

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# الکترونیک پایه

پایه دهم

دوره دوم متوسطه

شاخه: کاردانش

زمینه: صنعت

گروه تحصیلی: برق و رایانه

رشته‌های مهارتی: الکترونیک صنعتی، اتوماسیون صنعتی، سیستم‌های صوتی و تصویری،

تعمیر ابزار دقیق، تعمیر تلفن‌های رومیزی و همراه، تعمیر دستگاه‌های پزشکی

نام استاندارد مهارتی مبنا: الکترونیک کار صنعتی

کد استاندارد متولی: ۸-۵۲/۵۳/۱/۵

عنوان و نام پدیدآور: الکترونیک پایه: شاخه کاردانش، زمینه صنعت، گروه تحصیلی برق و رایانه، رشته‌های مهارتی الکترونیک صنعتی و ... / مؤلفان فتح‌اله نظریان، ...  
[و دیگران]؛ برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.

مشخصات نشر: تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.

مشخصات ظاهری: ۴۰۲ ص.: مصور (بخشی رنگی)، جدول؛ ۲۹×۲۲ س.م.

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۰۵-۲۲۵۷-۸

یادداشت: مؤلفان فتح‌اله نظریان، محمود صموتی، شهرام نصیری سوادکوهی، ...

موضوع: برق

موضوع: برق -- راهنمای آموزشی (متوسطه)

موضوع: برق -- مسائل، تمرین‌ها و غیره (متوسطه)

شناسه افزوده: نظریان، فتح‌اله، ۱۳۳۸-، گردآورنده

شناسه افزوده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی. دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

رده‌بندی کنگره: QC ۵۳۲/الف۷

رده بندی دیویی: ۳۷۳/۶۰۹

شماره کتابشناسی ملی: ۲۳۷۶۶۲۸



وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب :	الکترونیک پایه - ۳۱۰۱۵۵
پدیدآورنده :	سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف :	دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف :	فتح‌اله نظریان، سید محمود صموتی، شهرام نصیری سوادکوهی، فرشته داودی لعل‌آبادی، سهیلا ذوالفقاری (اعضای گروه تألیف)
مدیریت آماده‌سازی هنری :	اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی :	منیره کاظم‌زاده، مهدی براتی (صفحه‌آرا) - مهدی براتی (طراح جلد) - فاطمه رئیسیان فیروزآباد، طوبی عطائی (رسام)
نشانی سازمان :	تهران : خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)
	تلفن : ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
	وب‌گاه : <a href="http://www.irtextbook.ir">www.irtextbook.ir</a> و <a href="http://www.chap.sch.ir">www.chap.sch.ir</a>
ناشر :	شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (دارو پخش)
	تلفن : ۴۴۹۸۵۱۶۱-۵، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۳۷۵۱۵-۱۳۹
چاپخانه :	شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ :	چاپ سوم ۱۳۹۷

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



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

امام خمینی (قدّس سرّه الشّریف)

همکاران محترم و دانش آموزان عزیز :

پیشنهادهای و نظرات خود را درباره محتوای این کتاب به نشانی  
تهران - صندوق پستی شماره ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف کتابهای درسی  
فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

[info@tvoccd.sch.ir](mailto:info@tvoccd.sch.ir)

پیام‌نگار (ایمیل)

[www.tvoccd.sch.ir](http://www.tvoccd.sch.ir)

وب‌گاه (وبسایت)

جدول هدف محتوای کتاب الکترونیک پایه با توجه به تغییر استانداردها و فناوری جدید، نیازهای جامعه و درخواست هنرآموزان و گروه‌های آموزشی سراسر کشور و تأیید کمیسیون تخصصی رشته الکترونیک، مورد بازنگری و اصلاحات کلی قرار گرفت و سپس در سال ۱۳۹۰ با تغییرات متجاوز از ۵۰ درصد تألیف مجدد و بازسازی شد.



## مقدمه‌ای بر چگونگی برنامه‌ریزی کتاب‌های پودمانی

برنامه‌ریزی تألیف «پودمان مهارت» یا «کتاب‌های تخصصی شاخه‌ی کاردانش» بر مبنای استانداردهای کتاب «مجموعه برنامه‌های درسی رشته‌های مهارتی شاخه‌ی کاردانش، مجموعه هشتم» صورت گرفته است. بر این اساس ابتدا توانایی‌های هم‌خانواده به صورت واحدهای کار تحت عنوان (Unit) دسته‌بندی می‌شود. در نهایت واحدهای کار هم‌خانواده با هم مجدداً دسته‌بندی شده و پودمان مهارتی (Module) را شکل می‌دهند.

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

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

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

## سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

### دفتر تألیف کتاب‌های درسی

### فنی و حرفه‌ای و کاردانش

## مقدمه‌ی مؤلفان

از اواخر قرن بیستم تا به امروز دانش الکترونیک با سرعتی بسیار به پیش رفته است. امروزه همه‌ی مدارهای الکترونیکی به صورت مدارهای مجتمع یا IC ساخته می‌شوند. اگر شما یک اسباب‌بازی بسیار ساده را مورد بررسی قرار دهید می‌بینید که در آن مدارهای الکترونیکی به‌ویژه مدارهای مجتمع یا IC به کار رفته است. از طرف دیگر نرم‌افزارهای کامپیوتری، طراحی و استفاده از مدارهای الکترونیکی بسیار پیچیده را برای همه امکان پذیر ساخته است. هر کس می‌تواند با این نرم‌افزارها با سرعت زیاد، مدارهای بسیار پیچیده را طراحی و ظرف چند ثانیه برنامه را در یک IC پر کند و بلافاصله مدار را مورد استفاده قرار دهد.

استفاده از این سیستم دارای مزایایی به شرح زیر است:

– ابعاد مدارهای چاپی فوق‌العاده کم می‌شود.

– میزان لحیم کاری کم می‌شود و در پاره‌ای موارد به صفر می‌رسد.

– فضای مورد نیاز به حداقل می‌رسد.

– توان مصرفی به پایین‌ترین اندازه می‌رسد.

– هزینه‌ی طراحی و ساخت بسیار کاهش می‌یابد.

اما روند رشد روزافزون و شتابان دانش الکترونیک ما را از آموزش مبانی الکترونیک و مدارهای پایه‌ی الکترونیکی بی‌نیاز نساخته است. امروزه آموزش این اصول هم‌چنان در همه جای دنیا رواج و تداوم دارد؛ زیرا الکترونیک را همواره باید از پایه آموخت و پایه‌ی آموزش الکترونیک، شناخت مدارهای پایه‌ی الکترونیکی است.

در یک دستگاه الکترونیکی ساده مانند MP4 شما مجموعه‌ای از مدارهای پایه‌ی الکترونیک را می‌بینید. این مدارها در شکل‌های گوناگون، قسمت‌های مختلف MP4 را می‌سازند. نوسان‌ساز، تقویت‌کننده قدرت، آشکارساز و بسیاری از مدارهای دیگر از مدارهای پایه‌ی الکترونیکی ساخته می‌شوند.

هدف کتاب «الکترونیک پایه» آموزش قطعات و مدارهای ساده‌ی الکترونیکی است. در این کتاب شما با مدارهای پایه‌ای متنوعی در الکترونیک آشنا می‌شوید و با آزمایش آن‌ها در هر مرحله، چگونگی کاربرد آن‌ها را می‌آموزید. به این ترتیب کاربرد قطعات الکترونیکی را که آموخته‌اید در این کتاب تجربه می‌کنید و دانش نظری خود را با عمل می‌آمیزید. در کتاب بعدی که با نام مدارهای پایه در الکترونیک ارائه می‌شود، به مدارهای کامل شده در ارتباط با قطعات الکترونیکی خواهیم پرداخت. مجموعه‌ی این دو کتاب، مبانی الکترونیک مورد نیاز را برای اکثر رشته‌های مهارتی الکترونیک شاخه کاردانش تأمین می‌کند.

مؤلفان

# بخش اول

## مبانی الکتريسته

هدف کلی :

شناخت الکتريسته‌ی ساکن و جاری و قوانین حاکم بر آن‌ها و انواع مقاومت و مدارهای مقاومتی

واحد کار	شماره‌ی توانایی	عنوان توانایی	زمان آزمایش		
			نظری	عملی	جمع
$u_1$	۱	توانایی شناخت اصول و مبانی الکتريسته	۴	۱	۵
$u_1$	۳۷	توانایی به کارگیری ضوابط ایمنی و بهداشت در محیط کار	۴	۱۰	۱۴
$u_1$	۲	توانایی شناخت قطعات الکتريکی و کار با آن‌ها	۱۷	۱۸	۳۵
$u_1$	۳	توانایی تجزیه و تحلیل و بستن مدارهای سری و موازی	۸	۸	۱۶
$u_1$	۴	توانایی شناخت قوانین تونن و نورتن و به کارگیری آن‌ها در مدارها	۴	۴	۸

# فصل اول

## آشنایی با اصول و مبانی الکتریسیته

**هدف کلی:** آشنایی با اصول الکتریسیته ساکن و جاری و قوانین حاکم بر آنها



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

### هدف‌های رفتاری در حیطه‌ی عاطفی:

- ۱- الکتریسیته ساکن را شرح دهد.
  - ۲- ساختمان اتم را شرح دهد.
  - ۳- تقسیم‌بندی اجسام از نظر هدایت الکتریکی را شرح دهد.
  - ۴- نحوه پخش بار الکتریکی را بر روی یک جسم شرح دهد.
  - ۵- شدت جریان الکتریکی را شرح دهد.
  - ۶- مفهوم اختلاف پتانسیل الکتریکی را بیان کند.
  - ۷- مفهوم مقاومت الکتریکی را شرح دهد.
  - ۸- قانون کولن را با ذکر رابطه آن شرح دهد.
  - ۹- چگونگی تبدیل واحدهای الکتریکی به یکدیگر را با حل چند مثال اجرا کند.
  - ۱۰- واحد کمیت‌های جریان، ولتاژ و مقاومت را تعریف کند.
  - ۱۱- شکل‌های مختلف قانون اهم را بیان کند.
  - ۱۲- مسئله‌های مختلف را با استفاده از قانون اهم، حل کند.
  - ۱۳- توان الکتریکی را تعریف کند.
  - ۱۴- روابط مربوط به توان الکتریکی را بنویسد.
  - ۱۵- انرژی الکتریکی را شرح دهد.
  - ۱۶- رابطه انرژی الکتریکی را با ذکر واحدهای آن بیان کند.
  - ۱۷- مدار الکتریکی را با استفاده از لامپ و باتری ببندد.
- ۱- نظم و ترتیب و حضور به موقع در هنرستان و کلاس درس
- ۲- رعایت کند.
- ۳- تکالیف و مسئولیت‌های واگذار شده را به طور دقیق اجرا کند.
- ۴- در موقعیت‌های مناسب برای درک بهتر مفاهیم از آزمایشگاه مجازی استفاده کند.
- ۵- از لوازم موجود در کلاس و هنرستان به خوبی مراقبت و نگهداری کند.
- ۶- خوب گوش دهد و ابهامات و سوالات خود را بپرسد.
- ۷- با دقت و اعتماد به نفس به سوالات مطرح شده پاسخ دهد.
- ۸- از شوخی‌های بی‌مورد بپرهیزد.
- ۹- حضور فعال و داوطلبانه در امور مختلف داشته باشد.
- ۱۰- توانمندی‌های خود در موقعیت‌های مناسب را بروز دهد.
- ۱۱- در کار گروهی مشارکت فعال و همکاری موثر داشته باشد.
- ۱۲- نسبت به حل مشکلات سایر هنجریان حساس و فعال باشد.
- ۱۳- سایر هنجریان را در ارتباط با اجرای نظم و مقررات راهنمایی و تشویق کند.

