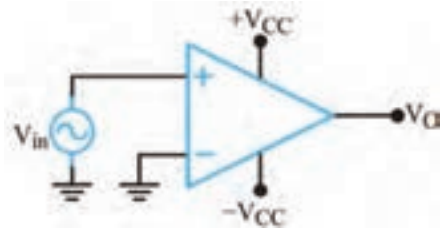
## مقایسه‌کننده (Comparator)

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. درصورتی که مقدار ولتاژ ورودی مثبت بیشتر از ولتاژ ورودی منفی باشد، خروجی به ولتاژ اشباع مثبت و اگر مقدار ولتاژ ورودی منفی بیشتر از ولتاژ ورودی مثبت باشد، خروجی به اشباع منفی می‌رود. این نوع مدار را مدار مقایسه‌کننده می‌نامند.

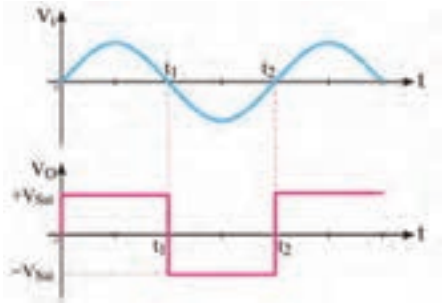
### مقایسه‌کننده در مدارهای زیر کاربرد دارد

- **اشمیت تریگر (Schmitt Trigger) یا مدار چهارگوش‌کننده (Squaring Circuit)**: اشمیت‌تریگر 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 بایک ولتاژ مبنا را مشخص می‌کند.
- **نوسان‌ساز** : مداری است که شکل موج سینوسی یا مربعی یا مثلثی تولید می‌کند.
- **آشکارسازعبورازصفر (Zero Crossing Detector)**: درشکل ۷۲ـ۴ مدار مقایسه‌کننده با ولتاژ مبنای صفر (زمین) و در شکل ۷۳ـ۴ شکل موج ورودی و خروجی مدار رسم شده است. در این مدار زمین یا پتانسیل صفر به ورودی منفی (-) اعمال شده است. ولتاژی که باید با مبنا مقایسه شود ($V_i$) به ورودی

(+) داده می‌شود. مدار، ولتاژ $V_i$ را با ولتاژ مبنای صفر ولت مقایسه می‌کند و با توجه 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.

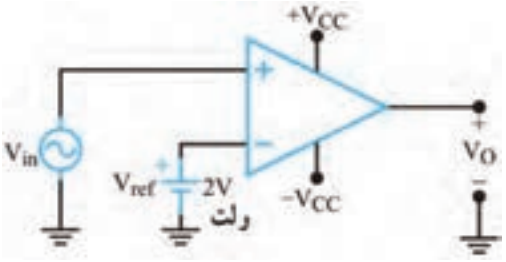



شکل ۷۲ـ۴ـ مقایسه‌گر با ولتاژ مبنای صفر

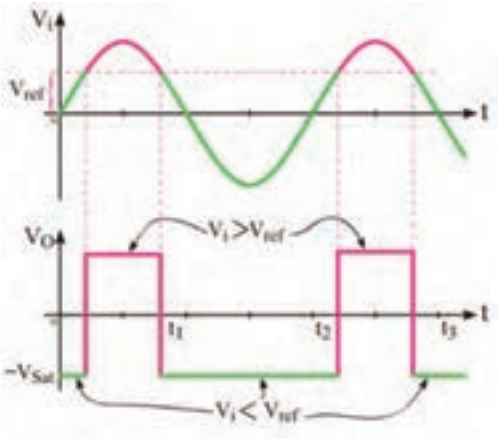



شکل ۷۳ـ۴ـ شکل موج ورودی و خروجی مدار

☑ **آشکار ساز سطوح ولتاژ غیر صفر (Nonzero Level detector):** مدار آشکار ساز سطوح صفر ولت را می‌توان به آشکارساز ولتاژ غیر صفر ولت تبدیل نمود. برای این منظور به‌جای زمین‌کردن ورودی مثبت یا منفی، ولتاژی را به‌عنوان ولتاژ مقایسه (مبنا) انتخاب می‌کنیم. مثلاً در شکل ۷۴ـ۴ ولتاژ مبنا را ۲ + ولت درنظرمی‌گیریم و به ورودی منفی می‌دهیم. این ولتاژ را ولتاژ مقایسه (مبنا یا refrence =$V_{ref}$) می‌نامیم. تا زمانی که ولتاژ ورودی مثبت از ولتاژ مبنا ($V_{ref}$) کمتر است، خروجی op_Amp در اشباع منفی قرار می‌گیرد. در حالتی که $V_i$ از $V_{ref}$ بیشتر شود ورودی مثبت op_Amp نسبت به ورودی منفی آن مثبت‌تر می‌شود وخروجیop_Amp به اشباع مثبت می‌رود. در شکل ۷۵ـ۴ شکل موج‌های ورودی و خروجی مدار رسم شده است.



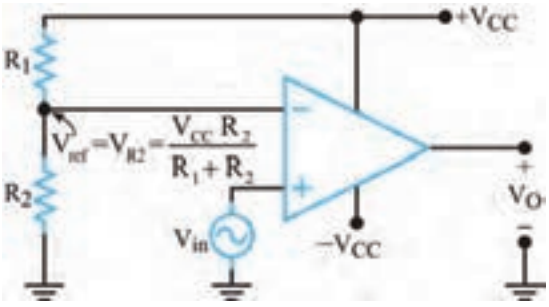

شکل ۷۴ـ۴ـ مدار آشکارساز سطح ولتاژ



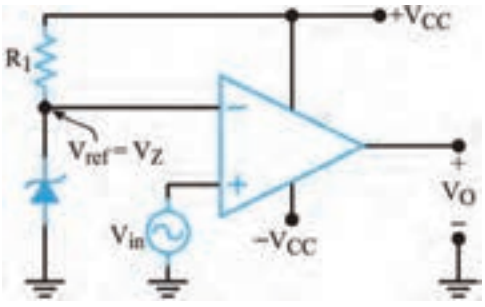

شکل ۷۵ـ۴ـ شکل موج ورودی و خروجی مدار

## 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 ۷۶ـ۴ مدارهای تأمین ولتاژ مبنا را نشان می‌دهد.




الف) تقسیم ولتاژ مقاومتی




ب) استفاده از دیود زنر

شکل ۷۶ـ۴ـ روش عملی ولتاژ مبنا

## الگوی پرسش

۱ـ در مدار شکل ۷۷ـ۴ ولتاژ ورودی با ولتاژ صفر ولت مقایسه می‌شود. صحیح ☐ غلط ☐

۲ـ یک مدار آشکار ساز عبور از صفر می‌تواند موج سینوسی را به موج.....تبدیل کند.

صحیح ☐ غلط ☐

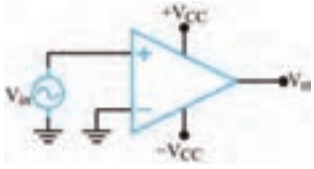
۳ـ در شکل ۷۸ـ۴ ولتاژ خروجی در حالت ایده‌آل صفر است.

صحیح ☐ غلط ☐

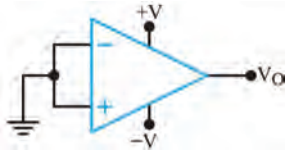
۴ـ در مدار شکل ۷۹ـ۴ کدام‌یک از مقادیر داده شده، مقدار ولتاژسطح مقایسه ($V_{REF}$) است ؟

۱ـ صفر ۲ـ ۲ ۳ـ ۸ ۴ـ ۱۰

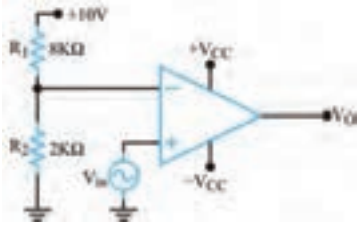
۵ـ کاربردهای مقایسه‌کننده را نام‌ببرید.




شکل ۷۷ـ۴




شکل ۷۸ـ۴




شکل ۷۹ـ۴

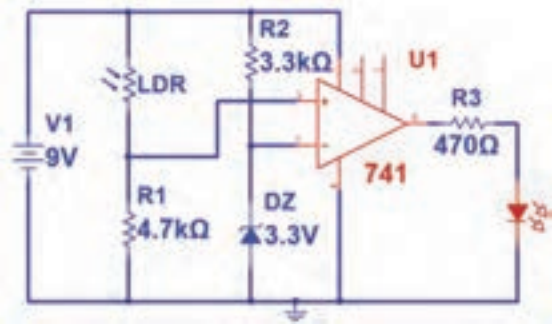
کار عملی ۱۲

## مقایسه‌گر با قطعات واقعی

**هدف:** بررسی عملکرد مقایسه‌گر در آزمایشگاه

**مواد، ابزار و تجهیزات:** بِردبُرد یک قطعه ـ منبع تغذیه یک دستگاه ـ مقاومت ۳/۳KΩ ـ ۴/۷KΩ ـ ۴۷۰ Ω از هر کدام یک عدد ـ مقاومت LDR یک عدد ـ دیود زنر ۳/۳ ولت $\frac{۱}{۴}$ وات یک عدد ـ آی‌سی ۷۴۱ یک عدد ـ LED یک عدد ـ سیم‌های رابط

۱ـ مدار شکل ۸۰ ـ۴ را روی بردبُرد ببندید.
۲ـ منبع تغذیه را به مدار وصل کنید و مدار را راه‌اندازی کنید.
۳ـ ولتاژ مبنا چند ولت است؟.....
۴ـ افت ولتاژ کدام قطعه با ولتاژ مبنا مقایسه می‌شود؟
.....



شکل ۸۰ـ۴

۵ـ در چه حالت LED روشن می‌شود؟
الف) در حالت تابش نور به LDR ب) در حالت تاریکی
۶ـ نور تابانده شده به LDR را قطع کنید. وضعیت نور LED را بررسی کنید.....
۷ـ کاربرد مدار را شرح دهید.....
.....

فیلم

فیلم مونتاژ پروژه را ببینید.

## ۱۷ـ۴ اجرای پروژه

**لزوم ساخت مدارهای مختلف، زمانی که به صورت آماده در بازار برای فروش وجود دارند، چیست؟**

وقتی با به‌کارگیری ابزار شروع به ساخت پروژه‌ای می‌کنیم، اتفاقات مثبتی رخ می‌دهد. نخست با ساخت یک پروژه (هرچقدر ساده) ذوق و شوق شدیدی در ما برای ساخت پروژه‌های سطح بالاتر به وجود می‌آید. در مرحله بعد با تشویق خانواده روبه‌رو شده و به این ترتیب آنها توانایی‌های ما را باور می‌کنند. این موضوع باعث اعتماد به نفس بیشتر شده و سبب می‌شود به خودمان اتکا کنیم. در نهایت در فرایند ساخت یک پروژه با اتفاقات و مشکلات متعددی روبه‌رو می‌شویم و برای رفع مشکلات راه‌حل می‌اندیشیم و کمک می‌گیریم. این امر ما را صاحب تجربه می‌کند.

با پول می‌توان محصولی آماده را خرید، اما تجربه را نه. تجربهٔ ساخت، عیب‌یابی و راه‌اندازی یک پروژه بسیار ارزشمند است.

## ۱۸ـ۴ تقویت‌کننده صوتی ۱۰ وات

آی‌سی‌های متعددی به عنوان تقویت‌کننده صوتی وجود دارند. یکی از پُرکاربردترین آی‌سی‌ها، آی‌سی تقویت‌کننده با شماره فنی TDA۲۰۰۳ است. این آی‌سی پنج پایه دارد. سیگنال ورودی به پایه شماره ۱ اعمال می‌شود و سیگنال تقویت‌شده را از پایه شماره ۴ دریافت می‌کنند. برای راه‌اندازی، به‌قطعات جانبی کمی نیاز است. جریان‌های بالا (بیشتر از ۳/۵ آمپر) را با کمترین اغتشاش (Noise) در خروجی ارائه می‌دهد و دارای حفاظت داخلی اتصال کوتاه پایه‌ها به یکدیگر و به زمین است. لازم به ذکر است که TDA۲۰۰۳ یک تقویت‌کننده مونو (Mono) است. تصویر این آی‌سی را در شکل ۸۱ ـ۴ مشاهده می‌کنید. همچنین قسمتی از برگه اطلاعات (Data Sheet) این تراشه در شکل ۸۲ ـ۴ نمایش داده شده است.

شکل ۸۱ ـ ۴

شکل ظاهری تقویت‌کننده TDA۲۰۰۳

نکته

به نوع بسته‌بندی آی‌سی TDA۲۰۰۳ پنتاوات (PENTAWATT) می‌گویند.

تحقیق

تفاوت تقویت‌کننده‌های مونو و استریو (Sterio) و کاربردهای هر یک را بیابید. نتایج را به کارگاه ارائه دهید.

**برگه اطلاعات:** در شکل ۸۲ـ۴ قسمتی از برگه اطلاعات آی‌سی TDA۲۰۰۳ نشان داده‌شده است.

**DESCRIPTION**

The TDA 2003 has improved performance with the same pin configuration as the TDA 2002.

The additional features of TDA 2002, very low number of external components, ease of assembly, space and cost saving, are maintained.

The device provides a high output current capability (up to 3.5A) very low harmonic and cross-over distortion.

Completely safe operation is guaranteed due to protection against DC and AC short circuit between all pins and ground, thermal over-range, load dump voltage surge up to 40V and fortuitous open ground.

