# کارگاه الکتروتکنیک

دانشکده فیزیک، دانشگاه الزهرا (س)

گردآوری و ویرایش: حسین گودرزی

زمستان ۱۴۰۲

**«بسمه تعالی»**

هدف اصلی این کارگاه، آموزش تجربی دستگاه‌ها، ابزار و قطعات الکترونیکی و روش‌های بکارگیری آن‌ها و همچنین آشنایی با بعضی از موضوعات کاربردی الکترونیک است. در تهیه‌ی سرفصل‌های این کارگاه تلاش شده است موضوعات مهم و کاربردی در قالب‌های مناسب ارائه گردد تا دانشجویان گرامی مقدمات عملی لازم جهت شروع انواع کارهای الکتریکی و الکترونیکی را فرا بگیرند. با گذراندن این کارگاه، دانشجویان به‌صورت اصولی کار با دستگاه‌های اندازه‌گیری مختلفی چون اسیلوسکوپ، فانکشن ژنراتور، مولتی‌متر و ... را می‌آموزند. با ادوات مختلف الکتریکی و الکترونیکی مانند مقاومت، خازن، دیود، ترانسفورماتور، رله، کنتاکتور و ... آشنا شده و آزمایش‌های متنوعی با آن‌ها انجام می‌دهند. اصول لحیم‌کاری و طراحی مدار چاپی را به‌صورت عملی می‌آموزند. با انواع موتورهای AC و DC به‌صورت کاربردی آشنا می‌شوند و مدارهای متنوعی شامل منابع تغذیه‌ی خطی و سوئیچینگ را آموزش دیده و نمونه‌هایی از آن‌ها را می‌سازند.

ارسال نقطه نظرات، انتقادات و پیشنهادات: h.goudarzi@alzahra.ac.ir

فهرست مطالب


| شماره آزمایش | عنوان آزمایش | | شماره صفحه |
|---|---|---|---|
| آزمایش ۱: | آشنایی با اصول ایمنی و وسایل اندازه‌گیری در کارگاه | ..... | ۱ |
| آزمایش ۲: | قطعه شناسی | ..... | ۱۴ |
| آزمایش ۳: | آشنایی با علائم و نمادهای الکترونیکی و ساختمان دیود | ..... | ۲۲ |
| آزمایش ۴: | بررسی مشخصه ولت آمپر دیودها | ..... | ۳۱ |
| آزمایش ۵: | آشنایی با مدار یک‌سوساز (طراحی منبع تغذیه‌ی DC) | ..... | ۳۶ |
| آزمایش ۶: | اثر پیزو الکتریک؛ خواص و کاربردها | ..... | ۴۳ |
| آزمایش ۷: | سلول خورشیدی دیودی | ..... | ۵۰ |
| آزمایش ۸: | مدار چاپی | ..... | ۵۵ |

# ۱ آشنایی با اصول ایمنی و وسایل اندازه‌گیری در کارگاه

**اهداف آزمایش:**

در این آزمایش با انواع دستگاههای مورد استفاده کارگاه آشنا شده و مسائل ایمنی مربوط به هریک را ارائه خواهیم نمود. در انتها نیز مسائل کلی در مورد ایمنی برق ارائهخواهد شد.

با وجود آن‌که حادثه می‌تواند همواره رخ بدهد ولی معمولا با تلاش اندکی می‌توان احتمال آن را تا حد قابل قبولی کاهش داد. روش‌های علمی و استاندارد پیشگیری از بروز خطرات، اصول ایمنی در آزمایشگاه نامیده می‌شوند که آشنایی دانشجویانی که در آزمایشگاه کار می‌کنند با این اصول بسیار مهم، اساسی و امری غیر قابل انکار است.

**اصول کلی ایمنی در آزمایشگاه:**

**در نخستین جلسه حضور در هر کارگاه یا آزمایشگاه، شخص می بایست نسبت به شناسایی درب‌های ورود و خروج و پنجره‌ها، مکان جعبه کمک های اولیه، مکان نصب کپسول آتش نشانی، مکان تابلوی برق، مکان قرار دادن مواد شیمیایی، مکان نصب شماره تلفن‌های ضروری (مدیریت آزمایشگاه و دانشکده، آتش‌نشانی، مرکز بهداشت دانشگاه، اورژانس)، مکان نصب برچسب مواد شیمیایی و سایر موارد مرتبط اقدام نماید تا در مواقع ضرور از این اطلاعات استفاده نماید.

اهم سایر مسائلی که باید رعایت شوند به شرح ذیل می‌باشند:

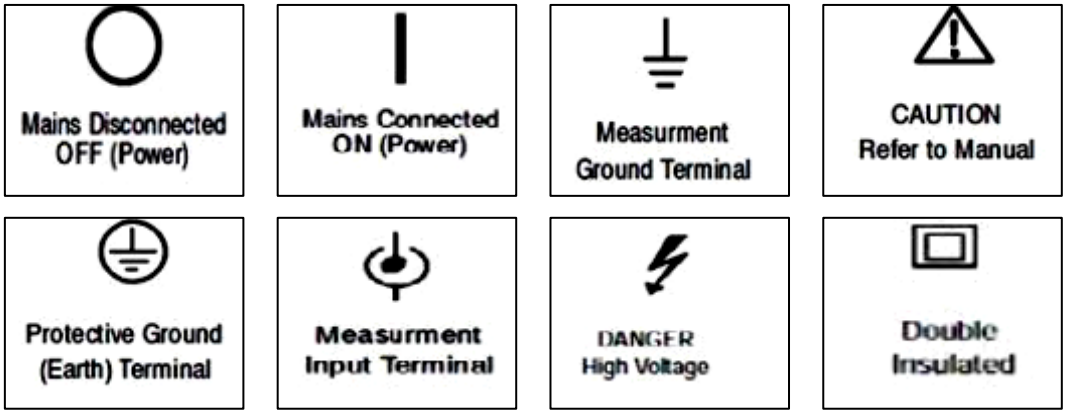
۱- اگر با شیوه‌ی کار با یک دستگاه و خطرات احتمالی آن آشنا نیستید، از کار کردن با آن پرهیز کنید و از سرپرست آزمایشگاه یا استاد خود کمک بگیرید.

۲- هیچ‌گاه به تنهایی در آزمایشگاه کار نکنید. به یاد داشته باشید که فرد حادثه دیده ممکن است نتواند ساده‌ترین کارها (مانند یک تماس تلفنی) را نیز انجام دهد. وجود یک دوست یا همکار در آزمایشگاه می‌تواند در این مواقع سرنوشت‌ساز باشد.

۳- محیط کار خود را مرتب و پاکیزه نگهدارید. شلوغی، تمرکز و کنترل شما را در هنگام کار کاهش می‌دهد.

موارد ذکر شده در بالا، اصول ایمنی است که به طور کلی در هنگام کار در هر آزمایشگاهی باید آن‌ها را رعایت کرد. اما به‌طور اخص در این کارگاه، دانشجویان با بعضی وسایل الکتریکی کار می‌کنند که رعایت بعضی قوانین و اصول در هنگام کار با این دستگاه‌ها ضروری است. رعایت این اصول و قوانین علاوه بر این‌که سلامت شخص آزمایش‌کننده را تأمین می‌نماید، طول عمر دستگاه‌ها را نیز افزایش می‌دهد.

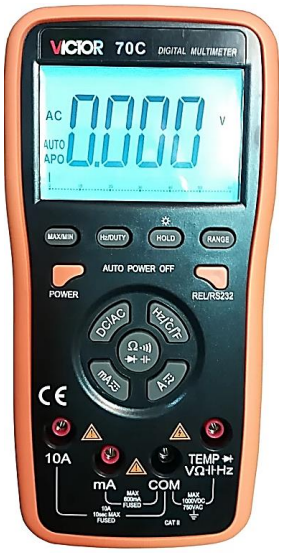
همچنین بر روی بسیاری از دستگاههای الکترونیکی علایم خاصی نقش بسته که باید به این علایم و هشدارها توجه داشت. به بعضی از این علایم در شکل ذیل اشاره شده است.




شکل ۱-۱:برخی از علایم هشدار نصب شده بر روی وسایل الکترونیکی

## ۱.۱ مولتی‌متر

مولتی‌متر[۱] مورد استفاده در این کارگاه به ۳ صورت دستی دیجیتال،رومیزی دیجیتال و دستی آنالوگ هستند که به منظور اندازه‌گیری‌های مختلفی نظیر ولتاژ، شدت جریان، مقاومت؛ تشخصی اتصال سیم‌ها، تست سلامت دیودها و غیره استفاده می‌شود.




شکل ۲-۱: مولتی متر دستی دیجیتال مدل victor 70

برای دیدن کاتالوگ محصول فوق و کسب اطلاعات بیشتر، تصویر مقابل را اسکن نمایید.

**نکات ایمنی:**

- ✓ قبل از اعمال منبع، دستگاه را در گستره‌ی مناسب تنظیم نمایید.

[۱] Multi meter

- ✓ از خشک بودن دست، کف آزمایشگاه و میزکار اطمینان حاصل کنید؛ زیرا اندازه‌گیری در حضور رطوبت می‌تواند بر روی ولتاژ تحملِ دی‌الکتریک تأثیر بگذارد.
- ✓ برای ایمنی بیشتر هنگامی که منبع را به مدار اعمال می‌کنید از لمس دستگاه یا لیدها اجتناب کنید.
- ✓ برای اندازه‌گیری شدت جریان باید دستگاه را به‌طور سری در مدار قرار داد.
- ✓ هنگام اندازه‌گیری مقاومت لازم است جریان برق را قطع کنیم. در غیر این‌صورت به دستگاه آسیب می‌رسد.
- ✓ دستگاه را با احتیاط جابجا کنید و از وارد آمدن ضربه به آن و یا سقوط دستگاه جلوگیری نمایید.
- ✓ پیچ تنظیم صفر دستگاه را نباید دستکاری کرد، زیرا این بخش از دستگاه خیلی حساس بوده و ممکن است فنر مربوط به آن قطع و دستگاه خراب شود.
- ✓ همیشه هنگام اندازه‌گیری کمیت‌ها کلید سلکتور را روی بیشترین درجه قرار دهید و در صورت لزوم به تدریج آن‌را کاهش دهید تا به دستگاه لطمه‌ای وارد نشود.
- ✓ حتی‌الامکان کلید سلکتور را در جهت حرکت عقربه‌های ساعت بچرخانید، به‌علاوه چرخاندن سریع کلید سلکتور برای دستگاه خالی از ضرر نیست. سوئیچ دامنه یا توابع بایستی در حالت خاموش بودن منبع تغذیه انجام شود.
- ✓ جایگزینی باتری و فیوز بایستی پس از قطع منبع و اتصالات لیدها انجام شود.
- ✓ برای اندازه‌گیری هر محدوده از حد مجاز اعلام شده تجاوز نکنید.
- ✓ درصورت عدم استفاده از مولتی‌متر برای جلوگیری از اتمام باتری، آن را خاموش نمایید.

شکل ۳-۱: مولتی متر رومیزی دیجیتال

برای دیدن کاتالوگ محصول فوق و کسب اطلاعات بیشتر، تصویر مقابل را اسکن نمایید.

شکل ۴-۱: مولتی‌متر دستی آنالوگ Nishizawa

برای دیدن کاتالوگ محصول فوق و کسب اطلاعات بیشتر، تصویر مقابل را اسکن نمایید.

## ۱.۲ LCRمتر

LCRمترمورد استفاده در کارگاه از نوع دستی دیجیتال است که به منظور اندازه‌گیری فاکتورهای مختلف خازن و سلف از آن استفاده می‌شود. فرکانس کاری این ابزار ۱۰۰، ۱۲۰، ۱k و ۱۰k هرتز است.

شکل ۵-۱: LCRمتر دستی دیجیتال مدل 915

برای دیدن کاتالوگ محصول فوق و کسب اطلاعات بیشتر، تصویر مقابل را اسکن نمایید.

**نکات ایمنی:**

- ✓ قبل از اعمال منبع، دستگاه را در گستره‌ی مناسب فرکانسی تنظیم نمایید.
- ✓ از خشک بودن دست، کف آزمایشگاه و میزکار اطمینان حاصل کنید؛ زیرا اندازه‌گیری در حضور رطوبت می‌تواند بر روی ولتاژ تحملِ دی‌الکتریک تأثیر بگذارد.
- ✓ برای ایمنی بیشتر هنگامی که منبع را به مدار اعمال می‌کنید از لمس دستگاه یا لیدها اجتناب کنید.
- ✓ هنگام اندازه‌گیری‌ها لازم است جریان برق را قطع کنیم. در غیر این‌صورت به دستگاه آسیب می‌رسد.
- ✓ دستگاه را با احتیاط جابجا کنید و از وارد آمدن ضربه به آن و یا سقوط دستگاه جلوگیری نمایید.
- ✓ چرخاندن سریع کلید سلکتور برای دستگاه خالی از ضرر نیست. در اینخصوص با احتیاط عمل نمایید.
- ✓ جایگزینی باتری و فیوز بایستی پس از قطع منبع و اتصالات لیدها انجام شود.
- ✓ درصورت عدم استفاده، برای جلوگیری از اتمام باتری، آن را خاموش نمایید.

## ۱.۳ منبع تغذیه DC

منبع تغذیه[۲] که به دو دسته DC و AC تقسیم بندی می‌شود، یکی از عناصر حیاتی دستگاه‌های الکترونیکی است چرا که فعالیت سایر عناصر، به عملکرد منبع تغذیه بستگی دارد. در واقع منبع تغذیه یک منبع ولتاژ یا یک منبع جریان با دامنه قابل تنظیم است. منبع فوق تأمین کننده‌ی جریان الکتریسیته‌ی مورد نیاز هر یک از عناصر سخت‌افزاری است.

در کارگاه الکترونیک منابع تغذیه جریان مستقیم (DC) از نوع ۳۰-۳ هستند و این به معنای آن است که با مهیا بودن شرایط هر آزمایش، امکان تولید ولتاژ و جریان بیشینه به ترتیب ۳۰v و ۳A توسط این دستگاه‌ها وجود دارد.

شکل ۶-۱: منبع تغذیه DC مدل ۳۰-۳

برای دیدن کاتالوگ محصول فوق و کسب اطلاعات بیشتر، تصویر مقابل را اسکن نمایید.

[۲] Power Supply

بر روی این دستگاه‌ها دو حالت CC[۳] و VC[4] وجود دارد که به ترتیب، شخص آزمایشگر تعیین می‌کند که در مدار کدام مولفه (جریان یا ولتاژ) قرار است از مقدار بیشینه قابل تحمل مدار تجاوز ننماید.

به عنوان مثال و با فرض اینکه بیشینه جریان قابل تحمل برای یک لامپ LED دو پایه از حدود ۲۰mA باشد می‌توان در زمان استفاده از LEDها در مدار، با چرخاندن پیچ جریان وضعیت CC را فعال نماییم. فعال بودن این حالت باعث می‌شود زمانیکه بیشینه جریانِ گذرنده از LED به ۲۰mA نزدیک می‌شود، علیرغم چرخاندن پیچ افزایش ولتاژ، افزایشی در جریان و ولتاژ قطعه صورت نگیرد و قطعه سالم بماند. اما اگر وضعیت CC را فعال نکرده باشیم جریان با ولتاژ به صورت خطی افزایش می یابد و با گذشتن از جریان بیشینه قابل تحمل برای قطعه باعث سوختن قطعه در مدار خواهد شد.

نوع دیگر منبع تغذیه، منابع تغذیه AC هستند که به تفضیل در بخش «مولد توابع دوره‌ای[۵]» بررسی خواهند شد.

**نکات ایمنی:**

- ✓ قبل از روشن کردن منبع مطمئن شوید که سوئیچ انتخاب تغذیه به درستی برای منبع تغذیه اعمالی تنظیم شده است.
- ✓ هرگز با دست مرطوب دوشاخه‌ی کابل منبع را لمس نکنید، زیرا ممکن است منجر به شوک الکتریکی شود.
- ✓ هرگز در حین اندازه‌گیری، سیم‌کشی‌ها، اتصالات یا هر مدار فعالی را لمس نکنید.
- ✓ اگر تجهیزات دیگری به همان پریز منبع متصل هستند، بایستی مراقب باشید که مدار overload نشود.
- ✓ از اتصال کوتاه خروجی منبع تغذیه DC اجتناب کنید.
- ✓ هنگام اتصال کابل ورودی به منبع تغذیه احتیاط کنید زیرا در صورت اتصال کابل ورودی به ترمینالِ اشتباه ممکن است منبع تغذیه خراب شود.
- ✓ اگر حالت اتصال کوتاه overcurrent در طول عملیات ادامه داشته باشد، ممکن است بخش‌های داخلی دستگاه آسیب ببینند.
- ✓ منبع تغذیه به دور از دستگاه‌هایی که نویز فرکانس بالا تولید می‌کنند، قرار گیرد.
- ✓ دستگاه را در معرض نور مستقیم خورشید قرار ندهید.
- ✓ دستگاه را در محل خشک و با تهویه مناسب استفاده نمایید و درصورت عدم استفاده طولانی، دستگاه را از برق بکشید.
- ✓ هنگام اندازه‌گیری الکتریکی، بدن خود را با پوشیدن لباس‌های خشک، دستکش، کفش‌های پلاستیکی یا هرگونه مواد

---

[۳] Current Control

[4] Voltage Control

[۵] Function Generator

عایق، از زمین ایزوله کنید.

- ✓ وسایل اطفاء حریق را در دسترس قرار دهید و نکات لازم در ارتباط با پیشگیری و مبارزه با آتش‌سوزی را رعایت کنید. همچنین دقت نمایید تا موها و لباس کار با آتش در تماس نباشند و از به کار بردن لباس‌کار که با الیاف مصنوعی ساخته شده است خودداری کنید.

## ۱.٤ مولد توابع دوره‌ای

مولد توابع دوره‌ای، سیگنال ژنراتور یا مولد سیگنال دستگاهی است برای تولید شکل موج‌های متناوب مختلف که قابلیت تنظیم فرکانس، دامنه و ولتاژ offset را دارد. این شکل موجها می‌توانند تکرار شونده یا single-shot باشند. به عبارت دیگر یک فانکشن ژنراتور قطعه‌ای الکترونیکی است که می‌تواند شکل موج‌های الکتریکی را با انواع مختلف توابع ریاضی خوش تعریف، ولتاژ یا جریان‌های تناوبی تولید کند و به عنوان یک منبع تغذیه AC مورد استفاده قرار گیرد.

مولد تابع مورد استفاده در این کارگاه دارای گستره فرکانسی از ۰.۲۵ Hz تا ۵ MHz بوده و توانایی ایجاد ولتاژ پیک به پیک ۱۰mV تا ۱۰V را دارا است.

شکل ۷-۱: مولد تابع دوره‌ای (فانکشن ژنراتور)

برای دیدن کاتالوگ محصول فوق و کسب اطلاعات بیشتر، تصویر مقابل را اسکن نمایید.

**نکات ایمنی:**

- ✓ برای جلوگیری از شوک الکتریکی یا خطر آتش‌سوزی هرگز ولتاژی که خارج از محدوده‌ی مشخص شده برای ترمینال است را به ترمینال اعمال نکنید.
- ✓ تنها از فیوز مشخص شده برای دستگاه استفاده نمایید.
- ✓ برای جلوگیری از شوک الکتریکی، دستگاه را در شرایط مرطوب به‌کار نبرید.
- ✓ قبل از اعمال منبع، اطمینان حاصل کنید که سلکتور خط در موقعیت مناسب منبع استفاده می‌شود.

- ✓ پراب‌ها را قبل از سوئیچ حالت‌ها از مدار اندازه‌گیری قطع نکنید.
- ✓ برچسب‌های هشدار و دیگر اطلاعات و اخطارهای مربوط به دستگاه را مورد توجه قرار دهید.
- ✓ از حداکثر محدوده‌های ورودی مجاز برای دستگاه تجاوز نکنید.
- ✓ به هنگام انجام آزمایش از لباس‌های خشک، دستکش و کفش‌های پلاستیکی استفاده نمایید.
- ✓ قبل از اتصال پراب‌ها به دستگاه آن‌ها را از نظر معیوب نبودن عایق‌ها و لخت نبودن سیم‌ها چک کنید.
- ✓ پس از اتمام کار از خاموش بودن دستگاه اطمینان حاصل نمایید.
- ✓ دستگاه را در معرض نور مستقیم خورشید یا رطوبت قرار ندهید.
- ✓ برای تمیز کردن دستگاه از پارچه تمیز و خشک استفاده نمایید.

## ۱.۵ نوسان نما(اسیلوسکوپ)[۶]

اسیلوسکوپ یک دستگاه مفید و چندکاره‌ی آزمایشگاهی است که برای نمایش دادن و اندازه‌گیری، تحلیل شکل موج‌ها و دیگر پدیده‌های الکتریکی و الکترونیکی به کار می‌رود. اسیلوسکوپ‌ها در حقیقت رسام‌هایی بسیار سریع هستند که سیگنال ورودی را در برابر زمان یا در برابر سیگنال دیگر نمایش می‌دهند. قلم این رسام یک لکه‌ی نورانی است که در اثر برخورد یک باریکه‌ی الکترون به صفحه‌ای به‌وجود می‌آید. اندازه‌گیری و مشاهده‌ی شکل موج‌ها در اسیلوسکوپ از ولتاژ با فرکانس صفر (DC) شروع و به فرکانس مشخصی ختم می‌گردد که معمولا اسیلوسکوپ را با این فرکانس مشخص می‌کنند. مثلا اسیلوسکوپ ۴۰ مگاهرتز، یعنی اسیلوسکوپی که می‌تواند ولتاژهای DC و AC تا ۴۰ مگاهرتز را نمایش دهد.

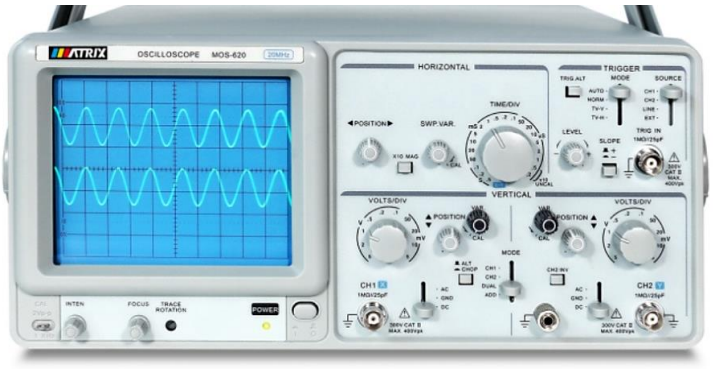
**نکات ایمنی:**

- ✓ برای جلوگیری از آتش‌سوزی از سیم برق مناسب استفاده نمایید.
- ✓ هرگز پراب‌ها را در حالی‌که به منبع ولتاژ متصل هستند، قطع و وصل نکنید.
- ✓ برای جلوگیری از آتش‌سوزی یا شوک احتمالی به علامت‌گذاری‌های روی دستگاه توجه نمایید.
- ✓ در زمان اتصال منبع، قطعات و اتصالات مدار را لمس نکنید.
- ✓ کلید زمین را به ولتاژ بالا وصل ننمایید.
- ✓ تنها از فیوز مشخص شده برای دستگاه استفاده نمایید.
- ✓ صفحه نمایش LCD را برای مدت طولانی در معرض نور مستقیم خورشید قرار ندهید.
- ✓ برای تمیز کردن سطح خارجی دستگاه و پروب‌ها از پارچه نرم و بدون پرز استفاده شود. محلول آبی الکل ایزوپروپیل ٪۷۱ برای تمیز کردن کارآمدتر می‌باشد.

[۶] Oscilloscope

- ✓ درصورت بروز هرگونه مشکل، مسئول آزمایشگاه را مطلع نمایید.

پس از اتمام کار از خاموش بودن دستگاه اطمینان حاصل نمایید.




شکل ۸-۱: اسیلوسکوپ دیجیتال ۲۰ MHz

برای دیدن کاتالوگ محصول فوق و کسب اطلاعات بیشتر، تصویر مقابل را اسکن نمایید.