توانایی			ساعت
			نظری
			عملی
			جمع
توانایی شماره‌ی ۱	۴	۱	۵
توانایی شماره‌ی ۳۷	۴	۱۰	۱۴



## پیش آزمون فصل (۱)

۷- جا به جایی بارهای الکتریکی را..... می نامند.

۸- پتانسیل یک جسم هنگامی که کمبود الکترون دارد، ..... است.

الف) مثبت      ب) منفی

۹- نیرویی که در یک میدان الکتریکی بر واحد بار مثبت الکتریکی واقع در میدان وارد می شود را ..... می نامند.

الف) پتانسیل الکتریکی      ب) جریان الکتریکی

ج) شدت میدان      د) توان الکتریکی

۱۰- شدت جریان عبوری از یک سیم ۰/۰۵ آمپر است.

این جریان معادل چند میلی آمپر است؟

الف) ۵      ب) ۵۰      ج) ۰/۰۵      د) ۰/۵

۱۱- کدامیک از روابط زیر بیان کننده قانون اهم است؟

الف)  $V = R \times I$       ب)  $I = \frac{V}{R}$

ج)  $R = \frac{V}{I}$       د) هر سه مورد

۱۲- توان الکتریکی را تعریف کنید و روابط آن را

بنویسید .

۱- در ساختمان اتم کدام ذره باردار نیست؟

الف) نوترون      ب) پروتون

ج) الکترون      د) الف و ب

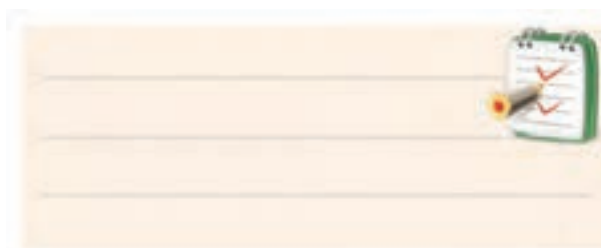
۲- واحد انرژی ..... و واحد توان ..... است.

الف) ژول-وات      ب) وات-ژول

ج) کیلو ولت-وات      د) وات-وات

۳- ساختمان اتم از چند قسمت تشکیل شده است؟ نام

ببرید.



۴- کدامیک از جملات زیر صحیح نیست؟

الف) ملکول خواص ماده را دارد.

ب) الکترون حامل بار منفی است.

ج) عدد اتمی ماده، تعداد پروتون های آن است.

د) بار مثبت پروتون ها بیش تر از بار منفی الکترون ها

است.

۵- به اجسامی که الکترون آزاد زیادی دارند و به راحتی

جریان برق را عبور می دهند ..... می گویند.

الف) عایق      ب) نیمه هادی      ج) هادی

۶- باردار شدن اجسام از کدام روش ممکن است؟

الف) اصطکاک      ب) تماس

ج) القاء      د) تمام موارد

## ۱-۱ آشنایی با اصول الکتریسته ساکن

الکتریسته پدیده ای است که دیده نمی شود، ولی قادر است پدیده های فیزیکی بسیاری مانند حرارت، روشنایی، حرکت و مغناطیس را به وجود آورد.

یونانی ها حدود دو هزار سال پیش کشف کردند که بر اثر مالش ماده ای به نام کهربا به جسمی دیگر، نیرویی در کهربا به وجود می آید که می تواند اجسامی مانند برگ خشک و براده های چوب را جذب کند. یونانی ها این گونه اجسام را که مانند کهربا عمل می کنند «**الکتریک**» نامیدند. کلمه الکتریسته نیز از کهربا گرفته شده است.

وقتی موهای خود را شانه می زنید، شانه نیز دارای همین نیروی مرموز می شود و می تواند مانند میله کهربا عمل کند و ذرات کاغذ را جذب کند، شکل ۱-۱.



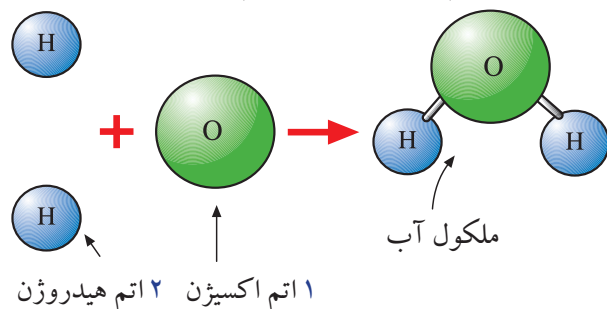
شکل ۱-۱ یکی از روش های تولید الکتریسته

### ۱-۱-۱ ساختمان ماده

هوایی که تنفس می کنیم، یک قطره آب، یک قطعه فلز و هر آنچه در طبیعت وجود دارد بر خلاف تفاوت های ظاهری بسیاری که دارند همه از ذرات بسیار ریزی تشکیل می شوند. این ذرات را ملکول می نامند. ملکول خواص ماده را دارد. ملکول ها، از ذرات ریزتری به نام اتم ساخته می شوند. اتم قابل تقسیم به ذره کوچک تری نیست ولی از قسمت های

کوچکتری تشکیل شده است.

شکل ۱-۲ یک ملکول آب را نشان می دهد. این ملکول ترکیبی از دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن است.



شکل ۱-۲ یک ملکول آب

### ۱-۲ ساختمان اتم

ساختمان اتم از دو قسمت تشکیل شده است.

الف) هسته

ب) پوسته یا مدار های الکترونی (اوربیتال)

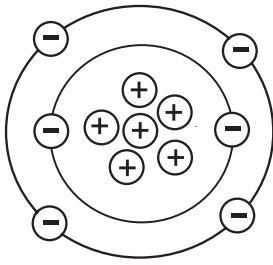
**الف- هسته:** در هسته اتم دو نوع ذره وجود دارد. پروتون که حامل بار مثبت است و نوترون که از نظر الکتریکی خنثی است، یعنی بار الکتریکی ندارد، شکل ۱-۳.



شکل ۱-۳ ذرات پروتون و نوترون در اتم

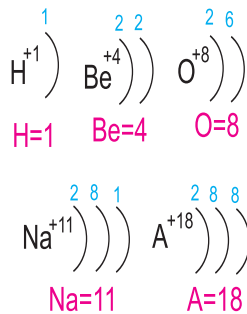
**ب- اوربیتال (پوسته):** در اطراف هسته ای اتم لایه های بیضوی شکل قرار دارند. این لایه ها اوربیتال نامیده می شوند. ذرات بسیار ریزی به نام الکترون در اوربیتال ها دوران می کنند. الکترون حامل بار منفی است و جرم بسیار کمی دارد. نحوه قرار گرفتن الکترون ها روی مدارها و پروتون ها و نوترون ها در

هسته، در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.



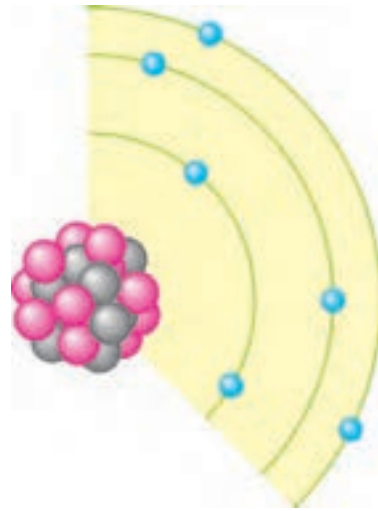
شکل ۶-۱ عدد اتمی کربن برابر ۶ است

حداکثر تعداد الکترون‌های موجود در هر لایه نیز ثابت است. اولین لایه تا ۲، دومین تا ۸، سومین تا ۱۸ و چهارمین تا ۳۲ الکترون را در خود جای می‌دهد. وقتی تعداد الکترون‌های یک لایه افزایش می‌یابد، آن لایه پس از پر کردن اوربیتال‌های خود الکترون‌های اضافی را به لایه بعدی می‌فرستد، شکل ۷-۱.



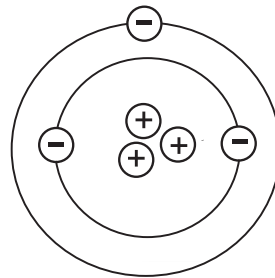
شکل ۷-۱ تعداد الکترون‌ها روی هر مدار

همان‌طور که گفته شد اتم از نظر بار الکتریکی خنثی است یعنی در یک اتم تعداد بارهای الکتریکی مثبت (پروتون‌ها) و تعداد بارهای الکتریکی منفی (الکترون‌ها) با هم برابر است. حال اگر یک اتم به علت اعمال انرژی به آن، الکترون از دست بدهد تعداد الکترون‌ها کم می‌شود. به عبارت دیگر بار منفی اتم کاهش می‌یابد. کاهش بار منفی اتم به معنی این است که اتم دارای بار مثبت شده است. برعکس اگر اتم الکترون دریافت کند، تعداد الکترون‌های (بار منفی) آن زیاد می‌شود و اتم را از نظر بار الکتریکی،



شکل ۴-۱ نحوه قرار گرفتن الکترون‌ها روی مدارها

ذراتی که به آنها اشاره شد بنای اصلی مواد را تشکیل می‌دهند. در هر اتم بار مثبت پروتون‌ها از نظر مقدار، با بار منفی الکترون‌ها برابر است. در اتم لیتیم ۳ پروتون و ۳ الکترون وجود دارد، شکل ۵-۱.