PENTAWATT

ORDERING NUMBERS : TDA 2003H
TDA 2003V

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

| Symbol | Parameter | Value | Unit |
|---|---|---|---|
| $V_s$ | Peak supply voltage (50ms) | 40 | V |
| $V_s$ | DC supply voltage | 28 | V |
| $V_s$ | Operating supply voltage | 18 | V |
| $I_o$ | Output peak current (repetitive) | 3.5 | A |
| $I_o$ | Output peak current (non repetitive) | 4.5 | A |
| Ptot | Power dissipation at Tcase = 90°C | 20 | W |
| $T_{stg}$, $T_j$ | Storage and junction temeperature | -40 to 150 | °C |

شکل ۸۲ـ۴ـ قسمتی از برگه اطلاعات تقویت‌کننده TDA۲۰۰۳

**پرسش**

با توجه به برگه اطلاعات TDA۲۰۰۳ به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

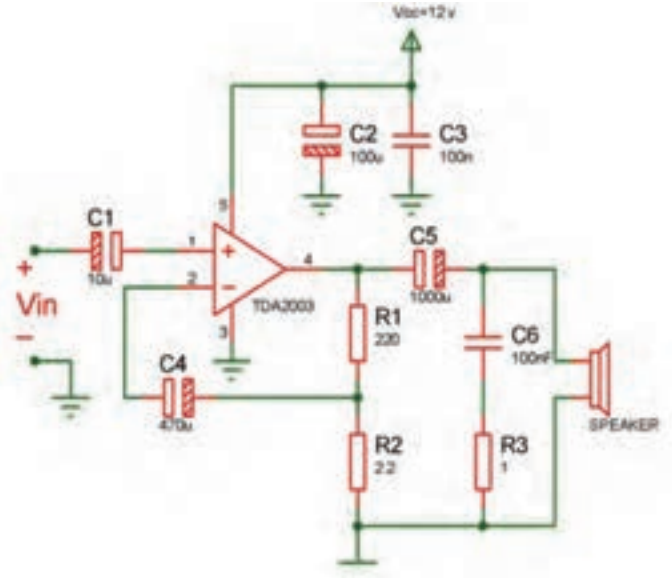
۱ـ حداکثر ولتاژ تغذیه‌ای که می‌توان به این قطعه وصل کرد چند ولت است؟.....

۲ـ حداکثر جریان خروجی چند آمپر است؟.....

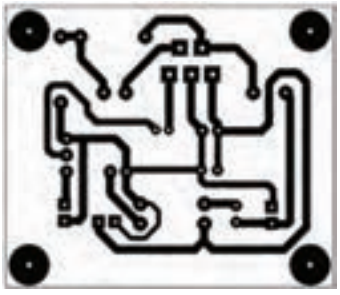
۳ـ توان تلفاتی آی‌سی در دمای بدنهٔ ۹۰ درجه سانتی‌گراد چند وات است؟

## نقشه فنی (شماتیک) تقویت‌کننده صوتی ۱۰ وات

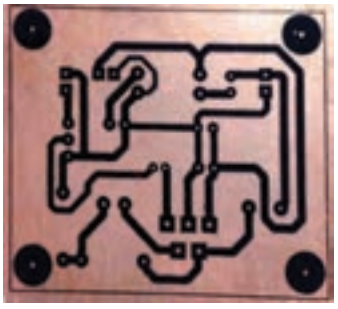
در شکل ۸۳ـ۴ نقشه فنی پروژه را مشاهده می‌کنید. طرح مدارچاپی نقشه و طرح منتقل‌شده روی فیبر در شکل‌های ۸۴ـ۴ و ۸۵ـ۴ نشان‌داده‌شده است. $V_{in}$، سیگنال صوتی ورودی است که از طریق خازن کوپلاژ $C_1$ به ورودی آی‌سی داده می‌شود. سیگنال تقویت‌شده خروجی از طریق $R_1$ و $R_2$ و $C_4$ به ورودی منفی آی‌سی بازخورد (Feedback) داده می‌شود.




شکل ۸۳ـ۴ـ نقشه شماتیک پروژه



شکل ۸۴ـ۴ـ طرح مدارچاپی پروژه



شکل ۸۵ـ۴ـ طرح منتقل شده روی بُرد

کار عملی ۱۳

### طراحی پشت فیبر مدار چاپی، انتقال طرح روی فیبر و اسید کاری آن

**هدف:** آماده‌سازی فیبر جهت مونتاژ برد

**مواد، ابزار و تجهیزات:** رایانه ـ نرم‌افزار مناسب ـ فیبر مسی، کاغذ گلاسه، پرینتر

**مراحل اجرای کار:**

۱ـ نرم‌افزار آلتیوم دیزاینر یا هر نرم‌افزار مناسب دیگر را راه‌اندازی کنید.

۲ـ نقشه فنی مدار را در نرم‌افزار رسم کنید.
۳ـ طرح مدار چاپی نقشه را در ابعاد ۵cm× cm ۶ آماده کنید.
۴ـ طرح pcb و نقشه شماتیک را ذخیره کنید.
۵ـ از طرح pcb پرینتی تهیه کنید.
۶ـ با رعایت کلیه نکات ایمنی، طرح pcb را با روش مناسب به روی فیبر انتقال دهید.
۷ـ برد آماده شده را اسیدکاری کنید. پس از پایان اسیدکاری، با احتیاط برد را از اسید بیرون کشیده و با استفاده از مواد پاک‌کننده اقدام به تمیز کردن خطوط مشکی نمایید تا مس زیر آن ظاهر شود.

**نکات مهم هنگام اسید کاری**

- ☑ استفاده از دستکش را فراموش نکنید.
- ☑ چنانچه اسید با پوست‌تان برخورد کرد فوراً محل را با آب بشویید.
- ☑ هنگامی که آب داغ را روی پودر اسید می‌ریزید صورت‌تان را دور نگه داشته و بخار تولید شده را تنفس نکنید.
- ☑ چون حرارت سرعت عمل اسیدکاری را افزایش می‌دهد، می‌توانید در داخل ظرفی آب‌گرم بریزید و سپس مانند شکل ۸۶ ـ۴ ظرف اسید را در داخل آن قرار دهید.

شکل ۸۶ـ۴ـ آماده‌سازی اسید

نکته

به یاد داشته باشید لکه‌های اسید بر روی موزاییک و سرامیک باقی می‌مانند. پس قبل از شروع عملیات اسیدکاری به این موضوع دقت داشته باشید و مکان مناسب را انتخاب کنید. با یک ورقه کارتون یا پلاستیک محل کار را پوشش دهید.

فکر کنید

اگر پس از قراردادن فیبر مسی در اسید آن را تکان ندهید لایه مس از بین نمی‌رود. چرا؟ از مربی خود کمک بگیرید.

کار عملی ۱۴

## سوراخ‌کاری فیبر مدار چاپی تقویت‌کننده ۱۰ وات

**مواد، ابزار و تجهیزات:** مینی‌دریل، یونولیت یا هر مورد مشابه آن ـ مته با اندازه مناسب

**مراحل اجرای کار:**

همان‌طور که قبلاً اشاره شده بود، برای سوراخ‌کاری بُرد باید از دریل(Drill) استفاده‌کنید. همچنین درصورت‌امکان می‌توانید مینی‌دریل (Mini ـ Drill) آماده را مورد استفاده

شکل ۸۷ـ۴ـ یک نمونه مینی دریل

قرار دهید. شکل ۸۷ ـ۴ نمونه‌ای از مینی دریل موجود در بازار را نشان می‌دهد.

در سوراخ‌کاری به نکات زیر دقت نمایید:

- ☑ یک صفحه یونولیت یا هر صفحه‌ای شبیه آن را زیر فیبر قرار دهید تا پس از سوراخ شدن فیبر و خروج مته از آن، سطح زیر آن آسیب نبیند.
- ☑ از مته‌های کند استفاده نکنید. چنانچه مته کُند باشد باید فشار بیشتری برای سوراخ‌کاری به دریل اعمال نمایید. در این شرایط پس از سوراخ شدن فیبر، روی فیبر کمی برجسته می‌شود. این موضوع علاوه بر زشت‌شدن ظاهر فیبر، انتقال طرح را روی فیبر مشکل می‌کند.
- ☑ برای پایه‌های قطعاتی مانند خازن، مقاومت و ترانزیستورهای معمولی، از مته ۰/۸ یا یک و برای قطعاتی مانند رله، ترانزیستورهای قدرت، رگولاتورهای ولتاژ با جریان بالا، از مته‌های بالاتر از یک و مناسب با قطر پایه استفاده کنید.
- ☑ ابتدا دریل را کاملاً عمودی روی فیبر نگه‌دارید، سپس سوراخ‌کاری کنید.

**پرسش :**

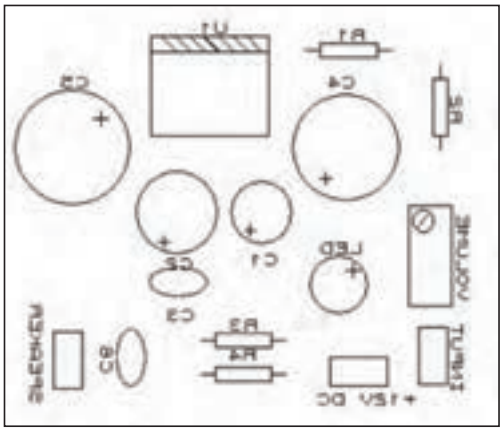
در کارخانه‌ها و کارگاه‌های طراحی و ساخت مدارچاپی، سوراخ‌کاری فیبر مدارچاپی چگونه انجام می‌شود؟

ایمنی

در حین سوراخ‌کاری، براده‌های فیبر به اطراف می‌ریزند. دقت داشته باشید که برای اجرای پروژه باید مکان مشخص و مخصوص را در نظر بگیریم. هرگز در اتاق و روی فرش اقدام به اسیدکاری و سوراخ‌کاری نکنید. خود را ملزم کنید تا از همین امروز (و نه فردا) قوانین هر کار را رعایت کنید و منظم عمل کنید. نظم یکی از رموز موفقیت در کار است.

## ۱۹ـ۴ طرح روی فیبر مدارچاپی (راهنمای نصب قطعات)

پس‌از اتمام سوراخ‌کاری، باید طرح روی فیبر را منتقل کنید. طرح روی فیبر برای نشان‌دادن محل قرارگرفتن قطعات است. با چاپ این طرح به‌راحتی می‌توانید محل قرارگرفتن قطعات مختلف را روی فیبر پیدا کنید. نقشه روی فیبر را با اتو بر روی فیبر منتقل کنید. انجام این مرحله مانند منتقل‌کردن نقشه پشت فیبر است. در این قسمت نهایت دقت را به خرج دهید تا نقشه در محل صحیح خود قرار گیرد. گذاشتن نقشه روی فیبر و گرفتن آن جلوی نور کمک زیادی در این امر به شما می‌کند. شکل ۸۸ ـ۴ طرح روی فیبر مدار چاپی تقویت‌کننده را نشان می‌دهد. در



شکل ۸۸ـ۴ـ طرح روی فیبر مدار چاپی

این طرح از ولوم برای کنترل شدت صدا و از LED برای نشان دادن اتصال برق به منبع تغذیه استفاده شده است.

فیلم

فیلم مونتاژ قطعات را ببینید.

## مونتاژ قطعات

با توجه به نقشه شماتیک پروژه فهرستی از قطعات مورد نیاز تهیه کنید. قطعات مورد نیاز برای این پروژه در جدول ۷ـ۴ آورده شده‌اند.

**جدول ۷ ـ ۴ ـ قطعات مورد نیاز پروژه تقویت‌کننده صوتی**

| قطعه | | تعداد |
|---|---|---|
| آی سی | TDA۲۰۰۳ | ۱ |
| خازن | ۱۰۰nF | ۲ |
| | ۱۰۰۰µF | ۱ |
| | ۱۰۰µF | ۱ |
| | ۴۷۰µF | ۱ |
| | ۱۰µF | ۱ |
| بلندگو | ۴ اهم | ۱ |
| ولوم (درصورت استفاده) | ۱۰KΩ | ۱ |
| مقاومت ثابت | ۱Ω | ۱ |
| | ۲۲۰Ω | ۱ |
| | ۲/۲ Ω | ۱ |

فکر کنید

چنانچه در محیطی کار می‌کنید که قطعات و وسایل مختلفی در اختیار شما است، به این نکته دقت داشته باشید که امانت‌داری را رعایت نمایید. این اصل مهم را همیشه در زندگی به یاد داشته باشید که هر عملی عکس‌العملی دارد. یعنی هر کاری کنیم نتیجه آن دیر یا زود به سمت خودمان بر می‌گردد. یکی از محیط‌ها در حال حاضر همین هنرستان شما است. در نگهداری فضا، تجهیزات و اموال هنرستان کوشا باشید.

## نکات مهم هنگام مونتاژ قطعات

- به ولتاژ کار خازن‌ها دقت کنید. استفاده از خازنی با ولتاژ کار پایین‌تر از مقادیر ذکر شده سبب آسیب دیدن آن می‌شود. همچنین چون خازن‌های با ولتاژ کار بالاتر دارای ابعاد بزرگ‌تری هستند استفاده از آنها ممکن است مشکل ایجاد کند. بنابراین باید از خازن مناسب از نظر ولتاژ و ابعاد استفاده کنید.
- به پلاریته (مثبت و منفی) قطعات هنگام قرار دادن آنها در سوراخ‌های فیبر مدارچاپی دقت کنید. این

یکی از اشتباهات متداول هنگام مونتاژ توسط افراد تازه‌کار است. طرح روی فیبر این امکان را به شما می‌دهد تا به راحتی پلاریته قطعات را بیابید.

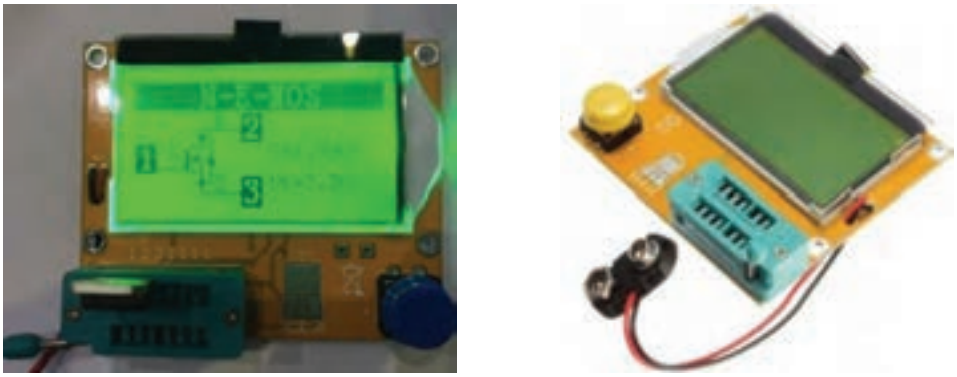
☑ سعی کنید ابتدا هر قطعه را در جایگاه خود قرار دهید و لحیم کنید سپس اقدام به مونتاژ قطعه بعدی نمایید. در این شرایط فرایند مونتاژ با دقت بیشتری صورت می‌گیرد.