## ۱.۶ هویه و لحیم کاری

یکی از اعمالی که در ساخت اکثر پروژه‌ها به‌کار می‌آید، لحیم‌کاری می‌باشد. لحیم‌کاری برای اتصال قطعات الکترونیکی به هم یا به مدار و سایر کارهای مرتبط به‌کار می‌رود. برای انجام لحیم‌کاری باید دقت فراوان نمود تا قطعات لحیم شده به‌صورت محکم و مناسب به هم یا به مدار متصل گردند. دو فاکتور اصلی تعیین کننده‌ی کیفیت لحیم، دما و زمان می‌باشند. به طور کلی گرما دادن سریع در لحیم‌کاری مناسب‌تر می‌باشد هرچند دلیل اکثر لحیم‌کاری‌های ناموفق، کافی نبودن حرارت می‌باشد. درصورتی‌که حرارت برای مدت زمان طولانی به محل اتصال قطعات برای لحیم‌کاری آن‌ها اعمال گردد، می‌تواند باعث خراب شدن قطعه، اکسید شدن و از بین رفتن مدار و ایجادمشکلاتی از این قبیل گردد. دمای هویه باید به قدری باشد که تنها قلع را ذوب نمایدو به مدار و قطعات آن آسیبی وارد ننماید. اصولا اگر دمای هویه حدود ۱۰درجه سانتیگراد از دمای ذوب قلع بالاتر باشد، دمای مناسبی برای هویه محسوب می‌شود و به قطعات آسیب نمی‌رساند.

اصولا مراحل لحیم‌کاری به‌صورت زیر می‌باشد:

- ✓ تمیز نمودن کلیه سطوح و قطعاتی که قرار است لحیم شوند (توسط سیم ظرفشویی یا سنباده).
- ✓ گرم کردن هویه تا حدی که به راحتی سیم لحیم را ذوب کند.
- ✓ قرار دادن نوک هویه در یک طرف محل لحیم‌کاری.

لحیم‌کاری خوب و مناسب به عوامل زیر بستگی دارد:

- ✓ لحیم‌کاری با هویه‌ای خوب و تمیز انجام گیرد.

- ✓ قطعاتی که لحیم می‌شوند باید تمیز باشند.
- ✓ پیش از لحیم‌کاری قطعات به‌صورت فیزیکی به‌هم متصل گردند.
- ✓ محل لحیم‌کاری باید پیش از نزدیک کردن سیم لحیم به‌قدر کافی گرم شود.
- ✓ پیش از تکان دادن یا جابجا نمودن محل اتصال باید اجازه دهیم قلع کاملا سرد شود و اصطلاحاً خود را بگیرد.

وضعیت بدنی مناسب در هنگام لحیم‌کاری:

- ✓ علائم ایجاد اختلال اسکلتی-عضلانی را بیاموزید. وضعیت‌های بدنی تکراری نامناسب می‌تواند صدمه‌زا باشد و موجب بروز ترومای تجمعی شود.
- ✓ از وضعیت‌های بدنی نامناسبی که می‌توانند باعث خستگی، کاهش تمرکز و کاهش کیفیت لحیم‌کاری شوند، خودداری نمایید.
- ✓ تا حد امکان دست‌هایتان را در پایین‌تر از سطح شانه‌ی خود بکار گیرید.
- ✓ از کارکردن در یک وضعیت بدنی ثابت (ایستاده یا نشسته) خودداری نمایید.
- ✓ تا حد امکان قطعه کارها را در ارتفاع آرنج تنظیم نمایید.
- ✓ در صورت ایستادن به مدت طولانی از زیرپایی‌های مناسب استفاده نمایید.
- ✓ جهت پیشگیری از کشیدن بدن و خم کردن کمر، ابزار و مواد را تا حد امکان در محدوده دسترسی قرار دهید.

**اصول ایمنی**

در انجام مراحل مختلف لحیم‌کاری نکات ایمنی زیر را رعایت منید:

- ✓ هویه‌ی گرم را در محل‌هایی که از خطر آتش‌سوزی یا سوانح دیگر محفوظ هستند، نگهداری کنید و همواره از پایه هویه‌ی مناسب استفاده نمایید.
- ✓ در بکارگیری هویه‌های برقی از ولتاژی که روی آن نوشته شده است استفاده کنید.
- ✓ از تماس مواد تمیز کننده و روان‌سازها با پوست بدن و زخم‌های روی پوست جلوگیری کنید و برای پیشگیری، از کرم‌هایی که پوست را در مقابل مواد سیال محافظت می‌کنند، استفاده کنید.
- ✓ نوک هویه‌ی داغ را داخل روغن لحیم نبرید؛ زیرا گازهایی که از آن متصاعد می‌شوند سمی هستند.
- ✓ در صورتی که سر هویه تمیز نیست و یا اکسیده شده است، ابتدا با استفاده از اسفنج مخصوص تمیز شود.
- ✓ ازسیستم تهویه مناسب برای محل کار استفاده کنید تا دستگاه تنفسی شخص لحیم‌کار در اثر بخار مواد، تحریک نشود.
- ✓ هرگز بخار لحیم را تنفس نکنید و موقع لحیم‌کاری از ماسک مناسب استفاده کنید.

- ✓ در کلیه‌ی عملیات لحیم‌کاری حفاظت از چشم‌ها ضروری می‌باشد تا آن‌ها را از نور، گرما، اشعه و پرتاب جرقه‌ها محافظت نماید. برای حفاظت بهتر، از ماسک‌های پوششی صورت با کلاه ایمنی به همراه عینک استفاده نمایید.

مواد خطرناک را با موادی که خطر کمتری دارند جایگزین کنید. به این منظور می‌توانید:

- ✓ از آلیاژهای سرب و قلع خالص بدون کادمیوم برای لحیم‌کاری استفاده نمایید.
- ✓ از دستکش‌های فاقد مواد آزبستی استفاده کنید.
- ✓ قبل از خوردن و آشامیدن، حتما دستان خود را با آب و صابون کاملا تمیز نمایید.
- ✓ محوطه لحیم‌کاری را عاری از ماشین آلات یا ابزار اضافی کنید تا خطر تصادم یا سقوط کاهش یابد.
- ✓ لحیم‌کاری را نباید در فاصله‌ی نزدیک حلال‌ها یا مواد چربی‌زدا انجام داد.
- ✓ ضخامت سیم لحیم استفاده شده نیز عامل مهمی می‌باشد. هرچه سطح مقطع سیم لحیم کمتر باشد، حرارت کمتری برای ذوب کردن آن مورد نیاز خواهد بود. اصولا تا ۱ میلی‌متر برای لحیم‌کاری تمام مدارها مناسب می‌باشد.
- ✓ همیشه سعی کنید از سیم لحیم با کیفیت بالا استفاده نمایید. سیم لحیم با آلیاژ ۶۰٪ قلع و ۴۰٪سرب آلیاژ مناسبی می‌باشد.
- ✓ پس از اتمام کار، هویه را از برق بکشید.
- ✓ پس از لحیم کردن دست‌های خود را بشویید.

شکل ۹-۱: برخی از ادوات و امکانات مورد نیاز لحیم کاری

## ۱.۷ ایمنی در کارگاه برق

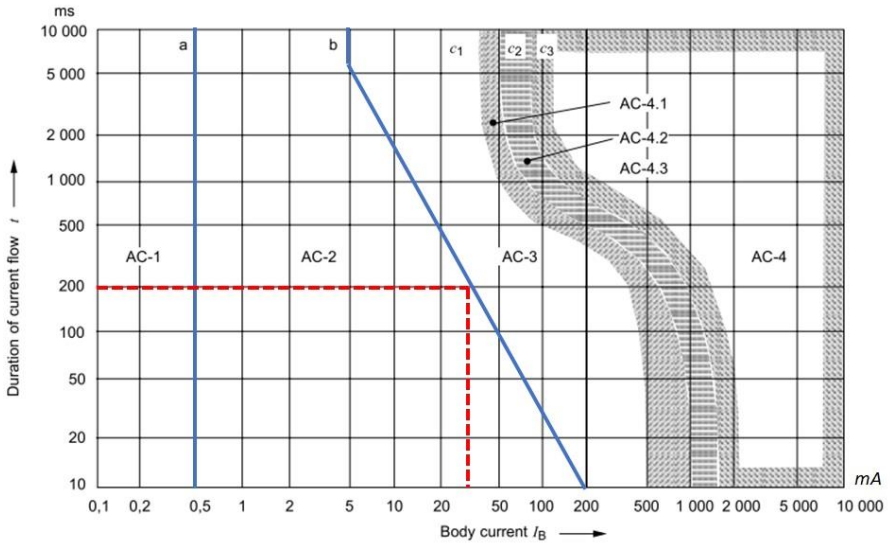
زمانی که شخص دچار برق گرفتگی (شوک الکتریکی) می‌شود، در واقع جریان برق از نقطه ای وارد بدن شده و از محلی که بدن با زمین تماس دارد، خارج می‌شود. حال آنکه این مسیر عبور جریان برق، همان ناحیه‌ای است که دچار آسیب دیدگی

می‌شود. جریان برق در حین عبور از بدن تولید گرما و انرژی نموده و این گرما و انرژی سبب تخریب سلولهایی می‌شود که در مسیر عبور جریان برق قرار دارند. هرچه ولتاژ برقی که وارد بدن می شود بیشتر باشد، سوختگی ایجاد شده عمیق تر و جراحت‌های وارد شده وخیم‌تر خواهد بود. علاوه بر آن جریان الکتریکی ضمن عبور از بدن در اعصاب، ماهیچه ها و قلب سبب تغییراتی می شود که سبب قطع یا ایجاد اختلال در فعالیت آنها می‌شود.

باید توجه داشت آن عاملی که اصطلاحاً باعث برق گرفتگی می‌شود تنها **جریان الکتریکی** است. اما بزرگی جریان الکتریکی خود تابع متغیرهای دیگری نظیر ولتاژ ورودی، مقاومت الکتریکی ناحیه‌ای که جریان از آن عبور می‌کند، مسیر جریان، نوع جریان از نظر مستقیم یا متناوب بودن آن، فرکانس جریان متناوب و همچنین زمان اثر جریان بر بدن است.

- **توجه:** مقاومت الکتریکی پوست خشک، بسته به میزان ضخامت آن، از مرتبه $10k\Omega$ تا مگا اهم است. در حالیکه مقاومت الکتریکی پوست مرطوب تا $1k\Omega$ و حتی کمتر کاهش می یابد. بنابراین در زمان کار در کارگاه الکتروتکنیک در صورت عدم رعایت ایمنی، حتی ولتاژهای کمتر از ۳۰ ولت هم می‌توانند خطر آفرین باشند.

در نمودارهای ذیل اثرات نوع جریان (مستقیم یا متناوب)، فرکانس کاری و مدت زمان اثر جریان را از نظر خواهیم گذراند:




شکل ۱۰-۱: اثر جریان متناوب در فرکانس ۱۵ تا ۱۰۰ هرتز از مسیر دست چپ به پا ها (IEC TS 60479-1)

مطابق اطلاعات نمودار شکل ۱۰-۱، با تجاوز از نواحی AC-1 و AC-2 و ورود به نواحی بعدی (AC-3 و AC-4)، با بروز انقباض‌های شدید عضلانی و سایر اختلالات، جریان‌ها کشنده خواهند بود. بطور کلی باید توجه داشت که برای جریان‌های متناوب شرایط ذیل برقرار است:

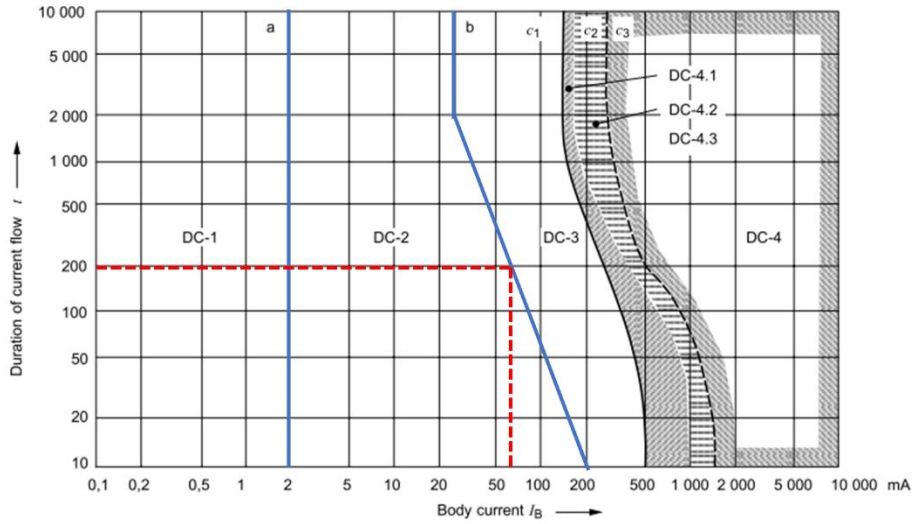
- جریان کمتر از ۱۵ میلی آمپر: احساس جریان از طرف شخص؛ مور مور شدن مسیر جریان
- جریان ۱۵ تا ۲۵ میلی آمپر: شروع انقباض عضلانی در بدن بخصوص انقباض تنفسی
- جریان بیشتر از ۲۵ میلی آمپر: انقباض عضلات قلب؛ کشنده!

| Zones | Boundaries | Physiological effects |
|---|---|---|
| AC-1 | Up to 0,5 mA curve a | Perception possible but usually no 'startled' reaction |
| AC-2 | 0,5 mA up to curve b | Perception and involuntary muscular contractions likely but usually no harmful electrical physiological effects |
| AC-3 | Curve b and above | Strong involuntary muscular contractions. Difficulty in breathing. Reversible disturbances of heart function. Immobilization may occur. Effects increasing with current magnitude. Usually no organic damage to be expected |
| AC-4 [1)] | Above curve $c_1$ | Patho-physiological effects may occur such as cardiac arrest, breathing arrest, and burns or other cellular damage. Probability of ventricular fibrillation increasing with current magnitude and time |
| | $c_1$-$c_2$ | AC-4.1 Probability of ventricular fibrillation increasing up to about 5 % |
| | $c_2$-$c_3$ | AC-4.2 Probability of ventricular fibrillation up to about 50 % |
| | Beyond curve $c_3$ | AC-4.3 Probability of ventricular fibrillation above 50 % |

[1)] For durations of current flow below 200 ms, ventricular fibrillation is only initiated within the vulnerable period if the relevant thresholds are surpassed. As regards ventricular fibrillation, this figure relates to the effects of current which flows in the path left hand to feet. For other current paths, the heart current factor has to be considered.

شکل ۱۱-۱: تفسیر نمودار شکل ۱۰-۱؛ اثر جریان متناوب در فرکانس ۱۵ تا ۱۰۰ هرتز از مسیر دست چپ به پا ها

مشابه تحلیل و نمودار مربوط به جریان متناوب، برای جریان مستقیم نیز می‌توان مطالبی را عنوان نمود. به این ترتیب:




شکل ۱۲-۱: اثر جریان مستقیم در فرکانس ۱۵ تا ۱۰۰ هرتز از مسیر دست چپ به پا ها (IEC TS 60479-1)

همانند توضیحات مربوط به جریان متناوب، با تجاوز از نواحی DC-1 و DC-2 و ورود به نواحی بعدی (DC-3 و DC-4)، با بروز انقباض‌های شدید عضلانی و سایر اختلالات، جریان‌ها کشنده خواهند بود. بطور کلی باید توجه داشت که برای جریان‌های مستقیم شرایط ذیل برقرار است:

- جریان کمتر از ۳۰ میلی آمپر: احساس جریان از طرف شخص؛ مور مور شدن مسیر جریان
- جریان ۳۰ تا ۵۰ میلی آمپر: شروع انقباض عضلانی در بدن بخصوص انقباض تنفسی
- جریان بیشتر از ۵۰ میلی آمپر: انقباض عضلات قلب؛ کشنده!

| Zones | Boundaries | Physiological effects |
|---|---|---|
| DC-1 | Up to 2 mA curve a | Slight pricking sensation possible when making, breaking or rapidly altering current flow |
| DC-2 | 2 mA up to curve b | Involuntary muscular contractions likely especially when making, breaking or rapidly altering current flow but usually no harmful electrical physiological effects |
| DC-3 | Curve b and above | Strong involuntary muscular reactions and reversible disturbances of formation and conduction of impulses in the heart may occur, increasing with current magnitude and time. Usually no organic damage to be expected |
| DC-4 [1)] | Above curve $c_1$ | Patho-physiological effects may occur such as cardiac arrest, breathing arrest, and burns or other cellular damage. Probability of ventricular fibrillation increasing with current magnitude and time |
| | $c_1$-$c_2$ | DC-4.1 Probability of ventricular fibrillation increasing up to about 5 % |
| | $c_2$-$c_3$ | DC-4.2 Probability of ventricular fibrillation up to about 50 % |
| | Beyond curve $c_3$ | DC-4.3 Probability of ventricular fibrillation above 50 % |
| [1)] For durations of current flow below 200 ms, ventricular fibrillation is only initiated within the vulnerable period if the relevant thresholds are surpassed. As regards ventricular fibrillation this figure relates to the effects of current which flows in the path left hand to feet and for upward current. For other current paths the heart current factor has to be considered. | | |

شکل ۱۳-۱: تفسیر نمودار شکل ۱۲-۱؛ اثر جریان مستقیم در فرکانس ۱۵ تا ۱۰۰ هرتز از مسیر دست چپ به پا ها

برای دیدن فایل مربوط به «اثرات جریان بر روی بدن انسان و موجودات زنده» ( IEC TS 60479-1)، تصویر مقابل را اسکن نمایید.

**علایم برق گرفتگی:**

فردی که دچار برق گرفتگی می‌شود متناسب با محل عبور جریان برق علائم متفاوتی از خود نشان می‌دهد که این علائم عبارتند از:

**سوختگی:** از شایع‌ترین علائمی که بیماران در این زمان از خود نشان می‌دهند، سوختگی‌هایی است که عموماً در محل ورود و یا خروج جریان برق به بدن دیده می‌شود.

**عوارض وارد در اندام‌ها:** این عارضه به دلیل آسیب‌های وارده به راه‌های عصبی به‌وجود می‌آید که از یک گزگز و مورمور شدن ساده اندام‌ها؛ مخصوصاً انگشتان دست و پا؛ تا فلج کامل دست‌ها و پاها را می تواند شامل شود. گاهی بلافاصله بعد از برق‌گرفتگی این علائم بروز کرده و از یک فراموشی کوتاه مدت شروع و به حرکات غیرقابل کنترل ختم می‌شود.

**دردهای عضلانی و ماهیچه‌ای:** ا توجه به خطر آسیب مستقیم جریان برق به عضلات و گرمایی که در حین عبور جریان برق از بدن به‌وجود می‌آید، عضلات محل عبور برق دچار کوفتگی خفیف تا شدید شده و یا در موارد شدیدتر، دچار سوختگی از درون می‌شوند. در واقع حالتی مشابه زخم در عضلات به وجود می‌آید که در فرد دردهای فراوانی را احساس خواهد نمود.

**تغییرات فشار خون:** این عارضه معمولاً در موارد شدید برق گرفتگی دیده می‌شود که شامل افزایش و کاهش فشار خون

می‌شود و در موارد شدیدتر، شخص دچار شوک می‌شود که اقدامات سریع اورژانسی جهت بهبود فرد برق گرفته مورد نیاز است.

**ایست قلبی:** این عارضه معمولاً در برق گرفتگی‌های با ولتاژ بالا رخ می‌دهد ولی امکان اینکه در برق گرفتگی‌های معمولی و با ولتاژ پائین هم رخ بدهد وجود دارد. این عارضه از اختلالات خفیف قلبی تا ایست کامل قلبی مشاهده شده است. مشکلات قلبی فرد مصدوم اغلب همراه با قطع تنفس است که باید برای جلوگیری از آسیب‌های بیشتر یا مرگ فرد آسیب دیده، سریعاً تنفس مصنوعی داده شود.

**عوارض روانی**: هرچند این عارضه و علائم آن امکان دارد که با تأخیر به وجود آید و شخص برق گرفته را تحت تأثیر قرار دهد. ولی گاهی بلافاصله بعد از برق گرفتگی این علائم بروز کرده و از یک فراموشی کوتاه مدت شروع و به حرکات غیر قابل کنترل ختم می‌شود.

**اهم کمک‌های اولیه و اقدامات مراقبی در زمان برق گرفتگی:**

۱- قبل از دست زدن به مصدوم، باید مطمئن شوید که تماس با منبع الکتریکی قطع شده است.

۲- به منظور خنک کردن سوختگی‌ها، موضع آسیب دیده، که معمولاً در نقاط ورود و خروج جریان برق هستند را با مقدار زیادی آب سرد بشویید.

۳- در صورت امکان دستکش یکبار مصرف بپوشید. به منظور محافظت از سوختگی‌ها در برابر عفونت‌های منتقل شونده از راه هوا، روی آنها را با پانسمان استریل، باند مثلثی تا شده یا یک قطعه پارچه تمیز بدون کرک بپوشانید..

۴- با مرکز اورژانس تماس بگیرید و آمبولانس درخواست کنید.

۵- به مصدوم آرامش بدهید و در صورت بروز شوک، به درمان آن بپردازید.

۶- اگر بخشی از بدن مصدوم بدون پوشش یا برهنه است، نباید به او دست زد. با این کار جان شما هم به خطر می‌افتد.

۷- اگر امکان قطع جریان برق وجود ندارد، با یک وسیله مثل طناب، لباس ، چوب و یا یک وسیله عایق دیگر، مصدوم را از جریان برق دور کنید.

**فعالیت‌های پیشنهادی:**

دانشجویان می‌توانند با هماهنگی مدرس کلاس، به عنوان کار کلاسی یکی از موارد ذیل یا موردی دلخواه را انتخاب نموده و انجام دهند:

- ✓ در مورد نحوه ساخت هر یک از دستگاههای گفته شده در این آزمایش تحقیق نموده و تلاش کنید یک نمونه ساده از هر یک از آنها بسازید.

- ✓ در مورد استانداردهای بین‌المللی نظیر AWS و IEC و ... تحقیق کرده و اهم مطالب مرتبط با کارگاه الکتروتکنیک را استخراج نمایید.
- ✓ در خصوص نحوه تعمیر و یا تعویض قطعات مصرفی هر یک از دستگاه‌های ذکر شده تحقیق نمایید.
- ✓ همانگونه که در آزمایش پیزوالکتریک خواهیم دید، فندک‌های معمولی توانایی ایجاد ولتاژی در حدود ۱ الی ۲ کیلو ولت را دارند. توضیح دهید چرا در صورت اصابت جرقه ناشی از فندک به بدن، آسیب جدی به بافت‌ها وارد نمی‌شود؟ (توجه داشته باشید در زمان کار با دستگاههای ولتاژ بالا، رعایت نکات ایمنی بسیار ضروری است).
- ✓ دستگاههای جوش قوس الکتریکی ادواتی هستند که توانایی ایجاد جریان‌های خروجی تا ۲۰۰ آمپر را نیز دارند. از آنجاییکه جریان‌های بیش از ۲۵ میلی آمپر کاملاً خطرساز و کشنده هستند، چرا جوشکاران که اغلب از دستکش-های عایق هم استفاده نمی‌کنند به ندرت دچار سوانح برق گرفتگی ناشی از جوش قوسی می‌شوند؟ (توجه داشته باشید در زمان کار با چنین دستگاههای، رعایت نکات ایمنی بسیار ضروری است).

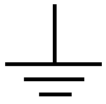
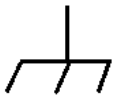
# ۲ قطعه شناسی الکترونیک

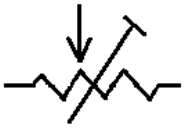
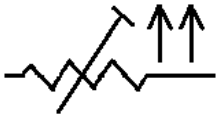
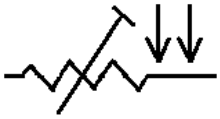
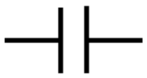
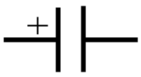
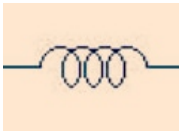
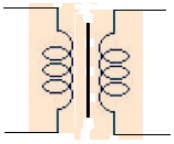
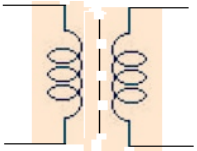
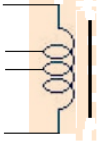
**اهداف آزمایش:**

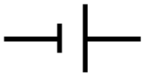
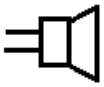
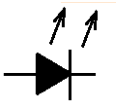
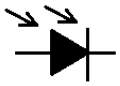
آشنایی با انواع قطعات محبوب در کارگاه وتشخیص شماتیک قطعات الکترونیکی و درک نقشه‌های الکترونیکی

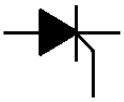
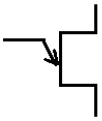
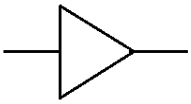
**نقشه‌های الکترونیکی**: هدف این است که با دانستن نقشه‌های الکترونیکی کارآموز بتواند قطعات الکترونیکی را از روی نقشه تشخیص دهد و قطعات مورد نیاز را تهیه کرده و برطبق نقشه الکترونیکی، مدار را روی برد منتقل و مونتاژ نماید.