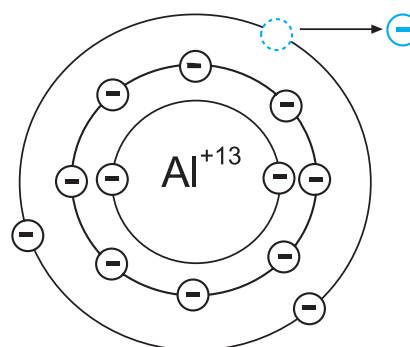


شکل ۵-۱ اتم لیتیم دارای سه الکترون و سه پروتون است.

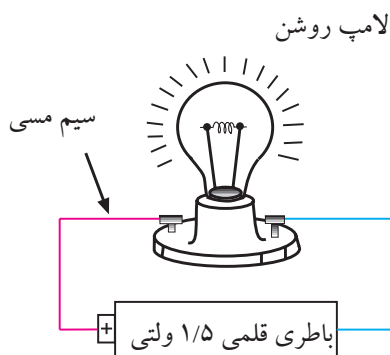
در حالت عادی یک اتم از نظر بار الکتریکی خنثی است زیرا تعداد پروتون‌ها با تعداد الکترون‌ها برابر است، تعداد پروتون‌های موجود در هسته اتم هر ماده، مشخص‌کننده عدد اتمی آن ماده است. عدد اتمی کربن ۶ است. زیرا ۶ پروتون و ۶ الکترون دارد، شکل ۶-۱.

وزن کل هسته که شامل وزن پروتون‌ها و نوترون‌ها است را **وزن اتمی** می‌گویند.

منفی می کند، شکل ۸-۱.



شکل ۸-۱ اتم آلومینیوم با از دست دادن یک الکترون دارای بار الکتریکی مثبت شده است.

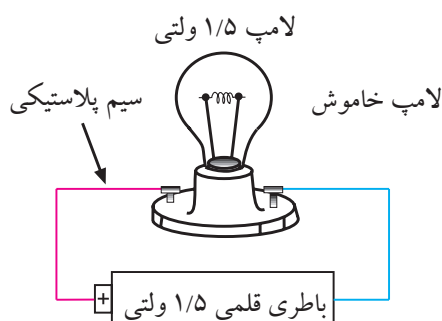


شکل ۱۰-۱ سیم مسی به راحتی جریان برق را از خود عبور می دهد لذا هادی خوبی است.

به طور کلی اجسامی که الکترون آزاد زیادی دارند به راحتی جریان برق را از خود عبور می دهند. فلزات یک تا سه ظرفیتی که الکترون آزاد زیادی دارند، هادی های بسیار خوبی به شمار می آیند.

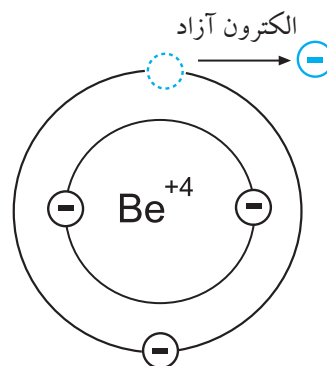
## ۲-۳-۱ عایق ها

در مقابل هادی ها اجسامی وجود دارند که جریان برق را به راحتی از خود عبور نمی دهند، به این گونه اجسام **عایق** می گویند. شیشه، هوا، کائوچو و بعضی از انواع پلاستیک ها عایق هستند. در حقیقت تمامی اجسامی که الکترون آزاد بسیار کمی دارند عایق محسوب می شوند، شکل ۱۱-۱.



شکل ۱۱-۱ سیم از جنس پلاستیک جریان برق را به راحتی از خود عبور نمی دهد لذا عایق است.

اگر الکترونی از اتم جدا شود و به هیچ اتمی وابسته نباشد، آن الکترون را الکترون آزاد می نامند، شکل ۹-۱. معمولاً الکترون ها از آخرین لایه اتم که بیشترین فاصله را با هسته دارد جدا می شوند و در فعل و انفعالات شیمیایی شرکت می کنند.



شکل ۹-۱ اگر الکترونی از یک اتم جدا شود و به هیچ اتمی وابسته نباشد آن الکترون را الکترون آزاد می نامند.

## ۳-۱ طبقه بندی از نظر هدایت الکتریکی

### ۱-۳-۱ هادی ها

برخی از مواد مانند مس، آلومینیوم و فلزات دیگر به راحتی جریان برق را از خود عبور می دهند. به این نوع اجسام **هادی** می گویند، شکل ۱۰-۱.



### ۳-۳-۱ نیمه هادی‌ها

موادی مانند ژرمانیوم و سیلیسیوم وجود دارند که هادی یا عایق خوبی نیستند. این مواد ۴ ظرفیتی هستند و **نیمه هادی** نام دارند.

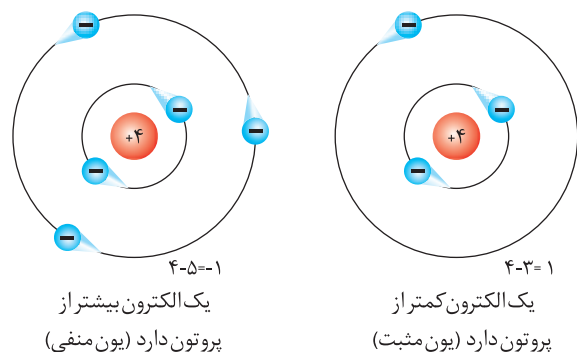
در شرایط عادی، نیمه هادی‌ها تمایلی به دریافت کردن و یا از دست دادن الکترون ندارند، اما در صورتی که به آنها انرژی داده شود، می‌توانند الکترون آزاد کنند.

### ۴-۱-۱ آشنایی با نحوه پخش بار الکتریکی بر روی

جسم

#### ۱-۴-۱ اتم‌های باردار

در شرایط عادی در هر اتم تعداد الکترون‌ها و پروتون‌ها مساوی است و اتم از نظر بار الکتریکی خنثی است. تعداد پروتون‌های داخل هسته یک اتم تغییر نمی‌کند. در واقع خصوصیات اتم، وابسته به تعداد پروتون‌ها است اما تعداد الکترون‌ها ممکن است تغییر کند. اگر در اتمی تعداد الکترون‌ها از پروتون‌ها کم‌تر باشد، اتم بار مثبت دارد و چنان‌چه تعداد الکترون‌های اتمی از پروتون‌های آن بیش‌تر باشد، اتم بار منفی دارد، شکل ۱۲-۱.



شکل ۱۲-۱ اتم با بار مثبت و اتم با بار منفی

#### ۲-۴-۱ باردار شدن اجسام

اگر اتم‌های یک جسم، الکترون‌های خود را از دست

بدهند یا الکترون زیادی بگیرند، آن جسم باردار خواهد شد. باردار شدن اجسام از چند راه امکان‌پذیر است:

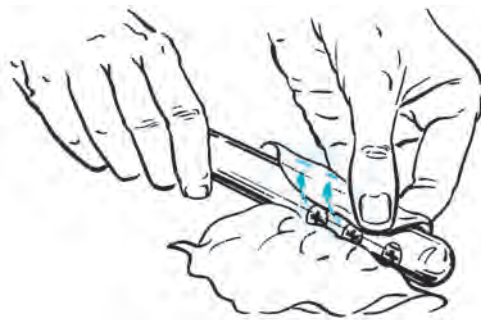
الف- اصطکاک.

ب- تماس.

ج- القا.

**الف- اصطکاک (مالش):** اگر یک میله شیشه‌ای را به یک

تکه ابریشم مالش دهیم، میله شیشه‌ای به ابریشم الکترون خواهد داد. در این حالت میله به علت کمبود الکترون دارای بار مثبت و ابریشم به علت افزایش الکترون دارای بار منفی می‌شود، شکل ۱۳-۱.



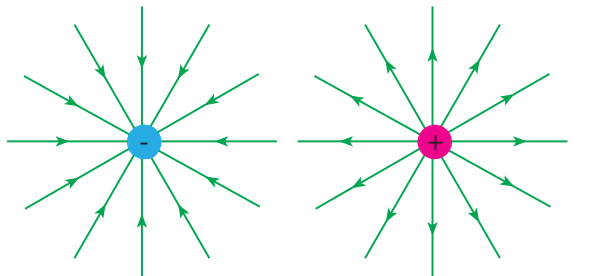
شکل ۱۳-۱ باردار کردن اجسام از طریق اصطکاک

**ب- باردار کردن از طریق تماس:** با استفاده از یک میله‌ی

کائوچویی باردار، می‌توان جسم دیگری مانند مس را فقط با تماس دادن این دو جسم با یکدیگر باردار کرد. در این حالت الکترون‌های روی سطح کائوچو وارد مس می‌شود و مس را دارای بار منفی می‌کند، شکل ۱۴-۱.

## ۵-۱ آشنایی با میدان الکتریکی

اگر دو صفحه باردار را به یکدیگر نزدیک کنیم، بین دو صفحه خطوط نیرویی به وجود می آید که آن را **میدان الکتریکی** می گویند. میدان های الکتریکی را می توانیم با خطوط نیرو نشان دهیم. خطوط نیرو، جهت و مقدار میدان الکتریکی را نشان می دهد. می دانیم پروتون بار الکتریکی مثبت دارد و بنا به قرار داد، خطوط نیروی این بار به صورت شعاعی و به طور مستقیم در تمام جهات از پروتون خارج می شود. الکترون بار الکتریکی منفی دارد و خطوط نیروی وارد شده به هسته به صورت شعاعی و در تمام جهات به الکترون وارد می شود، شکل ۱۶-۱.



خطوط نیروی الکتریکی

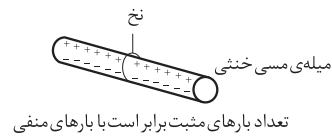
الکترون

خطوط نیروی الکتریکی

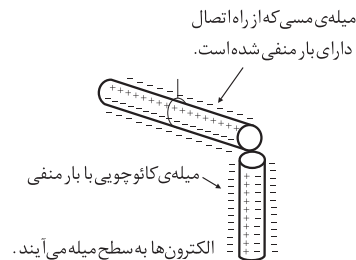
پروتون

شکل ۱۶-۱ خطوط نیروی الکتریکی پروتون و الکترون

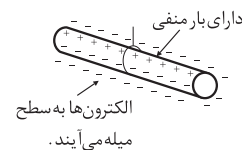
خطوط نیروی هر یک از این بارها، میدان های الکتریکی تولید می کنند. به علت اثر متقابل این دو میدان، ذرات باردار یکدیگر را جذب یا دفع می کنند، شکل ۱۷-۱.