## بررسی صحت قطعات

این مهم را به خاطر داشته باشید، که اگر در فرایند ساخت یک پروژه از قطعات مستعمل و قدیمی استفاده می‌کنید، حتماً قبل از مونتاژ، آن را آزمایش کنید. چنانچه قطعات مورد نظر مقاومت، خازن، سیم‌پیچ، دیود یا ترانزیستور باشد، می‌توانید با استفاده از مولتی‌متر به صحت آنها پی‌ببرید. قطعات الکترونیک صنعتی را نیز می‌توانید با همین روش آزمایش کنید. اما دقت داشته باشید که چنانچه این قطعات جریان بالا باشند، نمی‌توان آنها را توسط مولتی‌متر آزمایش کرد. چرا؟

توجه: سلامت آی‌سی‌ها را نمی‌توان با مولتی متر مورد بررسی قرار داد. برای مثال صحت کار آی‌سی تقویت‌کننده صوتی در این پروژه فقط در مدار امکان‌پذیر است.

نکته: لازم به ذکر است که برای آزمایش قطعات، مدارها و دستگاه‌هایی در بازار موجود است. شکل ۸۹ـ۴ نمونه‌هایی از این نوع دستگاه‌ها را نشان می‌دهد که برای آزمایش قطعات دو و سه پایه به‌کار می‌رود.



**شکل ۸۹ـ۴ـ آزمایش کننده قطعات**

## چگونگی فرم‌دهی و نصب قطعات

قبل از قراردادن قطعات در سوراخ‌های برد، باید پایه‌های آنها را خم کنید و فرم دهید. مثلاً اگر می‌خواهید مقاومت را مونتاژ کنید، ابتدا پایه‌ها را به‌سمت پایین خم کنید، سپس داخل سوراخ‌های بُرد قرار دهید. از پشت فیبر (سمت مس)کمی پایه‌های آن را خم کرده و لحیم‌کاری را انجام دهید. پس از آن با سیم‌چین قسمت اضافی پایه‌ها را قطع کنید.

فکر کنید

آیا از ناخن‌گیر می‌توان به جای سیم‌چین استفاده کرد. چرا؟

☑ اگر همه قطعات را در جای خود قرار دهید و سپس اقدام به لحیم‌کاری هم‌زمان قطعات کنید، چه مشکلاتی پیش می‌آید؟

پس از اتمام لحیم‌کاری قطعات، سیم‌های مربوط به تغذیه، ورودی و خروجی صدا را نیز در جای خود لحیم کنید. نکته‌ای که باید به آن توجه داشته باشید، استفاده از سیم با دو رنگ متفاوت برای تغذیه (مثبت ومنفی) و ورودی (مثبت و منفی) و خروجی است. مثلاً در تمام پروژه خود سیم با رنگ مشکی را برای منفی در نظر بگیرید. در شکل ۴ـ۹۰ مدار مونتاژ شده پروژه را مشاهده می‌نمایید. به‌علت عبور جریان از آی‌سی TDA۲۰۰۳ حرارت تولید می‌شود، به همین دلیل باید بر روی آن گرماگیر (Heat-sink) نصب کرد. شکل ۴ـ۹۱ نمونه‌ای از یک هیت سینک را نشان می‌دهد که برای این آی‌سی مناسب است. در بازار، این مدل را گرماگیر تراشه‌ای می‌نامند.

شکل ۴ـ۹۰ـ مدار مونتاژ شده تقویت‌کننده

شکل ۴ـ۹۱ـ گرماگیر

نکته

هنگام طراحی مدار چاپی در نرم‌افزار، به این نکته توجه کنید که اگر قرار است گرماگیر روی قطعه‌ای نصب شود، باید فضای مورد نیاز را برای آن درنظر بگیرید.

**بارش فکری:**

به سؤالات زیر به صورت بارش فکری پاسخ دهید سپس نتایج را جمع‌بندی کنید.

اگر از گرماگیر استفاده نشود چه مشکلی در مدار به وجود خواهد آمد؟

گرماگیرها عموماً از چه موادی ساخته می‌شوند؟ دلیل انتخاب این مواد چیست؟

## ۴ـ۲۰ آلاینده‌های برد

پس از اتمام مونتاژ کاری به علت استفاده از روغن لحیم، مقداری مواد روغنی پشت برد باقی می‌ماند. این مواد علاوه بر نازیباکردن کار، در بسیاری از مدارها باعث ایجاد اشکال در عملکرد صحیح مدار نیز می‌شوند. همچنین وجود گرد و غبار در دستگاه‌های الکترونیکی نیز یکی از مواردی است که باید به آن توجه نمود.

### تمیزکاری بُرد مونتاژ شده

همان‌طور که اشاره شد پس از پایان مونتاژکاری برد و نصب قطعات، به دلیل استفاده از هویه، لحیم و روغن لحیم، سطح کار آلوده می‌شود. این آلودگی‌ها کیفیت عملکرد مدار را کاهش داده و حتی ممکن است عیب

اساسی در عملکرد مدار ایجاد کند. مثلاً در ساخت یک ساعت اگر پشت فیبر مدار چاپی تمیز نباشد ممکن است ساعت کندتر یا تندتر بشمارد، یا در یک تقویت‌کننده صوتی سبب اغتشاش در خروجی شود. بنابراین پس از اتمام کار مونتاژ، حتماً باید با استفاده از مواد مخصوص فیبر را پاک کنیم. اسپری‌های مختلفی در بازار برای این کار موجود است. در شکل ۹۲ـ۴ نمونه‌ای از اسپری‌های موجود را مشاهده می‌کنید که در دو نوع خشک و چرب عرضه می‌شوند. نوع خشک برای تمیز کردن فیبر مدار چاپی که روغنی شده‌اند مناسب است. نوع چرب برای روان‌کاری و از بین بردن اکسیدها در کلیدها، رله‌ها و این قبیل قطعات به‌کار می‌رود. پس‌از مونتاژکاری، به مقدار کافی پشت فیبر را اسپری بپاشید. سپس آن را با برس یا مسواک پاک کنید. برای این کار می‌توانید از یک مسواک مستعمل استفاده نمایید و آن را برای همین کار در جعبه ابزار خود قرار دهید. برس زنی را آن‌قدر ادامه دهید تا سطح کار تمیز و کاملاً خشک شود.

**شکل ۹۲ـ ۴ـ دونوع اسپری موجود در بازار**

ایمنی

به علت وجود مواد شیمیایی در ترکیبات اسپری‌ها، هنگام استفاده، از تنفس آنها خودداری کنید، برای این منظور از ماسک مناسب استفاده نمایید.

پژوهش

در الکترونیک از چه نوع اسپری‌هایی استفاده می‌کنند؟ در این زمینه تحقیق کرده و نتیجه را به کارگاه ارائه دهید.

| ردیف | نام اسپری | حدود قیمت | کاربرد |
|---|---|---|---|
| ۱ | | | جلوگیری از اکسید شدن مسیرها در فیبر مدار چاپی |
| ۲ | | | |
| ۳ | | | |
| ۴ | | | |

## الگوی پرسش

۱ـ استفاده از هویه کم‌وات یا پُروات (نا مناسب) برای مونتاژ قطعات الکترونیکی سبب لحیم سرد یا سوختن قطعات می‌شود. صحیح ☐ غلط ☐

۲ـ چه مته‌هایی برای سوراخ‌کاری بردهای الکترونیکی مناسب هستند؟ هر کدام برای پایه‌های چه قطعاتی مناسب‌اند؟

۳ـ اسیدهای مدارچاپی در چند نوع عرضه می‌شود؟ چگونگی استفاده از هرکدام را شرح دهید.
۴ـ آی‌سی TDA۲۰۰۳ از چه مدل بسته‌بندی استفاده می‌کند؟ مشخصات این قطعه را نام ببرید.
۵ـ مراحل ساخت یک مدار، از طراحی پشت فیبر توسط نرم‌افزار تا پایان مونتاژکاری را به‌ترتیب در یک روندنما (Flowchart) نشان دهید.
۶ـ معنی لغات زیر را به فارسی بنویسید.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Feedback | | Pre Amplifier | |
| Speaker | | Mono | |

۷ـ تقویت‌کننده‌ای که دارای یک ورودی و یک خروجی جداگانه برای تقویت سیگنال صوتی است..... نام دارد.
۸ـ تقویت‌کننده‌ای که دارای دو ورودی و دو خروجی جداگانه برای تقویت سیگنال صوتی است..... نام دارد.
۹ـ آیا از روی ظاهر مقاومت و خازن می‌توان به سالم بودن تقریبی آن پی برد؟ چگونه؟
۱۰ـ برای پی بردن به سالم یا معیوب بودن یک آی‌سی چه باید کرد؟
۱۱ـ برای تمیز کردن داخل یک ولوم که گرد و غبار گرفته است از چه اسپری باید استفاده کرد؟

## ۲۱ـ۴ معرفی چند پروژه کاربردی

### ساخت مدار کلید الکترونیکی

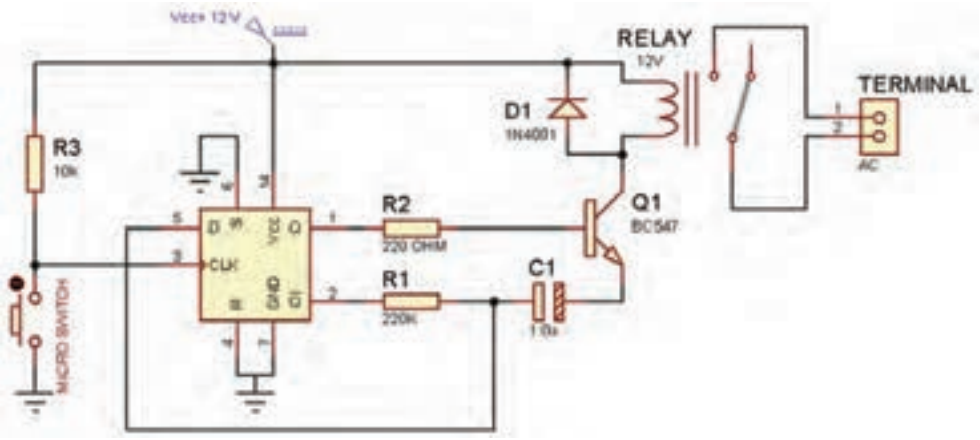
برای قطع و وصل وسایل الکترونیکی و الکتریکی از قطعه‌ای به نام کلید (Switch) استفاده می‌شود که قطعاً با آنها آشنا هستید. برای روشن و خاموش کردن پروژه‌هایی که می‌سازید باید از کلیدهای قطع و وصل (OFF-ON) مختلفی که در بازار وجود دارند استفاده کنید. در شکل ۴ـ۹۳ دو نمونه کلید را مشاهده می‌کنید.

شکل ۴ـ۹۳ـ کلید قطع و وصل مدار

اگر به کنترل تلویزیون دقت کرده باشید می‌بینید که با فشار دکمه روشن و خاموش (POWER)، دستگاه روشن‌شده و با فشار مجدد آن خاموش می‌شود. چنانچه مداری بسازیم که به این‌صورت عمل کند، به آن کلید قطع‌و وصل الکترونیکی می‌گویند. در این پروژه با یک سوئیچ الکترونیکی آشنا خواهید شد که کاربردهای فراوانی دارد.

### نقشه فنی مدار

در شکل ۴ـ۹۴ مدار مورد نظر را مشاهده می‌کنید. در این پروژه آی‌سی CD۴۰۱۳ استفاده شده است. با این آی‌سی می‌توان دو سوییچ دیجیتال ساخت و به‌طور جداگانه به هر کدام فرمان لازم را برای انجام کاری داد. قسمتی از مدار که با نام پایانه (Terminal) مشخص شده است، به عنوان کنتاکت‌های کلید هستند که




**شکل ۹۴ـ۴ـ نقشه شماتیک مدار کلید الکترونیکی**

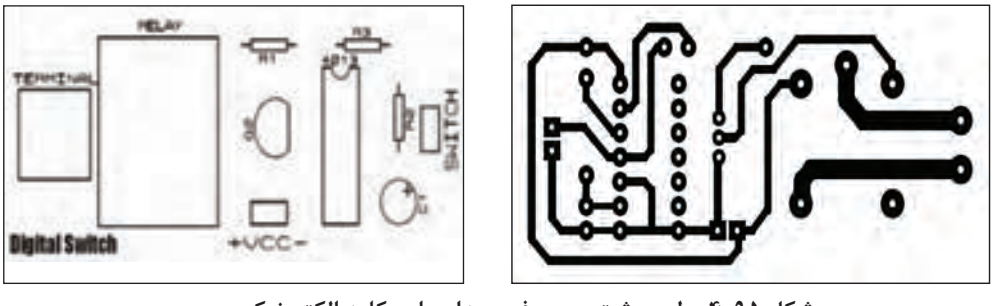
در مدار قرار می‌گیرند و وسیله‌ای را قطع و وصل می‌کنند. این کنتاکت‌ها می‌توانند به وسایل مختلف با ولتاژ کم یا ولتاژ زیاد متصل شوند (با مراجعه به برگه اطلاعات رله می‌توانید جریان و ولتاژ قابل تحمل کنتاکت‌های رله و بوبین را پیدا کنید). جدول ۸ـ۴ فهرست قطعات مورد نیاز این مدار را نشان می‌دهد.

**جدول ۸ـ۴ قطعات مورد نیاز برای ساخت مدار کلید الکترونیکی**

| قطعه | تعداد | توضیحات | قطعه | تعداد |
|---|---|---|---|---|
| آی‌سی CD۴۰۱۳ | ۱ | | مقاومت ۲۲۰Ω | ۱ |
| رله | ۱ | ۱۲ ولتی | مقاومت ۲۲۰kΩ | ۱ |
| ترانزیستور معمولیNPN | ۱ | مثل C۹۴۵:,BC۱۰۷ | خازن ۱µf | ۱ |
| مقاومت ۱۰kΩ | ۱ | | کلید فشاری برای نصب روی جعبه | ۱ |

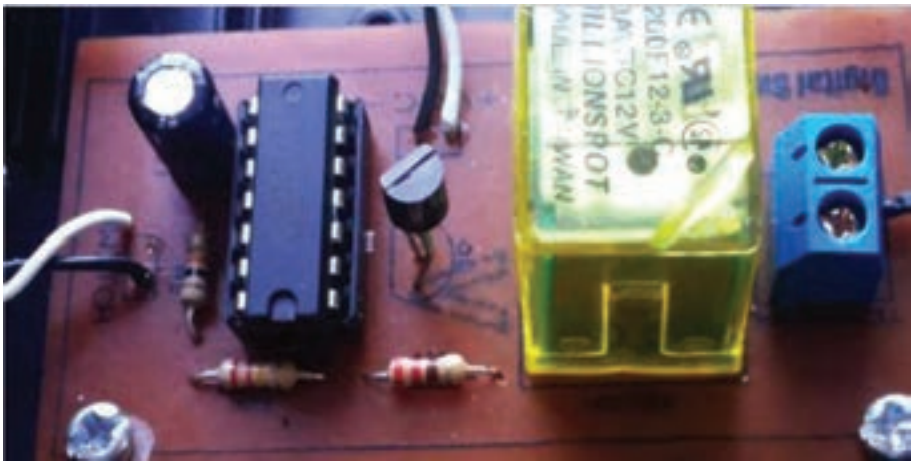
## طراحی پشت و روی فیبر مدار چاپی

نمونه‌ای از طرح پشت و روی فیبر مدار چاپی را در شکل ۹۵ـ۴ ملاحظه می‌نمایید.