نقشه‌های الکترونیکی دارای استاندارد یکسانی بوده و در همه‌جا شناخته شده است. در یک مدار الکترونیکی معمولا قطعات و المان‌های متفاوتی به‌کار می‌روند. برای هر المان الکترونیکی، یک علامت (شمای فنی) در نظر گرفته می‌شود که گویای مختصری از کار آن عنصر می‌باشد. برطبق جدول استاندارد زیر پاره‌ای از شماهای فنی عناصر الکترونیکی آورده شده است.

| شرح | شمای فنی | علامت اختصاری | نام انگلیسی |
|---|---|---|---|
| اتصال زمین |  | E | Earth ground |
| اتصال شاسی- اتصال بدنه |  | | Chassis of frame connection |
| اتصال مشترک | | TB | Common connection |
| نقطه‌ی اتصال | | | Junction of connected |
| مقاومت اهمی | | R | Resistor |
| مقاومت متغیر | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Potentiometer | R |  | پتانسیومتر (مقاومت متغیر قابل تنظیم پیچ گوشتی) |
| Positive | PTC |  | مقاومت تابع حرارت |
| Negative | NTC |  | مقاومت تابع حرارت |
| Capacitor | C |  | خازن |
| Electrolytic capacitor | C |  | خازن الکترولیت |
| Variable capacitor | C | | خازن متغییر |
| Coil with air core | L |  | بوبین با هسته‌ی هوا |
| Coil with magnetic core | L | | بوبین با هسته‌ی زغالی (فریت) |
| Transformer with magnetic core | T |  | ترانسفورماتور با هسته‌ی آهنی |
| Transformer with variable ferrite core | T |  | ترانسفورماتور با هسته‌ی متغیر فریتی |
| Auto transformer | T |  | اتو ترانسفورماتور |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Single cell battery | BT |  | باتری یک واحدی |
| Multiple cell battery | BT | | باتری چند واحدی |
| Fuse | F | | فیوز |
| Antenna | A | | آنتن |
| Load speaker | LS |  | بلندگو |
| Ac oscillator | OS | | نوسان‌ساز سینوسی |
| Diode | D | | دیود نیمه هادی |
| Light emitting diode | LED |  | دیود نوردهنده |
| Photo diode | |  | دیود نوری (فتو دیود) |
| NPN transistor | | | ترانزیستور NPN |
| PNP transistor | | | ترانزیستور PNP |

| | | | |
|---|---|---|---|
| یکسو کننده‌ی قابل کنترل سیلیکونی |  | SCR | Silicon controlled rectifier |
| ترانزیستور تک‌پیوندی |  | UJT | Unijunction transistor |
| تقویت کننده |  | AMP | Amplifire |

جدول ۱: علائم اختصاری پاره‌ای از قطعات الکترونیکی

قطعات الکترونیک به دو بخش اکتیو[۷] و پسیو[۸] تقسیم می‌شوند به نحوی که تمام قطعات الکترونیک یا اکتیو هستند یا پسیو.

**قطعات پسیو**: این قطعات المان‌های الکترونیکی هستند که فقط می‌توانند انرژی را دریافت کنند و این انرژی را اتلاف، جذب یا در یک میدان الکتریکی یا مغناطیسی ذخیره کنند. قطعات پسیو برای کار کردن به هیچ شکلی از نیروی الکتریکی متکی نیستند. این قطعات نمی توانند یک سیگنال را تولید یا تقویت کنند و فقط انرژی را به شکل جریان یا ولتاژ نگهداری و ذخیره می‌کنند.

از جمله قطعات پسیو می‌توان به مقاومت‌ها، خازن‌ها، سلف‌ها، ترانسفورماتورها، سنسورها و فیلترها اشاره کرد.

- ✓ قطعات پسیو، قطعاتی دوطرفه[۹] به شمار می‌روند؛ لذا به غیر از مواردی مثل خازن‌های الکترولیتی که پلاریته آنها مشخص است، اینگونه قطعات را می‌توان بدون اینکه مشکلی ایجاد شود از هر دو جهت در مدارهای الکتریکی قرار داد. پلاریته‌ی ولتاژ دو سر یک قطعه، بر اساس مسیر قراردادی جریان (از پایه‌ی مثبت به پایه‌ی منفی) مشخص می‌شود. این موضوع برای قطعات اکتیو برقرار نیست و مهم است که کدام پایه‌ی عنصر اکتیو را با کدام پلاریته در مدار قرار دهیم.

**مقاومت الکتریکی**: با این قطعه پسیو از قبل آشنایی دارید لذا برخی مباحث تکمیلی و کاربردی در ادامه خواهند آمد. مقاومت[۱۰] قطعه‌ای دوپایه است که به عنوان یکی از اجزای منفرد مدارهای الکترونیکی، مقاومت الکتریکی[۱۱] مورد نیاز را ایجاد و اعمال می‌کند. نماد مقاومت الکتریکی در مدار R بوده و واحد اندازه‌گیری آن در دستگاه SI اهم است.

---

۷ Active

۸ Passive

۹ bi-directional

۱۰ Resistor

۱۱ Resistance

اما باید در نظر داشت در مدارهای مستقیم (DC) فقط مفهوم مقاومت برای قطعات مقاومتی تعریف می‌شود ولی در مدارهای متناوب (AC)، مفهوم امپدانس[۱۲] که مفهومی کلی‌تر از مقاومت است برای قطعات بکار برده می‌شود و می‌توان با طراحی آزمایش مقدار آن را برای هر قطعه به کار رفته در مدار محاسبه نمود. اما از آنجاییکه دو قطعه خازن و القاگر مقدار امپدانس قابل توجه و مشخصی دارند معمولاً این کمیت برای این دو قطعه تعریف و محاسبه می‌شود.

**امپدانس**: امپدانس که آن را با نماد Z نشان می‌دهند، مقاومت مدار در برابر شارش یا جریان الکتریکی است. دو عامل مختلف باعث کند شدن جریان در مدار شده که هر دوی این عوامل (مقاومت) در مقدار امپدانس موثر هستند. نخستین عامل مقاومت عادی و ذاتی (R) عناصر است و مربوط به ساختار ماده می‌شود. عامل دوم واکنایی یا راکتانس[۱۳] (X) بوده که ناشی از وجود میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در خازن و سلف به هنگام عبور جریان الکتریکی متناوب (AC) است.

**واکنایی**: واکنایی مقاومتی است که عناصر پسیو خازن و سلف به هنگام عبور جریان الکتریکی متناوب (AC) از خود نشان می‌دهند. به یاد داشته باشید که در جریان‌های الکتریکی ثابت (DC) عموماً پارامتر راکتانس تعریف نمی‌شود. دلیل این امر را می‌توان در مفهوم راکتانس جست‌وجو کرد. در واقع میدان الکتریکی در خازن و میدان مغناطیسی در سلف، در جریان‌های الکتریکی متناوب (AC) در برابر تغییر جهت جریان مخالفت می‌کنند. این مخالفت را مقاومت واکنشی یا همان راکتانس می‌نامند. ضمناً از آنجاییکه واکنایی اختلاف فاز بین جریان ورودی مدار و جریان گذرنده از قطعه الکترونیکی ایجاد می‌نماید، مطابق انتظاری که از آنالیز اعداد مختلط آموخته‌ایم، انتظار بر این است که واکنایی بخش موهومیِ امپدانس باشد.

بنابراین به عنوان مثال خازن در یک جریان الکتریکی متناوب (AC) به طور مدام با عوض شدن جهت جریان، شارژ و دشارژ می‌شود. در واقع به هنگام شارژ جهت جریان عوض شده و بارهای قبلی که در راستای شارژ شدن در صفحات خازن جمع شده بودند (میدان حاصل از آن‌ها) در برابر دشارژ شدن مقاومت می‌کنند. هر چه سرعت تغییر جهت جریان بیشتر باشد، میزان راکتانس خازنی کاهش می‌یابد، چرا که می‌توان گفت بار کمتری به هنگام شارژ در صفحات ذخیره می‌شود. بر خلاف خازن‌ها با افزایش سرعت تغییر جهت جریان، مقدار واکنایی سلفی ($X_L$) افزایش پیدا می‌کند.

به عبارتی برای واکنایی و امپدانس خازنی و سلفی داریم:

$$X_c = \frac{-i}{\omega C} \quad \text{و} \quad Z = ESR_c - \frac{i}{\omega C}$$

$$X_L = i\omega L \quad \text{و} \quad Z = ESR_L + i\omega L$$

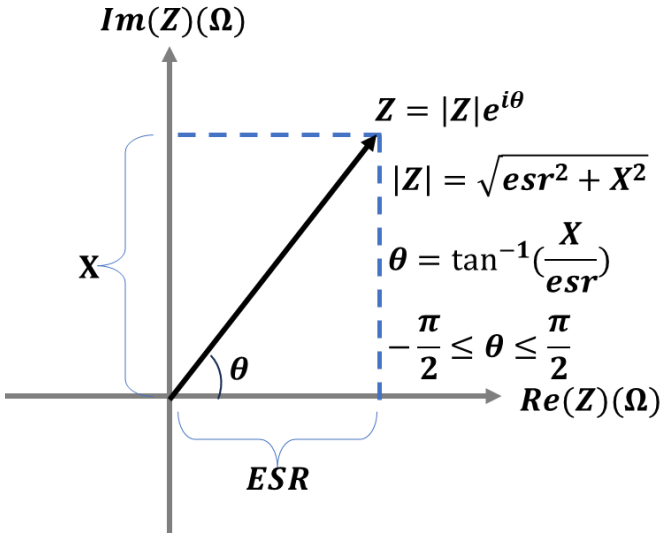
$ESR_L$ و $ESR_c$ به ترتیب مقاومت سری معادل سلف و خازن هستند که معمولاً دارای مقادیر ناچیزی بوده و در محدوده چندمیلی اهم قرار می‌گیرند. در ضمن محاسبات مربوط به مدارهای RLC از قانون KVL پیروی می‌نماید.

---

[۱۲] Impedance

[۱۳] Reactance

توجه داشته باشید برای هر قطعه دلخواه می‌توان امپدانس را به صورت قطبی بر روی محور نمایش داد.




شکل ۱-۲: نمایش قطبی امپدانس (مناسب برای نمایش امپدانس سلفی)

**قطعات اکتیو**: تعاریف مختلفی برای عناصر و قطعات اکتیو وجود دارد. یکی از تعریف‌ها این است که قطعات اکتیو، المان‌هایی هستند که برای کنترل یا اصلاح سیگنال‌های الکتریکی به منبع تغذیه خارجی نیاز دارند. به عنوان مثال، یک ترانزیستور به عنوان یک قطعه اکتیو، برای روشن شدن نیاز به یک ولتاژ حداقل ۰.۷ ولتی دارد تا بتواند هدفش را انجام دهد. به بیانی دیگر قطعات اکتیو، انرژی را به شکل جریان یا ولتاژ تولید می‌کنند، مانند منبع ولتاژ ، منبع جریان، ژنراتور، انواع آی‌سی‌های آنالوگ و دیجیتال، انواع ترانزیستورها مانند ترانزیستورهای BJT، ماسفت و ...، تریستور، انواع دیودها مانند LED و فوتو دیود و دیود زنر و دیود شاتکی و ...

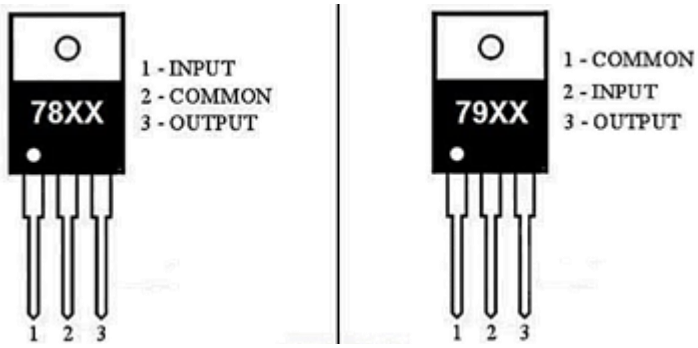
**دیود**: قطعه‌ای الکترونیکی است که از مواد نیمرسانا ساخته می‌شود و توانایی مدیریت جهت جریان در مدار را دارد. این قطعه و انواع و اشکال مختلف آن نظیر ترانزیستور، پل دیود و ... را در آزمایش ۳ به تفضیل بررسی خواهیم کرد.

**رگولاتور:** از آی‌سی رگولاتور می‌توان ولتاژ ثابت دریافت نمود، درصورتی‌که بخواهیم از ولتاژ بیشتری، ولتاژ کمتری را به‌صورت ثابت دریافت کنیم از آی‌سی رگولاتور استفاده می‌کنیم. این مدارات مجتمع با ولتاژها و جریان‌های متفاوت ساخته می‌شوند. مثلا آی‌سی‌های سری AN78×× یک نمونه از آی‌سی‌های رگولاتور هستند. به عنوان مثالِ عملی:

آی‌سی AN7805 دارای ولتاژ خروجی برابر با ۵ ولت، آی‌سی AN7806 دارای ولتاژ خروجی برابر با ۶ ولت و آی‌سی AN7812 دارای ولتاژ خروجی با ۱۲ ولت می‌باشد.

در این آی‌سی‌ها پایه‌ی شماره ۱، پایه‌ی ورودی، پایه‌ی شماره ۲ پایه‌ی مشترک و پایه‌ی شماره ۳ پایه‌ی خروجی می‌باشد. اگر آی‌سی رگولاتور را طوری در دست بگیریم که قسمت برآمدگی آی‌سی به سمت ما باشد، در آن‌صورت پایه‌ی سمت چپمان پایه‌ی شماره‌ی ۱ و پایه‌ی سمت راستمان پایه‌ی شماره ۳ خواهد بود و پایه‌ی وسط هم پایه‌ی شماره ۲ یعنی پایه‌ی مشترک

می‌باشد.




شکل ۲-۲: تشخیص پایه‌های رگولاتور

**آزمایش۱:** بررسی فاکتور اتلاف[۱۴] (D)، ضریب کیفیت[۱۵] (Q) و مقاومت سری معادل (ESR) خازن‌ها با استفاده از LCRمتر سه خازن با انواع و ظرفیت‌های مختلف انتخاب نموده و با اتصال صحیح آنها به LCR جداول ذیل را تکمیل نمایید.

| نوع خازن | C ($\mu F$) | D | Q | ESR($\Omega$) | X($\Omega$) | $\theta$(deg) | فرکانس(kHz) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | ۱۰ |
| | | | | | | | ۱۰ |
| | | | | | | | ۱۰ |

| نوع خازن | C ($\mu F$) | D | Q | ESR($\Omega$) | X($\Omega$) | $\theta$(deg) | فرکانس(kHz) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | ۱ |
| | | | | | | | ۱ |
| | | | | | | | ۱ |

| نوع خازن | C ($\mu F$) | D | Q | ESR($\Omega$) | X($\Omega$) | $\theta$(deg) | فرکانس(Hz) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | ۱۰۰ |
| | | | | | | | ۱۰۰ |
| | | | | | | | ۱۰۰ |

| نوع خازن | C ($\mu F$) | D | Q | ESR($\Omega$) | X($\Omega$) | $\theta$(deg) | فرکانس(Hz) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | ۵۰ |
| | | | | | | | ۵۰ |
| | | | | | | | ۵۰ |

جدول ۲: اندازه‌گیری مشخصات خازن‌ها در ۴ فرکانس مختلف

[۱۴] Dissipation Factor

[۱۵] Quality Factor

با استفاده از داده‌های بدست آمده در جداول بالا:

۱- برای هر یک از خازن‌ها با رسم نمودار نیمه لگاریتمی بررسی نمایید با افزایش فرکانس، کیفیت و اتلاف خازن چگونه تغییر می‌نمایند؟

۲- چه رابطه‌ای بین زاویه $\theta$ و D (یا Q) خازن‌ها وجود دارد؟ با بررسی حالت‌های حدی این موضوع را توضیح دهید.

**فعالیت‌های پیشنهادی:**

دانشجویان می‌توانند با هماهنگی مدرس کارگاه، به عنوان کار کلاسی یکی از موارد ذیل یا موردی دلخواه را انتخاب نموده و انجام دهند:

- ✓ در مورد «فوتونیک» و «اسپین‌ترونیک» تحقیق نموده و نقاط اشتراک و تفرق آنها با الکترونیک را گزارش نمایید.
- ✓ مقدار واکنایی خازنی و سلفی را محاسبه و استخراج نمایید.
- ✓ **فعالیت ویژه:** یک خازن نوعی با مقاومت معادل سری R را در نظر بگیرید.اگر این خازن را به ولتاژ $v(t) = v_0\ cos\ (\omega t)$ (به عنوان مثال با فرکانس برق شهری) متصل نماییم؛ الف) با تشکیل و حل معادله دیفرانسیل مربوطه، مقدار بیشینه بار ذخیره شده بر روی جوشن‌های خازن را بر حسب تابعی از Q (ضریب کیفیت) بدست آورید. ب) جریان عبوری از مدار را بر حسب تابعی از زمان بدست آورید. ج) در یک نمودار با رسم ولتاژ خازن، ولتاژ منبع تغذیه و جریان مدار، اختلاف فاز هر یک با دیگری را محاسبه و تحلیل نمایید. د) حالت حدی مقاومت بی نهایت و مقاومت صفر را بررسی و نتایج را به صورت نموداری و تحلیلی ارائه نمایید.

# ۳ آشنایی با علائم و نمادهای الکترونیکی و ساختمان دیود

**اهداف آزمایش:**

آشنایی با انواع دیودها، آشنایی با ترانزیستورها، چگونگی تشخیص پایه‌ها و سلامت دیودها و ترانزیستورها با استفاده از مولتی‌مترهای دیجیتال و عقربه‌ای

## ۳.۱آشنایی با دیودها

**تئوری آزمایش:**

**دیود:** همانگونه که در آزمایش ۲ (قطعه شناسی) آموختیم، دیود یکی از اِلمان‌های الکترونیکی است که جریان را در یک جهت از خود عبور می‌دهد و در جهت دیگر در مقابل عبور جریان از خود مقاومت نشان می‌دهد که در مدارهای الکترونیکی با نمادی به شکل زیر نشان داده می‌شود. علامت مثلث در این نماد، جهت جریان قراردادی در دیود به ازای بایاس مستقیم را نشان می‌هد. دیودها در واقع از اتصال دو نیمه‌هادی نوع N و P ساخته می‌شوند. به پایه‌ای که به نیمه‌هادی N متصل است «کاتد» و به پایه‌ای که به نیمه‌هادی نوع P متصل است «آند» گفته می‌شود.

شکل ۱-۳: نمایش دیود

به لحاظ الکتریکی یک دیود هنگامی جریان را از خود عبور می‌دهد که در جهت درست به آن ولتاژ اعمال کنیم. یعنی قطب مثبت باتری به آند و قطب منفی باتری به کاتد وصل شود. مقدار ولتاژی که باعث می‌شود تا دیود شروع به هدایت جریان الکتریکی نماید، ولتاژ آستانه نامیده می‌شود که مقدارش به جنس دیود وابسته است. دیودها معمولا از سیلسیوم و ژرمانیوم ساخته می‌شوند. ولتاژ آستانه برای دیودهای سیلسیومی ۶/. ولت و برای انواع ژرمانیومی آن ۲/. ولت است.

**بایاس دیود:**

هرگاه به دو سر دیود ولتاژی اعمال کنیم، می‌گوییم آن را بایاس نموده‌ایم. بایاس کردن دیود به دو صورت مستقیم و معکوس انجام می‌گیرد.

**بایاس مستقیم یا تغذیه مستقیم (Forward Bias):**

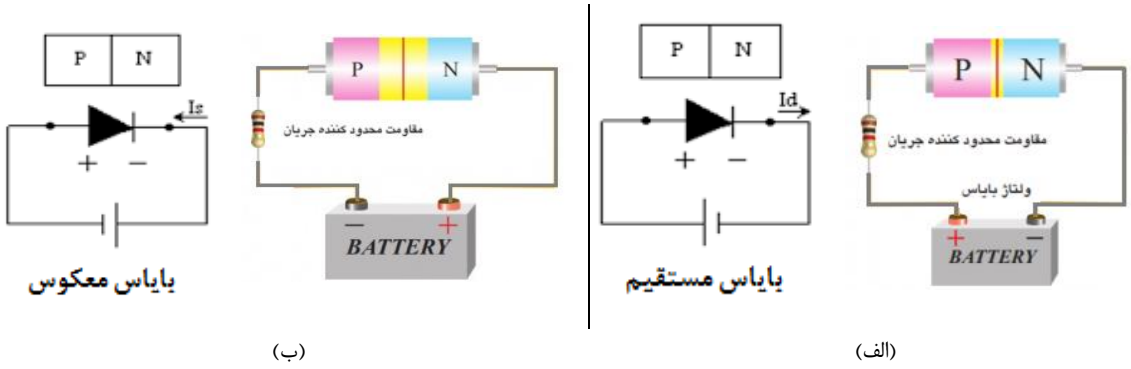
اگر قطب مثبت منبع را به آند (نیمه‌هادی نوع P) و قطب منفی آن را به کاتد (نیمه‌هادی نوع N) وصل کنیم، دیود را در بایاس مستقیم قرار داده‌ایم (شکل ۲- ۳الف). در بایاس مستقیم، اگر ولتاژ دو سر دیود را به تدریج افزایش دهیم، در ابتدا جریان کمی عبور می‌کند. وقتی که ولتاژ دو سر دیود به حدود ولتاژ مشخصی رسید، جریان شروع به افزایش می‌نماید تا به

حد چند میلی امپر می‌رسد. این ولتاژ حدی را ولتاژ «آستانه هدایت دیود» می‌گویند (شکل ۳-۳).

**بایاس معکوس (Reverse Bias):**

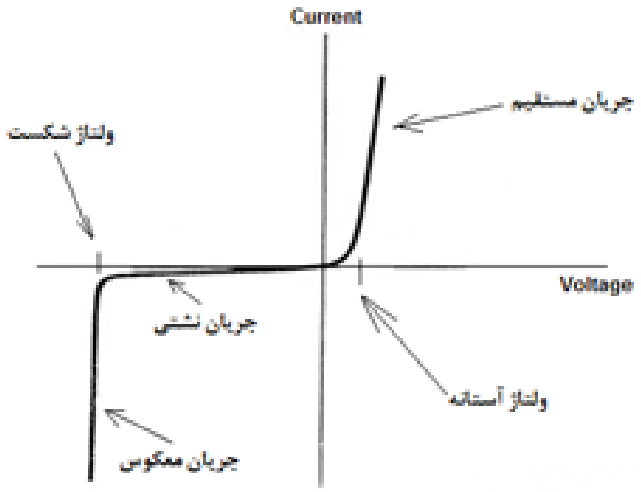
اگر قطب مثبت منبع را به کاتد (نیمه‌هادی نوع N) و قطب منفی آن را به آند (نیمه‌هادی نوع P) متصل کنیم، دیود را در بایاس معکوس یا مخالف قرار داده‌ایم. در شکل (۲- ۳ب) بایاس معکوس دیود نمایش داده شده است. در بایاس معکوس جریان بسیار ضعیفی از دیود عبور می کند که جهت این جریان از طرف کاتد به طرف آند است. به این جریان ضعیف، جریان اشباع معکوس دیود می‌گویند که از مرتبه چند میکرو آمپر است.

زمانی که ولتاژ معکوس دو سر دیود از یک مقدار مشخصی بیشتر شود جریان معکوس دیود به سرعت و به شدت افزایش می یابد و این جریان زیاد، حرارت زیادی در دیود تولید می کند که سبب سوختن دیود می‌شود. به پدیده‌ای که در این حالت رخ می‌دهد، «پدیده‌ی شکست» و به ولتاژی که این پدیده در آن آغاز می‌شود «ولتاژ شکست معکوس دیود» می‌گویند.




(الف) (ب)

شکل ۲-۳: انواع بایاس




شکل ۳-۳: نواحی کاری دیودها

**مقادیر حدی در دیودها:**

برخی از کمیت‌های دیود اگر از میزان بیشینه بیشتر شوند به دیود آسیب می‌رسانند. مقادیر بیشینه این کمیت‌ها، مقادیر حدی دیود نام دارند. برخی از مقادیر حد که در مشخصات دیودها آورده می‌شوند و با توجه به طراحی می‌توان از آن‌ها استفاده نمود عبارتند از:

**۱- حداکثر ولتاژ معکوس:** حداکثر ولتاژی که در بایاس معکوس می‌تواند به دو سر دیود اعمال گردد، بطوری که دیود آسیب نبیند، حداکثر ولتاژ معکوس دیود نام دارد.

**۲- حداکثر جریان مستقیم:** به حداکثر جریان DC یا متوسط که می‌توان از دیود در جهت مستقیم عبور داد به گونه‌ای که دیود آسیب نبیند، حداکثر جریان مستقیم دیود می‌گویند و آن را با $I_f$ نمایش می‌دهند.