قبل از تماس

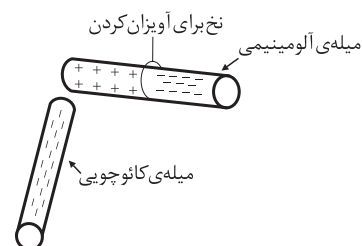


در حالت تماس



شکل ۱۴-۱ بار دار شدن اجسام از طریق تماس

**ج- باردار کردن اجسام از طریق القاء:** چون الکترون ها و پروتون ها نیروی جاذبه و دافعه دارند، اگر یک میله کاتوچویی باردار منفی را به یک میله ی آلومینیومی ، خیلی نزدیک کنیم ولی به آن نجسبانیم، نیروی بارهای منفی کاتوچو، الکترون های میله آلومینیوم را دفع می کند و به سر دیگر میله می راند. در نتیجه یک سر میله آلومینیومی مثبت و سر دیگر آن منفی می شود. حال اگر میله کاتوچویی را کنار بگذاریم، الکترون های میله آلومینیومی دوباره تغییر آرایش می دهند و میله را به حالت خنثی در می آورند، شکل ۱۵-۱.



شکل ۱۵-۱ باردار کردن اجسام از طریق القاء

واحد شدت جریان الکتریکی آمپر است که با حرف A نشان داده می شود. اگر در یک هادی تعداد  $10^{18} \times 28/6 = 6280000000000000000$  الکترون در مدت یک ثانیه عبور کند، جریان یک آمپر است. واحد های کوچک تر از آمپر، میلی آمپر یا یک هزارم آمپر و میکرو آمپر یا یک میلیونم آمپر است. واحد های بزرگ تر از آمپر را کیلو آمپر یا ۱۰۰۰ آمپر می نامند.

بارهای همنام  
یک دیگر را  
دفع می کنند .

بارهای غیر همنام  
یک دیگر  
را جذب می کنند .

میدان های الکترواستاتیکی در هنگام دفع (بارهای همانام)  
با هم مخالفت می کنند و در هنگام جذب (بارهای غیر همانام)  
یکدیگر را جذب می کنند. مقدار بار الکتریکی که در هر  
جسم وجود دارد، بر حسب کولن بیان می شود. به عبارت  
دیگر واحد بار الکتریکی، کولن (C) است.

### ۱-۶-۱ شدت جریان الکتریکی

اگر بارهای الکتریکی (الکترون ها) در طول یک هادی جابه جا شوند، می گوییم در طول هادی **جریان** برقرار است. همچنین اگر در یک هادی جریانی برقرار شود حتما در آن هادی کار انجام خواهد شد. بنابراین جابه جایی بارهای الکتریکی در واحد زمان را **جریان الکتریکی** می نامند و آن را با حرف I نشان می دهند. شکل ۱۸-۱

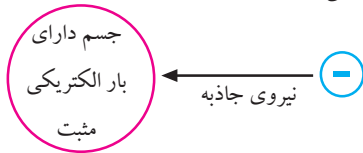
**حل :**

$$I = \frac{q}{t} = \frac{6}{2} = 3(A)$$

## ۲-۶-۱ اختلاف پتانسیل الکتریکی

جسمی را که دارای بار الکتریکی مثبت است در نظر بگیرید. این جسم کمبود الکترون دارد، لذا می خواهد از هر طریقی که مقدور باشد الکترون ها را به سمت خود جذب کند، پس دارای نیروی جاذبه است. می توان گفت دلیل وجود نیروی جاذبه، ذخیره شدن انرژی در جسم است. به این انرژی ذخیره شده «پتانسیل» می گویند.

هنگامی که جسم دارای کمبود الکترون است می گوئیم دارای پتانسیل مثبت است و آن را با علامت «+» نشان می دهیم، شکل ۲۱-۱.



شکل ۲۱-۱ جسم باردار با پتانسیل الکتریکی مثبت

اگر جسمی دارای الکترون های اضافی باشد بار الکتریکی آن منفی است. در این حالت چون جسم الکترون اضافی دارد می خواهد الکترون های اضافی خود را به جسمی که کمبود الکترون دارد بدهد.

پس این جسم نیز دارای انرژی است. به عبارت دیگر مقداری انرژی در جسم ذخیره شده است که می تواند الکترون اضافی را جذب و یا دفع کند. این انرژی نهفته در جسم را، **انرژی پتانسیل** می گویند.

جسمی که با از دست دادن الکترون باردار شده باشد دارای پتانسیل مثبت و جسمی که با دریافت الکترون باردار شود، دارای پتانسیل منفی است. پتانسیل مثبت را با «+» و

اگر بار الکتریکی را با  $q$  (بر حسب کولن) و زمان را با  $t$  (بر حسب ثانیه) نشان دهیم، شدت جریان  $I$  (بر حسب آمپر) از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$I = \frac{q}{t} \Rightarrow \text{آمپر (A)} = \frac{\text{کولن (C)}}{\text{ثانیه (S)}}$$

برای جهت جریان الکتریکی دو تعریف وجود دارد:

**الف- جهت قرار دادی:** در گذشته فکر می کردند بارهای مثبت حرکت می کنند لذا جهت جریان را از قطب مثبت به منفی در نظر می گرفتند. امروزه این جهت جریان را مورد استفاده قرار می دهند و آن را جهت قرار دادی می نامند.

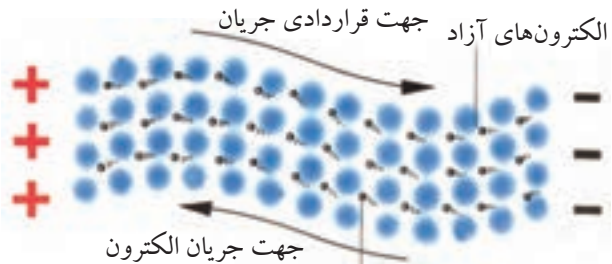
**ب- جهت واقعی:** چون الکترون دارای بار منفی است، لذا به سمت قطب مثبت باتری حرکت می کند. این جهت را جهت واقعی جریان الکتریکی می نامند.



### نکته مهم: معمولا در کتاب های

الکتریسیته، جهت انتخاب شده جریانی را که قراردادی است یا واقعی، مشخص می نمایند.

در شکل ۲۰-۱ جهت حرکت واقعی و قرار دادی جریان الکتریکی نشان داده شده است.



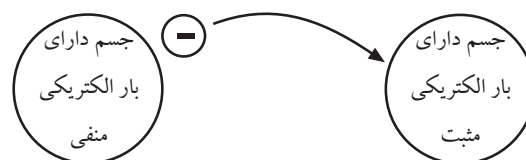
الکترون ها از منفی به مثبت انتقال می یابند.

شکل ۲۰-۱ جهت حرکت اصلی و قراردادی جریان الکتریکی

**مثال ۱:** اگر باری برابر با ۶ کولن در مدت ۲ ثانیه از سیمی

عبور کند، چند آمپر جریان در مدار جاری می شود؟

پتانسیل منفی را با «-» نشان می دهند ، شکل ۲۲-۱.



شکل ۲۲-۱ انتقال بارهای الکتریکی بین دو جسم

وقتی روی موکت راه می روید، بدن شما دارای بار الکتریکی می شود. حال اگر با دست خود دستگیره درب اتاق را لمس کنید، احساس برق گرفتگی در شما به وجود می آید. دلیل این برق گرفتگی وجود اختلاف پتانسیل بین بدن شما و زمین است. وقتی شما درب را لمس می کنید، جریان الکتریکی از طریق بدن شما و دستگیره درب و زمین برقرار می شود، شکل ۲۳-۱.



شکل ۲۳-۱ ایجاد جریان الکتریکی بین بدن و دستگیره درب

اختلاف پتانسیل (ولتاژ) را معمولاً با حرف E و گاهی با V نمایش می دهند. اختلاف پتانسیل الکتریکی را با دستگاهی به نام ولت متر اندازه می گیرند.

در شکل ۲۴-۱ دو نمونه ولت متر نشان داده شده است.



ولت متر عقربه ای

ولت متر دیجیتالی

شکل ۲۴-۱ دو نمونه ولت متر

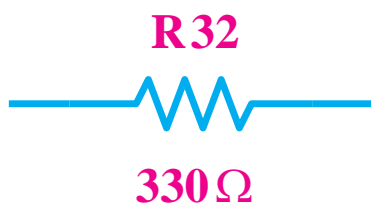
### ۳-۶-۱ مقاومت

هر گاه اختلاف پتانسیل ثابتی را ابتدا به دو سر یک سیم مسی و سپس به دو سر یک سیم آهنی اعمال کنیم، شدت جریانی که از هر یک از دو سیم عبور می کند با دیگری اختلاف دارد.

سیم آهنی در مقابل عبور جریان یا به زبان دیگر در مقابل حرکت الکترون ها ایستادگی بیشتری نشان می دهد در حالی که سیم مسی در مقابل عبور جریان ایستادگی کمتری می کند. خاصیت ایستادگی جسم در مقابل حرکت الکترون ها (جریان الکتریکی) را مقاومت الکتریکی می نامند. به عبارت دیگر، **مقاومت الکتریکی (Resistance) خاصیتی از ماده است که با عبور جریان مخالفت می کند**، شکل

۲۵-۱.

شکل ۱-۲۸ نماد یک مقاومت همراه با شماره مقاومت (R۳۲) و مقدار آن نشان داده شده است.

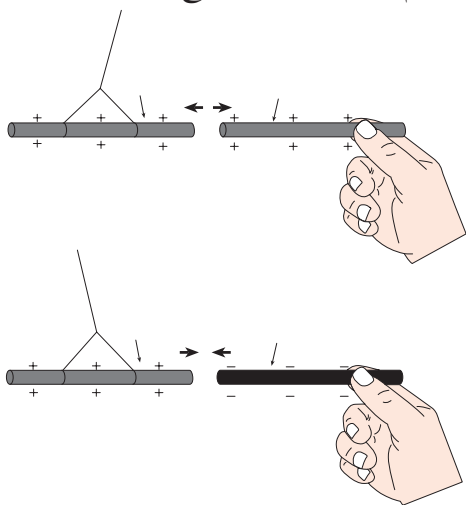


شکل ۱-۲۸ نمایش شماره و مقدار مقاومت روی نماد آن

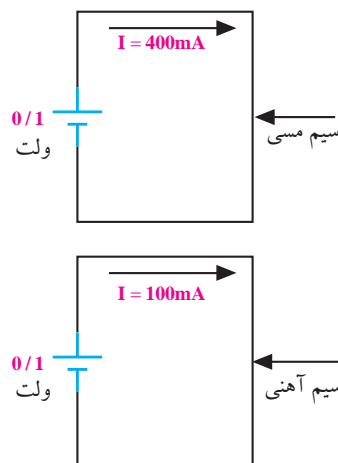
## ۷-۱ آشنایی با قانون کولن

### ۷-۱-۱ اثر اجسام باردار بر یکدیگر

اگر یک میله شیشه ای را به پارچه ای مالش دهیم، میله شیشه ای دارای بار مثبت می شود. چنان چه میله کائوچو را به یک تکه پشم مالش دهیم، دارای بار منفی می شود. حال اگر میله شیشه ای باردار مثبت را به میله کائوچویی باردار منفی نزدیک کنیم، چون این دو جسم بارهای مخالف دارند، یکدیگر را جذب می کنند. در صورتی که دو میله شیشه ای که بار مثبت دارند را در مجاورت هم قرار دهیم، چون بار این دو جسم همنام است، یکدیگر را دفع می کنند، شکل ۱-۲۹.