**شکل ۹۵ـ۴ـ طرح پشت و روی فیبر مدار چاپی کلید الکترونیکی**

کلید فشاری به قسمت switch روی فیبر متصل می‌شود. کانکتور (terminal) هم برای اتصال به وسیله‌ای است که قصد قطع و وصل آن را دارید. شکل ۹۶ـ۴ مدار مونتاژ شده را مشاهده می‌نمایید.



**شکل ۹۶ـ۴ـ مدار مونتاژ شده کلید الکترونیکی**

## پروژه تشخیص ورود افراد ناشناس

شما با چگونگی عملکرد دزدگیر اتومبیل تا حدود زیادی آشنایی دارید. در دزدگیرهای ساده خودرو، با بازشدن در، کلید نصب شده روی در عمل می‌کند و آژیر(Siren) را به صدا درمی‌آورد. در پروژه‌ای که قصد انجام آن را داریم می‌خواهیم با استفاده از سنسور(Sensor) تشخیص حرکت انسان، اقدام به ساخت سیستم ورود افراد ناشناس کنیم.

**سنسور چیست؟** سنسور قطعه‌ای است که کمیتی فیزیکی را حس می‌کند و آن را به کمیتی الکتریکی تبدیل می‌کند. مثلاً سنسور دما، حرارت محیط را حس کرده و آن را به ولتاژ یا به هر کمیت دیگر الکتریکی مانند فرکانس یا مقاومت تبدیل می‌کند.

شکل۹۷ـ۴ چند مدل سنسور دما را نشان می‌دهد. این سنسورها، در ورودی کمیت دما را حس نموده و آن را درخروجی به تغییر مقاومت، تغییر ولتاژ یا تغییر فرکانس تبدیل می‌کنند.

در جدول ۹ـ۴ تعدادی سنسور پرکاربرد معرفی شده‌اند.

پ) SMT۱۶ خروجی فرکانس

ب) LM۳۵ خروجی ولتاژ

الف) NTC خروجی مقاومت

**شکل ۹۷ـ۴ـ چند نمونه سنسور**

**جدول ۹ـ۴ تعدادی سنسور پر کاربرد**

| نام سنسور | کاربرد | شکل ظاهری | مشخصات |
|---|---|---|---|
| SHT۱۱ | سنسور رطوبت | | ولتاژ کاری: ۲/۴ تا ۵/۵ ولت<br>(ولتاژ پیشنهادی:۳/۳ ولت)<br>خروجی دیجیتال |
| MQ_۴ | سنسور گاز<br>(آشکار ساز گاز متان) | | ولتاژ هیتر: ۵ ولت AC یا DC<br>توان مصرفی: ۷۵۰ میلی وات |
| TSL۲۳۰ | سنسور تشخیص رنگ<br>(نوعی مبدل نور به فرکانس) | | قابلیت اتصال مستقیم به میروکنترلرها<br>قابلیت کارکرد با ولتاژهای پایین از ۲/۷ ولت |

جست و جو

با جست‌وجو در اینترنت ۵ نوع سنسور مختلف را که در جدول ۹ـ۴ نیامده است، شناسایی کرده و مشخصات آنها را بیابید. سپس جدول ۱۰ـ۴ را تکمیل کرده و ارائه دهید.

**جدول ۱۰ـ۴**

| ردیف | نام سنسور | کاربرد | نوع خروجی |
|---|---|---|---|
| ۱ | | | |
| ۲ | | | |
| ۳ | | | |
| ۴ | | | |
| ۵ | | | |

در این پروژه از یک ماژول (Module) استفاده می‌کنیم که یک سنسور تشخیص حرکت انسان روی آن نصب است و کار را برای کاربر راحت کرده است. ماژول در واقع یک مدار یک‌پارچه و آماده است که کار خاصی را

فعالیت

با مراجعه به برگه اطلاعات یک نمونه ماژول سنسور رطوبت یا گاز، مشخصات آن را استخراج کنید و در قالب یک گزارش ارائه دهید.

انجام می‌دهد. با ترکیب ماژول‌ها می‌توانیم یک سامانه کامل بسازیم و یک فعالیت کامل را اجرا کنیم.

**اجزای یک نمونه ماژول (Module):** معمولاً ماژولی که پدیدهٔ فیزیکی را کنترل می‌کند، یک سنسور دارد که می‌تواند کمیتی را حس کند، سپس با استفاده از مدارهای مختلف، کمیت حس شده را به سیگنالی آنالوگ یا دیجیتال تبدیل می‌کند. مثلاً ماژول تشخیص گاز خانگی که با استفاده از سنسور MQ۵ ساخته شده است می‌تواند گاز طبیعی، گازمایع یا گاز شهری را حس کند. با حس کردن گاز ولتاژ آنالوگ پایه خروجی افزایش می‌یابد. این ماژول را در شکل ۹۸ـ۴ مشاهده می‌نمایید. ماژول‌های بسیاری در بازار با قیمت‌های پایین وجود دارند که کار را برای کاربران بسیار آسان کرده‌اند. در جدول ۱۱ـ۴ تعدادی ماژول موجود در بازار معرفی شده‌اند.

شکل ۹۸ـ۴ـ ماژول تشخیص گاز خانگی

**جدول ۱۱ـ۴ تعدادی ماژول متداول در بازار**

| نام ماژول | شکل ظاهری |
|---|---|
| تشخیص اثر انگشت (اسکنر انگشت) | |
| ماژول تشخیص سطح آب | |
| ماژول تشخیص رطوبت HR۲۰۲ | |
| ماژول WiFi | |

پژوهش

با جست‌وجو در اینترنت و سایت‌هایی که فروش اینترنتی قطعات الکترونیکی را انجام می‌دهند، نام حداقل ۵ ماژول را پیدا کرده و در کارگاه مطرح نمایید. سپس در مورد کاربردهای هر کدام با مربی و هم‌کلاسی‌های خود گفت‌وگو کنید.

## ماژول تشخیص حرکت انسان

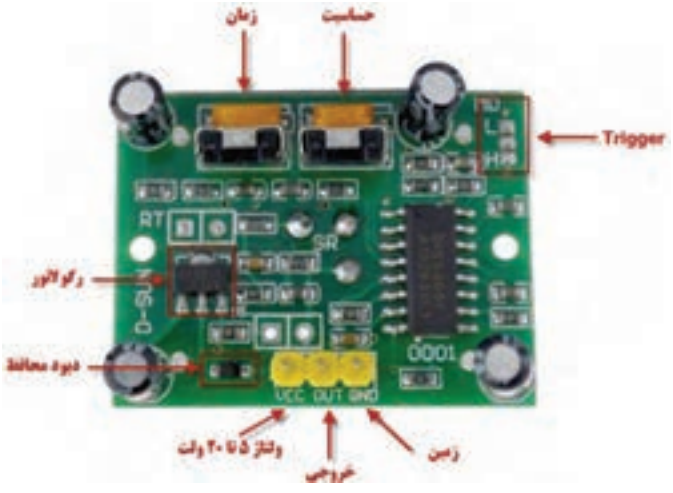
ماژول‌های مختلفی در بازار برای این کاربرد یافت می‌شوند. به‌عنوان مثال در شکل ۹۹ـ۴ دو مورد از این ماژول‌ها را مشاهده می‌نمایید.

شکل ۹۹ـ۴ـ دو مورد از ماژول‌های تشخیص حرکت انسان HC-SR ۵۰۵ - HC-SR ۵۰۱)

## معرفی ماژول HC_SR۵۰۱

HC_SR۵۰۱ یک ماژول تشخیص حرکت انسان است.

سنسور PIR مخفف شده کلمات Pyroelectric ("Passive") InfraRed است. بدن انسان حرارت دارد. این حرارت تولید امواج مادون‌قرمز (Infra Red) می‌کند و سنسور تعبیه شده روی این ماژول امواج مادون قرمز را تشخیص می‌دهد. با تشخیص حضور یک انسان توسط این سنسور، پایه خروجی این ماژول برای مدت زمانی خاصی ولتاژ ۳/۳ ولت را خواهد داشت و سپس صفر می‌شود. زمان توسط پتانسیومتری که روی ماژول قرار دارد قابل تنظیم است.




شکل ۱۰۰ـ۴ـ ماژول HC-SR ۵۰۱

**☑ برخی کاربرد این ماژول**

الف) سیستم‌های حفاظتی، امنیتی و تشخیص ورود افراد

ب) روشنایی خودکار محیط

پ) در اتوماتیک فروشگاه‌ها، بانک‌ها

**☑ مشخصات ماژول**

- **ولتاژ کار:** ۵ تا ۲۰ ولت
- **ابعاد:** ۲۴×۳۲ میلی‌متر
- **زاویه تشخیص:** حدود ۱۱۰ درجه
- **مسافت قابل تشخیص:** حدود ۳ متر تا ۷متر (که توسط پتانسیومتر روی ماژول قابل تنظیم است.)

قابلیت تنظیم زمان فعال بودن خروجی توسط پتانسیومتر روی ماژول شکل ۱۰۰ـ۴ این ماژول را نشان می‌دهد.

فعالیت

با مراجعه به برگه اطلاعات ماژول، سایر مشخصات آن را استخراج کنید و در قالب یک گزارش ارائه دهید.

**تنظیم ماژول:** با چرخاندن پتانسیومتر حساسیت به سمت راست، حساسیت ماژول کم می‌شود. با تنظیم این پتانسیومتر می‌توان قابلیت تشخیص را از ۳ متر تا حداکثر ۷ متر تغییر داد. همچنین با تنظیم پتانسیومتر زمان، می‌توان زمان خروجی را برای مدت زمان‌های مختلفی در وضعیت ۳/۳ ولت نگه‌داشت. چنانچه این پتانسیومتر در کمترین مقدار قرار گیرد (به‌سمت راست) پس از تشخیص انسان حدود ۳ ثانیه پایه خروجی ماژول در ولتاژ ۳/۳ ولت قرار می‌گیرد سپس صفر می‌شود. اما اگر این پتانسیومتر به سمت چپ چرخانده شود این زمان تا چند دقیقه قابل افزایش است (حدود ۵ دقیقه).

اگر در قسمت Trigger پایه وسط را به پایه H وصل کنید، خروجی ماژول پس از تشخیص انسان، وصل شده و همواره در ۳/۳ ولت باقی می‌ماند.

**الگوی پرسش**

۱ـ نقش دیود محافظ که در ورودی ماژول HC ـ SR۵۰۱ به‌صورت سری نصب شده چیست؟

۲ـ به چه دلیل در ماژول HC ـ SR۵۰۱ از رگولاتور استفاده شده است؟

۳ـ در صورت تشخیص انسان توسط ماژول معرفی شده، پایه خروجی..... ولت می‌شود.

۴ـ زاویه تشخیص ماژول معرفی شده حدود..... درجه است.

پژوهش

درمورد تفاوت ماژول HC-SR۵۰۱ و HC-SR۵۰۵ تحقیق کنید و نتیجه را در قالب یک‌گزارش ارائه دهید.

## پروژه ساخت مدار تشخیص ورود افراد ناشناس

**مواد، ابزار و تجهیزات:** ماژول SR۵۰۵، آی‌سی ۵۵۵، بلندگو، مقاومت و خازن‌های موجود مدار، پین‌هدر (PinHeader)

در شکل ۴ـ۱۰۲ مدار تشخیص ورود افراد ناشناس رسم شده است. با ورود شخص به محل نصب ماژول خروجی آن ۳/۳ ولت خواهد شد. این ولتاژ باعث فعال شدن آی‌سی ۵۵۵ می‌شود که در مدار به‌عنوان آژیر (Siren) به‌کار رفته است و فرکانسی در محدوده شنوایی گوش انسان تولید می‌کند.

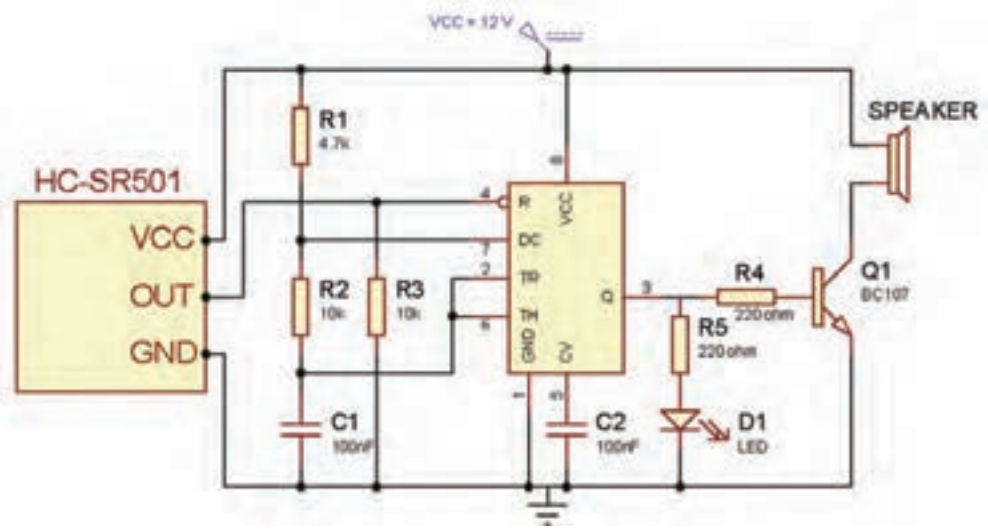
نکته

زمان فعال بودن آژیر، به تنظیم ولوم زمان روی ماژول بستگی دارد.