**۳- حداکثر جریان لحظه‌ای:** حداکثر جریانی که در زمان بسیار کوتاه (حدود چند میکروثانیه) می‌تواند از دیود عبور کند به گونه‌ای که به دیود آسیب نرسد را حداکثر جریان لحظه‌ای دیود گویند و آن را با $I_{FSM}$نمایش می‌دهند.

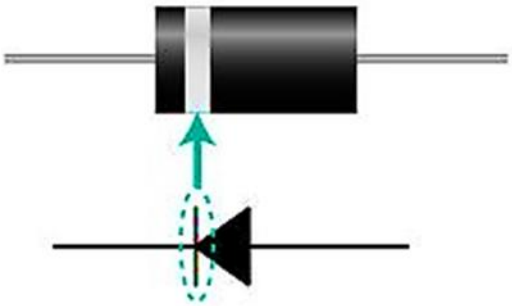
**۴- درجه حرارت محل پیوند:** حداکثر حرارتی که در یک دیود، در محل پیوند نیمه‌هادی‌های N و P می‌تواند ایجاد شود به‌طوری‌که به دیود آسیب نرسد و آن را با $T_j$ نمایش می‌دهند.

**انواع دیود:**

دیودها انواع مختلفی دارند که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

**دیود معمولی:** دیودهای معمولی سیلسیومی در بایاس مستقیم و به ازای ولتاژهای کمتر از ۰/۵ ولت جریانی از خود عبور نمی‌دهند. اگر ولتاژ بایاس بین ۰/۵ تا ۰/۶۵ ولت شود، جریان ضعیفی در دیود برقرار می‌شود و اگر ولتاژ بایاس بیشتر از این مقدار شود جریان دیود به‌طور ناگهانی افزایش می‌یابد. بنابراین ولتاژ آستانه هدایت دیود معمولی سیلسیومی حدود ۰/۶۵ ولت می‌باشد. دیودهای معمولی ژرمانیومی دارای ولتاژ آستانه هدایت ۰/۲ ولت می‌باشند. این دیودها در بایاس مستقیم، به ازای ولتاژ بایاس کمتر از ۰/۱ ولت جریانی را از خود عبور نمی‌دهند و اگر ولتاژ بایاس بین ۰/۱ تا ۰/۲ ولت شود، جریان ضعیفی در دیود برقرار می‌شود و درصورتی‌که مقدار ولتاژ بایاس از ۰/۲ ولت بیشتر شود، جریان دیود به‌طور ناگهانی افزایش می‌یابد.

دیودهای معمولی درای ولتاژ شکست معکوس بالایی هستند که مقدار ولتاژ شکست معکوس هر نوع دیود توسط کارخانه سازنده آن مشخص می‌شود. این دیودها از نظر شکل ظاهری انواع مختلفی دارند. معمولا بر روی دیود پایه کاتد توسط یک نوار رنگی و یا یک نقطه مشخص می‌شود و گاهی نیز بر روی دیود نماد الکترونیکی آن را درج می‌کنند که در این‌صورت پایه‌های دیود به سادگی قابل تشخیص هستند.



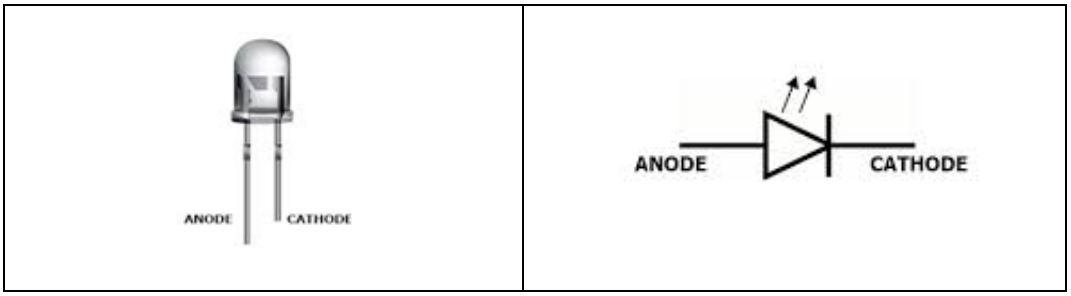
شکل ۴-۳: خط رنگی نشان دهنده کاتد می‌باشد.

**دیود زنر:** نوعی دیود است که نه تنها امکان عبور جریان در یک جهت، نظیر هر دیود دیگری را می‌دهد، بلکه درصورتی‌که ولتاژ از حد خاصی بیشتر شود در بایاس معکوس نیز امکان عبور جریان در جهت عکس را می‌دهد. دیودهای زنر به‌گونه‌ای ساخته می‌شوند تا بتوانند در منطقه‌ی شکست کار کنند. وقتی ولتاژ بایاس معکوس دیود زنر را به تدریج افزایش دهیم، دیود در یک ولتاژ خاص شروع به هدایت می‌کند. ولتاژی که دیود زنر به ازای آن در بایاس معکوس هادی می‌شود به «ولتاژ شکست زنر» معروف است. نماد الکترونیکی این نوع دیود در شکل زیر نشان داده شده است.

شکل ۵-۳: شمای فنی دیود زنر

**دیود نوردهنده (LED):**

LED مخفف اصطلاح Light Emitting Diode به معنای دیود منتشرکننده نور است. هرگاه این نوع دیود در بایاس مستقیم قرار گیرد و جریان کافی از آن عبور کند، دیود از خود نور ساطع می‌کند. نور تولیدی در اثر ترکیب الکترون‌ها و حفره‌ها در محل اتصال دو نیمه‌هادی N و P تولید می‌شود. این دیودها معمولا نورهایی به رنگ آبی، قرمز، نارنجی، سفید و سبز تولید می‌کنند که رنگ تولید شده به نوع نیمه‌هادی استفاده شده در ساختار دیود بستگی دارد. تصویر LED و علامت الکترونیکی آن را در شکل زیر می‌بینید.




*شکل ۶-۳:* LED

شدت نور تولید شده در LED نسبت به شدت جریان عبوری از آن کاملا خطی تغییر می‌کند، بنابراین به‌وسیله‌ی دیود نوردهنده می‌توان سیگنال‌های الکتریکی را به نور تبدیل کرد و در انتهای مسیر مجددا نور دریافت شده را که بدون اعوجاج است به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل کرد.

**فوتودیود (Photo Diode):**

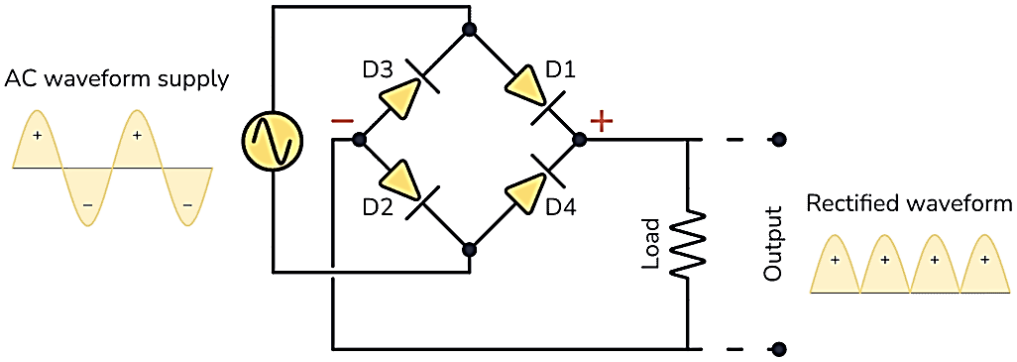
فوتو دیود یا دیود نوری نیز مثل سایر دیودها از اتصال دو نیمه‌هادی N و P تولید شده است. این نوع دیود همواره در بایاس معکوس بکار می‌رود و با تابش نور به محل اتصال نیمه‌هادی‌های آن، پیوندهای کووالانسی موجود در ناحیه تخلیه در اثر انرژی نور تابیده شده، شکسته شده و جریان معکوس فتودیود افزایش می یابد. هرچه شدت نور تابیده شده به محل اتصال نیمه‌هادی‌ها بیشتر باشد، مقدار جریان معکوس فتودیود بیشتر می‌شود. شدت جریان معکوس فتودیود فقط به طول موج و شدت نور تابیده شده بستگی دارد. شکل و نماد الکترونیکی فوتو دیودها را در شکل زیر ببینید.

شکل ۷-۳: فوتو دیود

انواع دیگر دیودها ازجمله دیود خازنی (واراکتور)، دیود شاتکی و .. نیز وجود دارند. اما ترکیب دیودها در مدار به اشکال مختلف کاربردهای زیادی از دیودها به همراه دارند. یکی از این ترکیب‌های پرکاربرد پل دیود است.

**پل دیودی یا پل یکسوساز:**

پل دیودی، مداری است که معمولا برای یکسوسازی جریان متناوب و به دست آوردن جریان مستقیمِ تمام موج، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطابق شکل زیر، پل دیود ۴ سر دارد. دو سر آن ورودی جریان است که به منبع AC متصل می‌شود و دو سر دیگر آن خروجی پل است. چنانچه ورودی پل دیودی یک سینوس کامل باشد، نیم سیکل مثبت را عبور می‌دهد ولی نیم سیکل منفی آن را به یک نیم‌سیکل مثبت تبدیل می‌نند. به عبارتی خروجی پل دیودی از بی‌نهایت نیم‌سیکل مثبت تشکیل شده است.



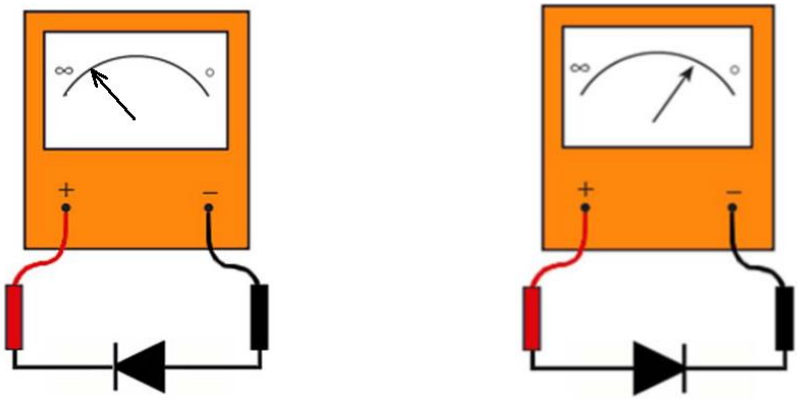

شکل ۸-۳: مدار پل دیود

## ۳.۲ نحوه تشخیص سالم بودن دیود به‌وسیله‌ی اهم‌متر

باید قبل از سوار کردن هر قطعه الکترونیکی از سالم بودن آن اطمینان پیدا کنیم و همچنین برای تعمیر بوردهای الکترونیکی، عیب یابی مدار بورد بسیار مهم است. به این منظور باید بتوانیم دیود سالم را از ناسالم و همچنین پایه‌های مثبت و منفی یک دیود سالم را از هم تشخیص دهیم.

**استفاده از اهم‌متر عقربه‌ای برای تشخیص پایه‌های دیود:**

رنج مناسب اهم‌متر را انتخاب نموده و دو سر پروب‌های اهم‌متر عقربه‌ای را به دو سردیود اتصال می‌دهیم و عدد را می‌خوانیم. سپس جای پروب‌ها را عوض می‌کنیم و دوباره عدد اهم‌متر را می‌خوانیم. چنانچه در هر دو حالت اهم‌متر بی‌نهایت را نشان دهد یعنی دیود معیوب است یا اتصال PN کاملا قطع است و چنانچه در هر دو حالت اهم‌متر صفر را نشان دهد یعنی دیود اتصال کوتاه شده است. اما اگر دیود سالم باشد در یک حالت اهم‌متر عددی بزرگتر و در جهت معکوس اهم‌متر عددی کوچکتر را نشان می‌دهد. در حالتی که اهم‌متر عدد کمتری را نشان داده، دیود با باتری داخلی اهم‌متر در بایاس مستقیم قرار گرفته و در حالتی که اهم بیشتری را نشان داده، در بایاس معکوس قرار گرفته است. (در اصطلاح تعمیرگاهی دیود از یک‌طرف راه می‌دهد و از طرف دیگر راه نمی‌دهد). به شکل زیر دقت کنید:

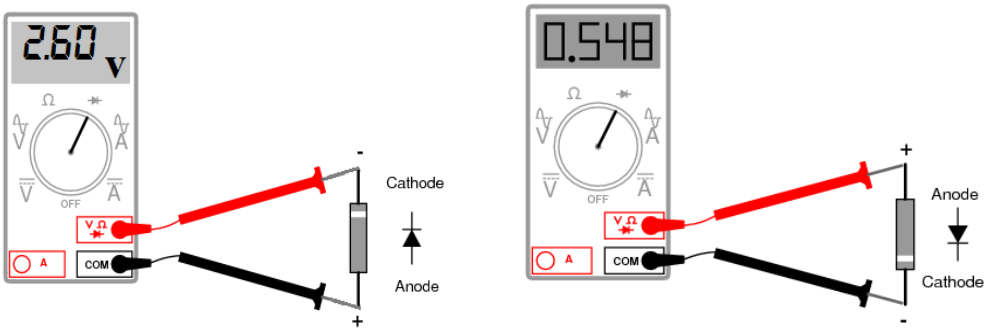


بایاس معکوس　　بایاس مستقیم

شکل ۹-۳: در یک حالت اهم‌متر عددی بزرگ‌تر و در حالت دیگر عددی کوچکتر را نشان می‌دهد.

**استفاده از مولتی‌متر دیجیتال برای تشخیص پایه‌های دیود و سالم بودن آن:**

باید اول مولتی‌متر را روشن کرده و سلکتور مولتی‌متر را در حالت تست دیود (در این حالت علامت دیود در صفحه ظاهر شود) قرار دهیم. اگر دیود در بایاس مستقیم قرار گیرد عدد نمایش داده شده برای دیودهای سیلیکونی ۰/۶ یا ۰/۷ ولت و برای دیودهای ژرمانیومی در حدود ۰/۲ یا ۰/۳ ولت خواهد بود. به شکل زیر دقت کنید:

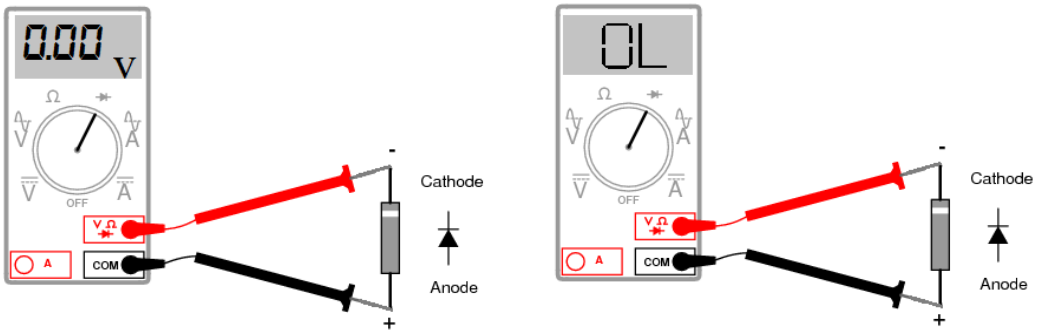



دیود سیلیکونیِ سالم در بایاس مستقیم　　دیود سالم در بایاس معکوس

شکل ۱۰-۳: تشخیص پایه‌های دیودهای سیلسیومی سالم

اگر دیود در بایاس معکوس باشد، بعضی از مولتی‌مترها، ولتاژ بایاس مخالف اعمال شده توسط دستگاه را در دو سر دیود نشان خواهد داد. که این ولتاژ ممکن است بین عدد ۱/۵ تا ۳ ولت باشد اما در بعضی از مولتی‌مترها در این حالت over load (OL) را نشان می‌دهد.

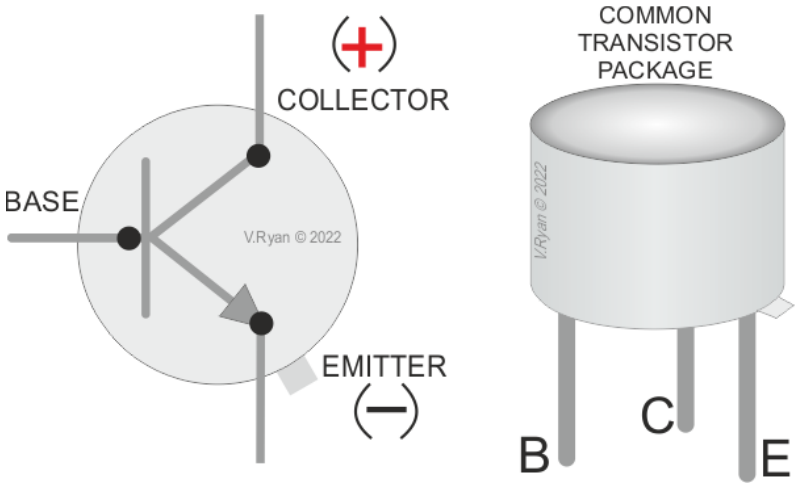
در مورد دیودهای ناسالم دو حالت وجود دارد؛ اگر دیود قطع باشد چه دیود در بایاس مستقیم و چه در بایاس معکوس قرار بگیرد در بعضی مولتی‌مترها ولتاژ باتری داخلی و در بعضی مولتی‌مترها Over Load (OL) را نشان می‌دهد. اما اگر خرابی دیود به علت اتصال کوتاه باشد، در هر دوحالتِ بایاس مستقیم و معکوس مولتی‌متر صفر را نشان می‌دهد.




شکل ۱۱-۳: تست دیودهای خراب

**ترانزیستور:**

ترانزیستور در حقیقت کلیدی الکترونیکی است؛ بنابراین این قطعه می‌تواند جریان الکتریکی را در بخشی از مدار قطع یا وصل کند. هر ترانزیستور سه پایه‌ی کلکتور، بیس و امیتر دارد.




شکل ۱۲-۳: ترانزیستور

یک پایه در ترانزیستور وجود دارد که نسبت به دو پایه دیگر مثل دیود عمل می‌کند. یعنی اهم‌تر عقربه‌ای از یک جهت اهم کم‌تر و از جهت دیگر اهم بیش‌تری را نشان می‌دهد. این پایه بیس ترانزیستور می‌باشد. با مشخص نمودن بیس می‌توان نوع ترانزیستور، یعنی npn یا pnp بودن آن را مشخص کرد. به این‌صورت که در حالتی که اهم‌تر اهم کمتری را می‌خواند، اگر سیم منفیِ اهم‌متر به بیس وصل باشد، نوع ترانزیستور مثبت یعنی pnp است و در حالی که سیم مثبت اهم‌متر به بیس وصل بود نوع ترانزیستور منفی یعنی npn است. حال برای تعیین پایه‌های کلکتور و امیتر می‌توان مقاومت بین بیس و دو پایه‌ی دیگر را اندازه گرفت. مقاومت بیس-کلکتور کمتر از مقاومت بیس-امیتر است.

**استفاده از مولتی‌متر دیجیتالی در تشخیص پایه‌های ترانزیستور:**

دوباره باید مولتی‌متر را در حالت تست دیود قرار دهیم. وقتی دیود بیس- امیتر یا دیود بیس- کلکتور در بایاس موافق قرار گیرند، مولتی‌متر ولتاژ بایاس موافقِ دیود را نشان خواهد داد (حدود ۰/۷ ولت) و اگر در بایاس مخالف باشند، مولتی‌مترعدد بایاس مخالفِ دیود (بین عدد ۱/۵ تا ۳ ولت) را نشان خواهد داد.

در تعریف بایاس مستقیم و معکوس در دیودهای بیس-امیتر و بیس- کلکتور در شکل زیر دقت کنید. در هر دو دیود (دیود بیس-امیترو دیود بیس- کلکتور) چنانچه مثبت مولتی‌متر به پایه بیس متصل شود، بایاس مستقیم و برعکس آن بایاس معکوس می‌باشد.

پیوند بیس- کلکتور در بایاس مخالف

پیوند بیس- امیتر در بایاس مخالف

پیوند بیس- کلکتور در بایاس موافق

پیوند بیس- امیتر در بایاس موافق

شکل ۱۳-۳: تست ترانزیستور

در یک ترانزیستور معیوب اگر اتصال بیس-امیتر و بیس-کلکتور قطع باشد، هم در بایاس موافق و هم در بایاس معکوس در بعضی مولتی مترها ولتاژ باتری داخلی و در بعضی دیگر Over Load را نشان می‌دهد. در صورت اتصال کوتاه در هر صورت مولتی‌متر عدد صفر را نشان می‌دهد.

# ٤ بررسی مشخصه ولت آمپر دیودها

آزمایش ۱-۴: **بررسی مقاومت دیودها**

یک دیود معمولی (مثلا 1N4007) و یک دیود زنر موجود در آزمایشگاه را انتخاب نموده و با استفاده از مولتی متر دیجیتال مقاومت دیودها را در دو بایاس مستقیم ($R_{D.F}$) و معکوس ($R_{D.R}$) بدست آورده و در جدول شماره ۱ بنویسید:

| | $R_{D.F}$ | $R_{D.R}$ |
|---|---|---|
| دیود معمولی (  ) | | |
| دیود زنر (  ) | | |

جدول ۳: مشخصات مقاومتی دیودها در بایاس مستقیم و معکوس

الف) با مقایسه ۴ مقدار به دست آمده برای مقاومت‌ها، دیود معمولی و دیود زنر را با هم مقایسه نمایید. همچنین تفاوت اعداد به دست آمده برای هر دیود در بایاس معکوس و مستقیم را تفسیر نمایید.

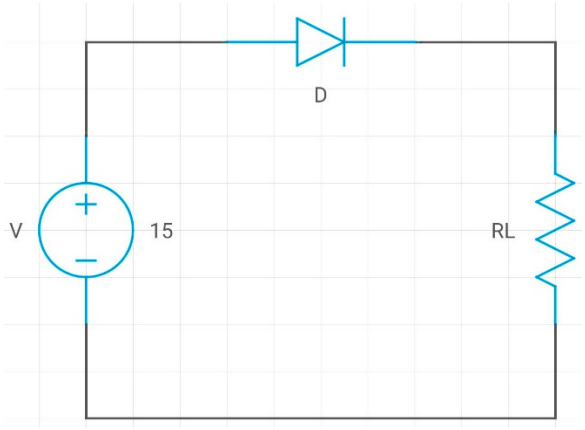
ب) اعداد به دست آمده را با اعداد بدست آمده توسط سایر گروهها مقایسه نمایید. علت تفاوت اعداد در چیست؟

ج) اعداد را مجدداً با استفاده از مولتی متر آنالوگ بدست آورده و علت تفاوتِ اعداد به دست آمده در زمان تغییر پیچ پتانسیومتر اهم متر را توضیح دهید.

د) به طور خلاصه توضیح دهید با استفاده از اعداد بالا چگونه میتوان از سلامت یک دیود مطمئن شد؟

آزمایش ۲-۴: **محاسبه تقریبی مقاومت استاتیک دیودها**

مدار شکل ۱-۴ را بر روی برد برد ببندید و ولتاژ منبع تغذیه را آنقدر تغییر دهید تا ولتاژ دو سر مقاومت بار برابر با ۵ ولت شود. سپس در حالت‌های مختلف، جداول شماره ۲ و ۳ را تکمیل نمایید. (برای بدست آورن جریان و ولتاژ دیود، از مولتی متر استفاده نمایید. همچنین دقت نمایید آمپر متر و ولت متر به طور صحیح در مدار قرار بگیرند).