شکل ۱-۲۹ اثر اجسام باردار بر یک دیگر



شکل ۱-۲۵ جریان جاری شده در سیم مسی و سیم آهنی

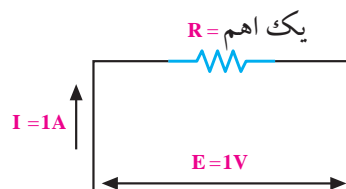
جسم، ماده یا قطعه ای که در برابر عبور جریان الکتریکی ایستادگی می کند را **مقاومت** می نامند و آن را با حرف R (Resistor) نشان می دهند. نماد مقاومت را در شکل ۱-۲۶ ملاحظه می کنید.



شکل ۱-۲۶ نماد مقاومت

واحد مقاومت الکتریکی اهم است. اگر به دو سر مقاومتی اختلاف پتانسیل یک ولت اتصال دهیم، چنان چه از آن جریانی برابر با یک آمپر عبور کند، مقدار آن مقاومت یک اهم است، شکل ۱-۲۷.

اهم را با حرف یونانی امگا ( $\Omega$ ) نشان می دهند.



شکل ۱-۲۷ مقاومت یک اهم

در مدارهای الکتریکی روی علامت اختصاری یا نماد مقاومت معمولاً شماره و مقدار مقاومت نوشته می شود. در

## ۲-۱-۲ قانون کولن

در قرن هجدهم یک دانشمند فرانسوی به نام کولن هنگامی که با بارهای الکتریکی آزمایش هایی را انجام می داد، قانونی در مورد نیروی جاذبه و دافعه الکترواستاتیکی کشف کرد که به آن «**قانون کولن**» می گویند. کولن آزمایش های خود را در دو مرحله انجام داد:

**الف** - ابتدا به دو کره ساکن و متحرک، بارهای الکتریکی مساوی و هم نام داد و نیروی دافعه بین آنها را در فاصله های مختلف اندازه گیری کرده و نتیجه گرفت که این نیرو با عکس مجذور فاصله دو بار الکتریکی متناسب است، یعنی وقتی فاصله دو بار الکتریکی دو برابر شود، نیروی بین آنها به  $\frac{1}{4}$  مقدار اولیه می رسد. هنگامی که فاصله بین دو بار الکتریکی نصف حالت اول شود، نیروی بین آنها ۴ برابر می شود.

**ب** - در مرحله بعد، کولن بارهای متفاوتی را به دو کره داد و نیروهای آنها را در فاصله ی ثابت اندازه گیری کرد. او نتیجه گرفت که نیروی جاذبه یا دافعه ای که بین کره ها ایجاد می شود، به طور مستقیم با مقدار بار الکتریکی روی هر یک از کره ها متناسب است.

اگر بار الکتریکی را با  $q_1$  و  $q_2$ ، فاصله بین دو بار را با  $d$  و نیرو را با  $F$  نمایش دهیم، قانون کولن به صورت رابطه زیر نوشته می شود.

$$F = K \frac{q_1 \times q_2}{d^2}$$

$K$  ضریب ثابتی است که به واحدهای انتخاب شده و جنس محیطی که جسم باردار در آن قرار گرفته است، بستگی دارد. در این رابطه اگر  $F$  بر حسب نیوتون و  $q$  بر حسب کولن و  $d$

بر حسب متر باشد،  $k$  تقریباً  $K = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$  خواهد شد. اگر به هنگام محاسبه، بار مثبت را با علامت مثبت و بار منفی را با علامت منفی نشان دهیم، نیروی دافعه بین دو بار همنام با علامت مثبت و نیروی جاذبه بین دو بار غیر همنام با علامت منفی به دست می آید.

**مثال ۲:** دو بار الکتریکی مثبت یک کولنی در فاصله

یک کیلومتر از یک دیگر قرار دارند. مقدار نیروی وارد بر هر دو بار چند نیوتون است؟ ( $K = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$ )

**حل:**

$$q_1 = q_2 = 1(C)$$

$$d = 1km = 1000m$$

$$F = k \frac{q_1 \times q_2}{d^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 1}{(1000)^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1}{(1.3)^2}$$

$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{1}{1.6} = 9 \times 10^3 = 9000(N)$$

### کولن (۱۷۳۶-۱۸۰۶)

کولن دانشمند فرانسوی در ابتدا در رشته مهندسی ارتش خدمت می کرد. در سال ۱۷۸۹ از ارتش استعفا کرد و به امور علمی و تحقیقی پرداخت. کولن در الکتریسته موفق به کشف قانون جاذبه و دافعه الکتریکی شد.

دنای علم به پاس خدمات کولن واحد مقدار الکتریسته را کولن نامید.

## ۸- شدت میدان الکتریکی

نیرویی که در یک میدان الکتریکی بر واحد بار مثبت الکتریکی واقع در هر نقطه از این میدان وارد می شود، **شدت میدان الکتریکی** در آن نقطه نام دارد و آن را با  $E$  نمایش می دهند. اگر بار مثبت  $q'$  در نقطه ای معین از میدان



الکتریکی واقع شود و بر آن نیروی  $F$  اثر کند، شدت میدان الکتریکی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$E = \frac{F}{q}$$

واحد شدت میدان الکتریکی، نیوتون بر کولن ( $\frac{N}{C}$ ) است.

اینها واحدها در مقیاس های کوچک تر یا بزرگ تر از

واحد اصلی خود نیز به کار می روند.

جدول ۱-۱ چگونگی تبدیل این واحدها را به یکدیگر

نشان می دهد.

## ۱-۹ تبدیل واحدها به یکدیگر

همان گونه که اشاره شد، کمیت های الکتریکی جریان

جدول ۱-۱ واحدهای کوچک تر و بزرگ تر از واحدهای اصلی الکتریکی

چگونگی تبدیل ضرایب	حرف اختصاری	نام ضریب	شکل نمایی ضریب	مقدار ضریب
<p>از بالا به پایین مقدار مورد نظر را در ضرایب دارای توان مثبت ضرب و بر ضرایب دارای توان منفی تقسیم می کنیم.</p> <p>از پایین به بالا مقدار مورد نظر را در ضرایب دارای توان منفی ضرب و بر ضرایب دارای توان مثبت تقسیم می کنیم.</p>	T	ترا	$10^{12}$	۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰
	G	گیگا	$10^9$	۱۰۰۰۰۰۰۰۰
	M	مگا	$10^6$	۱۰۰۰۰۰۰
	K	کیلو	$10^3$	۱۰۰۰
	H	هکتو	$10^2$	۱۰۰
	da	دکا	$10$	۱۰
		واحد اصلی	$10^0$	۱
	d	دسی	$10^{-1}$	۰/۱
	c	سانتی	$10^{-2}$	۰/۱۰
	m	میلی	$10^{-3}$	۰/۰۰۱
	$\mu$	میکرو	$10^{-6}$	۰/۰۰۰۰۰۱
	n	نانو	$10^{-9}$	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱
	p	پیکو	$10^{-12}$	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱

مثال ۳: شدت جریان عبوری از یک سیم ۰/۰۵ آمپر

است. این جریان معادل چند میلی آمپر است؟

حل:

$$I = 0.05(A) \times 10^3 = 5 \times 10^{-2} \times 10^3$$

$$I = 5 \times 10^{(-2+3)} = 5 \times 10^1 = 50 \text{ mA}$$

تکته مهم: هنگام ضرب اعداد با پایه های یکسان،

نمادهای مثبت و یا منفی آنها با هم جمع می شوند.



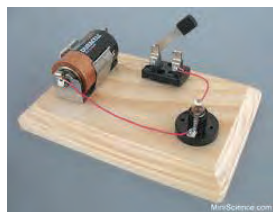


## ۱-۱۰ مدار الکتریکی

مسیر عبور جریان الکتریکی را «مدار الکتریکی» می‌نامند. اجزای اصلی یک مدار الکتریکی ساده عبارتند از:

- منبع تغذیه
- سیم‌های رابط
- مصرف‌کننده

در شکل ۱-۳۰ یک مدار الکتریکی ساده نشان داده شده است.



شکل ۱-۳۰ یک مدار الکتریکی ساده

**نکته مهم:** توجه داشته باشید که زمانی در

یک مدار جریان برقرار می‌شود که مدار بسته باشد و اگر با وجود منبع انرژی در مدار جریان برقرار نباشد می‌گوییم مدار باز است.

## ۱-۱۰ قانون اهم

رابطه بین مقاومت، شدت جریان و اختلاف پتانسیل را نخستین بار فیزیکدان آلمانی به نام اهم بیان کرد. بر اساس قانون اهم، مقدار مقاومت نسبت مستقیم با ولتاژ و نسبت معکوس با جریان دارد.

$$R = \frac{V}{I} \Rightarrow \text{ولتاژ} = \text{مقاومت} \times \text{جریان}$$

در رابطه قانون اهم، مقدار ولتاژ بر حسب ولت، جریان بر حسب آمپر و مقاومت بر حسب اهم است. به عبارت دیگر در

**مثال ۴:** شدت جریان ۰/۲ میلی آمپر معادل چند میکرو

آمپر است؟

**حل:**

$$I = 0.2(\text{mA}) \times 10^{-3} = 2 \times 10^{-1} \times 10^{-3} \mu\text{A}$$

$$I = 2 \times 10^{(-1-3)} = 2 \times 10^{-2} = 200 \mu\text{A}$$

**مثال ۵:** شدت جریان ۱۰ میکرو آمپر معادل چند آمپر

است؟

**حل:**

$$I = 10(\mu\text{A}) \times 10^{-6} = 0.00001\text{A}$$

**مثال ۶:** پنج ولت معادل چند میلی ولت است؟

**حل:**

$$V = 5(\text{V}) \times 10^{-3} = 5000\text{mV}$$

**نکته‌ی مهم:** اگر عدد موجود در نمای ده

مثبت باشد، به تعداد آن در مقابل عدد ۵، صفر می‌گذاریم ( $5 \times 10^3 = 5000$ ) و اگر منفی باشد به تعداد آن از سمت راست عدد پنج شمرده و سپس ممیز می‌گذاریم. ( $5 \times 10^{-3} = 0.005$ )

**مثال ۷:** یک میلی ولت معادل چند ولت است؟

**حل:**

$$V = 1(\text{mV}) \times 10^{-3} = 10^{-3} \quad V = 0.001\text{V}$$

**مثال ۸:** ده کیلو اهم معادل چند اهم است؟

**حل:**

$$R = 10(\text{k}\Omega) \times 10^3 = 10000\Omega$$

**مثال ۹:** مقاومت ۵۰۰ اهم معادل چند کیلو اهم است؟

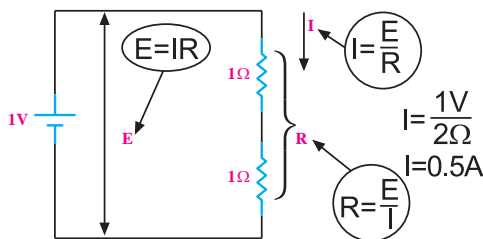
**حل:**

$$R = 500(\Omega) \times 10^{-3} = 0.5\text{k}\Omega = 0.5\text{k}\Omega$$

اگر اختلاف پتانسیل دو سر مدار را نصف کنیم مقدار جریان نصف می شود.