هنگام طراحی مدار چاپی این پروژه، از پین هدر (Pin Header) که نوعی مادگی سه پایه است استفاده کنید تا پس از مونتاژ، ماژول به‌راحتی روی آن نصب یا جدا شود. شکل ۴ـ۱۰۱ پین‌هدر نری و مادگی را نشان می‌دهد.

نری مادگی

شکل ۴ـ۱۰۱ـ پین هدر



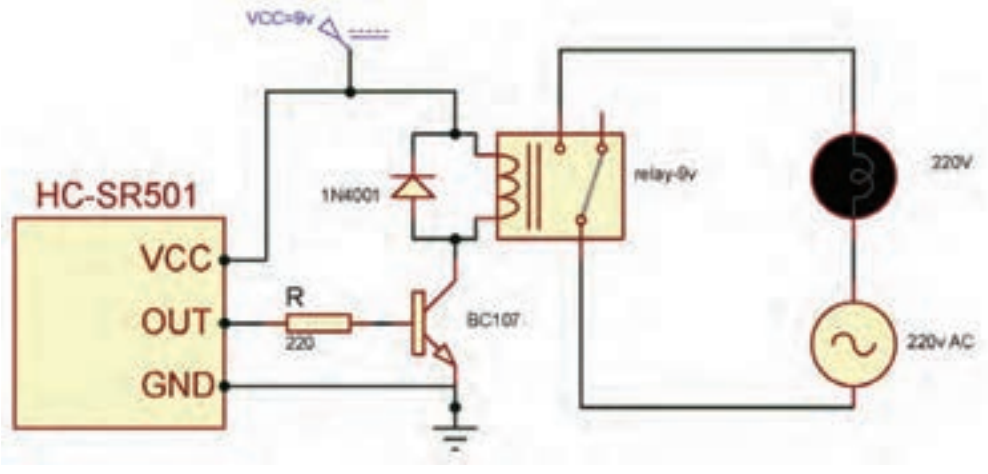

**شکل ۱۰۲ـ۴ـ مدار تشخیص ورود افراد**

**نکات مهم**

برای کالیبره کردن ماژول، لازم است پس از اتصال تغذیه، حدود یک دقیقه شخصی در محدوده دید آن قرار نداشته باشد. برای این کار می‌توانید یک کارتن روی آن قرار دهید.

۱ـ با اتصال تغذیه، آژیر به صدا در خواهد آمد حتی اگر شخصی هم در محدوده دید ماژول قرار نگرفته باشد.

۲ـ با استفاده از این ماژول به صورت شکل ۱۰۳ـ۴ می‌توان مدار روشنایی هوشمند نیز ساخت با ورود شخص به اتاق لامپ به‌طور خودکار روشن خواهد شد.




**شکل ۱۰۳ـ۴ـ مدار روشنایی خودکار محیط (اتاق، راهرو، راه‌پله آپارتمان‌ها و ...)**

**ایمنی**

چون ولتاژ ۲۲۰ ولت خطرناک است، ولتاژ تغذیه مدار روشنایی را ۱۲ولت درنظر گرفته‌ایم و به‌جای لامپ ۲۲۰ ولت از لامپ ۱۲ ولت خودرو استفاده کرده‌ایم.

## الگوی آزمون نظری پایان واحد یادگیری(۴)

۱ـ در یک آمپلی‌فایر صوتی ورودی معمولاً میکروفون و خروجی بلندگو است. صحیح ☐ غلط ☐

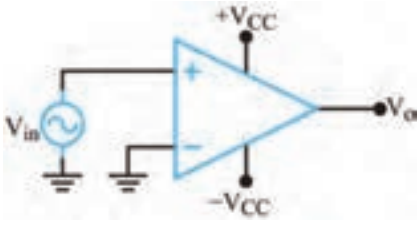
۲ـ انواع کوپلاژ را نام ببرید.کدام نوع کوپلاژ سیگنال DC را به راحتی عبور می‌دهد؟

۳ـ در کوپلاژ خازنی به علت وجود..... تلفات توان کم ☐ زیاد ☐ است.

۴ـ علامت اختصاری JFET با کانال N و P را رسم کنید و نام پایه‌های آن را بنویسید.

۵ـ در JFET ولتاژ بحرانی را تعریف کنید.

۶ـ شکل موج خروجی را در شکل ۴ـ۱۰۴ رسم کنید. نام مدار را بنویسید.



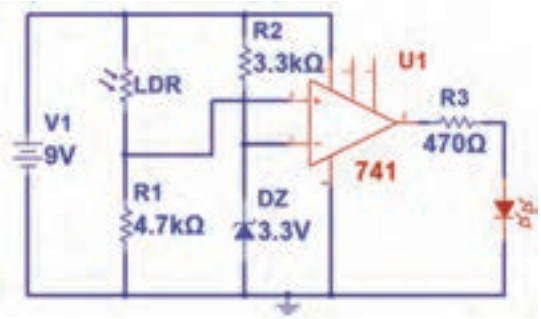
شکل ۴ـ۱۰۴

۷ـ مشخصات تقویت‌کننده عملیاتی ایده‌آل را بنویسید.

۸ـ در مدار مقایسه‌کننده سطح ولتاژ، ولتاژ مبنا معمولاً توسط .....و یا توسط ..... ایجاد می‌شود.

۹ـ ماژول SR۵۰۵ در تشخیص چه موردی به‌کار می‌رود؟ شرح دهید.

## الگوی آزمون عملی نرم‌افزاری پایان واحد یادگیری(۴)



شکل ۴ـ۱۰۵

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

۲ـ مدار شکل ۴ـ۱۰۵ را در محیط نرم‌افزار ببندید.

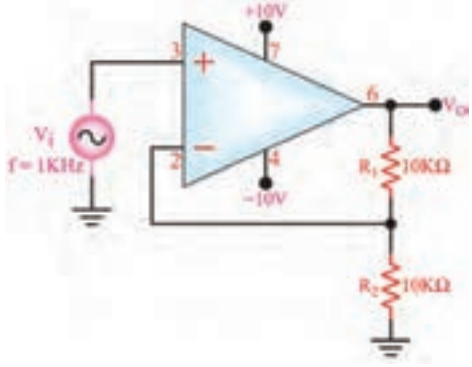
۳ـ مدار را راه‌اندازی کنید.

۴ـ با ولت‌متر نرم‌افزار ولتاژ مبنای مقایسه را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۵ـ در نور معمولی محیط آیا LED روشن است یا خاموش؟

۶ـ در چه شرایطی LED روشن می‌شود؟ این حالت را به اجرا درآورید.

## الگوی آزمون عملی با قطعات واقعی پایان واحد یادگیری(۴)



شکل ۴ـ۱۰۶ـ تقویت‌کننده غیرمعکوس‌کننده

۱ـ مدار شکل ۴ـ۱۰۶را روی بردبُرد ببندید.

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

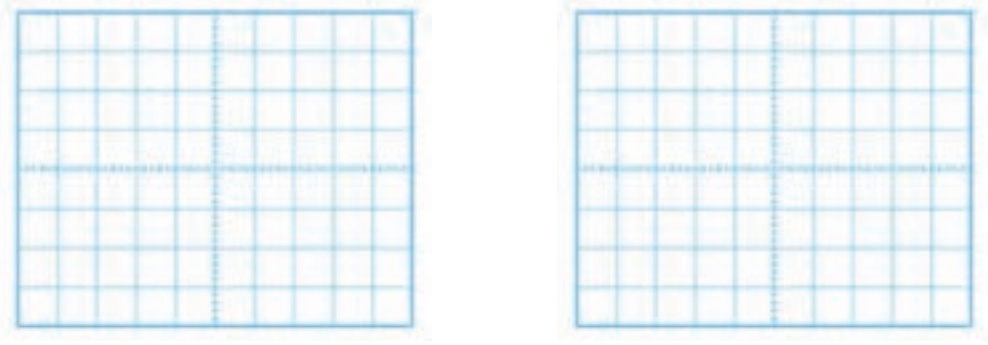
۳ـ به ورودی مدار یک سیگنال سینوسی با فرکانس ۱کیلوهرتز وصل کنید. دامنه سیگنال ورودی را طوری تغییر دهید که سیگنال خروجی دارای دامنهٔ ۵ ولت پیک‌تاپیک شود.

۴ـ دامنهٔ پیک‌تاپیک و اختلاف فاز ولتاژهای $V_O$ و $V_i$

را با استفاده از اسیلوسکوپ اندازه بگیرید سپس بهره ولتاژ مدار را به‌دست آورید و یادداشت کنید.

درجه ..... =$\Phi$ ، مرتبه ..... =$A_V$ ، ولت.....=$V_{O(PP)}$ ، ولت ..... = $V_{IN(PP)}$

۵ـ شکل موج سیگنال‌های ورودی و خروجی را هنگامی که $R1=47K\Omega$ است و خروجی دارای دامنه ۵ولت پیک‌تاپیک است، در نمودار شکل ۱۰۷ـ۴ با مقیاس مناسب رسم کنید. T/Vو T/D را روی محورها مشخص کنید.



**الف) شکل موج ورودی** **ب) شکل موج خروجی**

**شکل۱۰۷ـ۴**

۶ـ دامنهٔ پیک‌تاپیک و اختلاف فاز ولتاژهای$V_O$و $V_i$ را با استفاده از اسیلوسکوپ اندازه بگیرید سپس بهره ولتاژ مدار را به‌دست آورید و یادداشت کنید.

درجه ..... =$\Phi$ ، مرتبه ..... =$A_V$ ، ولت.....=$V_{O(PP)}$ ، ولت ..... = $V_{IN(PP)}$

## ارزشیابی شایستگی پروژه کاربردی آنالوگ

**شرح کار:** ۱ـ تشریح انواع کوپلاژ، تقویت‌کننده با FET ، عملکرد تقویت‌کننده تفاضلی و عملیاتی ۲ـ بستن مدار با FET ، تقویت کننده عملیاتی در نرم‌افزار و اندازه‌گیری کمیت‌ها ۳ـ بستن مدار تقویت‌کننده عملیاتی با قطعات واقعی و اندازه‌گیری کمیت‌ها ۴ـ آماده‌سازی طرح مدارچاپی پروژه ۵ـ مونتاژ قطعات روی فیبر ۶ـ تست صحت عملکرد بُرد مونتاژ شده

**استاندارد عملکرد:** شاخص‌ها: ۱ـ تشریح انواع کوپلاژ، تقویت‌کننده با FET ، عملکرد تقویت‌کننده تفاضلی و عملیاتی (۱۵دقیقه) ۲ـ بستن مدار با FET ، تقویت‌کننده عملیاتی در نرم‌افزار و اندازه‌گیری کمیت‌ها ( ۱۵دقیقه) ۳ـ بستن مدار تقویت کننده عملیاتی با قطعات واقعی و اندازه‌گیری کمیت‌ها (۳۰ دقیقه) ۴ـ آماده سازی طرح مدارچاپی پروژه (۱۰ دقیقه) ۵ـ مونتاژ قطعات روی فیبر (۳۰دقیقه) ۶ـ تست صحت عملکرد بُرد مونتاژشده (۳۰ دقیقه)

**شرایط انجام‌کار و ابزارو تجهیزات:** مکان مناسب انجام‌کار با کف عایق یا آنتی استاتیک ـ نور مناسب برای کارهای ظریف ـ ابعاد حداقل ۶ مترمربع و دارای تهویه یا پنجره ـ دمای طبیعی ($18^{\circ}c$ـ$27^{\circ}c$) و مجهز به وسایل اطفای حریق ـ میزکار استاندارد با ابعاد $L180 \times D80 \times H80\,cm$ ـ مجهز به فیوز حفاظت جان ـ فرد با لباس‌کار ـ انجام کار در حال نشسته یا ایستاده ـ رایانه ـ پرینتر ـ نرم‌افزارهای مناسب ـ برگه اطلاعات قطعات ـ لوازم‌التحریر ـ وسایل تهیه مدارچاپی ـ وسایل اسیدکاری ـ وسایل سوراخ‌کاری فیبر ـ وسایل مونتاژ ـ قطعات پروژه

**معیار شایستگی:**

| ردیف | مراحل کار | حداقل نمره قبولی از ۳ | نمره هنرجو |
|---|---|---|---|
| ۱ | تشریح انواع کوپلاژ، تقویت‌کننده با FET ، عملکرد تقویت‌کننده تفاضلی و عملیاتی | ۱ | |
| ۲ | بستن مدار با FET، تقویت کننده عملیاتی در نرم‌افزار و اندازه‌گیری کمیت‌ها | ۲ | |
| ۳ | بستن مدار تقویت‌کننده عملیاتی با قطعات واقعی و اندازه‌گیری کمیت‌ها | ۲ | |
| ۴ | آماده سازی طرح مدارچاپی پروژه | ۱ | |
| ۵ | مونتاژ قطعات روی فیبر | ۲ | |
| ۶ | تست صحت عملکرد بُرد مونتاژشده | ۲ | |
| **شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:** ۱ـ محافظت از دستگاه‌ها ۲ـ دقت و مسئولیت‌پذیری ۳ـ شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر ۴ـ اخلاق حرفه‌ای ۵ـ رعایت نکات زیست‌محیطی | | ۲ | |
| میانگین نمرات * حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد. | | | * |

# واحد یادگیری۵

# راه‌اندازی و عیب‌یابی پروژه آنالوگ

## آیا تا به حال فکر کرده‌اید؟

- چه روش‌هایی برای عیب‌یابی مدارهای الکترونیکی وجود دارد؟
- اتصال اشتباه تغذیه چه معایبی را در مدار ایجاد می‌کند؟
- چه دستگاه‌هایی برای عیب‌یابی مدارهای الکترونیکی مورد نیاز است؟
- استفاده از جعبه مناسب برای یک دستگاه چه اهمیتی دارد؟

در مراحل مونتاژ هر بُرد الکترونیکی ممکن است به‌دلیل اشتباهاتی که رخ می‌دهد، بُرد به‌درستی کار نکند. در این حالت عیب‌یابی بُرد اهمیت زیادی دارد. اگر فراگیران، اصول عیب‌یابی را به‌خوبی فراگیرند به‌آسانی می‌توانند روش آموزش داده شده برای عیب‌یابی را به سایر دستگاه‌های الکترونیکی نیز تعمیم دهند. همچنین لازم است بعد از مونتاژ هر بُرد، به‌منظور محافظت آن از عوامل محیطی و اتصال قطعات جانبی به آن، بُرد را در جعبه مناسب قرار دهند. در این واحد یادگیری، مدار تقویت‌کننده کامل صوتی را مورد بررسی قرار می‌دهید. سپس تقویت‌کننده را آزمایش و راه‌اندازی می‌کنید. در ادامه مدار پروژه را با اضافه کردن یک بُرد پخش صوت MP۳ تکمیل و جعبه مناسبی را برای آن انتخاب می‌نمایید. در تمام مراحل اجرای کار، رعایت نکات ایمنی و بهداشتی و شایستگی‌های غیرفنی مانند کارگروهی، رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها، دقت و تمرکز در اجرای کار باید مورد توجه قرار گیرد.