شکل ۱-۴: مدار سری دیود و مقاومت در بایاس مستقیم

| $R_D(\Omega)$ | $V_D(v)$ | $I_D(mA)$ | $R_L(\Omega)$ | $V_R(v)$ |
|---|---|---|---|---|
| | | | ۲۳۵ | ۵ |
| | | | ۴۷۰ | ۵ |
| | | | ۱۰۰۰ | ۵ |

جدول ۴: جدول محاسبه مقاومت استاتیک دیود معمولی در بایاس مستقیم

| $R_D(\Omega)$ | $V_D(v)$ | $I_D(mA)$ | $R_L(\Omega)$ | $V_R(v)$ |
|---|---|---|---|---|
| | | | ۲۳۵ | ۵ |
| | | | ۴۷۰ | ۵ |
| | | | ۱۰۰۰ | ۵ |

جدول ۵: جدول محاسبه مقاومت استاتیک دیود زنر در بایاس مستقیم

با مقایسه نتایج به دست آمده به سوالات زیر پاسخ دهید:

الف) آیا دیودها از قانون اهم پیروی می‌کنند؟

ب) با استفاده از قانون KVL مقدار ولتاژ دیود را محاسبه و مقدار خطا را برای «مقاومت ۲۳۵ اهمی جدول ۲» و «مقاومت ۴۷۰ اهمی جدول ۳» بدست آورید:

ج) توضیح دهید علت تفاوت مقاومت دیودها برای سه مقاومت سری مختلف در چیست؟

آزمایش ۳-۴: **رسم نمودار مشخصه در بایاس مستقیم**

مدار شکل ۱-۴ را یک بار با استفاده از مقاومت ۲۳۵ اهمی و یک بار با استفاده از مقاومت ۱ کیلو اهمی روی برد برد ببندید. سپس در حالت‌های مختلف، جدول شماره ۴ را تکمیل نمایید (برای بدست آورن جریان و ولتاژ دیود، از مولتی متر استفاده نمایید. همچنین دقت نمایید آمپر متر و ولت متر به طور صحیح در مدار قرار بگیرند).

| | $V_D(v)$ | ۰/۱ | ۰/۴ | ۰/۶ | ۰/۶۸ | ۰/۶۹ | ۰/۷ | ۰/۷۱ | ۰/۷۲ | ۰/۷۲۵ | ۰/۷۳ | ۰/۷۳۵ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $R = 235\Omega$ | $I_D(mA)$ | | | | | | | | | | | |
| $R = 1k\Omega$ | $I_D(mA)$ | | | | | | | | | | | |

جدول ۶: جدول ولت آمپر دیود

الف) با استفاده از داده های بالا، منحنی مشخصه ولت آمپر دیود معمولی برای هر دو حالتی که با مقاومت های ۲۳۵ و ۱۰۰۰ اهمی سری شده است را با استفاده از نرم افزارهای ترسیم رسم نمایید:

ب) با ذکر دلیل توضیح دهید که آیا نمودارها برای دو مقاومت سری مختلف تفاوتی دارند؟

آزمایش۴-۴: **بررسی دیودها در بایاس معکوس**

مدار شکل ۲-۴را بر روی برد بورد ببندید . سپس جدول شماره ۵ را تکمیل نمایید.

شکل ۲-۴: مدار سری دیود و مقاومت در بایاس معکوس

| $V\ (v)$ | -۸ | -۱۰ | -۱۱ | -۱۲ | -۱۲/۵ | -۱۳ | -۱۴ | -۱۶ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $I_D(mA)$ | | | | | | | | |
| $I_Z(mA)$ | | | | | | | | |

جدول ۷: جدول ولت-آمپر دیود معمولی و زنر در بایاس معکوس

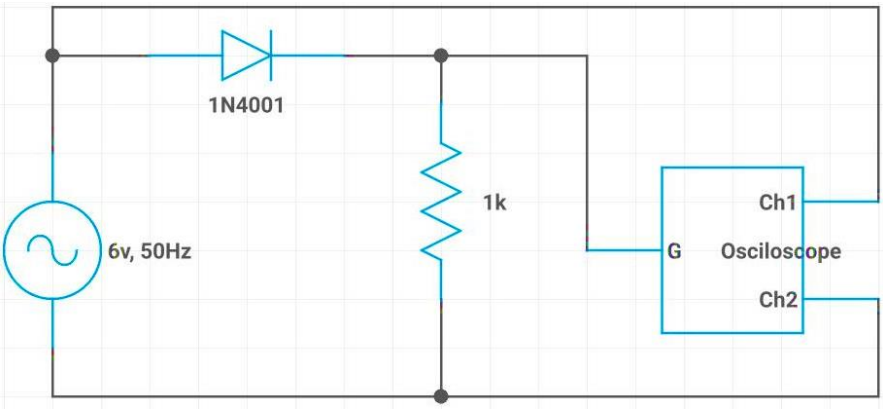
با مقایسه نتایج به دست آمده در جدول ۵ به سوالات زیر پاسخ دهید:

الف) تفاوت دیود زنر با دیود معمولی در چیست؟

ب) ضمن رسم منحنی مشخصه دیود زنر در بایاس معکوس، با دانلود دیتاشیت دیود زنر مورد استفاده در این آزمایش از اینترنت، بررسی نمایید که منحنی ولت-آمپر دیود زنر چقدر با واقعیت آن مطابق است؟

آزمایش ۵-۴: **رسم نمودار ولت آمپر دیود در اسیلوسکوپ و محاسبه مقاومت دایناميک دیود**

برای انجام این آزمایش ابتدا مدار شکل ۳ را بسته و آن را به شکل صحیح به اسیلوسکوپ وصل نمایید. در این حالت باید بتوانید منحنی مشخصه دیود در بایاس مستقیم را بر روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده نمایید.




شکل ۳-۴: مدار مخصوص مشاهده منحنی ولت-آمپر دیود بر روی اسیلوسکوپ

در مرحله دوم، اسیلوسکوپ را از مدار جدا نموده و با اتصال منبع تغذیه DC به جای منبع تغذیه AC، جدول زیر را برای مقاومت۲۳۵ اهمی تکمیل نمایید:

| $V_D\ (v)$ | | ۰/۶۰ | ۰/۶۵ | ۰/۶۸ | ۰/۶۹ | ۰/۷۰ | ۰/۷۱ | ۰/۷۲ | ۰/۷۳ | ۰/۷۴ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $I_D(mA)$ | $max$ | | | | | | | | | |
| | $min$ | | | | | | | | | |
| $R_{D.D}(\Omega)$ | | | | | | | | | | |

جدول ۸: جدول محاسبه مقاومت دینامیک دیود

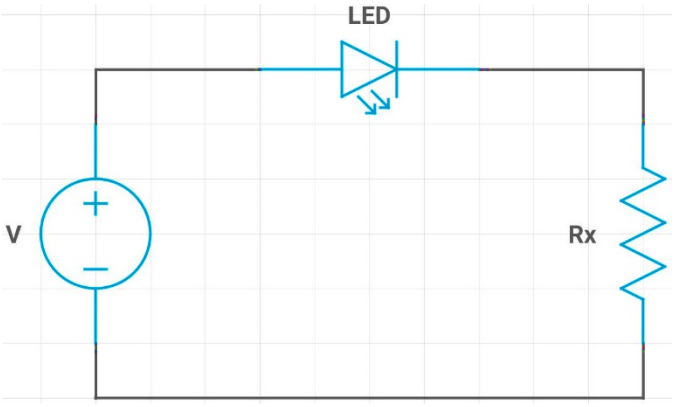
توجه داشته باشید مقاومت دینامیک دیود عبارت است از عکس شیب منحنی مشخصه در هر نقطه از آن. بنابر این برای به دست آوردن این متغیر در هر ولتاژ خاص، به اندازه ۰/۱ بیشتر و کمتر از آن ولتاژ، به دیود اعمال ولتاژ می نماییم و با یادداشت مقدار جریان می‌توان از فرمول تقریبی زیر استفاده نمود:

$$R_{D.D} = \frac{dV_D}{dI_D}|_{V_D} \approx \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} \approx \frac{0.2}{\Delta I_D}$$

آزمایش ۶-۴: **محاسبه مقاومت مورد نیاز برای روشن کردن LED ها و پیشگیری از سوختن آنها**

همانگونه که می‌دانید LED ها نوعی از دیودهای نیمه‌هادی می‌باشند که نوع آزمایشگاهی آنها با ولتاژی ما بین ۱/۲ الی ۴ ولت و جریانی در حدود ۱۰ الی ۳۰ میلی آمپر روشن می‌شوند. بنابراین چنانچه ولتاژ اعمالی به آنها از این مقدار تجاوز نماید LED خواهد سوخت.

در این آزمایش قصد داریم با فرض اینکه منبع تغذیه DC مورد استفاده در آزمایشگاه، ولتاژ حداکثر ۳۲ ولتی را در اختیار قرار دهد، از مقاومت مناسبی به صورت سری با LED استفاده نماییم که در صورت تجاوز ولتاژ منبع تغذیه از ولتاژ مجاز LED، مشکلی برای لامپ دیودی درون مدار پیش نیاید. به این منظور با استفاده از مدار زیر و با استفاده از قانون KVL مقدار حداقل مقاومت را بیابید وبا قرار دادن این مقاومت در مدار، درستی محاسبات خود را بررسی نمایید.




شکل ۴-۴:مدار مقاومت بار مناسب LED

**فعالیت‌های پیشنهادی:**

دانشجویان می‌توانند با هماهنگی مدرس کارگاه، به عنوان کار کلاسی یکی از موارد ذیل یا موردی دلخواه را انتخاب نموده و انجام دهند:

- ✓ در مورد انواع کاربردهای دیود هرزگرد تحقیق نموده و با طراحی یک مدار، اثرات حضور یا عدم حضور دیود هرزگرد را بررسی نمایید.

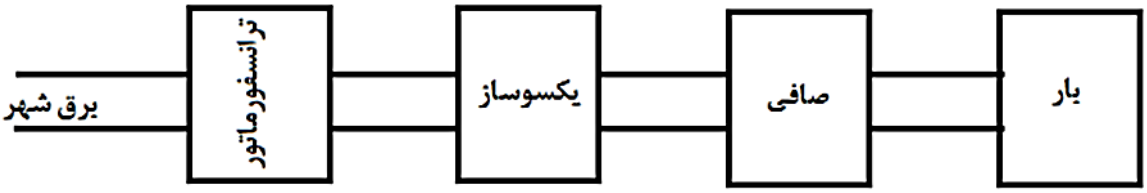
# ۵ آشنایی با مدار یک‌سوساز (طراحی منبع تغذیه‌ی DC)

**اهدف آزمایش:**

طرح و انجام مدار یکسوسازی ولتاژ متناوب به ولتاژ ثابت (Rectifier) و تصفیه (Filter) و تنظیم آن (Regulation) بوسیله دیود نیمه هادی، صافی، بررسی موجک‌ها (ریپل) و تثبیت ولتاژ خروجی در حد معین.

**تئوری آزمایش:**

باتری را می‌توان به عنوان یک منبع تغذیه DC بکار برد ولی باتری‌ها به علت ضعیف شدن تدریجی ولتاژ مناسب نیستند. به علاوه برای دسترسی به ولتاژها و جریان‌های مورد نظر، استفاده از باتری به دلیل افزایش حجم، وزن و هزینه، مقرون به صرفه نیست. به نظر می‌رسد استفاده از برق شهر و تبدیل آن به ولتاژ DC مناسب‌تر و مقرون به صرفه‌تر باشد. دیاگرام شکل (۱) مداری را نشان می‌دهد که به‌وسیله‌ی آن می‌توان ولتاژ AC برق شهر را به DC تبدیل کرد.




شکل ۱-۵: دیاگرام منبع تغذیه همراه بار که با برق شهر تغذیه می‌شود.

در دیاگرام شکل ۱-۵ مواردی نوشته شده ست که در ادامه بیشتر با آنها آشنا خواهیم شد:

**ترانسفورماتور**: در ابتدای مدار برای افزایش و یا کاهش ولتاژ برق شهر بکار می‌رود. البته در تکنولوژی جدید از منبع تغذیه سوئیچینگ به جای ترانسفورماتور استفاده می‌شود که حجم و وزن منبع را بسیار کاهش داده و کارایی را بالا می‌برد.

**یکسوساز**: کار آن یک‌طرفه کردن موج سینوسی است که با استفاده از یک یا چند دیود این کار را انجام می‌دهد. یکسوسازها یا نیم‌موج هستند که با یک دیود کار می‌کنند و یا تمام موج که یا با ترانس سه سر و یا بادیودِ پل این کار را انجام می‌دهند.

**صافی**: ولتاژ یکسو شده برای تبدیل شدن به ولتاژ مستقیم باید صاف شوند. این مهم به عهده‌ی صافی‌هاست. ساده‌ترین صافی یک خازن الکترولیتی با ظرفیت زیاد (مثلا خازن ۱۰۰۰ میکروفاراد) است.

**مصرف کننده یا بار**: ولتاژی که در مراحل بالا صاف نموده‌ایم باید به مصرف بار برسد که این مصرف کننده ممکن است یک رادیو، کامپیوتر و ... باشد.

لازم به ذکر است از این خاصیت دیود که منحنی مشخصه آن (منحنیI-V) در بایاس مستقیم و معکوس، خطی نمی‌باشد یعنی از قانون اهم تبعیت نمی‌کند، استفاده کرده و ولتاژ متناوب ورودی را در تمام پریودها یکسو می‌کنیم. برای این منظور نیم سیکل‌های منفی را در خروجی به مثبت تبدیل می‌کنیم. سپس این نیم سیکل‌های یکسو شده را بوسیله مقاومت –

خازن یا مقاومت – سلف (فیلتر کردن) صاف کرده و در صورت لزوم برای کاهش دامنه موجک‌های کوچک (ریپِل‌ها) و ثابت کردن ولتاژ در یک مقدار تقریبا ثابت، از دیود زنر یا تثبیت کننده‌های دیگر (رگولاتورها) استفاده می‌کنیم.

برای این‌که درک بهتری از ساخت منبع تغذیه DC داشته باشید، آزمایش را در چند مرحله انجام می‌دهیم و گام به گام با مراحل فوق آشنا می‌شویم.

**مفاهیم و مقدمات محاسباتی:**

شاید این سوال برای شما پیش آمده باشد که مقدار میانگین جریان الکتریکی ایجاد شده در یک مدار باید صفر باشد. این مطلب بخصوص با توجه به محاسبات ریاضی درست است.

بر این اساس می‌توان مقدار میانگین تابع پیوسته $f(t)$ را در بازه $[a,b]$ به صورت ذیل تعریف نمود:

$$M = \frac{1}{b-a}\int_a^b f(t)dt$$

حال اگر جریان و ولتاژ مدار را به شکل توابع سینوسی، و در یک سیکل کامل در نظر بگیریم خواهیم داشت:

$$M = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \sin(\omega t)\, dt = 0$$

اما حقیقت ماجرا این است که یک جریان متناوب همواره جریان/ولتاژ موثری به میزان تقریبی ۰/۷۱ مقدار دامنه‌ی تناوبی خود ایجاد می‌نماید که اصطلاحاً به این جریان/ولتاژ موثر، ریشه میانگین مربعات (RMS)[۱۶] گفته می‌شود.

$$rms = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T f(t)^2 dt}$$

با فرض اینکه یک منبع ولتاژ ورودی به شکل $v(t) = v_0 Cos(\omega t)$ ایجاد ولتاژ نماید، آنگاه:

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T {v_0}^2 \cos\,(\omega t)^2 dt} = \frac{v_0}{\sqrt{2}} \cong 0.71 v_0$$

ضمناً چون در محیط آزمایشگاهی محاسبه اختلاف ولتاژ بیشینه و کمینه که نوعاً با $v_{pp}$[17] نمایش داده می‌شود، خطای کمتری دارد بهتر است سایر کمیت‌ها و از جمله ولتاژ موثر را بر حسب $v_{pp}$ گزارش نماییم. بنابراین:

$$v_{rms} = \frac{v_{pp}}{2\sqrt{2}}$$

***توجه**: در زمان پاسخگویی به هریک از پرسش‌های آزمایش‌های ذیل، لازم است محاسبات ریاضی آن نیز بطور کامل در گزارش کار گنجانده شود.

[۱۶] Root Mean Squared

[17] peak to peak voltage

## ۵.۱ منبع تغذیه نیم‌موج با ترانس دوسر ۲۲۰/۶ ولت متناوب

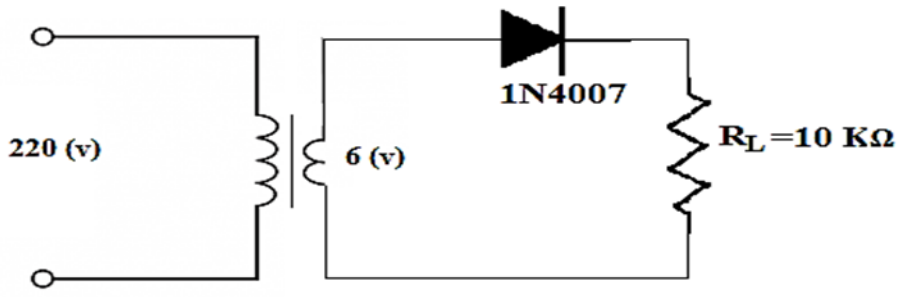
**احتیاط: چون در ورودی ترانس از برق شهر استفاده شده است، لطفا با مشورت مدرس کارگاه، موارد ایمنی فردی و گروهی را رعایت فرمایید.**

### وسائل مورد نیاز:

ترانس ۲۲۰ ولت به ۶ ولت، یک عدد دیود معمولی 1N4001، یک عدد خازن الکترولیتی ۱۰۰۰ میکروفاراد ۱۶ ولتی، یک عدد مقاومت بار ۱۰ کیلو اهم، برِد بورد

### شرح آزمایش:

**الف** – مدار شکل (۲-۵) را ببندید و قبل از وصل کردن ترانس به برق شهر حتما مدار را با استاد چک کنید. چنانچه در مدار اشکالی وجود نداشت ترانس را به برق شهر وصل کنید. اسیلوسکوپ را روشن کرده و هر دو کانال ۱ و ۲ را بطور مجزا به روشی که استاد توضیح داده‌اند کالیبره کنید. پراب مربوط به کانال ۱ را به ورودی مدار (به دو سر ترانس ۶ ولت) وصل کرده و با تنظیم رنج محور عمودی (محور مربوط به دامنه‌ی موج) و محور افقی (محور مربوط به زمان موج) موج ورودی را به شکل ایستا روی صفحه نمایشگر ببینید. سپس پراب مربوط به کانال ۲ را به خروجی مدار (دو سر بار یا همان مقاومت ۱۰ کیلو اهمی) وصل کنید و موج خروجی را همزمان با ورودی روی صفحه نمایشگر ظاهر کنید. برای این‌که هر دو موج را همزمان روی صفحه نمایشگر داشته باشید باید اسیلوسکوپ را در مُد dual قرار دهید.



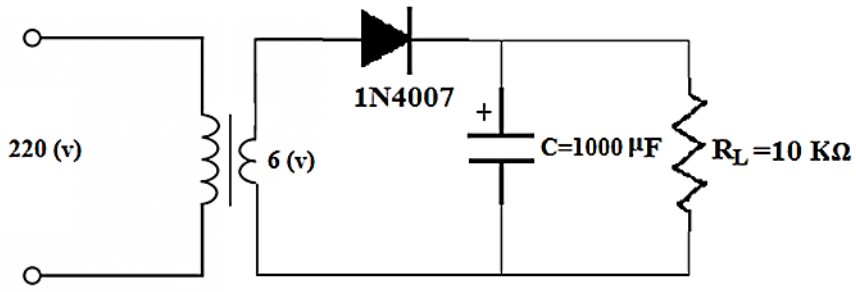

شکل ۲-۵: منبع تغذیه نیم موج با ترانس ۲۲۰/۶ ولت متناوب

۱- شکل موج ورودی و خروجی مدار را همان‌گونه که در بالا شرح داده شد در اسیلوسکوپ ایجاد نموده و شکل موج‌های خروجی و ورودی را در گزارشکار بکشید.

۲- ولتاژ $V_{PP}$ را برای موج ورودی و خروجی از روی اسیلوسکوپ بخوانید و ولتاژ مؤثر را محاسبه نمایید.

۳- حالا توسط ولت‌متری که در مُد DC تنظیم شده ولتاژ ورودی و خروجی مدار را اندازه‌گیری کنید.

۴- آیا مقادیری که توسط ولت‌متر اندازه گرفته‌اید با مقادیر مؤثری که از اسیلوسکوپ به‌دست آورده‌اید همخوانی دارد؟




شکل ۳-۵: منبع تغذیه نیم موج با ترانس ۲۲۰/۶ ولت متناوب

**ب**- حالا سعی کنید مدار شکل (۳-۵) را ببندید. توجه کنید که هنگام بستن مدار، ترانس از برق شهر جدا شده باشد و وقتی از درست بودن مدار اطمینان حاصل کردید ترانس را به برق شهر متصل کنید. مجددا موج ورودی را (دو سر ترانس) به کانال ۱ اسیلوسکوپ و موج خروجی را (دو سر بار یا مقاومت) را به کانال ۲ اسیلوسکوپ متصل کنید.

۱- شکل موج ورودی و خروجی را در گزارشکار بکشید.

۲- موج خروجی چه تفاوتی با مدار قسمت الف داشت؟

۳- نقش خازن با ظرفیت بالا (۱۰۰۰ میکروفاراد) در این مدار چیست؟

۴- یکبار دیگر ولتاژ ورودی و خروجی را با ولت‌متر DC اندازه‌گیری نمایید و با آنچه از اسیلوسکوپ می‌خوانید مقایسه کنید.

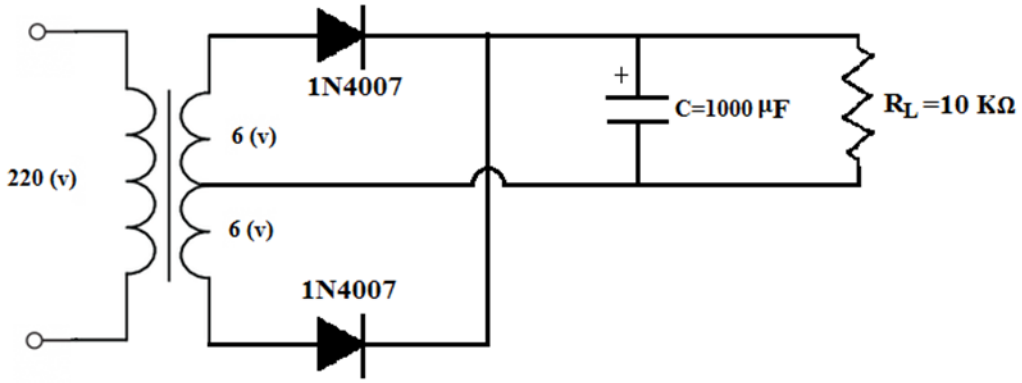
## ۵.۲ منبع تغذیه‌ی تمام موج باترانس سه سر و دو دیود

**وسائل مورد نیاز:**

ترانس سه سر ۲۲۰ ولت به ۶×۲ ولت متناوب، دو عدد دیود معمولی 1N4007، یک عدد خازن الکترولیتی ۱۰۰۰ میکروفاراد ۱۶ ولتی، یک عدد مقاومت بار ۱۰ کیلو اهم، برِد بورد

**شرح آزمایش:**

پس از اطیمینان از این‌که ترانس از برق شهر جداست، مدار شکل ۴-۵ را ببندید و از درستی آن مطمئن شوید. حالا ترانس را به برق شهر وصل کرده و موج ورودی را به کانال اسیلوسکوپ و موج خروجی (دو سر مقاومت بار) را به کانال ۲ اسیلوسکوپ بفرستید.




شکل ۴-۵: منبع تغذیه تمام موج با ترانس سه سر ۲۲۰ ولت به ۶×۲ ولت متناوب

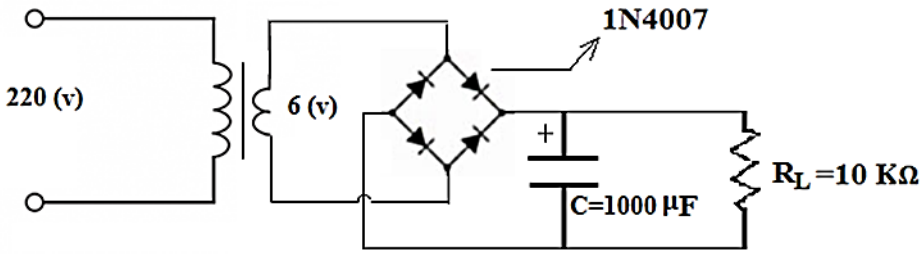
۱- شکل موج ورودی و خروجی را در گزارشکار بکشید. شکل موج با قسمت قبلی چه تفاوتی دارد؟

۲- ولتاژ ورودی و خروجی را علاوه بر آن‌که از روی اسیلوسکوپ اندازه گرفته‌اید، توسط ولت‌متر DC نیز اندازه بگیرید و با هم مقایسه کنید.

## ۵.۳ منبع تغذیه نیم‌موج با ترانس دوسر ۲۲۰/۶ ولت متناوب و چهار دیود

**وسائل مورد نیاز:**

ترانس ۲۲۰ ولت به ۶ ولت متناوب، چهار عدد دیود معمولی N40071، یک عدد خازن الکترولیتی ۱۰۰۰ میکروفاراد ۱۶ ولتی، یک عدد مقاومت بار ۱۰ کیلو اهم، برِد بورد




شکل ۵-۵:منبع تغذیه تمام موج با چهار دیود (هر چهار دیود، دیود معمولی 1N4007 هستند)

**شرح آزمایش:**

پس از اطیمینان از این‌که ترانس از برق شهر جداست، مدار شکل ۵-۵ را ببندید و از درستی آن مطمئن شوید. حالا ترانس را به برق شهر وصل کرده و موج ورودی را به کانال ۱ اسیلوسکوپ و موج خروجی (دو سر مقاومت بار) را به کانال ۲ اسیلوسکوپ بفرستید.