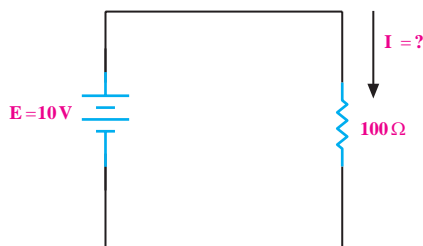
$$I = \frac{V}{R} = \frac{0.5V}{1\Omega} = 0.5 \text{ A}$$

با ۲ برابر شدن مقاومت جریان نصف می شود،  
شکل ۳۲-۱ ج.



شکل ۳۲-۱ ج دو برابر شدن مقاومت در مدار

**مثال ۱۰:** به دو سری یک مقاومت  $100\Omega$  یک ولتاژ ۱۰ ولت اعمال می کنیم، جریان گذرنده از مدار چند آمپر است؟



شکل ۳۳-۱

**حل:**

$$I = \frac{E}{R} = \frac{10}{100} = 0.1 \text{ A} = 100 \text{ mA}$$

**تمرین کلاسی ۱:** به دو سری یک مقاومت

$500\Omega$ ، ولتاژ ۲۰ ولت اعمال می کنیم، جریان گذرنده از مدار چند آمپر است؟

یک مدار، اگر ولتاژ ثابت باشد، هر قدر مقدار مقاومت بیشتر شود، مقدار جریان عبوری از آن کمتر می شود.

رابطه قانون اهم را به سه صورت شکل ۳۱-۱ می توانیم

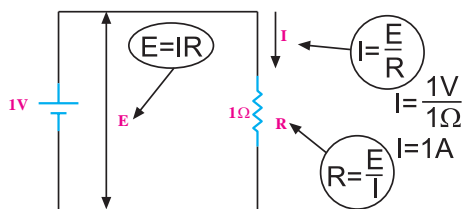
بنویسیم.



$$\text{قانون اهم} \quad I = \frac{V}{R} \quad V = IR \quad R = \frac{V}{I}$$

شکل ۳۱-۱ نمودار دایره ای قانون اهم در حالت های مختلف

در مداری که اختلاف پتانسیل یک ولت بین دو سر مقاومت یک اهمی برقرار باشد؛ جریانی با شدت یک آمپر از مدار می گذرد، شکل ۳۲-۱ الف.

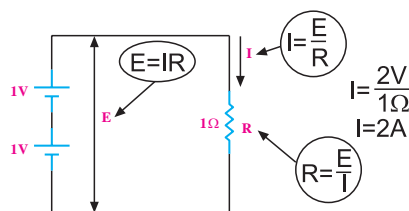


$$I = \frac{V}{R} = \frac{1V}{1\Omega} = 1 \text{ A}$$

شکل ۳۲-۱ الف نمایش قانون اهم

با ۲ برابر شدن ولتاژ (اختلاف پتانسیل) و ثابت ماندن

مقاومت، شدت جریان ۲ برابر می شود، شکل ۳۲-۱ ب.



$$I = \frac{V}{R} = \frac{2V}{1\Omega} = 2 \text{ A}$$

شکل ۳۲-۱ ب دو برابر شدن ولتاژ و ثابت ماندن مقاومت

**مثال ۱۱:** از یک مقاومت ۱۰ اهمی، جریانی برابر با ۲ آمپر عبور می‌کند. چه مقدار توان در مقاومت تلف می‌شود؟

**حل:**

$$P = R \cdot I^2$$

$$P = 10 \times (2)^2 = 10 \times 4 = 40 \text{ W}$$

**مثال ۱۲:** توان یک لامپ ۱۰۰ وات و ولتاژ کار آن ۲۲۰ ولت است، این لامپ چه مقدار جریان از شبکه دریافت می‌کند؟

**حل:**

$$P = V \cdot I$$

$$100 = 220 \times I$$

$$I = \frac{100}{220} = 0.45 \text{ A}$$

**مثال ۱۳:** توان تلف شده در دو سر یک مقاومت برابر با ۲۰ وات است. اگر ولتاژ دو سر مقاومت ۱۰ ولت باشد مقدار مقاومت چند اهم است؟

**حل:**

$$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow P \cdot R = V^2 \Rightarrow R = \frac{V^2}{P}$$

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(10)^2}{20} = \frac{100}{20} = 5 \Omega$$

**تمرین کلاسی ۳:** از یک مقاومت

۱۰۰ اهمی، جریانی برابر با ۰/۱ آمپر عبور می‌کند. چه مقدار توان در مقاومت تلف می‌شود؟

**تمرین کلاسی ۲:** از مداری شامل مقاومت  $1 \text{ K}\Omega$ ، جریان  $1 \text{ mA}$  عبور می‌کند، افت ولتاژ دو سر مقاومت چند ولت است؟

## ۱۱- توان و انرژی در جریان مستقیم

### ۱۱-۱ توان الکتریکی

حاصل ضرب ولتاژ در جریان را **توان الکتریکی**

می‌نامند و آن را با حرف  $P$  نشان می‌دهند:

$$P = V \cdot I$$

واحد توان الکتریکی وات است که آن را با حرف  $W$

نشان می‌دهند. واحد های کوچک تر از وات، میلی وات (یک هزارم) وات و میکرو وات، یک میلیونم وات است. واحد های بزرگ تر از وات را کیلو وات (هزار وات) و مگا وات (یک میلیون وات) می‌نامند.

**$P$ ، حرف اول کلمه Power به معنی توان است.**

توان تلف شده در دو سر یک مقاومت اهمی از رابطه زیر

به دست می‌آید:

$$P = V \cdot I = R I^2 = \frac{V^2}{R}$$



### تحقیق کنید:

نحوه‌ی به دست آوردن هر یک از روابط مربوط به توان را تحقیق کنید.

کنتور برق دستگاهی است که انرژی مصرفی منازل یا کارخانجات را بر حسب کیلو وات ساعت اندازه گیری می کند.

توان الکتریکی را با دستگاهی به نام وات متر اندازه می گیرند.

### ۲-۱۱-۱ انرژی الکتریکی

همان طور که می دانید منبع تغذیه الکتریکی مانند برق شهر یا باتری، انرژی مورد نیاز وسایل الکتریکی را تامین می کند. وقتی یک اطوی برقی را به برق وصل می کنید، اطو انرژی الکتریکی را از شبکه برق دریافت می کند و آن را به انرژی حرارتی تبدیل می نماید. هر قدر مدت زمان وصل اطوی برقی به شبکه بیشتر باشد، گرمای بیش تری در اطو تلف می شود و انرژی بیش تری را از شبکه برق دریافت می کند. پس انرژی مصرفی رابطه مستقیم با زمان دارد و به صورت رابطه زیر تعریف می شود:

$$\begin{aligned} \text{زمان} \times \text{توان الکتریکی} &= \text{انرژی الکتریکی} \\ W &= p \cdot t \\ \text{ژول} &= \text{وات} \times \text{ثانیه} \end{aligned}$$

واحد انرژی الکتریکی، وات-ثانیه یا ژول است. یک ژول عبارت است از تلفات توان یک وات در مدت یک ثانیه. واحد بزرگ تر و کاربردی تر انرژی، کیلو وات ساعت است. هر کیلو وات برابر ۱۰۰۰ وات و هر کیلو وات ساعت برابر با ۱۰۰۰ وات ساعت است. معمول ترین دستگاه برای اندازه گیری انرژی الکتریکی، کنتور برق است.

**مثال ۱۴:** یک لامپ ۱۰۰ وات را به مدت ۵ دقیقه روشن می کنیم. این لامپ چند ژول انرژی مصرف کرده است؟

**حل:**

$$W = p \cdot t = 100 \cdot (5 \times 60) = 30000 \text{ J}$$

$$30000 \div 1000 = 30 \text{ KJ}$$



### تمرین کلاسی ۴: اگر ۵ لامپ ۱۰۰

واتی روزانه ۵ ساعت روشن باشد، در صورتی که قیمت هر کیلو وات ساعت ۱۰۰ ریال باشد، هزینه ی انرژی مصرف کننده ها در یک ماه چه قدر است؟



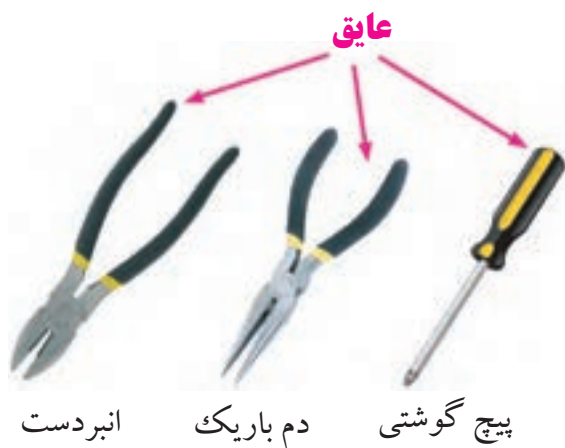
۱-۱۲-۲ انتخاب ابزار کار مناسب و استفاده از آن‌ها، یکی دیگر از نکات ایمنی عمومی است، شکل ۳۵-۱.