## استاندارد عملکرد

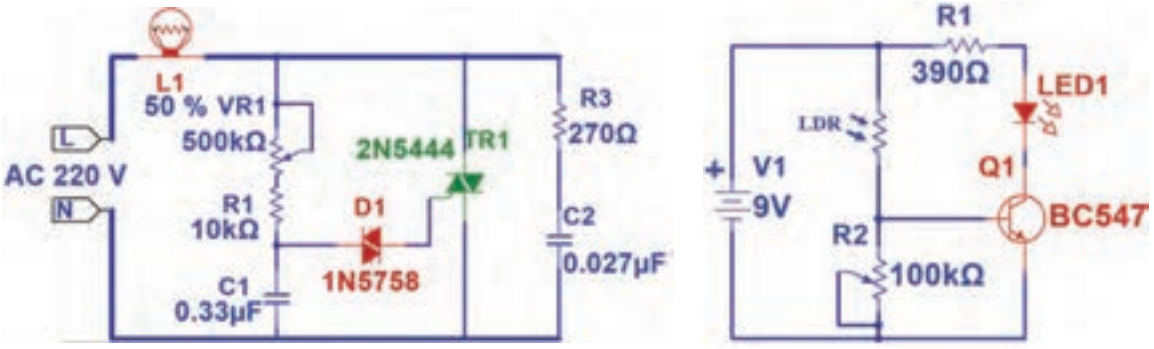
**راه‌اندازی و عیب‌یابی پروژه کاربردی آنالوگ با رعایت استانداردهای تعریف شده**

## ۱ـ۵ مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز

ابزار عمومی برق یا الکترونیک ـ لوازم‌التحریر ـ منبع تغذیه ـ مولتی‌متر ـ اسیلوسکوپ - سیگنال‌ژنراتور ـ بُرد مونتاژ شده پروژه ـ وسایل لحیم‌کاری ـ مواد پاک‌کننده ـ دریل ـ مته مناسب ـ قطعات الکترونیکی مورد نیاز (متناسب با نوع پروژه)

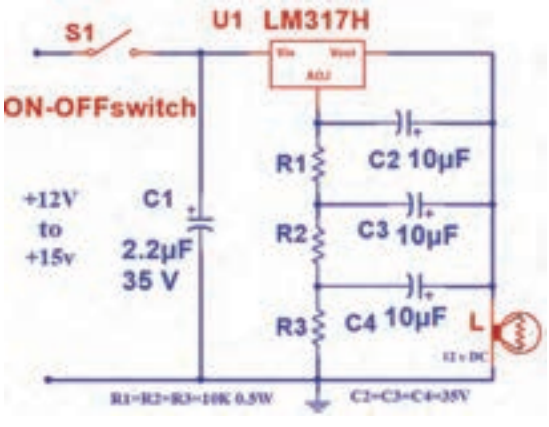
## ۲ـ۵ تغذیه مدارهای الکترونیکی

سامانه تغذیه یک مدار الکترونیکی از اجزای بسیار مهم آن است. به مدارهای شکل ۱ـ۵ دقت کنید. ولتاژهای تغذیه این مدارها از چه طریق تأمین می‌شود؟




شکل ۱ـ۵ـ دو نمونه نقشه مدار با تغذیه‌های متفاوت

در مدار «الف» از یک باتری به‌عنوان تغذیه استفاده شده است. باتری یکی از منابع تولید جریان مستقیم (DC) است. حتی اگر نماد مداری باتری هم وجود نداشت، باز هم از روی علامت + می‌توانستیم به ولتاژ DC تغذیه پی‌ببریم. در مدار «ب» دو ترمینال با نام‌های L و N وجود دارد. منظور از L فاز و N نول است. وجود فاز و نول نشانهٔ وجود ولتاژ AC است. علاوه بر این مورد مابین این دو ترمینال عبارت «AC ۲۲۰ v» را می‌توان دید که مشخص می‌کند ولتاژ تغذیه متناوب بوده و مدار با ولتاژ ۲۲۰ ولت راه‌اندازی می‌شود. گاهی در مدارها به جای یک ولتاژ، یک محدوده ولتاژ نوشته می‌شود. به مدار شکل ۲ـ۵ دقت کنید. این مدار می‌تواند با ولتاژی بین ۱۲ تا ۱۵ ولت کار کند.




شکل ۲ـ۵ـ تغذیه مدار در یک محدوده ۱۲ تا ۱۵ ولتی

**نکته:** توجه داشته باشید که همه ولتاژها به‌راحتی در دسترس نیستند. مثلاً کمتر ترانسفورماتوری یافت می‌شود که خروجی آن ۱۳ ولت باشد. اما ترانسفورماتور با ولتاژ خروجی ۱۲ ولت متداول است.

### جست‌وجو در اینترنت

با جست‌وجو در سایت‌های معتبر، چند مدار الکترونیکی بیابید که دارای محدوده ولتاژی وسیع مثلاً از ۹ تا ۲۰ ولت باشند.

### تغذیه مدار تقویت‌کننده

مدار تقویت‌کننده ۱۰ واتی ساخته‌شده در واحد یادگیری ۴ با ولتاژ ۱۲ ولت مستقیم کارمی‌کند.
پس از ساخت یک منبع تغذیه ۱۲ ولتی، ولتاژ خروجی آن را به وسیله ولت‌متر اندازه بگیرید، سپس منبع تغذیه را به مدار تقویت‌کننده وصل کنید.

نکته

برای تغذیه مدار از دو سیم با رنگ‌های متفاوت استفاده کنید. معمولاً از رنگ مشکی برای منفی و از رنگ سفید یا قرمز برای مثبت استفاده می‌شود.

## ۳ـ۵ تعیین ولتاژها و سیگنال‌های مدار

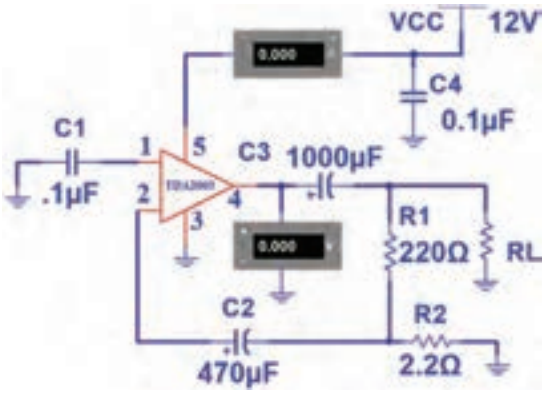
برای اطمینان از عملکرد صحیح مدار، اندازه‌گیری ولتاژها و سیگنال‌های قسمت‌های مختلف مدار، لازم است.
برای مشاهده سیگنال قسمتی از مدار باید از اسیلوسکوپ استفاده شود.

نکته

برای تعمیر مدارهای الکترونیکی، معمولاً ولتاژ نقاط مختلف مدار را نسبت به زمین(GND) اندازه‌گیری می‌کنند. اما گاهی لازم است ولتاژ دو نقطه (غیر از زمین) نسبت به‌هم اندازه‌گیری شوند. یکی از موارد متداول اندازه‌گیری ولتاژ بین کلکتور امیتر ترانزیستورها در مدارهای آنالوگ است.

### اندازه‌گیری ولتاژ و جریان مدار تقویت‌کننده ۱۰ وات

با استفاده از ولت‌متر و آمپرمتر می‌توانید به بررسی ولتاژ و جریان مدار بپردازید. برای این منظور می‌توانید با توجه به شکل ۳ـ۵ وسایل اندازه‌گیری را در مدار قرار دهید و ولتاژهای نقاط مختلف مدار را نسبت به زمین و جریان مدار را اندازه‌بگیرید. سپس مقادیر اندازه‌گیری شده را با مقادیر داده‌شده در جدول ۱ـ۵ مقایسه کنید. در جدول ۱ـ۵ ولتاژ تغذیه و جریان مدار مشخص شده است. اگر ولتاژ و جریان با مقادیر جدول هم‌خوانی داشته‌باشد مدار سالم است. اما اگر تفاوت زیاد باشد به معنی وجود عیب در مدار است.




شکل ۳ـ۵ـ مدار با دستگاه‌های اندازه‌گیری

**تمرین:** جدول ۱ـ۵ را ترجمه کرده و در جدول ۲ـ۵ یادداشت نمایید. از موارد مهم در رشته الکترونیک آشنا بودن با زبان انگلیسی و استفاده ازمحتویات ارائه شده در برگه‌های اطلاعات و فهم متون سایت‌های علمی و مقالات انگلیسی است.

**جدول ۱ـ۵ مقادیر کمیت‌های DC مدار**

| Symbol | Parameter | Test conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_s$ | Supply voltage | | 8 | | 18 | V |
| $V_o$ | Quiescent output voltage (pin 4) | | 6.1 | 6.9 | 7.7 | V |
| $I_d$ | Quiescent drain current (pin 5) | | | 44 | 50 | mA |

جدول ۲ـ۵

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

کار عملی۱

**اندازه‌گیری ولتاژ و جریان تقویت‌کننده ۱۰ وات**

**مواد، ابزار و تجهیزات:** آمپرمتر، ولت‌متر ـ بُرد مونتاژ شده ـ منبع تغذیه ـ سیم‌های رابط

**هدف:** اندازه‌گیری ولتاژ و جریان DC مدار

**مراحل اجرای کار:**

۱ـ ولتاژ تغذیه را به بُرد مونتاژشده آمپلی‌فایر وصل کنید.

۲ـ با استفاده از مدار شکل ۳ـ۵ ولتاژ DC خروجی و جریان مصرفی مدار (جریان خط تغذیه) را اندازه بگیرید و یادداشت نمایید.

Vout =.....V  Id =.....mA

۳ـ آیا مقادیر اندازه‌گیری‌شده با مقادیر داده‌شده در جدول تطابق دارد؟

## ۴ـ۵ عیب‌یابی مدار

چنانچه مقادیر اندازه‌گیری‌شده با مقادیر جدول تفاوت زیادی داشته‌باشد، مدار معیوب است و باید عیب‌یابی شود. برای عیب‌یابی ابتدا از صحت دوشاخه یا پریز اطمینان حاصل کنید. این کار را می‌توانید با استفاده از ولت‌متر و با رعایت نکات ایمنی کامل انجام دهید. مراحل عیب‌یابی را به‌صورت زیر پی‌گیری کنید. در هر مرحله خروجی وجود نداشت عیب در همان قسمت است.

☑ بررسی پریز، دو شاخه (با نظارت مربی کارگاه)

- بررسی سیم رابط تا ورودی ترانسفورماتور (با نظارت مربی کارگاه)
- بررسی ولتاژ خروجی ترانسفورماتور
- بررسی ولتاژ بعد از یک‌سوکننده
- اندازه‌گیری ولتاژ نقاط مختلف مدار

شکل ۴ـ۵ـ رفع عیب اتصال کوتاه در فیبر مدار چاپی پس از مونتاژ

لازم به ذکر است که در عیب‌یابی دستگاهی مانند تلویزیون، نقشه‌هایی توسط کارخانه تولیدکننده در اختیار سرویس‌کاران قرار می‌گیرد که با استفاده از آنها، ولتاژها و شکل موج‌های نقاط مختلف مدار اندازه‌گیری شده و با مقایسه با مقادیر داده‌شده در نقشه، نقطه عیب مشخص می‌شود. با بررسی کامل قسمت‌های مختلف مدار می‌توانید به عیب مدار پی‌ببرید. در بسیاری از موارد طرح پشت فیبر دارای عیب‌هایی مانند قطع‌شدگی خطوط (Track) است. ممکن است پس از انجام لحیم‌کاری، به‌علت نزدیک بودن خطوط به‌هم، اتصال کوتاه رخ دهد. به تمامی این موارد توجه کنید. شکل ۴ـ۵ فیبر مدار چاپی را نشان می‌دهد که در اثر لحیم‌کاری اتصال کوتاه شده و با برداشتن لحیم و مس اضافی به‌وسیله یک شیء نوک‌تیز، مشکل برطرف شده است.

## روش‌های عیب‌یابی

در تعمیر مدارهای الکترونیکی سه روش وجود دارد. این سه روش عبارت‌اند از:

- ولتاژگیری
- اهم‌گیری
- ردیابی سیگنال(Signal tracing )

شکل ۵ـ۵ـ ولتاژگیری در مدار

سه وسیله مولتی‌متر، اسیلوسکوپ و سیگنال ژنراتور برای عیب‌یابی مدارهای عمومی، به‌کار می‌روند. در روش ولتاژگیری باید مانند شکل ۵ـ۵ با استفاده از نقشهٔ مدار، نسبت به اندازه‌گیری ولتاژ نقاط آزمایش مدار اقدام کنید. این کار را باید تا مرحله‌ای ادامه دهید تا ولتاژ اندازه‌گیری شده با ولتاژ نوشته شده روی نقشه‌ها یکسان نباشد. به‌این ترتیب بلوک معیوب مشخص می‌شود.با ادامه اندازه‌گیری‌ها در آن منطقه، نقطه معیوب را پیدا می‌کنیم. پس از رسیدن به این مرحله می‌توانید آزمایش سلامت قطعه را شروع کنید. برای مثال اگر بخواهید یک ترانزیستور

را در مدار مورد آزمایش قرار دهید با حالت‌های زیر مواجه خواهید شد:
الف) چنانچه ترانزیستور در حالت تقویت‌کنندگی باشد، VeE نباید صفر و یا به اندازه ولتاژ تغذیه باشد.
ب) چنانچه ترانزیستور در حالت سوئیچینگ باشد، VeE می‌تواند صفر یا به اندازه ولتاژ تغذیه باشد.
در روش اهم‌گیری باید قطعه را خارج از مدار آزمایش کنیم. هرچند بسیاری از تعمیرکاران خُبره به‌دلیل تجربه‌ای که دارند (مانند تعمیرکاران تلویزیون) به‌شرط تخلیه بودن خازن‌ها، بعضی قطعات را در مدار آزمایش می‌کنند و نتیجه هم می‌گیرند.
در روش ردیابی سیگنال، یک سیگنال ضعیف (درحد میلی ولت) به ورودی مدار داده می‌شود و تقویت شده آن از خروجی دریافت می‌گردد. درصورتی‌که مدار معیوب باشد، سیگنال تقویت نمی‌شود. برای یک مثال کاربردی در تقویت‌کننده چند طبقه ترانزیستوری، ابتدا سیگنال ضعیف را به آخرین طبقه اعمال می‌کنند و با استفاده از اسیلوسکوپ، سیگنال خروجی را می‌بینند. چنانچه شکل موج و دامنهٔ خروجی مناسب باشد، این طبقه سالم است. سپس این مرحله را برای طبقه قبل از تقویت‌کننده خروجی تکرار می‌کنیم. چنانچه در این طبقه هم سیگنال خروجی وجود داشته باشد این طبقه نیز سالم است. به همین ترتیب کار را ادامه می‌دهیم تا به طبقه‌ای می‌رسیم که سیگنال خروجی مناسب نیست. در این حالت درمی‌یابیم که عیب مربوط به این طبقه است. به‌عبارت دیگر عیب‌یابی از طبقه آخر به سمت طبقه اول انجام می‌گیرد. اگر برای تقویت‌کنندگی از آی‌سی استفاده شده باشد تنها چاره کار، تعویض آی‌سی است.