۱- شکل موج ورودی و خروجی را در گزارشکار بکشید. شکل موج با قسمت قبلی چه تفاوتی دارد؟

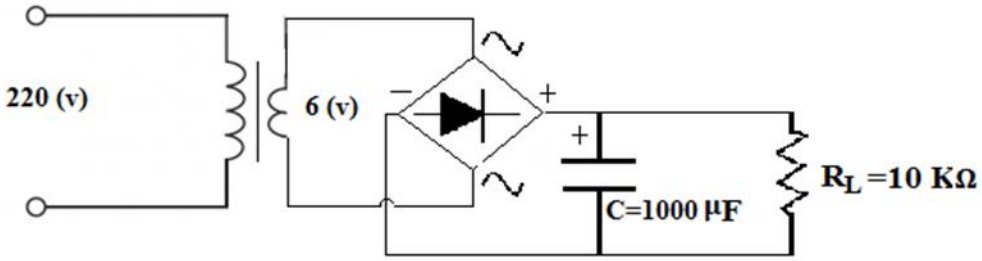
۲- ولتاژ ورودی و خروجی را علاوه بر آن‌که از روی اسیلوسکوپ اندازه گرفته‌اید، توسط ولت‌متر DC نیز اندازه بگیرید و با هم مقایسه کنید.

۳- زیاد شدن تعداد دیودها چه تأثیری در موج خروجی داشته است؟ شرح دهید.

## ۵.۴ منبع تغذیه‌ی تمام موج با دیود پل

**وسائل مورد نیاز:**

ترانس ۲۲۰ ولت به ۶ ولت متناوب، یک عدد دیود پل، یک عدد خازن الکترولیتی ۱۰۰۰ میکروفاراد ۱۶ ولتی، یک عدد مقاومت بار ۱۰ کیلو اهم، برِد بورد




شکل ۶-۵: منبع تغذیه تمام موج با دیود پل

**شرح آزمایش:**

پس از اطیمینان از این‌که ترانس از برق شهر جداست، مدار شکل ۶-۵ را ببندید و از درستی آن مطمئن شوید. حالا ترانس را به برق شهر وصل کرده و موج ورودی را به کانال ۱ اسیلوسکوپ و موج خروجی (دو سر مقاومت بار) را به کانال ۲ اسیلوسکوپ بفرستید.

۱- شکل موج ورودی و خروجی را در گزارشکار بکشید. شکل موج با قسمت قبلی چه تفاوتی دارد؟

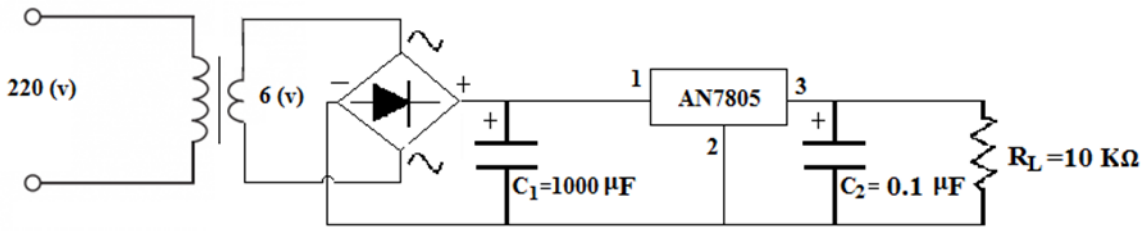
۲- ولتاژ ورودی و خروجی را علاوه بر آن‌که از روی اسیلوسکوپ اندازه گرفته‌اید، توسط ولت‌متر AC نیز اندازه بگیرید و با هم مقایسه کنید.

۳- حضور دیود پل در مدار چه تأثیری در موج خروجی داشته است؟ شرح دهید.

## ۵.۵ منبع تغذیه با رگولاتور

**وسائل مورد نیاز:**

ترانس ۲۲۰ ولت به ۶ ولت متناوب، یک عدد دیود پل، دو عدد عدد خازن الکترولیتی ۱۰۰۰ میکروفاراد ۱۶ ولتی، یک عدد مقاومت بار ۱۰ کیلو اهم، یک رگولاتور AN7805 ، برِد بورد




شکل ۷-۵: منبع تغذیه تمام موج با دیود پل و رگولاتور

**شرح آزمایش:**

پس از اطیمینان از این‌که ترانس از برق شهر جداست، مدار شکل ۷-۵ را ببندید و از درستی آن مطمئن شوید. حالا ترانس را به برق شهر وصل کرده و موج ورودی را به کانال ۱ اسیلوسکوپ و موج خروجی (دو سر مقاومت بار) را به کانال ۲ اسیلوسکوپ بفرستید.

۱- شکل موج ورودی و خروجی را در گزارشکار بکشید. شکل موج با قسمت قبلی چه تفاوتی دارد؟

۲- ولتاژ ورودی و خروجی را علاوه بر آن‌که از روی اسیلوسکوپ اندازه گرفته‌اید، توسط ولت‌متر DC نیز اندازه بگیرید و با هم مقایسه کنید.

۳- حضور رگولاتور چه تأثیری در موج خروجی نسبت مدار قسمت قبل داشته است؟ شرح دهید.

**فعالیت‌های پیشنهادی:**

دانشجویان می‌توانند با هماهنگی مدرس کارگاه، به عنوان کار کلاسی یکی از موارد ذیل یا موردی دلخواه را انتخاب نموده و انجام دهند:

- ✓ در مورد اثر خازن در طراحی مدارهای فیلتر پایین گذر، میان گذر، و بالاگذر فرکانسی تحقیق نمایید. در این تحقیق ذکر محاسبات ریاضی، رسم نموداری، بررسی فیلترهای پسیو و اکتیو و مسائل مرتبط ضروری است.

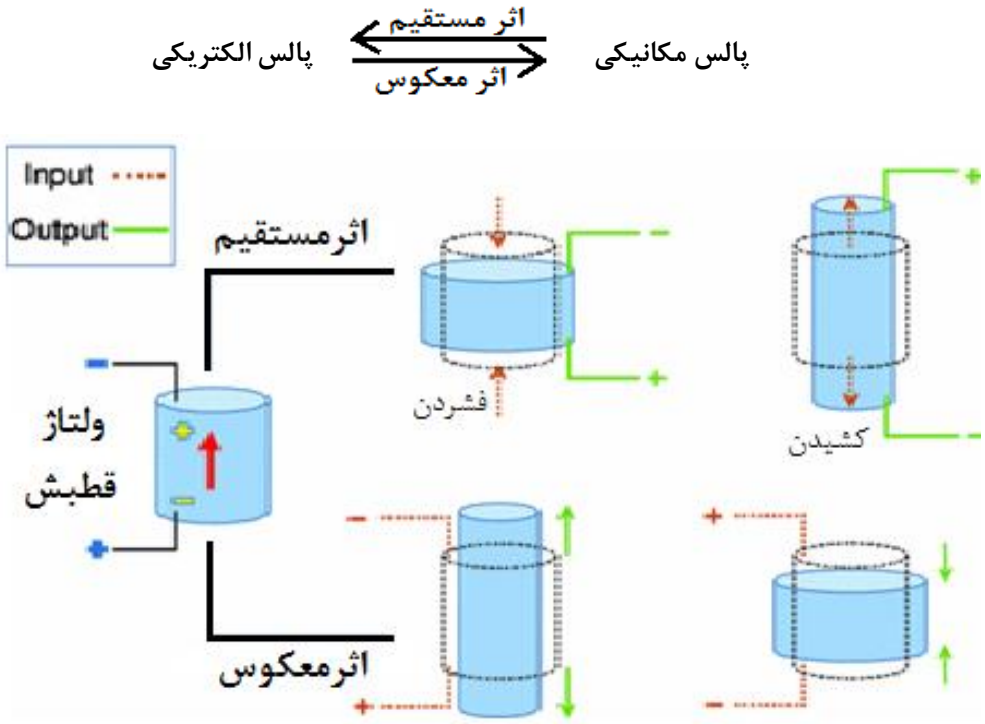
# ٦ اثر پیزو الکتریک؛ خواص و کاربردها

**اهداف آزمایش:**

آشنایی با خواص مواد پیزو الکتریک و برخی از خواص آنها

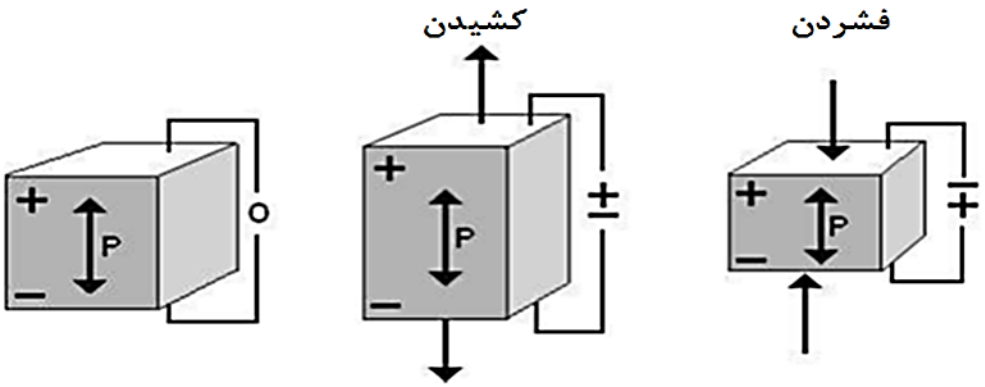
**تئوری آزمایش:**

پیزو الکتریک خاصیتی است در مواد که به هنگام اعمال نیروی مکانیکی یا فشار بر آن‌ها به تولید بار الکتریکی و در نتیجه پیدایش اختلاف پتانسیل بین دو وجه قطعه بلور پیزو منجر می‌شود. این پدیده را برادران کوری در سال ۱۸۸۰م کشف کردند. این نکته قابل توجه است که اثر تبدیل پالس مکانیکی به پالس الکتریکی در مواد پیزوالکتریک یک اثر دو طرفه است، یعنی این مواد می‌توانند با دریافت انرژی الکتریکی پاسخ مکانیکی دهند.




شکل ۱-۶: اثر پیزوالکتریک و خاصیت دوطرفه بودن

واکنش خطیِ الکترو-مکانیکی بین دو حالت الکتریکی و مکانیکی در مواد عایق و بلورهایی که تقارن مرکزی ندارند (شکل ۶-۲)، رخ می‌دهد. در واقع پیزوالکتریک‌ها موادی هستند که در صورت اعمال فشار یا تنش به آن‌ها، بار الکتریکی در سطوح خاصی از آن‌ها ظاهر می‌شود. این پدیده اثر پیزوالکتریک مستقیم (Direct piezoelectric effect) نامیده می‌شود که یک فرآیند قابل برگشت می‌باشد. یعنی به‌طور معکوس هر گاه ماده‌ای با این خاصیت در یک میدان الکتریکی واقع شود، ابعاد آن تغییر می‌کند که به آن اثر پیزوالکتریک معکوس (Reverse piezoelectric effect) گفته می‌شود.

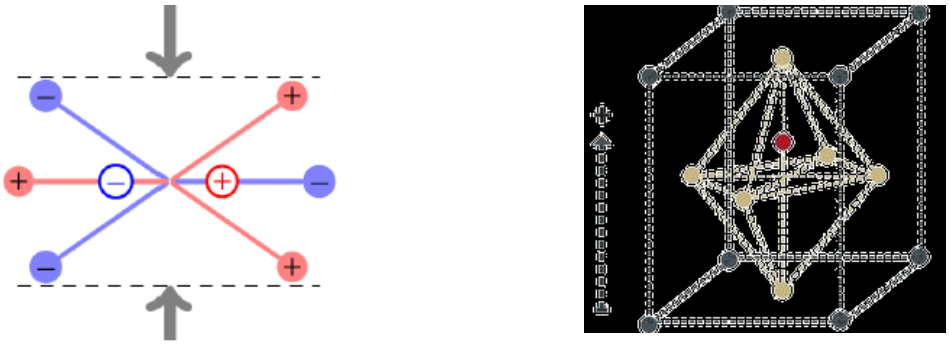



شکل ۲-۶: بستگی جهت میدان الکتریکی بوجود آمده در بلور پیزوالکتریک به جهت نیروی وارد بر بلور

نکته قابل توجه در اثر پیزوالکتریک این است که درصورت وارون شدن جهت اعمال تنش یا فشار، جهت قطبش بارهای الکتریکی نیز معکوس می‌شود و با تغییر در جهت میدان الکتریکی اعمال شده جهت تغییر ابعاد ماده نیز تغییر می‌یابد که هر دو اثر کاربردهای متفاوت و فراوانی دارند.

علامت پتانسیل‌های دو وجه بلور در دو حالت فشردگی یا کشیدگی معکوس هم هستند و هرچه میزان فشار یا کشش بیشتر باشد، اختلاف پتانسیل تولید شده بیشتر است. موادی که به‌طور مستقیم اثر پیزوالکتریک را انباشته می‌کنند اثر پیزوالکتریک معکوس را نیز انباشته می‌کنند.

**مواد پیزوالکتریک:** پدیده پیزوالکتریک در مواد طبیعی مانند کوارتز، نمک راشل، پیدا شده اما می‌تواند در مواد مصنوعی مانند زیرکونات-سرب-تیتانیوم (PZT) و $\{Pb_x(Ti,Zr)_{1-x}O3\}$ (PVDF). لایه‌های نازک ZnO، nylon، DNA، $LiNbO_3$ یا سرامیک‌های دیگر که ساختار بلوری پروسکایت دارند در شکل و اندازه مناسب ایجاد کرد، اما شرط ضروری برای پیزوالکتریک بودن یک کریستال، عدم وجود تقارن مرکزی در ساختار کریستالی است. سه نوع ماده پیزوالکتریک که به‌طور عمده در عمل استفاده می‌شوند شامل سرامیک‌های پیزوالکتریک، پلیمرهای پیزوالکتریک و کامپوزیت‌های پیزوالکتریک می‌باشند که از این میان کامپوزیت‌ها به دلیل ویژگی‌های تطبیق پذیری و تنظیم شوندگی بسیار بالا توجه بیشتری را به خود جلب کرده‌اند.



شکل ۳-۶: ساختار بلوری مواد پیزو

**روش ساخت مواد پیزو الکتریک:** برای اینکه مواد خاص را به فعالیت پیزو الکتریکی وادار‌یم، آن ماده در ابتدا می‌بایست تا دمای خاصی (دمای کوری) گرم شود، سپس میدان الکتریکی مناسب در جهت دلخواه به بلور اعمال شود؛ این کار باعث ایجاد قطبش در ماده می‌شود. در حضور میدان الکتریکی، ماده تا دمای اتاق سرد می‌شود که ممکن است منجر به خاصیت فروالکتریک نیز شود.

تحقیق کنید آیا همه‌ی مواد پیزو ، فرو الکتریک نیز هستند؟ یا همه مواد فرو، پیزو الکتریک هستند؟ نتیجه را با هماهنگی مدرس در کلاس ارائه نمایید.

**کاربردهایی برای مواد پیزو الکتریک:** در سال‌های اخیر کاربرد مواد پیزوالکتریک بیشتر تحت سه عنوان سنسور، مبدل و محرک شناخته شده است. همچنین اثر پیزوالکتریک در بسیاری از برنامه‌های کاربردی که شامل تولید و تشخیص صدا، تولید ولتاژ بالا، تولید فرکانس الکترونیکی بسیار مفید است. این همچنین مبتنی بر تعدادی از تکنیک‌های علمی ابزار با وضوح اتمی، مانند میکروسکوپ پروب اسکن (STM، AFM و غیره) است. اثر پیزوالکتریک نیز در استفاده از برنامه‌های روان‌شناختی بیشتر مانند استفاده از منبع اشتعال برای فندک‌های سیگار استفاده می‌شود.

**سنسور پیزوالکتریک (Piezoelectric sensor)**

یک سنسور پیزوالکتریک می‌تواند با استفاده از اثر پیزوالکتریک مستقیم، اطلاعات را از محدوده‌ی مکانیکی به یک سیگنال الکتریکی قابل پردازش تبدیل کند. سیگنال الکتریکی تولید شده پس از اعمال اولیه‌ی نیرو، به سرعت کاهش می‌یابد. بنابراین این سنسورها برای اندازه‌گیری نیروهایی که در مدت زمان کوتاهی اعمال می‌شوند، بسیار مناسب هستند، اما برای اندازه‌گیری نیروهای استاتیکی مناسب نیستند.

**مبدل پیزوالکتریک (Piezoelectric tranducer)**

مبدل پیزوالکتریک وسیله‌ای است که یک نوع انرژی را به نوع دیگر تبدیل می‌کند. مبدل‌های پیزوالکتریک در تست‌های غیرمخرب و در بسیاری از کاربردهایی که نیاز به اندازه‌گیری دقیق در حرکت یا نیرو دارند، استفاده می‌شود. در این کاربردها اثر پیزوالکتریک به صورت معکوس عمل می‌کند. در این حالت ولتاژی به ماده‌ی پیزوالکتریک اعمال می‌شود که باعث تغییر شکل در ماده‌ی پیزوالکتریک می‌گردد. این تغییر شکل که می‌تواند به صورت کشش یا فشار باشد، متناسب با ولتاژ اعمال شده است.

**محرک پیزوالکتریک (Piezoelectric actuator)**

اعمال ولتاژ الکتریکی به جسم پیزوالکتریک که سبب تغییر شکل در این جسم می‌شود و میزان این تغییر شکل به ولتاژ اعمالی و جهت آن بستگی دارد، کاربرد پیزوالکتریک‌ها به عنوان محرک شناخته می‌شود. در واقع محرک‌های پیزوالکتریک شکلی از یک سیستم الکترومکانیک میکروکنترلی هستند که میدان الکتریکی اعمال شده به آن‌ها می‌تواند به حرکت‌هایی

در ابعاد میکرومتر و یا نانومتر تبدیل شود.

در این جا کاربرد مواد پیزوالکتریک در چند وسیله شناخته شده که در زندگی و کار از آن‌ها استفاده می‌شود را شرح می‌دهیم:

**حسگر ژیروسکوپ پیزوالکتریک**: از این حسگر در تشخیص حرکات دست هنگام فیلمبرداری و عکس‌برداری توسط دوربین و سنجش سرعت زاویه‌ای و حرکات دورانی در هواپیماها و انواع سیستم‌های متحرک استفاده می‌شود.

**حسگر شتاب‌سنج پیزوالکتریک**: این حسگر می‌تواند پارامترهای مکانیکی مانند شتاب، نوسان و لرزش را ثبت کند. حتما شتاب‌سنج بکار رفته در موبایل را که باعث چرخش صفحه هنگام چرخش موبایل می‌شود را دیده‌اید.

**حسگرهای صوتی پیزوالکتریک**: از مواد پیزوالکتریک برای تولید و آشکارسازی امواج صوتی در هوا (در بلندگوها، میکروفون‌ها) یا در آب استفاده می‌شود.

**سونوگرافی با امواج التراسونیک**: برای عکس‌برداری و رادیولوژی عمدتا از اشعه ایکس استفاده می‌شود. به لحاظ انرژی بالا و قدرت نفوذ زیاد اشعه ایکس از آن در سونوگرافی بافت‌های نرم و اعضای داخلی بدن نمی‌توان استفاده نمود. بنابراین از امواج ماورای صوت (التراسونیک) در سونوگرافی بهره می‌گیرند.

در تکنیک سونوگرافی مبنای کار بر مواد پیزوالکتریک نهاده شده است. مواد پیزوالکتریک به موادی اطلاق می‌شود که می‌تواند تأثیر متقابل فشار مکانیکی و نیروی الکتریکی را در یک محیط برهم ایجاد کنند. بهترین ماده‌ی پیزوالکتریک برای این منظور، بلور کوارتز است. بلور شش ضلعی کوارتز دارای بار منفی و مثبت به‌صورت یک در میان در شش گوشه‌ی خود می باشد. اگر این بلور را تحت اثر فشار یا کشش مکانیکی قرار دهیم، دو طرف بلور دارای بارهای منفی و مثبت خواهد شد. حال اگر بلور را در حالت خنثی در یک میدان الکتریکی قرار دهیم وجود بارهای مثبت و منفی باعث کاهش یا افزایش فشار در روی بلور شده و شکل بلور را تغییر می‌دهد. اگر این میدان الکتریکی با فرکانس مشخص شروع به نوسان نماید، بلور پیزوالکتریک نیز متناسب با همان فرکانس شروع به ارتعاش نموده و امواج مکانیکی از خود صادر می‌کند و این مبنای تولید ماورای صوت به توسط سیستم پیزوالکتریک است.

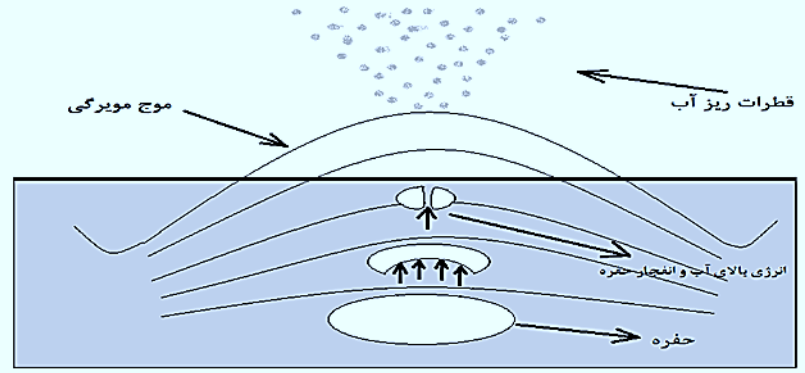
یک نکته جالب توجه در پدیده سونوگرافی و التراسونیک این است که همان بلور پیزوالکتریک که تحت تغییرات میدان الکتریکی، امواج ماورای صوتی تولید می‌کند، بازتاب‌های امواج را نیز از بافت‌های درونی دریافت و با روندی دقیقا عکس روند تولید این امواج، به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل می‌کند. که این سیگنال با انتقال به پردازشگر مرکزی به شکل تصویر مشخصی در روی صفحه نمایش دستگاه ظاهر می‌شود.

## شرح آزمایش:

**بخش اول:** بررسی تکنولوژی التراسونیک در دستگاه بخور سرد

اگر تا به حال برای خرید دستگاه بخور اقدام کرده باشید حتما کلمه التراسونیک را شنیده‌اید که فروشندگان معمولا به عنوان

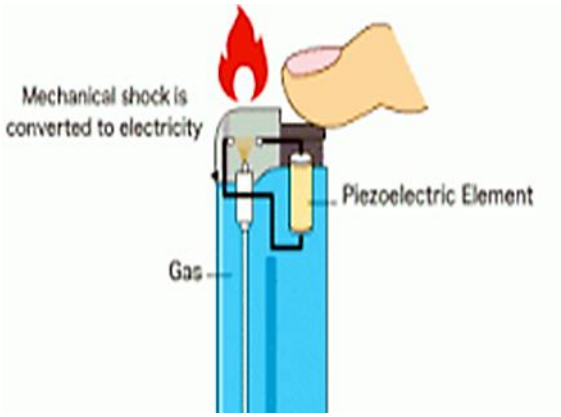
یکی از مزیت‌های دستگاه خود از آن یاد می‌کنند. اما سؤال اینجاست که این تکنولوژی چیست و چگونه کار می‌کند؟ تکنولوژی التراسونیک که معمولا در دستگاه بخور سرد و بعضا در دستگاه بخور گرم نیز بکار می‌رود، متشکل از یک دیسک سرامیکی پیزو الکتریک است. سرامیک به دلیل پیزوالکتریک بودن در حضور جریان الکتریکی در فرکانس التراسونیک ( که در این فرکانس دیگر صدای موج ایجاد شده در آب شنیده نمی‌شود.) نوسان می‌کند و منجر به نوسان آب می‌شود. آب هم تلاش می‌کند تا نوسان فرکانس بالای صفحات را دنبال کند اما به دلیل اینرسی جرم و وزن نسبی نمی‌تواند در همان فرکانس نوسان کند و موج آب با تأخیر در پشت موج دیسک حرکت می‌کند. در نتیجه یک منطقه‌ی کم‌فشار بین آن‌ها ایجاد می‌شود که یک حفره را شکل می‌دهد. حفره می‌تواند خلأ باشد و یا از هوا پر شود، زیرا در آب، هوای محلول نیز وجود دارد که با ایجاد ناحیه کم‌فشار به سمت حفره حرکت می‌کنند و این حفره وقتی منفجر می‌شود انرژی زیادی ایجاد می‌کند. ارتعاش دیسک نیز در سطح آب امواج مویرگی ایجاد می‌کند. این امواج مویرگی به دلیل کشش سطحی و گرانش نوسانات را بالا و پایین می‌کند. با انفجار حفره یک موج مویرگی عرضی در سطح شکل می‌گیرد و در نتیجه در بالای موج قطرات بسیار ریزی از آب ایجاد می‌شود که از انرژی کافی برای شکستن کشش سطحی و خارج شدن از سطح آب برخوردارند و می‌توانند به‌راحتی وارد هوا شوند.