شکل ۳۵-۱ انتخاب درست ابزار کار و نحوه ی کاربرد صحیح آن

استفاده بهینه از وسایل و تجهیزات، مهارت الگوی صحیح مصرف را در فرد ایجاد می‌کند.

۱-۱۲-۳ از ابزاری که به دسته عایق مجهز است، استفاده کنید. استفاده از این وسایل، صرفه‌جویی در هزینه‌های اضافی ناشی از صدمه‌های جانبی را به دنبال دارد، شکل ۳۶-۱.



شکل ۳۶-۱ استفاده از ابزار با دسته‌ی عایق



## اول ایمنی، بعد کار

### ۱-۱۲ نکات ایمنی

نکات ایمنی عمومی:

لازم است در کارگاه‌ها و آزمایشگاه‌های فنی و حوزه‌های صنعتی، دستورهای حفاظتی و ایمنی توسط مسئولین هنرستان، سرپرست کارگاه، هنرآموزان و هنرجویان کاملاً مورد توجه قرار گیرد، تا از بروز خطراتی مانند برق گرفتگی و آسیب‌رسانی به تجهیزات آزمایشگاه و فرد جلوگیری شود.

۱-۱۲-۱ نظم و ترتیب را در کارگاه و آزمایشگاه رعایت کنید، شکل ۳۴-۱.



شکل ۳۴-۱ نظم و ترتیب در کارگاه

رعایت این توصیه، مهارت دقت نظر، سرعت کار و کیفیت آموزشی را در فرد افزایش می‌دهد.

۱-۱۲-۶ هنگام اندازه گیری کمیت های الکترونیکی، توسط دستگاه های اندازه گیری، از حوزه صحیح کار و گستره مناسب آن استفاده کنید، شکل ۱-۳۹.



شکل ۱-۳۹ استفاده صحیح از حوزه ی کار صحیح دستگاه اندازه گیری

این مهارت علاوه بر جلوگیری از بروز حادثه باعث افزایش دقت نظر، کیفیت و سرعت در انجام کار می شود.

۱-۱۲-۷ از تردد بی دلیل در محیط کارگاه و حضور بی مورد در محل میزهای کاری دیگران، جدا خودداری کنید، شکل ۱-۴۰.



شکل ۱-۴۰ بی دلیل در کارگاه تردد نکنید.

۱-۱۲-۸ از وارد کردن ضربه به دستگاه ها و تجهیزات خودداری کنید، شکل ۱-۳۷.



شکل ۱-۳۷ از ضربه زدن به دستگاه خودداری کنید.

به طور کلی حفاظت از وسایل، مهارت ارزش گذاری بر ثروت عمومی، مسئولیت پذیری و توجه به هزینه هایی را که برای تحصیل هر فرد صرف می شود به وجود می آورد.

۱-۱۲-۵ هنگام جازدن و یا کشیدن دو شاخه برق، از سیم های متصل شده به آن استفاده نکنید و دو شاخه را به طور صحیح در دست بگیرید، شکل ۱-۳۸.



شکل ۱-۳۸ اتصال صحیح دو شاخه

این نکته مهارت دقت نظر و توجه بیش تر را در فرد ایجاد می کند و مانع بروز حادثه می شود.





شکل ۱-۴۲ نشستن هنرجو روی صندلی درست نیست

۱۰-۱۲-۱ پوشیدن لباس کار، حس تملک و علاقه را نسبت به محیط در فرد ایجاد می کند و هنگام کار مانع کثیف شدن لباس های شما می شود، شکل ۱-۴۳.



شکل ۱-۴۳ ایجاد حس تملک نسبت به محیط کار با پوشیدن لباس کار

۱۱-۱۲-۱ تشکیل گروه های کاری باعث ایجاد مهارت در کار جمعی، برنامه ریزی صحیح و ارتباط موثر با دیگران می شود، شکل ۱-۴۴.

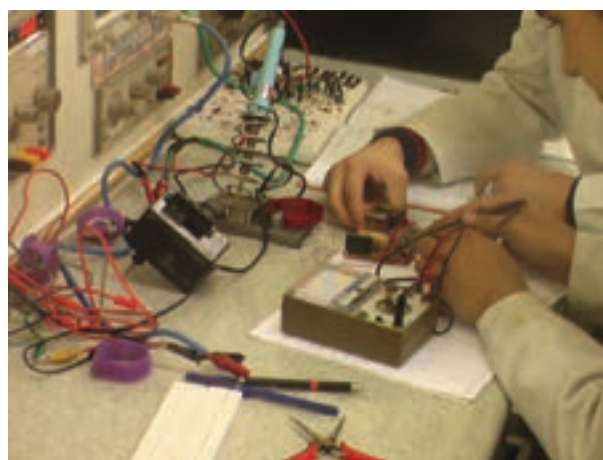


شکل ۱-۴۴ تشکیل گروه های کاری

با جلوگیری از اختلال در کار، هم چنین ایجاد نظم در کارگاه و برقراری آرامش، فضای آرامی به وجود می آید که می توان اجرای وظایف محوله را با دقت و کار آیی مطلوب امکان پذیر ساخت.

۸-۱۲-۱ از گذاشتن وسایل اضافی روی میز کار جداً

خودداری کنید، شکل ۱-۴۱.



شکل ۱-۴۱ از قراردادن وسایل اضافی روی میز کار خودداری کنید.

این امر مهارت به کارگیری نظم و ترتیب را افزایش می دهد. داشتن تعهد و نظم و تمرکز در کار، انسان را به موفقیت نزدیک می کند.

## دستورهای اجرایی در کارگاه ها

۹-۱۲-۱ حضور به موقع در کارگاه باعث افزایش رشد شخصیت اجتماعی و بهره وری در سیستم آموزشی می شود. همچنین صحیح نشستن روی صندلی، سلامت شما را تضمین می کند، شکل ۱-۴۲.



شکل ۴۶-۱ تهیه‌ی دفتر گزارش کار

رعایت این توصیه، مهارت تبدیل نقاط ضعف به نقاط قوت را ایجاد می‌کند.

۱۴-۱۲-۱ خواندن دستورهای اجرایی قبل از شروع کار، مهارت اعتمادبه‌نفس و داشتن آرامش را در اجرای آزمایش امکان‌پذیر می‌کند، شکل ۴۷-۱.



شکل ۴۷-۱ خواندن دستورالعمل قبل از شروع کار

۱۵-۱۲-۱ استفاده از آزمایشگاه مجازی (Virtual lab) به عنوان پیش‌آزمایش، آموزش و صرفه‌جویی در ابزار، قطعات و تجهیزات و زمان را در فرد عمیق‌تر می‌سازد.

مهارت شنیدن نظرات دیگران، موجب می‌شود تا برای برقراری ارتباط بهترین روش‌های مرتبط با هر موضوع را به کار بگیرید.

۱۲-۱۲-۱ توزیع اقلام مورد نیاز بین گروه‌ها، بررسی دقیق میزهای کار، تعیین وسایل معیوب و گزارش آن به مربیان، از مهم‌ترین وظایفی است که به ارشد دوره‌ای کارگاه واگذار می‌شود، شکل ۴۵-۱.



شکل ۴۵-۱ تعیین ارشد کلاس

ارشد کلاس در هر هفته تغییر می‌کند. با این هدف حس مسئولیت‌پذیری، رشد مهارت مدیریتی، هدایت گروه و مهارت اعتماد به نفس در همه تقویت می‌شود.

۱۳-۱۲-۱ تهیه دفتر گزارش کار و تنظیم آن برای هر آزمایش کمک می‌کند تا مهارت بازبینی فعالیت‌های انجام شده و توجه به هدف و نتیجه و پیدا کردن اشکالات و رفع آن‌ها در فرد ایجاد شود، شکل ۴۶-۱.



یک دستگاه مولتی متر می تواند هر سه کمیت ولتاژ، جریان و مقاومت را اندازه گیری کند.



شکل ۴۹-۱ یک نمونه آمپر متر آزمایشگاهی

آمپر متر  
آزمایشگاهی  
گران قیمت  
است. برای  
اجرای آزمایش  
از مولتی متر  
استفاده کنید.

### ولت متر

در مدارها از ولت متر برای اندازه گیری ولتاژ استفاده می شود. ولت متر به صورت موازی در مدار قرار می گیرد. شکل ۵۰-۱ یک نمونه ولت متر آزمایشگاهی را نشان می دهد.



شکل ۵۰-۱ یک نمونه ولت متر آزمایشگاهی

ولت متر  
آزمایشگاهی  
گران قیمت  
است. برای  
اجرای آزمایش  
از مولتی متر  
استفاده کنید.

### اهم متر

در مدارها از اهم متر برای اندازه گیری مقاومت استفاده می شود. برای این منظور اهم متر را به دو سر مقاومت وصل



### استفاده از نرم افزار:

برخی از مزایای استفاده از آزمایشگاه مجازی:

- \* در صورت بروز اشتباه در بستن مدار و اتصال دستگاه ها به آن، آسیبی به مدار و دستگاه ها وارد نمی شود و خسارت مالی رخ نمی دهد.
- \* مقادیر قطعات قابل تغییر است و با تغییر آن ها می توانید اثر آن را به راحتی روی مدار مشاهده کنید.
- \* بدون نیاز به قطعات سخت افزاری می توانید مدارهای دلخواه خود را ببینید و خلاقیت خود را بروز دهید.
- \* به راحتی می توانید بدون هیچ هزینه و در زمان کوتاهی آزمایش ها را به دفعات متعدد تکرار کنید.
- \* هر گونه پیشنهادی که به نظرتان می رسد، در آزمایشگاه مجازی قابل اجرا است و این امر باعث شکوفا شدن خلاقیت می شود.

## ۱۳-۱ اطلاعات اولیه

### منبع تغذیه

در مدارهای الکتریکی جهت تامین ولتاژ dc مورد نیاز از منابع تغذیه الکترونیکی مانند شکل ۴۸-۱ استفاده می شود.



شکل ۴۸-۱ یک نمونه منبع تغذیه

### آمپر متر

در مدارها از آمپر متر برای اندازه گیری جریان استفاده می شود. آمپر متر سری در مدار قرار می گیرد. شکل ۴۹-۱ یک نمونه آمپر متر آزمایشگاهی را نشان می دهد. امروزه

می کنند. شکل ۵۱-۱ یک نمونه اهم متر آزمایشگاهی را نشان می دهد.



اهم متر  
آزمایشگاهی گران  
قیمت است. برای  
اجرای آزمایش از  
مولتی متر استفاده  
کنید.