تحقیق

با جست‌وجو در اینترنت، در مورد روش تعمیر بُردهای الکترونیکی، مثلاً گیرنده‌های دیجیتال، نکاتی را یادداشت کنید و به کلاس ارائه دهید.

## ۵ـ۵ تشریح اصول کار مدار تقویت‌کننده صوتی

در واحد یادگیری قبل با تقویت‌کننده صوتی آشنا شده‌اید، این مدارها معمولاً یک آی‌سی تقویت‌کننده دارند که سیگنال ضعیف ورودی را دریافت می‌کند و پس از تقویت به خروجی تحویل می‌دهد. برای اتصال میکروفون به‌مدار، باید یک مدار پیش‌تقویت‌کننده (Preamplifier) نیز قرار دهید. در ادامه با این نوع تقویت‌کننده‌ها و چگونگی ساخت آنها برای راه‌اندازی یک سیستم صوتی کوچک آشنا خواهید شد.

کار عملی ۲

### اتصال سیگنال متناوب به مدار تقویت‌کننده صوتی

**هدف:** راه‌اندازی مدار تقویت‌کننده و اندازه‌گیری بهره ولتاژ
**مواد، ابزار و تجهیزات:** منبع تغذیه، سیگنال ژنراتور AF، اسیلوسکوپ، بلندگو، بُرد مونتاژشده و سیم‌های رابط
**مراحل اجرای کار:**
۱ـ ولتاژ ۱۲ ولت مستقیم را به تغذیه مدار وصل کنید.

نکته

برای آزمایش مدار دو روش وجود دارد که به آن اشاره خواهد شد.

۲ـ سیگنالی سینوسی با دامنه‌ای در حدود چند میلی ولت و فرکانس ۱KHz را به ورودی مدار وصل کنید. اسیلوسکوپ را به خروجی اتصال دهید. در این مرحله به قطب‌های مثبت و منفی خروجی و ورودی مدار توجه داشته‌باشید. هم‌زمان سیگنال‌های ورودی و خروجی مدار را روی اسیلوسکوپ ببینید. دامنهٔ ورودی را طوری تنظیم کنید که شکل موج خروجی اعوجاج نداشته باشد.

$V_{in}$= ..... mV  $V_{out}$=..... mV

$AV = \frac{V_{out}}{V_{in}} =$ ——— =

۳ـ دامنهٔ پیک‌تاپیک سیگنال ورودی و خروجی و بهره ولتاژ مدار را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۴ـ سیگنال صوتی ضعیف (مثلاً خروجی رایانه شخصی، یا خروجی هدفون گوشی تلفن همراه) را به ورودی و بلندگو را به خروجی مدار وصل کنید. صدا باید با کیفیت خوب از بلندگو پخش شود.

## ۶ـ۵ آشنایی با بُردهای پخش‌کننده فایل‌های MP۳ و رادیو

در این بخش با بُرد پخش صوت MP۳ آشنا خواهید شد. نمونه‌ای از این بُردها در شکل ۶ـ۵ آورده شده است.

شکل ۶ـ۵ـ برد پخش‌کننده PM۳

تحقیق

تاریخچه و مخفف کلمات MP و تفاوت MP۳ و MP۴ را بیابید و در قالب یک گزارش ارائه دهید.

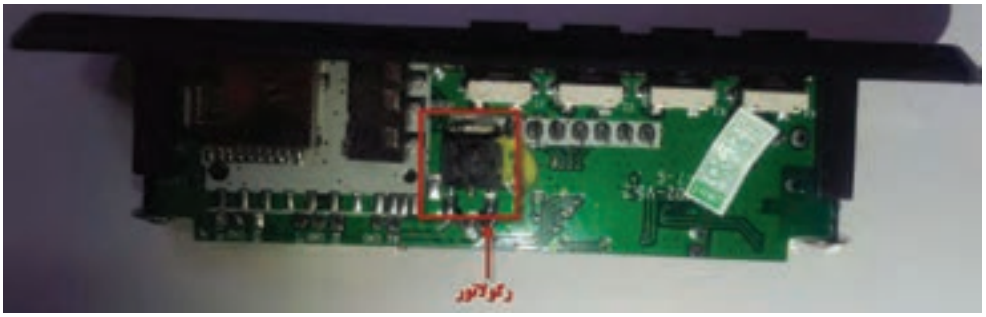
### انواع بُردهای MP۳

بُردهای پخش MP۳ در انواع مختلف طراحی و تولید می‌شوند که برخی از آن‌ها به شرح زیر است.

- بُرد بدون رگولاتور ولتاژ با تغذیه ۵ ولت دارای ورودی صدا (AUX) یا بدون آن، شکل ۷ـ۵.
- بُرد با رگولاتور داخلی ۷۸۰۵ دارای ورودی صدا (AUX) یا بدون آن. تغذیه این بُردها می‌تواند بیشتر از ۵ ولت باشد. معمولاً از ۱۲ ولت استفاده می‌شود.
- بُردهای دارای بلوتوث، این مدل قابلیت اتصال به وسایل دارای بلوتوث مانند گوشی تلفن همراه را دارد. در این حالت می‌توان فایل صوتی را از طریق بلوتوث و بدون اتصال سیم به بُرد منتقل و پخش کرد، شکل ۷ـ۵.
- بُرد با قابلیت ضبط، در این مدل قابلیت ضبط صدا نیز وجود دارد.

شکل ۷ـ۵ـ بُرد دارای بلوتوث و ورودی صدا

شکل ۸ـ۵ نمونه‌ای از برد دارای رگولاتور ۷۸۰۵ را نشان می‌دهد. در این حالت نیاز به استفاده از رگولاتور بیرونی نیست. در شرایط معمولی چنانچه از بُرد ۵ ولتی استفاده می‌کنید باید با استفاده از رگولاتور ۵ ولتی، مقدار ولتاژ منبع ۱۲ ولت (یا ۹ولت) را به ۵ ولت برسانید، سپس به مدار تقویت‌کننده وصل کنید. به این ترتیب ولتاژ تغذیه بُردMP۳ تأمین می‌شود.

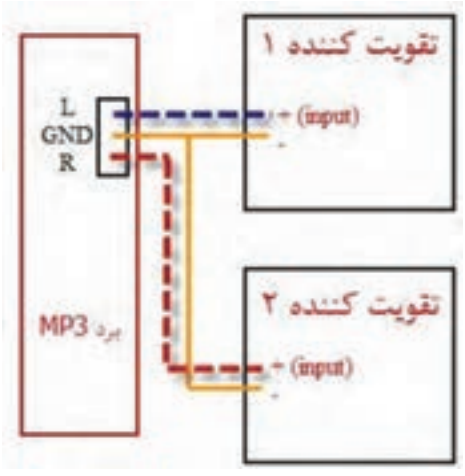



**شکل ۸ـ۵ـ برد MP۳ با رگولاتور ۷۸۰۵ داخلی**

## اتصال خروجی بُرد پخش‌کننده Mp۳ به ورودی مدار

برای تکمیل پروژه تقویت‌کننده صوتی، باید خروجی بُرد پخش‌کننده Mp۳ را به ورودی مدار تقویت‌کننده متصل کنید. چون خروجی بُرد Mp۳، استریو و مدار تقویت‌کننده مونو است برای اتصال این‌دو مدار به هم می‌توانید اتصال‌های وسط و کنار سوکت خروجی بُرد را به ورودی تقویت‌کننده ارتباط دهید. هنگام اتصال، به سیم زمین (GND) در هر دو مدار دقت کنید.

درصورتی‌که قصد استفاده از مدار به صورت استریو را دارید، کافی است دو مدار تقویت‌کننده صوتی بسازید و پایه‌های خروجی سوکت را به این مدار متصل کنید. شکل ۹ـ۵ چگونگی این ارتباط را نشان می‌دهد.




**شکل ۹ـ۵ـ چگونگی اتصال استریو**

پژوهش

به چه‌دلیل درسیستم‌های استریو از فیلترهای مختلف برای صداهای زیر، بم و معمولی استفاده می‌کنند؟ آیا تقویت‌کننده استریو شما واقعاً یک تقویت‌کننده استریو است؟ چرا؟ با مراجعه به منابع مختلف، پاسخ سؤال را بیابید و نتیجه را در قالب یک گزارش ارائه دهید.

فیلم

فیلم چگونگی راه‌اندازی پروژه را مشاهده نمایید.

## ۵ـ۷ تهیه جعبه برای پروژه

### انتخاب جعبه مناسب

یکی از نکات مهمی که در ساخت یک پروژه اهمیت دارد استفاده از یک جعبه مناسب برای قرار دادن بُرد مدارچاپی در داخل آن است. برای انتخاب جعبه باید به نکات زیر توجه کنید.

☑ چنانچه قرار است منبع تغذیه بیرون از جعبه قرار گیرد و با یک فیش به آن اتصال یابد، نیاز به جعبه کوچک‌تری دارید.

☑ اگر منبع تغذیه که شامل ترانسفورماتور، یک‌سو کننده، صافی و احتمالاً رگولاتور ولتاژ است، درون جعبه قرار می‌گیرد و مدار مستقیماً توسط سیم به برق شهر وصل می‌شود، نیاز به‌جعبه بزرگ‌تری‌خواهد بود. جنس جعبه‌ها نیز متفاوت‌اند. می‌توانید جنس فلزی یا پلاستیکی را انتخاب کنید. شکل ۱۰ـ۵ تعدادی جعبه موجود در بازار برای پروژه را نشان می‌دهد.

### پرسش

یک مدار تقویت‌کننده صوتی پرقدرت را درنظر بگیرد که دارای آی‌سی و ترانزیستورهای توان بالایی است که به شدت داغ می‌شوند و بر روی گرماگیر بسته شده اند. چنانچه بخواهید برای این مدار یک جعبه تهیه نمایید، چه جنسی را انتخاب خواهید کرد؟ دلیل انتخاب خود را بنویسید.

.....

.....

**شکل ۱۰ـ۵ـ جعبه‌های پلاستیکی و فلزی**

**پرسش**

اگر بخواهید یک مدار محافظ یخچال بسازید، نیاز به جعبه خواهید داشت؟ شما چه راه‌هایی برای انتخاب جعبه در نظر می‌گیرید؟

شکل ۱۱ـ۵ نمونه‌ای از جعبه‌های موجود در بازار را نشان می‌دهد که در ساخت این پروژه از آن استفاده شده است.

**شکل ۱۱ـ۵ـ جعبه پلاستیکی انتخاب شده برای پروژه**

پژوهش

با جست‌وجو در اینترنت، چند سایت فروش جعبه برای بُردهای الکترونیکی را پیدا کنید. سپس بررسی نمایید آیا برای آمپلی‌فایر ۱۰ واتی که ساخته‌اید (دارای ابعاد حدوداً ۷ در ۵ سانتی‌متر است) چه جعبه‌هایی و با چه قیمت‌هایی وجود دارد ؟

## چگونگی کنار هم قراردادن بخش‌های مختلف پروژه در داخل جعبه

چیدمان و قراردادن بُردها و قطعات در داخل جعبه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اگر به این موضوع توجه نکنید ممکن است با انتخاب جعبه نامناسب هزینه بالا برود و شکل ظاهری پروژه نیز مطلوب نباشد. رعایت مراحل زیر می‌تواند در این ارتباط مفید باشد.

**شکل ۱۲ـ۵ـ منبع تغذیه**

- ☑ منبع تغذیه به همراه یک‌سوکننده را درگوشه جعبه قراردهید و آن را با پیچ مهار کنید یا مانند شکل ۱۲ـ۵ از منبع تغذیه سوئیچینگ آماده استفاده کنید.
- ☑ بُرد MP۳ را با برش دادن و جایابی در جعبه در محل مناسبی قرار دهید.
- ☑ کلید فشاری برای روشن و خاموش کردن دستگاه را در کنار آن نصب کنید و طراحی پنل (Panel) قسمت جلوی پروژه را طبق شکل ۱۳ـ۵ کامل کنید.

**شکل ۱۳ـ۵ـ پنل جلوی پروژه**

پژوهش

با مراجعه به رسانه‌های مختلف بررسی کنید به چه دلیل در برخی از دستگاه‌ها برای اتصال مدارها به یکدیگر از سوکت نر و ماده استفاده نمی‌کنند؟ نتیجه را در قالب یک گزارش ارائه دهید.

☑ مدار تقویت‌کننده صوتی را در قسمت مناسبی از جعبه پیچ کنید. اتصالات مربوط به ورودی صدا و تغذیه را برقرار کنید. سپس مدار کلید الکترونیکی را با پیچ در فضای جعبه محکم کنید. اتصالات مربوط به رله و کلید فشاری را برقرار نمایید. شکل ۱۴ـ۵ نمای بیرون و درون پروژه را نشان می‌دهد.