شکل ۴-۶: نحوه کار دستگاه بخور التراسونیک

از آن‌جا که در دستگاه بخورِ التراسونیک، بخار با نوسان ایجاد می‌شود دمای آب نیاز به افزایش ندارد. تکنولوژی التراسونیک در بخور سرد به‌صورت آنی تولیدِ رطوبت کرده و دیگر نیاز به منتظر شدن برای جوش آمدن آب ندارد. این کنترل رطوبت دقیق، مشخصه‌ی دستگاه بخور التراسونیک است. علاوه بر این، این نوع بخور، بخار قابل توجهی تولید کرده و بخار حاصل از آن بهتر جذب هوا می‌شود. در ضمن به علت سرد بودن این بخار به سمت بالا حرکت نکرده و در نتیجه بهتر تنفس می‌شود. بزرگترین مزیت این دستگاه‌ها ذخیره انرژی است. دستگاه بخور التراسونیک در مقایسه با دیگر دستگاه‌ها برای مرطوب‌سازی یک فضای مشخص انرژی کمتری مصرف می‌کند و از نظر اقتصادی به‌صرفه‌تر است. مزیت دیگر دستگاه بخور التراسونیک نگهداری آسان آن است. به‌خصوص اگر مصرف کننده از آب مقطر در مخزن آب استفاده کند که منجر به حذف آلودگی‌های موجود در آب می شود.

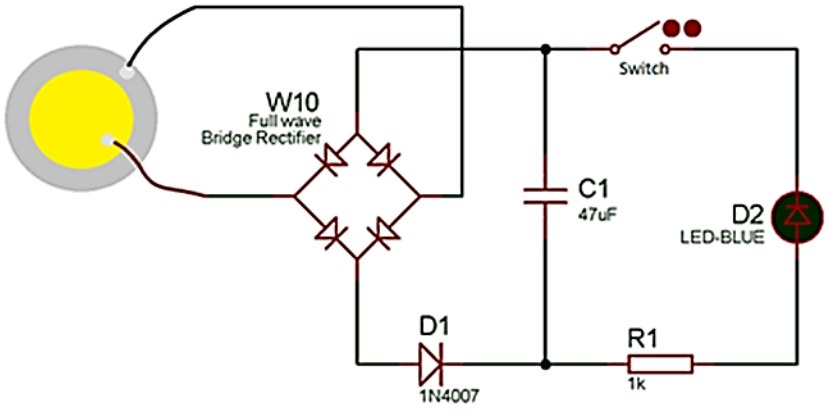
**بخش دوم:** ایجاد جرقه در فندک:




شکل ۵-۶: فندک پیزوالکتریک

**بخش سوم:** تولید نور در اثر فشار مکانیکی

مدار الکترونیکی طبق شکل ۶-۶ بسته و روشن شدن دیود نوری را در اثر ضربه مشاهده نمایید.




شکل ۶-۶: مدار تولید نور بااستفاده از پیزوالکتریک

**بخش چهارم:** تولید بخار آب سرد

دستگاه شکل ۷-۶ را داخل لیوان یا ظرف مناسب قرار دهید.

شکل ۷-۶: دستگاه تولید بخور سرد

**بخش پنجم:** تولید صدا در فرکانس مناسب

در این بخش تبدیل پالس الکتریکی در فرکانس مناسب به ارتعاش مکانیکی را مشاهده می‌کنیم. برای اینکار از ماده پیزوالکتریک موجود در شکل ۸-۶ استفاده می‌کنیم.

شکل ۸-۶: دستگاه تولید صوت پیزوالکتریکی

در بخش های فوق آزمایش‌ها را انجام داده و مشاهدات خود را گزارش نمایید.

## پرسش‌ها:

۱- آیا سیلیکون بلوری خاصیت پیزوالکتریک دارد؟ با ذکر دلیل پاسخ دهید.

۲- چند رده بلوری، مرکز بلور نامتقارن دارند؟

۳- خواص فروالکتریک‌ها را ذکر کنید؟ آیا همه مواد پیزو ، فرو الکتریک نیز هستند؟ یا همه مواد فرو، پیزو الکتریک هستند؟ با ذکر دلیل پاسخ دهید.

۴- چگونه می‌توانیم بطور تجربی ولتاژ الکتریکی بوجود آمده در دو وجه بلور را در اثر اعمال نیروی مکانیکی اندازه‌گیری کنیم؟ این موضوع را در مورد اثر معکوس پیزوالکتریک بررسی کنید.

۵- قطبش اولیه ماده پیزوالکتریک را چگونه می‌توانید تشخیص داده و اندازه‌گیری نماییم؟

۶- چند کاربرد، غیر از آنهایی که ذکر شده‌اند، برای ماده پیزوالکتریک نام ببرید.

۷- از بین پرسش‌های بالا یک مورد را انتخاب کرده و با استاد درس مشورت کنید، بطور تجربی با داده‌ها و روابط و ... انجام دهید.

این مورد دارای نمره ویژه می‌باشد.

# ۷ سلول خورشیدی دیودی

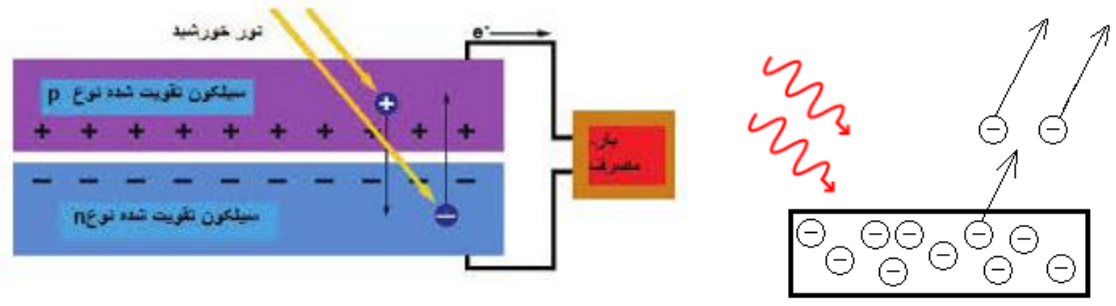
**اهداف آزمایش:**

آشنایی با ساختمان و طرز کار سلول‌های خورشیدی

**تئوری آزمایش:**

خورشید به عنوان یک رئاکتور طبیعیِ تولید انرژی مجانی تابشی است که از عمر آن در حدود میلیون‌ها سال می‌گذرد و تا حدود ۵ میلیارد سال آینده هم همچنان خواهد درخشید و سخاوتمندانه انرژی پاک و رایگان خورشیدی را در اختیار ما قرار خواهد داد.

سلول خورشیدی (فتوولتائیک) برای اولین بار در نیمه اول دهه ۱۹۵۰ با سر و صدای فراوان وارد بازار شد. در سال ۱۹۵۸ دانشمندان آمریکایی در سفینه وانگاردِ۱، مبدل‌های خورشیدی هر یک به قدرت ۲ میلی‌وات را به عنوان نیروی کمکی به‌کار بردند. سیستم‌های فتوولتاییک (PV) که در اصل برای کاربردهای فضایی ابداع و تکمیل شده بودند، انرژی نورانی را مستقیما به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. اصل مقدماتی در این تکنولوژی پدیده فتوالکتریک است که اولین بار به‌وسیله‌ی انیشتین مطرح شد. همیشه وقتی سخن از انیشتین به میان می‌آید، ذهن‌ها متوجه نظریه نسبیت و پیامدهای انقلابی آن در فیزیک می‌شود. اما کمتر کسی این نکته را به خاطر می‌آورد که انیشتین همانطور که در اولین انقلاب علمی قرن بیستم یعنی نظریه نسبیت سهیم بود، در انقلاب دیگر یعنی فیزیک کوانتومی نیز نقش بسزایی داشت. حتی جایزه نوبل هم به خاطر مقاله "اثر فتوالکتریک" که تأییدی بر کوانتومی بودن نور بود، به وی اهدا شد.

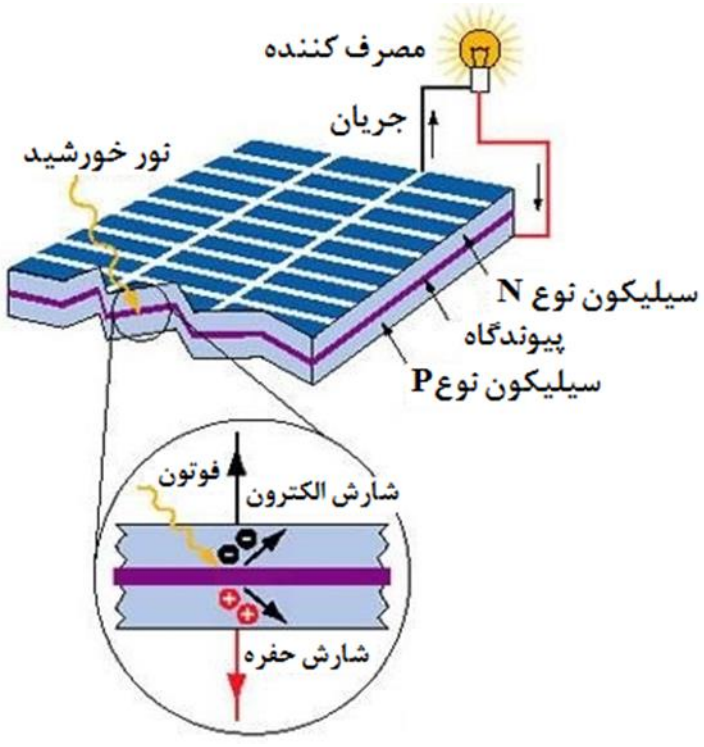



پدیده فتوالکتریک  سلول خورشیدی

شکل ۱-۷: سلول خورشیدی دیودی

سلول‌های خورشیدی یا سلول‌های ولتایی، کریستال‌هایی هستند که‌از لایه‌های نازک از جنس نیمه‌هادی (سیلیکون و آرسینو گالیوم) ساخته شده‌اند. سلول‌هایی که از سیلیکون ساخته می‌شوند از لحاظ تئوری بازده ماکزیمم حدود ۲۲ درصد دارند ولی بازده عملی آن‌ها حدود ۱۸ درصد است. درصورتی‌که بازده سلول‌هایی که از آرسینور گالیوم ساخته می‌شوند در عمل بیش‌تر از ۲۰ درصد است.

هنگامی‌که نور وارد کریستال می‌شود، الکترون‌هایی که بوسیله‌ی نور تولید می‌شوند، اختلاف پتانسیلی بین وجوه بالایی و پایینی سلول به‌وجود می‌آورند. اگر مدار کامل باشد این اختلاف پتانسیل جریان مستقیمی را به‌وجود می‌آورند. سیلسیوم یک نیمه‌هادی است که به‌طور خالص از نظر هدایت الکتریکی، هادی ضعیفی است ولی اگر در موقع پالایش، به آن فسفر و یا دیگر عناصر پنج ظرفیتی اضافه کنیم، بار منفی (الکترون) پیدا کرده و در صورتی‌که به آن بور یا دیگر عناصر سه ظرفیتی اضافه کنیم، بار مثبت (حفره) پیدا خواهد کرد. نوع اول را سیلسیم نوع N و نوع دوم را سیلسیم نوع P می‌گویند. حال اگر یک فوتون با اتصال P-N برخورد کند الکترون را از اتم سیلسیم جدا کرده و در نتیجه حفره به‌وجود می‌آورد. حفره مزبور تحت تأثیر میدان موجود به سمت ناحیه P و الکترون به‌سوی ناحیه N حرکت کرده و این دو حرکت مخالف با بارهای مختلف، یک جریان الکتریکی به‌وجود می‌آورند. با اتصال کنتاکت‌هایی به رویه‌های قطعات نیمه‌هادی، مداری تشکیل می‌شود که اجازه‌ی برگشت الکترون‌ها را به اتصال نوع P از میان یک بار خارجی می‌دهد. شکل زیر دیاگرام شماتیکی یک اتصال P-N را نشان می‌دهد. صفحات فتوولتائیک با اتصال چندین سلول (معمولا ۳۶ عدد) به‌صورت سری و موازی برای دستیابی به ترازهای مفید ولتاژ-جریان ساخته می‌شوند و با به‌کار بردن آن‌ها در یک قالب تنومند با یک پوشش شیشه‌ای و پایانه‌های مثبت و منفی پشت آن کامل می‌شود.




شکل ۲-۷: طرحواره‌ای از عملکرد سلول خورشیدی

سلول‌های خورشیدی به سه دسته عمده تقسیم می‌شوند: تک کریستالی، چند کریستالی و بی شکل (آمورف). در جدول ذیل اطلاعاتی در مورد میزان راندمان انواع سلول خورشیدی بیان شده است.

| | | |
|---|---|---|
| انواع سلول‌های خورشیدی | تک کریستالی | راندمان عملی= ۱۷ درصد |
| | چند کریستالی | راندمان عملی= ۱۵ درصد |
| | بی شکل (آمورف) | راندمان عملی= ۷ درصد |

جدول ۹: انواع سلولهای خورشیدی و راندمان آنها

راندمان سلول‌های خورشیدی در پنِل‌های خورشیدی عبارت است از درصد انرژی تبدیل شده به الکتریسیته که از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$\eta = \frac{P_m}{E \times A_c}$$

در این رابطه $P_m$ توان حداکثر، $E$ شدت تابش نور ورودی و $A_c$ مساحت سطح سلول خورشیدی می‌باشد.

سیستم‌های فتوولتائیک به سه بخش عمده تقسیم می‌شوند:

**الف- پنِل‌های خورشیدی:**

پنل‌های خورشیدی انرژی تابشی را به الکتریسیته‌ی مستقیم DC تبدیل می‌کنند. این پنل‌ها طوری ساخته شده‌اند که در برابر سرمای شدید، گرمای بیابان، رطوبت شرجی استوایی و بادهای شدید مقاومت زیادی دارند. با این‌حال جنس این وسایل شیشه بوده و در اثر ضربات سنگین ممکن است بشکنند.

**ب- بخش کنترل و شارژ باتری:**

این بخش در واقع کلیه مشخصات سیستم را کنترل کرده و توان تولیدی پنل‌ها را طبق طراحی انجام شده و نیاز مصرف کننده به باتری، تزریق یا کنترل می‌کند، که شامل شارژ باتری و کنترل می‌باشد.

**ج- تبدیل انرژی و اینوِرتِر:**

چون انرژی تولیدی در این فرآیند به‌صورت DC می‌باشد، برای انتقال و مصرف در اکثر مواقع باید این ولتاژ را به AC تبدیل کنیم.

**موارد استفاده از انرژی خورشیدی:**

از سلول‌های خورشیدی در موارد مختلفی از جمله: حفاظت کاتدی، یخچال‌های خورشیدی، سیستم‌های تغذیه پرتابل، پیک‌سایی، آب‌نما، آبیاری، مراکز تفریحی، روشنایی پارک‌ها و مناطق دور افتاده، چراغ‌های راهنمایی، ماهواره‌ها و تلسکوپ‌ها و ایستگاه‌های فضایی، ماشین حساب‌ها، ساعت، رادیو، ضبط صوت، وسایل بازی کودکانه، قایق‌های خورشیدی و ... استفاده می‌شود.

**مزایای استفاده از انرژی خورشیدی**

۱- امکان نصب و راه‌اندازی آسان

۲- تبدیل مستقیم انرژی تابشی به مکانیکی و یا الکتریکی

۳- امکان استفاده از آن در مقیاس‌های بزرگ و کوچک

۴- امکان استفاده در مکان‌های شهری و روستایی

۵- قابلیت نصب و راه‌اندازی در هر مکان حتی پشت‌بام خانه‌ها

۶- زمان کوتاه بهره‌برداری

۷- هزینه انتقال کم و پیک‌سایی مفید از شبکه سراسری

۸- انرژی تمیز و بدون آلایندگی

مهم‌ترین فعالیت‌های انجام شده در زمینه انرژی خورشیدی در ایران:

- در شهر شیراز نیروگاه حرارتی خورشیدی از نوع سهموی خطی با ظرفیت ۲۵۰ کیلووات انرژی راه‌اندازی شده است.
- نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه در طالقان در ۱۲۰ کیلومتری غرب تهران در منطقه کوهستانی با توان ۳۰ کیلووات راه‌اندازی شده است.
- نیروگاه فتوولتائیک معلمان در سمنان با ظرفیت ۱۰۰ کیلووات راه‌اندازی شده است.
- نیروگاه فتوولتائیک دربید یزد به ظرفیت ۱۲ کیلووات جهت استفاده ۱۵۰ خانوار روستایی راه‌اندازی شده است.
- برق‌رسانی به ۷۰۰ خانوار روستایی

**آموزش ساخت سلول خورشیدی با دیود**

**وسایل مورد نیاز:**

مولتی‌متر، سیم‌چین، دستکش، عینک، سیم اتصال، برد بورد، چراغ مطالعه

**روش آزمایش:**

دیودها قطعات الکتریکی کوچکی هستند که با ساختمان، انواع و طرز کار آن‌ها در آزمایش قبل آشنا شدید. دو روش برای وصل کردن دیودها وجود دارد. همان‌طور که می‌دانید دیودها دو سر آند و کاتد دارند. برای وصل کردن دیودها چنانچه کاتد یکی را به آند دیگری وصل کنیم و به همین ترتیب ادامه دهیم، اصطلاحا دیودها به‌طور سری به هم متصل شده‌اند که در این حالت حداکثر ولتاژ ممکن را داریم. اما چنانچه دو سر دیودها به یکدیگر وصل شود، یعنی کاتدها به هم و آندها به هم وصل شوند، دیودها موازی شده‌اند. توجه کنید که چنانچه دیودها را به‌صورت موازی به‌هم وصل کنیم، حداکثر جریان و کمترین ولتاژ را دریافت خواهیم کرد.

برای این‌که پیوندگاه معلوم شود و نور مستقیما به پیوندگاه بتابد، باید روکش نیمه دیود با احتیاط و با راهنمایی مدرس از یک سمت برداشته شود. برای این منظور بهتر است خود را به دستکش و عینک مسلح کنید و با رعایت احتیاط لازم، اقدام به این‌کار نمایید. مواظب باشید قطعات روکش جدا شده‌ی دیود، به سر و صورتتان اصابت نکند.

**مراحل انجام آزمایش:**

**الف- آزمایش با دیود معمولی سیلسیومی**

۱- تعداد ۴ عدد دیود سیلسیومی را که روکش آن‌ها را از یک‌طرف جدا کرده‌اید روی برِد بورد به شکل سری به هم متصل کنید. دقت کنید که رویه‌های کنده شده رو به بالا باشد.

۲- مولتی‌متر را روی حالت میلی‌ولت قرار داده و پروب‌ها را دو طرف یکی از دیودها گذاشته و ولتاژ تولید شده دو سر دیود را اندازه گرفته و یادداشت کنید.

۳- حالا چراغ مطالعه را روشن کرده و مستقیما به دیود بتابانید. چه تغییری در ولتاژ خروجی می‌بینید. علت را شرح دهید.

۴- این‌بار توسط مولتی‌متر ولتاژ دو سر مدار (دیودهای سری شده) را یکبار بدون حضور چراغ مطالعه و یکبار با حضور چراغ اندازه‌گیری کرده و یادداشت کنید.

۵- دیودها را از برِد بورد جدا کرده و به شکل موازی به هم متصل کنید و اندازه‌گیری ولتاژ را بدون چراغ مطالعه و با چراغ مطالعه تکرار کنید.

**ب- آزمایش با دیودهای نورانی رنگی**

آزمایش الف را این بار با دیودهای نورانی تکرار می‌کنیم. فقط لازم نیست روکش این دیودها را بکنید. تعداد ۱۰ عدد دیود نورانی را ابتدا به شکل سری و سپس موازی روی برِد بورد قرارداده و مراحل آزمایش الف را عینا تکرار کنید.

۱- آیا می‌توان از دیودها به عنوان سنسور استفاده کرد؟ چگونه؟

۲- آیا اندازه دیودها تأثیری در نتایج آزمایش فوق دارند؟

۳- بزرگی و کوچکی دیود معمولی و نورانی در اندازه‌ی ولتاژ خروجی مؤثر است یا اندازه‌ی جریان؟ چرا؟

**ج**- همین آزمایش را می‌توان با ترانزیستور قدرت نظیر 2SD350 و ... انجام داد. برای این‌کار باید اول رویه‌ی فلزی بالای ترانزیستور را با استفاده از اره یا سنگ با احتیاط برداریم. در این‌صورت به پیوندگاه npn یا pnp خواهیم رسید. چون اندازه‌ی پیوندگاه بزرگتر از دیود معمولی است و دو پیوندگاه نیز داریم، بنابراین ولتاژ این ترانزیستور اگر در مقابل نور قرار گیرد باید بیشتر از دیود معمولی باشد.

۱- با تغییر شدت نور (خاموش و روشن کردن چراغ مطالعه) ولتاژ را یادداشت کنید.

۲- آیا می‌توان با سری- موازی کردن این ترانزیستورها یک سلول خورشیدی ساخت؟

۳- اتصال سری برای افزایش ولتاژ است یا افزایش جریان؟ اتصال موازی چطور؟

۴- ترکیب سری- موازی چه مزیتی را به پیل می‌دهد؟

# ۸ مدار چاپی

**اهداف آزمایش:**

آشنایی با روش چاپ مدار روی بوردهای الکترونیکی

## تئوری آزمایش:

در گذشته‌ی نه چندان دور برای ساختن یک مدار الکترونیکی ابتدا نقشه‌ی مدار را روی فیبر ویژه‌ای قرار داده، سپس جای پایه‌های قطعات الکترونیکی را روی آن سوراخ می‌کردند. بعد از نصب قطعات، پایه‌ها را براساس نقشه از زیر با سیم به هم وصل می‌کردند. این روش به دلیل اشغال جای زیاد، وجود تعداد بی‌شمار سیم‌ها و عبور سیم‌ها از روی یکدیگر، پارازیت زیادی را در مدار به وجود می‌آورد. با پیشرفت علم الکترونیک و پیچیده‌تر شدن مدارهای الکترونیکی این روش ساخت مدار دیگر قابل استفاده نبوده و بجای آن از مدارهای چاپی استفاده می‌شود.

در یک مدار چاپی عناصر روی یک طرف فیبر قرار می‌گیرند و خطوط ارتباطی به وسیله‌ی لایه نازک مسی که در طرف دیگر فیبر وجود دارد برقرار می شود، استفاده از مدار چاپی حجم مدار را کوچک می‌کند، علاوه بر آن در این روش می‌توان ضخامت و فواصل خطوط عبور جریان را به طور دقیق ترسیم و مانع ایجاد ظرفیت خازنی پراکنده شد. به‌طورکلی مزایای مدار چاپی در مقایسه با مدارهای سیم‌کشی به شرح زیر است:

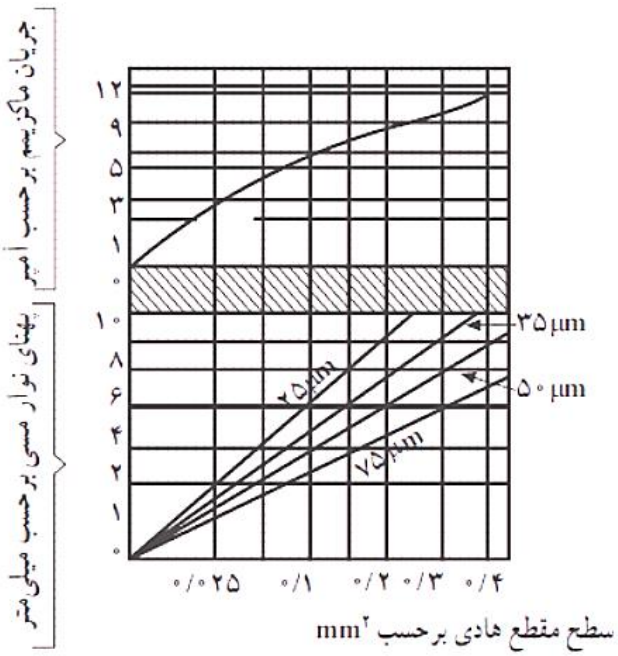
- ✓ از شلوغ شدن اتصالات و سیم‌کشی‌ها جلوگیری می‌شود.
- ✓ اندازه‌ی مدارها کوچک می‌شود.
- ✓ به هنگام تعمیر مدار دنبال کردن خطوط به سهولت انجام می‌شود.
- ✓ مونتاژ مدار سریع و آسان و مقرون به صرفه است.
- ✓ تکثیر و تولید زیاد لوازم الکترونیکی آسان‌تر است.
- ✓ مزایای فوق سبب شده است که تمام کارخانه‌های تولیدکننده‌ی لوازم الکترونیکی از مدار چاپی استفاده کنند. صرف نظر از روش‌های مختلف طراحی و تکثیر مدار چاپی اجرای مراحل زیر در تمام روش‌ها مشابه است:
- ✓ چسباندن ورقه‌ی نازک مس روی فیبر عایق (مرحله‌ی ساخت فیبر)
- ✓ طراحی مدار چاپی با در نظر گرفتن اندازه‌ی حقیقی و استانداردهای موجود.
- ✓ استفاده از روش‌های رایج در انتقال مدار روی فیبر.
- ✓ قرار دادن فیبر در داخل اسید و ا ز بین بردن مس‌های اضافی.
- ✓ تمیز کردن فیبر و سوراخ کردن آن.