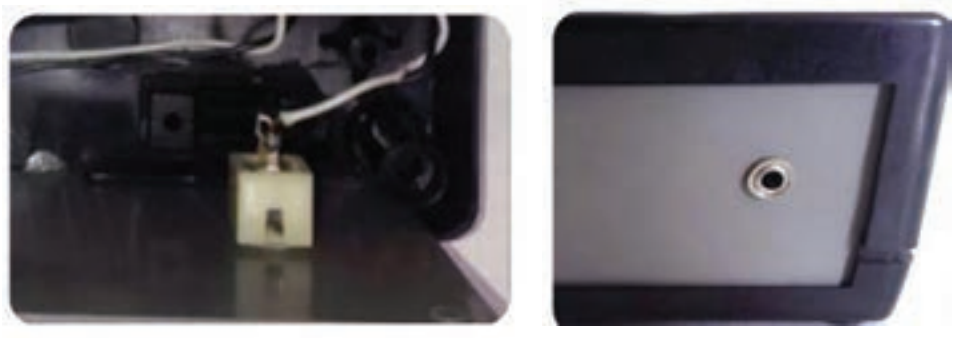
شکل ۱۴ـ۵ـ نمای بیرون و درون

## ۸ـ۵ آشنایی با ترمینال (جک) بلندگو

شکل ۱۵ـ۵ـ ترمینال بلندگو

شکل ۱۶ـ۵ـ جک بلندگو

در سیستم‌های صوتی معمولاً برای اتصال سیم‌های بلندگو به دستگاه اصلی از ترمینال‌های فشاری استفاده می‌شود. سیم به راحتی بدون استفاده از ابزار خاصی در این ترمینال‌ها قرار می‌گیرد. این مدل از ترمینال‌ها را در شکل ۱۵ـ۵ مشاهده می‌کنید. در این ترمینال‌ها از ورودی به رنگ قرمز برای اتصال سیم مثبت و رنگ مشکی برای سیم منفی استفاده می‌شود. همچنین می‌توان از جک بلندگو مانند شکل ۱۶ـ۵ استفاده کرد. این جک‌ها در انواع مونو و استریو ساخته می‌شوند. چون این پروژه دارای خروجی مونو است باید از جک مونو استفاده کنید. البته از این مدل بیشتر برای هدفون استفاده می‌شود. شکل ۱۷ـ۵ استفاده از ترمینال بلندگو را در این پروژه نشان می‌دهد.



شکل ۱۷ـ۵ـ استفاده از ترمینال بلندگو در پروژه (پشت جعبه)

فعالیت

چند نمونه جعبه دستگاه‌های الکترونیکی را باز کنید و چیدمان داخل آنها را به طور دقیق بررسی و مشاهده کنید. در ارتباط با کیفیت چیدمان، اتصال‌ها و نصب بُردها گزارش تهیه کنید و در قالب بیان مزایا و معایب هر دستگاه، از بُعد تعمیرات به کارگاه ارائه دهید.

کار عملی ۳

## تکمیل پروژه تقویت‌کننده صوتی

**هدف:** آماده‌سازی نهایی پروژه

**مواد، ابزار و تجهیزات:** جعبه مناسب، مدار تقویت‌کننده، مدار کلید الکترونیکی یا کلید قطع و وصل معمولی، منبع تغذیه، سیم و دوشاخه، جک بلندگو، بُرد پخش MP۳، سیم، پیچ برای محکم کردن قسمت‌های مختلف درون جعبه و چند نمونه دستگاه الکترونیکی مستعمل نصب‌شده در داخل جعبه.

۱ـ منبع تغذیه، تقویت‌کننده و مدار کلید الکترونیکی (درصورت موجود بودن) را با استفاده از پیچ مناسب در درون جعبه محکم کنید.

۲ـ بُرد MP۳ و کلید را در روی جعبه و جک بلندگو را پشت آن نصب کنید. به این ترتیب پروژه را به اتمام برسانید.

۳ـ سیم‌کشی‌های نهایی را انجام دهید و در جعبه را ببندید.

### الگوی پرسش

۱ـ تغذیه مدارهای مختلف الکترونیکی همواره به صورت DC است. صحیح ☐ غلط ☐

۲ـ اگر مداری معیوب است اولین گام در فرایند عیب‌یابی بررسی.....مدار است.

۳ـ در روش ردیابی سیگنال از چه دستگاه‌هایی استفاده می‌شود؟ نام ببرید.

### پیشنهاد برای هنرجویان علاقه‌مند

یکی دیگر از کاربُردهای تقویت‌کننده صوتی که ساخته‌اید، استفاده از آن به عنوان یک اسپیکر رایانه است. برای این‌کار باید جعبه بلندگو بسازید و بلندگو را داخل آن قرار دهید. چنانچه به این کار علاقه‌مند هستید می‌توانید با مراجعه به اینترنت به ساخت جعبه بلندگو بپردازید.

پژوهش

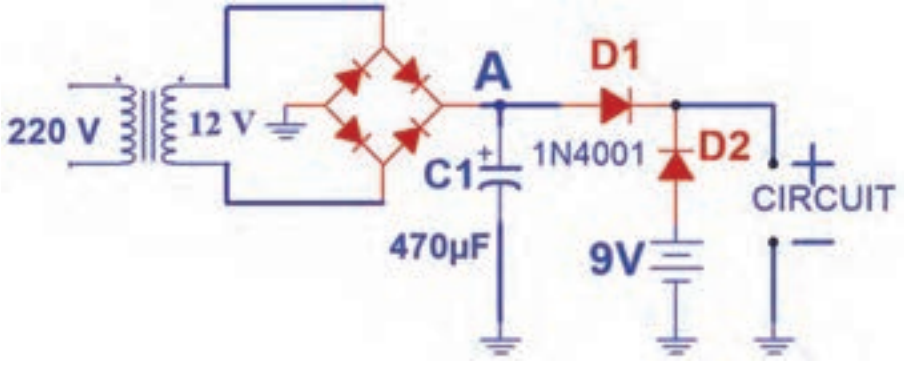
نرم‌افزارهایی وجود دارند که کار محاسبات مربوط به جعبه بلندگو را انجام می‌دهند. با جستجو در اینترنت آنها را بیابید و به کارگاه ارائه دهید.

## ۹ـ۵ آشنایی با مدارهای تغذیه پشتیبان (اضطراری) ساده

ممکن است در ساخت یک پروژه خاص، نیاز به منبع تغذیه اضطراری داشته باشید. دو روش ساده برای تولید و ساخت منبع تغذیه پشتیبان یا اضطراری پیشنهاد می‌شود.

### استفاده از دیود

مدار برق اضطراری با استفاده از دیود در شکل ۱۸ـ۵ رسم شده است. زمانی که برق شهر برقرار است، نقطه A دارای ولتاژ بوده و دیود $D_1$ وصل و دیود $D_2$ قطع است. دلیل قطع بودن $D_2$ این است که آند آن دارای ولتاژ بیشتری نسبت به کاتد آن است (آند حدود حداکثر ۱۶ ولت، کاتد ۹ ولت). به‌این‌ترتیب ولتاژ خروجی صافی به مدار مورد نظر(Circuit) می‌رسد. در صورت قطع شدن برق شهر، ولتاژ در نقطه A صفر می‌شود. در این حالت $D_1$ قطع و $D_2$ وصل است زیرا آند آن دارای ولتاژ ۹ ولت و کاتد آن صفر ولت است. در این شرایط ولتاژ ۹ ولت باتری (که تغذیه پشتیبان است) به‌مدار داده می‌شود. به این ترتیب با قطع برق شهر و صفر شدن ولتاژ خروجی ترانسفورماتور، به‌طور خودکار باتری تغذیه مدار را تأمین می‌کند.

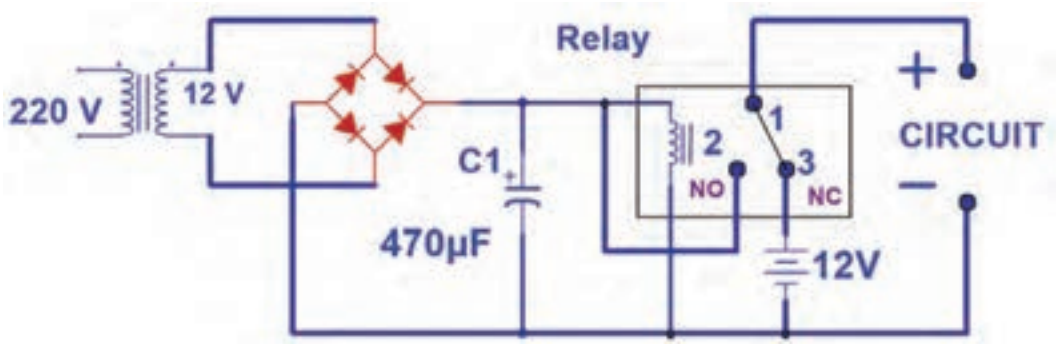



شکل ۱۸ـ۵ـ تغذیه اضطراری با دیود

بارش‌فکری: از طریق بارش فکری مزایا و معایب این مدار را بیابید و جمع‌بندی کنید.

### استفاده از رله

در مدار شکل ۱۹ـ۵ تغذیه اضطراری با استفاده از رله تأمین می‌شود. در هنگام وجود برق شهر، رله عمل می‌کند. کنتاکت‌های NO ( پایه ۲ـ Normally Open) و کنتاکت مشترک (پایه ۱) متصل می‌شود و ولتاژ خروجی صافی به‌مدار مورد نظر می‌رسد. درصورت قطع برق شهر، رله هم خاموش شده و کنتاکت‌های NC (پایه ۳ـ Normally Close) و مشترک (پایه ۱) به هم متصل می‌شوند. در این حالت باتری ولتاژ ۱۲ ولت مدار را تأمین می‌کند. برای قطع و وصل باتری به مدار باید از کلید جداگانه استفاده شود. زیرا در لحظاتی که برق شهر وجود ندارد ولتاژ تغذیه باتری همواره به مدار وصل است.




**شکل ۱۹ـ۵ـ تغذیه اضطراری با رله**

## الگوی آزمون نظری پایان واحد یادگیری(۵)

۱ـ روش‌های عیب‌یابی مدارها را نام برده و هرکدام را به‌طور مختصر توضیح دهید.
۲ـ چه ملاک‌هایی برای انتخاب یک جعبه برای پروژه به ذهن‌تان می‌رسد؟ شرح دهید.
۳ـ از بدنه فلزی جعبه می‌توان به‌عنوان گرماگیر قطعات پُر وات استفاده کرد.
صحیح ☐ غلط ☐
۴ـ بُردهای پخش صوت Mp۳ چه امکاناتی دارند؟
۵ـ چه کاربردهای دیگری برای بُردهای پخش‌کننده صوت Mp۳ به ذهن‌تان می‌رسد؟ شرح دهید.
۶ـ دو مدل ترمینال بلندگو در این مبحث بررسی شدند. تفاوت هر کدام را ذکر نمایید.
۷ـ دو مدار تغذیه پشتیبان برای مدارهای الکترونیکی در این مبحث معرفی شدند. مزایا و معایب هرکدام را نام ببرید.
۸ـ در صورتی که یک آمپلی‌فایر در خروجی صدا ندارد ولی نویز وجود دارد، اشکال در چیست؟ برای این عیب، روندنمای عیب‌یابی تدوین کنید.

## ارزشیابی شایستگی راه‌اندازی و عیب‌یابی پروژه آنالوگ

**شرح کار:** ۱ـ تشریح تغذیه مدارهای الکترونیکی ۲ـ اتصال تغذیه به بُرد پروژه و اندازه‌گیری ولتاژ و جریان مدار ۳ـ شرح روش‌های عیب‌یابی و دستگاه‌های مورد نیاز برای عیب‌یابی ۴ـ رفع عیب در صورت بروز عیب ۵ـ آماده‌سازی جعبه مناسب و اتصال قطعات و ابزار جانبی ۶ـ راه‌اندازی نهایی پروژه

**استاندارد عملکرد:** شاخص‌ها: ۱ـ تشریح تغذیه مدارهای الکترونیکی (۵ دقیقه) ۲ـ اتصال تغذیه به بُرد پروژه و اندازه‌گیری ولتاژ و جریان مدار (۱۰دقیقه) ۳ـ شرح روش‌های عیب‌یابی و دستگاه‌های مورد نیاز برای عیب‌یابی (۱۰ دقیقه) ۴ـ رفع عیب در صورت بروز عیب (۱۵ دقیقه)۵ـ آماده‌سازی جعبه مناسب و اتصال قطعات و ابزار جانبی (۳۰دقیقه) ۶ـ راه‌اندازی نهایی پروژه (۱۰دقیقه)

**شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:** مکان مناسب انجام کار با کف عایق یا آنتی استاتیک ـ نور مناسب برای کارهای ظریف ـ ابعاد حداقل ۶ مترمربع و دارای تهویه یا پنجره ـ دمای طبیعی ($18^{\circ}C$ـ$27^{\circ}C$) و مجهز به وسایل اطفای حریق ـ میزکار استاندارد با ابعاد $L180 \times D80 \times H80\ cm$ ـ مجهز به فیوز حفاظت جان ـ فرد با لباس کار ـ انجام کار در حال نشسته یا ایستاده ـ رایانه ـ برگه اطلاعات قطعات ـ لوازم‌التحریر ـ وسایل سوراخ‌کاری فیبر ـ وسایل مونتاژ ـ قطعات پروژه ـ اسیلوسکوپ ـ سیگنال‌ژنراتور ـ منبع تغذیه

**معیار شایستگی:**

| ردیف | مراحل کار | حداقل نمره قبولی از ۳ | نمره هنرجو |
|---|---|---|---|
| ۱ | تشریح تغذیه مدارهای الکترونیکی | ۱ | |
| ۲ | اتصال تغذیه به بُرد پروژه و اندازه‌گیری ولتاژ و جریان مدار | ۲ | |
| ۳ | شرح روش‌های عیب‌یابی، تنظیم روندنما و دستگاه‌های موردنیاز برای عیب‌یابی | ۱ | |
| ۴ | رفع عیب در صورت بروز عیب | ۲ | |
| ۵ | آماده‌سازی جعبه مناسب و اتصال قطعات و ابزار جانبی | ۲ | |
| ۶ | راه‌اندازی نهایی پروژه | ۲ | |
| **شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:** ۱ـ محافظت از دستگاه‌ها ۲ـ دقت و مسئولیت‌پذیری ۳ـ شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر ۴ـ کار گروهی ۵ـ رعایت نکات زیست‌محیطی | | ۲ | |
| میانگین نمرات * حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد. | | | * |