- ✓ لحیم کاری و مونتاژ عناصر روی فیبر.

**ضخامت لایه‌های مس روی فیبر:** لایه‌های مس چسبانده شده روی فیبر مدار چاپی نیز دارای استانداردهای مشخص است. ضخامت لایه‌ی مس چسبانده شده بر روی فیبر معمولاً ۲۵، ۵۰، ۷۵ میکرومتر است.

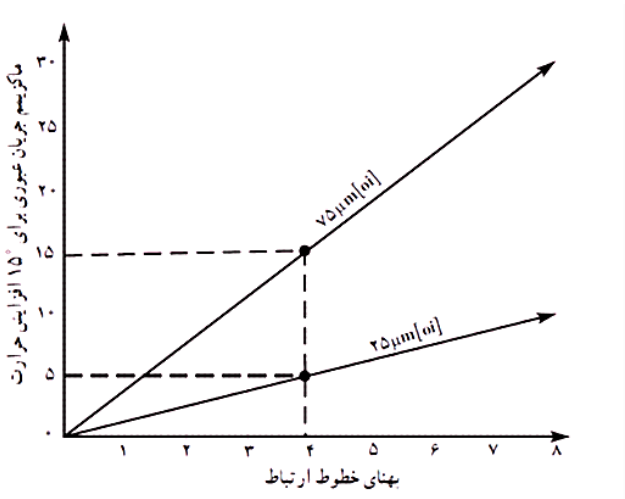
به علت نازک بودن لایه‌ی مس، ارتباط پایه های عناصر دارای محدودیت‌هایی است. این محدودیت‌ها شامل حداکثر جریان عبوری از خطوط ارتباطی و بیشینه مقاومت ایجاد شده در محل اتصالات است. هم‌چنین ولتاژی هم که می‌توان بین دو نقطه اتصال داد، دارای محدودیت است. در طراحی برای فرکانس بالا خاصیت خازنی باید در نظر گرفته شود. برای در نظر گرفتن محدودیت‌های بالا استانداردهایی وجود دارد که می‌توان با استفاده از آن‌ها مدار چاپی را بدون اشکال طراحی کرد.

**محاسبه‌ی بیشینه جریان عبوری از لایه‌ی مس:** برای محاسبه‌ی بیشینه جریان عبوری از لایه‌های مس با پهنای مختلف از نمودار شکل ۱-۸ استفاده می‌شود.




شکل ۱-۸: منحنی تغییرات جریان عبور برحسب سطح مقطع هادی

در این شکل ابتدا با داشتن پهنای خطوط ارتباطی از منحنی پایین، سطح مقطع محل عبور جریان به دست می‌آید. سپس با استفاده از منحنی بالایی بیشینه جریان عبوری مجاز تعیین می‌شود به عنوان مثال خطی با پهنای ۴ mm روی فیبر با لایه‌ی مسی به ضخامت ۷۵ mμ، دارای سطح مقطعی برابر $mm^2$ ۰/۳ است. بیشینه جریان قابل عبور از این سطح مقطع با توجه به نمودار برابر ۱۰ A خواهد بود. این مقدار جریان به اندازه‌ی ۱۰ درجه، حرارت مس را بالا می برد.



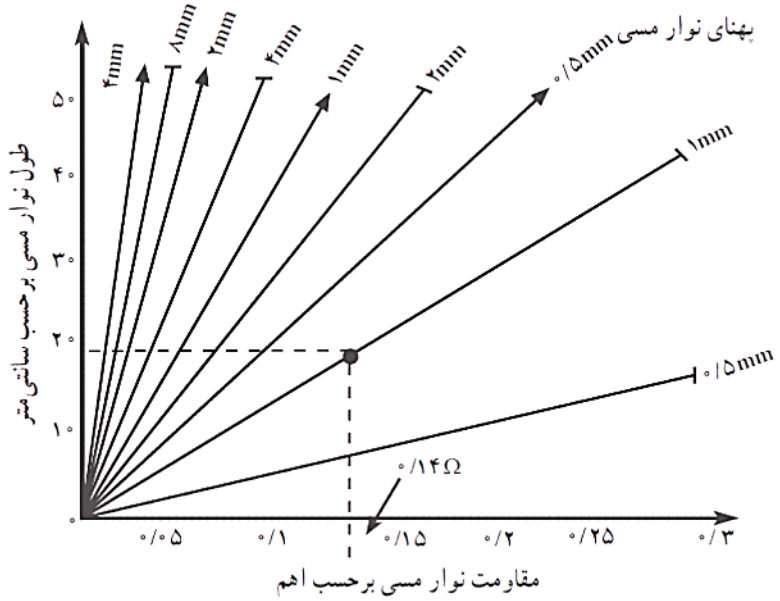

شکل ۲-۸: تغییرات جریان برحسب پهنای خطوط هادی

برای درجه حرارت‌های مختلف منحنی‌های دیگری نیز وجود دارد. در شکل ۱ ماکزیمم جریان عبوری به طور مستقیم قابل محاسبه است.

**محاسبهٔ مقاومت خطوط ارتباطی:**

مقاومت ایجاد شده بر روی فیبر مدار چاپی در اثر خطوط ارتباطی، بستگی به ضخامت لایه‌ی مس و پهنای خطوط ارتباط دارد. مقاومت ایجاد شده باید بگونه‌ی در نظر گرفته شود که باعث افت ولتاژ درطول مسیر و نیز تلفات قدرت بیش از حد نشود. با داشتن سطح مقطع و طول یک هادی می‌توان مقاومت آن را محاسبه کرد.

منحنی شکل ۳-۸ مقاومت خطوط ارتباطی را با پهنا و طول های مختلف نشان می‌دهد.




شکل ۳-۸: تغییرات طول نوار مسی برحسب مقاومت نوار

در بعضی مدارها که به مقاومت کم با وات بالا نیاز است می توان از لایه‌ی مسی روی فیبر به عنوان مقاومت استفاده کرد.

با اضافه نمودن فواصل پایه‌ی المان ها می توان طول لایه‌ی مسی را اضافه نمود و مقاومت مور د نظر را به دست آورد.

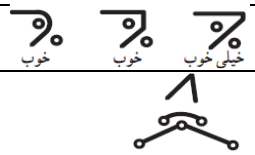
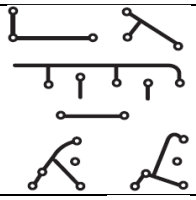
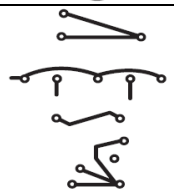
**فاصلهٔ خطوط ارتباطی:** حداقل فاصله‌ی بین دو خط ارتباطی با توجه به ولتاژ مدار محاسبه می‌شود. اگر فاصله‌ی خطوط با در نظرگرفتن ولتاژ مدار از حد مجاز کم‌تر شود باعث ایجاد جرقه و یا ارتباط بین دو خط می‌شود. در جدول ذیل حداقل فاصله‌ی بین دو نقطه متناسب با ولتاژ مدار آورده شده است.

| ولتاژ DC یا بیشینه ولتاژ AC | 0-50 | 51-100 | 101-170 | 171-250 | 251-500 |
|---|---|---|---|---|---|
| کمینه فاصله mm | 0.5 | 0.7 | 1 | 1.2 | 2 |

جدول ۱۰: تغییرات ولتاژ بر حسب کمینه فاصله‌ی بین نقاط فیبر

**استاندارد طراحی مدار چاپی:** تبدیل یک نقشه‌ی الکترونیکی به نقشه‌ی مدار چاپی باید طبق استانداردهای موجود انجام پذیرد .مدار چاپی باید با رعایت فواصل پایه‌ها، حجم المانها و با اندازه‌ی حقیقی قطعات طراحی شود .علاوه بر رعایت اندازه‌ی قطعات نکات مهم زیر نیز در طراحی مدار چاپی باید رعایت شود:

نقشه‌های الکترونیکی به صورتی به نقشه‌ی مدار چاپی تبدیل شود که ورودی‌ها در یک طرف و خروجی‌ها در طرف دیگر قرار گیرند.

| توضیح | استاندارد | غیر استاندارد |
|---|---|---|
| از ایجاد زوایه‌های تیز داخلی و خارجی خودداری کنید. زیرا هنگام لحیم‌کاری باعث جدا شدن مس از فیبر می‌شود. |   | |
| همیشه از کوتاه‌ترین مسیر ارتباط استفاده کنید. |  |  |
| فواصل بین خطوط رعایت کنید. | | |
| هرگز چند سوراخ پی‌در پی را کنار هم و مماس بر یکدیگر قرار ندهید زیرا باعث برجسته شدن لحیم می‌شود. | | |
| از ارتباط دو نقطه با پهنای یکسان خودداری کنید زیرا باعث جاری شدن لحیم می‌شود. | | |

جدول ۱۱: اتصالات استاندارد و غیراستاندارد

قطعات حرارتی نظیر مقاومت‌ها و ترانزیستورهای وات بالا در کنار المان‌های حساس به حرارت مانند دیودها و ترانزیستورهای کوچک قرار نگیرد. قطعات در مدار به صورتی کنار یکدیگر قرار گیرند که هنگام تعمیر به راحتی بتوان آن‌ها را تعویض کرد. مکان‌هایی که در نقشه‌ی الکترونیکی دیده نمی‌شوند مانند رادیاتور جای پیچ و غیره باید در نظر گرفته شود. پهنای خطوط

باید متناسب با جریان عبوری و مقاومت ایجاد شده باشد.

**طرز تهیهٔ طرح مدار چاپی:**

**۱- طراحی مدار چاپی**

ابتدا با استفاده از نقشه‌ی مدار، روی یک صفحه کاغذ با ابعاد مناسب جای قطعات را مشخص می‌کنیم. جای قطعات نباید از ابعاد قطعات کوچک‌تر باشد. بدیهی است محل قطعات را می‌توان تغییر داد.

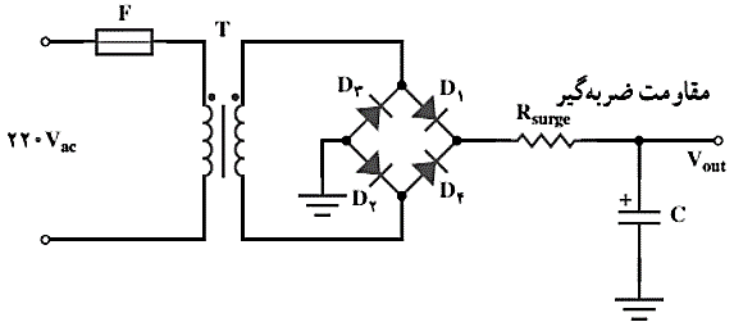
برای پایه‌ی هر قطعه یک دایره ترسیم می‌کنیم. حتی اگر در یک منطقه چندین پایه نزدیک به یکدیگر قرار داشته باشند باید برای هر پایه یک دایره منظور شود. فواصل پایه‌ها باید با فواصل حقیقی مطابقت داشته باشد. مثلاً اگر فاصله‌ی پایه‌های یک مقاومت ۲ واتی که به‌طور افقی روی فیبر قرار می‌گیرد ۱۷ mm باشد باید در طراحی مدار چاپی نیز فاصله بین دو پایه ۱۷ mm در نظر گرفته شود .حداقل پایه‌هایی را که بر روی نقشه به یکدیگر متصل هستند با کوتاه‌ترین فاصله‌ی ممکن به هم وصل کنید. باید توجه داشته باشید که اگر دو سیم از روی یکدیگر عبور کنند ولی اتصال نداشته باشند این خطوط روی فیبر مدار چاپی نیز نباید به هم وصل شوند.

چون قطعات مدار در یک طرف فیبر و مدار چاپی در طرف دیگر فیبر قرار می‌گیرند باید طرح مدار چاپی که از روی نقشه به دست می‌آید معکوس شود.

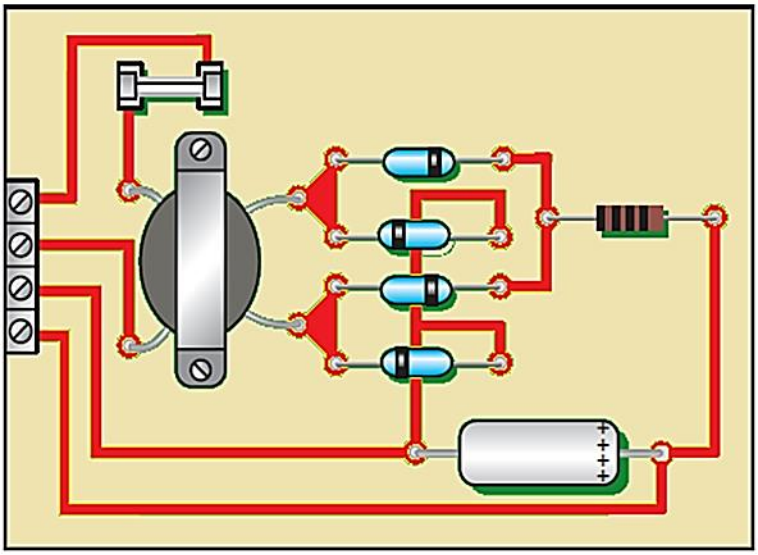
**۲- نکته‌های مهم در طراحی مدار چاپی:**

در اینجا چند مثال از انتقال یک مدار الکترونیکی روی فیبر آورده شده است.

مثال ۱- مدار یک‌سوساز: در شکل ۴ نقشه‌ی مدار چاپی و جای قطعات در اندازه‌ی واقعی نشان داده شده است. البته در این نقشه، ورودی و خروجی مدار به ترمینالی در سمت چپ نقشه وصل شده است.

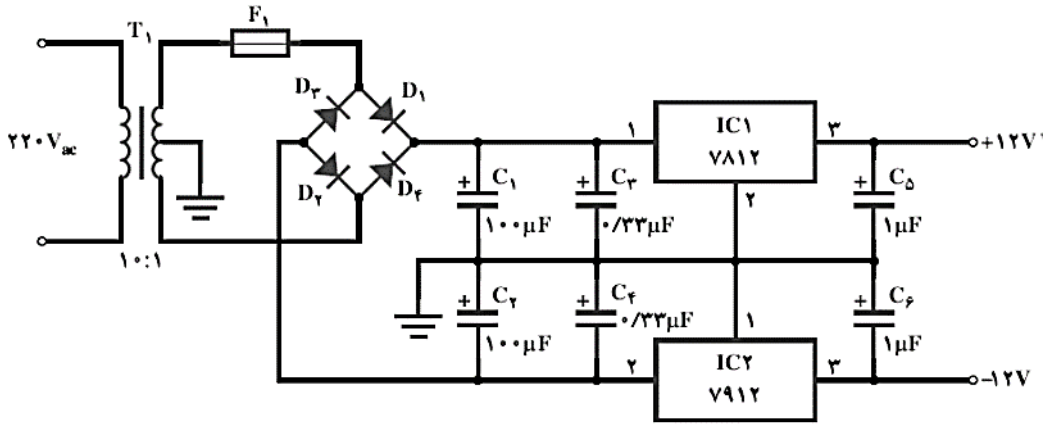



شکل ۴-۸: نقشه‌ی مدار یک‌سو ساز



شکل ۵-۸: چینش قطعات یک مدار یک‌سو ساز بر روی مدار چاپی

**مثال ۲-** مدار منبع تغذیه‌ی دوبل: در شکل ۶-۸ نمای بلوکی یک منبع تغذیه‌ی دوبل که دارای ولتاژ خروجی ۱۲ + ولت و ۱۲ –ولت است نشان داده شده است. در شکل ۷-۸ طرح مدار چاپی و جای قطعات در اندازه‌ی واقعی رسم شده است. البته آی سی ۷۸۱۲ برای آن که بتواند با محیط بهتر تبادل حرارت کند روی گرماگیر (هیت سینک) نصب شده است.

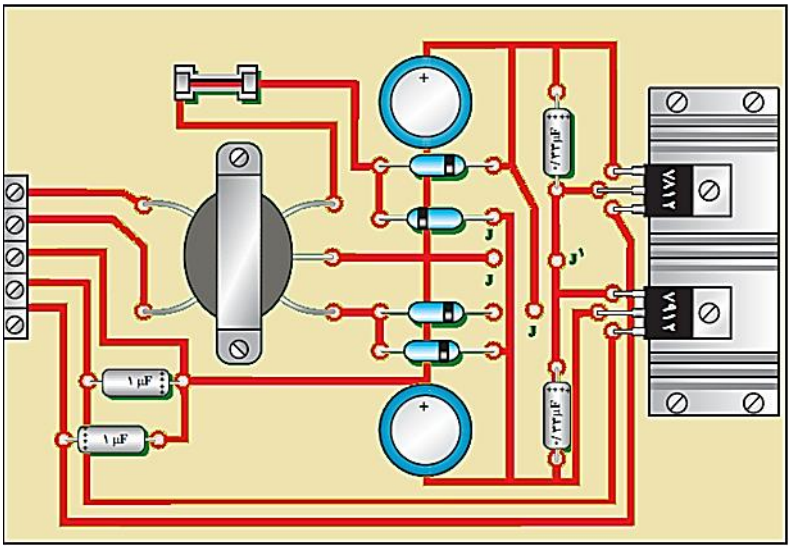



شکل ۶-۸: نقشه یک مدار منبع تغذیه‌ی دوبل با خروجی ۱۲+ و ۱۲- ولت

**وسایل مورد نیاز:**

مداد، پاک کن، کاغذ، کاربن، کاغذ کالک یا طلق شفاف، ماژیک ضد اسید یا لتراست، لامینت، خط و نقطه و پایه‌ی آی سی فیبر مدار چاپی، اسید.

قطعات الکترونیکی مطابق با مدار انتخاب شده، ابزار لحیم‌کاری، نرم‌افزار طراحی مدار چاپی، میز نور، وان اسیدکاری یا ظرف برای اسید و هیتر، اسفنج ظرفشویی، ابزار سوراخ‌کاری، الکل، پنبه، ماده‌ی ظهور فیلم لامینت.




شکل ۷-۸: چینش قطعات مدار یک منبع تغذیه‌ی دوبل با خروجی ۱۲+ و ۱۲- ولت

**روش آزمایش:**

**الف:** طرح مدار چاپی شکل ۴ را که یک منبع تغذیه یک‌سو ساز است، در کادر مناسب طراحی کنید .کلیه‌ی مقاومت‌ها طراحی مدار چاپی، به اندازه‌ی دقیق قطعات توجه شود.

**ب:** پس از تبدیل نقشه‌ی الکترونیکی به نقشه‌ی مدار چاپی باید آن را روی فیبر منتقل کرد .در زیر چند روش انتقال مدار چاپی روی فیبر توضیح داده می‌شود.

روش ماژیک یا لِتراسِت: ابتدا فیبر مدار چاپی را کاملاً تمیز کنید.سپس نقشه‌ی مدار چاپی تهیه شده را معکوس کنید و به وسیله‌ی کاربن نقشه را روی فیبر مدار چاپی انتقال دهید.

با کشیدن قلم روی خطوط و پایه‌های قطعات اثر طرح روی مس فیبر مدار چاپی منتقل می‌شود. با استفاده از ماژیک ضد اسید اثر به جا مانده‌از کاربُن را پررنگ کنید. در این مرحله می‌توانید پایه‌ی عناصر را با شابلون دایره و یا شابلون مورد نظر روی فیبر رسم کنید و با استفاده از خط‌کش پایه‌ها را به یکدیگر ارتباط دهید. هنگام کار با ماژیک باید دقت کنید که ماژیک چند بار روی فیبر در جهت عکس یکدیگر کشیده نشود. خطوط ترسیم شده باید پررنگ باشد، زیرا در صورت کم‌رنگ بودن اسید روی آن‌ها اثر می‌کند و مسیرهای خطوط ارتباطی را از بین می‌برد. به جای ماژیک می‌توانید از لتراست استفاده کنید. در این روش، لتراست قطعه‌ی مورد نظر را روی فیبر قرار دهید و قلم را روی علامت مورد نظر بکشید تا لتراست روی فیبر منتقل شود. باید توجه کنید که قلم فقط روی علامت مورد نظر کشیده شود و روی علایم اطراف آن کشیده نشود،

زیرا علایم جانبی روی فیبر اثر می‌گذارد و هنگام اسیدکاری، مس قسمت‌هایی که مورد نظر نیست روی فیبر باقی می‌ماند.

البته روش‌هایی مشابه نیز برای کاربردهای متفاوت مانند روش پوزیتیو، لامینت و چاپ سیلک نیز وجود دارد که بیش‌تر برای

تولید انبوه بکار می‌رود.

مدار منبع تغذیه‌ی ساده مربوط به مثال ۱ را به روش ماژیک یا لتراست برروی فیبر مدار چاپی انتقال دهید.

**ج**- اسید کاری: برای حل کردن مس‌های اضافی فیبر مدار چاپی از اسید استفاده می‌کنیم. البته مس‌های اضافی فیبرمدار چاپی تهیه شده به روش‌های دیگر هم توسط اسید حل شده و فیبر مدار چاپی برای مونتاژ قطعات آماده می‌شود.

ج-۱ - مرحلهٔ اول طرز تهیهٔ محلول اسید و آماده نمودن

**فیبر برای مونتاژ :** اسید مورد استفاده معمولاً **پرکلروردوفر** است .هنگام درست کردن اسید باید به نکات زیر توجه کنید: حتماً از ظروف شیشه‌ای، لعابی یا چینی استفاده کنید.در ظرف به انداز آب بریزید تا با قرار دادن فیبر در داخل آن، محلول حدود ۲ میلی‌متر بالاتر از سطح فیبر قرار گیرد. حتما آب را گرم کنید. یااین که آب گرم در ظرف بریزید.اگر از ظرف پیرکس استفاده می‌کنید ظرف را روی حرارت خیلی کم نگه‌دارید.

به پرکلروردوفر به اندازه‌ای آب اضافه کنید که محلول تقریباً غلیظی به دست آید. فیبر مدار چاپی را در داخل محلول قرار دهید و محلول را به آرامی تکان دهید. پس از خورده شدن مس اضافی فیبر، فیبر را از محلول خارج کنید و آن را کاملا بشویید.

ج-۲- مرحلهٔ دوم پا ک‌کردن مواد ماژیک ضداسید،

**لتراست، پوزیتیو یا لامینت:** برای پاک کردن مواد لامینت روی سطح خطوط مسی فیبر مدار چاپی معمولا از محلول غلیظ سود سوزآور استفاده می‌کنند. حدود ۲۰ گرم سود را در یک لیتر آب سرد ریخته و پس از حل نمودن کامل سود در آب، فیبر مدار چاپی تهیه شده را در محلول قرار می دهند، پس از گذشت حدود چند دقیقه کلیه‌ی مواد لامینت از روی فیبر مدارچاپی پاک می شود. البته هرچه محلول سود غلیظ تر باشد پاک شدن مواد لامینت سریع تر انجام می گیرد. پس از پاک شدن مواد لامینت باید فیبر مدار چاپی را با آب شست وشو داد.

ج-۳- سوراخ کاری و نصب قطعات

پس از آماده نمودن فیبر مدار چاپی باید جای پایه‌ی قطعات را به وسیله‌ی دریل، و با مته‌ی با قطر مناسب، سوراخ نمود. مته‌ی مناسب برای پایه‌ی قطعاتی نظیر مقاومت، خازن، دیود و ترانزیستور ۷۵ و آی سی مته‌ی شماره یک است. پس از سوراخ نمودن فیبر قطعات را در جای مناسب آن قرار داده و پایه‌ی قطعات را روی سطح مس لحیم کنید.

**پرسش‌ها:**

مقاومت خطی به طول ۲۰ cm و پهنای ۱ mm بر روی فیبری با لایه‌ی ۲۵ µm چند اهم است؟ اگر از این خط ارتباطی جریان ۲ A عبور کند، افت ولتاژ چقدر است؟

حداقل سه نرم‌افزار مدار چاپی نام ببرید.

روش چاپ سیلک اسکرین را توضیح دهید.