شکل ۵۱-۱ یک نمونه اهم متر آزمایشگاهی

### مولتی متر

در اغلب آزمایشگاه ها و کارگاه ها از وسیله ای به نام «مولتی متر» یا «آوومتر» استفاده می شود. این وسیله قادر به اندازه گیری کمیت هایی مانند ولتاژ، جریان و مقاومت است. شکل ۵۲-۱ دو نمونه مولتی متر عقربه ای و دیجیتالی را نشان می دهد. امروزه مولتی مترهای دیجیتالی فراوان تر، ارزان تر و مرغوب تر از مولتی مترهای عقربه ای است. لذا در اجرای آزمایش ها از مولتی متر دیجیتالی استفاده می کنیم.



دیجیتالی

عقربه ای

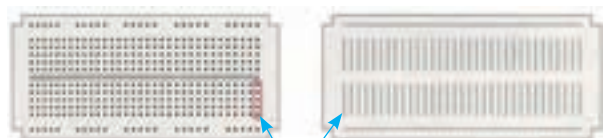
شکل ۵۲-۱ دو نمونه مولتی متر

مولتی متر به معنی چند اندازه گیر است و به دستگاه هایی اطلاق می شود که چند کمیت را می توانند اندازه بگیرند.

### بردبرد

از جمله وسایل مورد نیاز برای انجام آزمایش ها استفاده از صفحات مخصوص یا بردهای آزمایشگاهی است. یکی از بردهای آزمایشگاهی «بردبرد» است.

در شکل ۵۳-۱ تصویر یک نمونه بردبرد را مشاهده می کنید. سوراخ های تعبیه شده روی بردبرد برای نصب قطعات مدار روی آن است. سوراخ های هر ستون طبق شکل ۵۳-۱-الف به هم اتصال دارند. شکل ۵۳-۱-ب نمایی از روی بردبرد را نشان می دهد که در آن اتصال های مربوط به سوراخ ها نشان داده شده است.



(ب)

(الف)

هر ردیف پنج تایی سوراخ ها به وسیله یک نوار مشترک از پشت به هم وصل شده اند.

شکل ۵۳-۱ صفحه آزمایش یا بردبرد

### LC متر

امروزه از وسایل دیجیتالی به نام LC متر جهت سنجش اندوکتانس و ظرفیت خازنی استفاده می شود، شکل ۵۴-۱.



شکل ۵۴-۱ یک نمونه LC متر

موج‌های مختلف سینوسی را با دامنه‌ها و فرکانس‌های مختلف تولید کند. نوعی سیگنال ژنراتور وجود دارد که می‌تواند شکل موج‌های دیگری مانند مربعی و مثلثی را تولید کند. به این دستگاه فانکشن ژنراتور می‌گویند. در شکل ۱-۵۶ ب یک نمونه فانکشن ژنراتور را مشاهده می‌کنید.



الف - سیگنال ژنراتور      ب - فانکشن ژنراتور

شکل ۱-۵۷ سیگنال ژنراتور و فانکشن ژنراتور

### اسیلوسکوپ

وسیله‌ای که در آزمایشگاه برای مشاهده شکل موج به کار می‌رود، اسیلوسکوپ است. در شکل ۱-۵۸ یک نمونه اسیلوسکوپ را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱-۵۸ اسیلوسکوپ

### میز آزمایشگاهی

در اختیار داشتن یک میز آزمایشگاهی مناسب برای انجام آزمایش‌ها، سرعت و دقت انجام کار را افزایش می‌دهد. در شکل ۱-۵۹ یک نمونه میز آزمایشگاهی نشان داده شده است.

در برخی از مولتی‌مترهای دیجیتالی و عقربه‌ای نیز قسمتی برای اندازه‌گیری ظرفیت خازن وجود دارد. شکل ۱-۵۵ تصویر یک نمونه از این مولتی‌مترها را نشان می‌دهد.



درباره  
ایجاد ظرفیت  
خازنی و نیز  
اندوکتانس بوبین‌ها،  
بعداً صحبت  
خواهیم کرد.

شکل ۱-۵۵ یک نمونه مولتی متر دیجیتالی دارای حوزه (رنج) اندازه‌گیری ظرفیت

### باتری

شکل ۱-۵۶ تصویر دو نمونه باتری قلمی و کتابی را نشان می‌دهد. در مدارهای الکتریکی از باتری به عنوان منابع تغذیه dc استفاده می‌کنند.



شکل ۱-۵۶ دو نمونه باتری

### سیگنال ژنراتور

شکل ۱-۵۷ الف یک نمونه سیگنال ژنراتور را نشان می‌دهد. سیگنال ژنراتور، دستگاهی است که قادر است شکل

## ۱۴-۱ آزمایش شماره (۱)

اصول بستن مدار ساده با لامپ و باتری و کلید

زمان اجرا: ۱ ساعت آموزشی

### ۱۴-۱ هدف آزمایش:

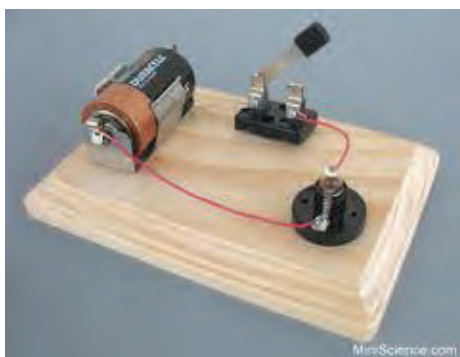
یک مدار ساده الکتریکی را با استفاده از لامپ و باتری و کلید و سیم‌های رابط ببندید.

### ۱۴-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات تجهیزات	تعداد/ مقدار
۱	لامپ ۶ ولت ۰/۳ آمپری	یک عدد
۲	سریچ لامپ	یک عدد
۳	باتری قلمی ۱/۵ ولت	چهار عدد
۴	جای باتری	یک عدد
۵	کلید یک پل	یک عدد
۶	سیم سوسماری	یک عدد
۷	سیم‌های رابط معمولی	سه رشته

### ۱۴-۳ مراحل اجرای آزمایش:

- لامپ را روی سریچ مناسب ببندید.
- باتری‌ها را در جای باتری قرار دهید.
- مطابق شکل ۶۱-۱ با استفاده از سیم‌های رابط یک سر باتری را به کلید وصل کنید.



شکل ۶۱-۱



شکل ۵۹-۱ یک نمونه میز آزمایشگاهی

### جعبه ابزار

در هر میز آزمایشگاهی لازم است یک سری وسایل مانند، سیم چین، انبردست، سیم‌لخت‌کن، هویه و سیم لحیم نیز وجود داشته باشد. زیرا در بسیاری از موارد به آن‌ها نیاز داریم. در شکل ۶۰-۱ دو نمونه جعبه ابزار نشان داده شده است.



شکل ۶۰-۱ دو نمونه جعبه ابزار

#### ۴-۱۴-۱ نتایج آزمایش:

آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح

دهید.

■ سر دیگر کلید را نیز با سیم‌های رابط به سرپیچ وصل

کنید.

■ سر دیگر باتری را با استفاده از سیم رابط یا سیم

سرسوماری به سرپیچ لامپ که هنوز آزاد است، وصل

کنید.

■ کلید یک پل را ببندید.

**سوال ۱:** آیا لامپ روشن می‌شود؟ شرح دهید.



■ کلید یک پل را به حالت باز در آورید.

**سوال ۲:** وضعیت لامپ به چه صورت در می‌آید؟ شرح

دهید.



یادگیری بدون انگیزه و تفکر، مانع کشف و بروز  
استعداد خلاقیت و نوآوری در فراگیران می‌شود.



## آزمون پایانی فصل (۱)

الف) ولت (ب) اهم (ج) کولن (د) کولن بر ثانیه  
۸- بر اساس قرارداد، جهت جریان الکتریکی را در مدارها

از قطب ..... به ..... در نظر می گیرند.

الف) مثبت- منفی (ب) منفی- مثبت

۹- ایستادگی در مقابل عبور جریان الکتریکی را

می گویند.

الف) اختلاف پتانسیل (ب) مقاومت الکتریکی

ج) توان الکتریکی (د) کار الکتریکی

۱۰- نیروی بین دو بار الکتریکی با اندازه بارهای الکتریکی

دو جسم رابطه مستقیم دارد.

صحيح ☐ غلط ☐

۱۱- کدام گزینه واحد شدت میدان الکتریکی است؟

الف) کولن بر ثانیه (ب) نیوتن بر کولن

ج) ولت بر آمپر متر (د) ولت بر اهم

۱۲- به دو سری یک مقاومت ۱۰ اهم، ولتاژی برابر با ۱۰

ولت می دهیم. جریان گذرنده از مدار چند آمپر است؟

الف) ۱۰۰ (ب) ۱ (ج) ۲۰ (د) ۰/۱

۱۳- از یک مقاومت ۵ اهمی، جریانی برابر با ۲ آمپر عبور

می کند، چند وات توان در مقاومت تلف می شود؟

الف) ۱۰ (ب) ۲/۵ (ج) ۵۰ (د) ۲۰

۱۴- یک لامپ ۴۰ وات در مدت ۲ دقیقه چند ژول انرژی

مصرف می کند؟

الف) ۸۰ (ب) ۲۴۰۰ (ج) ۴۸۰۰ (د) ۲۲۰۰

۱۵- جریان ۰/۲ آمپر معادل چند میلی آمپر است؟

الف) ۰/۰۰۲ (ب) ۲۰ (ج) ۲۰۰ (د) ۰/۰۰۰۲

۱۶- ولتاژ ۵ میلی ولت معادل چند ولت است؟

الف) ۵۰۰ (ب) ۵۰ (ج) ۰/۰۰۵ (د) ۰/۰۵

۱- کدام یک از ذرات اتم (به ترتیب از راست به چپ)

دارای بار منفی و مثبت هستند؟

الف) پروتون- الکترون (ب) نوترون- الکترون

ج) نوترون- پروتون (د) الکترون- پروتون

۲- جمله «در حالت عادی یک اتم از نظر بار الکتریکی

خنثی است» با کدام گزینه انطباق دارد؟

الف) الکترون ها و پروتون ها بدون بار هستند.

ب) الکترون ها و نوترون ها بار خود را از دست داده اند.

ج) بارهای مثبت و منفی یکدیگر را خنثی می کنند.

د) اتم در حالت عادی به یک اندازه پروتون و الکترون

دارد.

۳- وزن کامل هسته اتم شامل وزن ..... است.

الف) پروتون ها و الکترون ها

ب) پروتون ها و نوترون ها

ج) نوترون ها و الکترون ها

د) نوترون ها

۴- هسته هر اتم از دو ذره کوچک به نام های پروتون و

الکترون تشکیل شده است.

صحيح ☐ غلط ☐

۵- کدام یک از موارد زیر نیمه هادی است؟

الف) طلا (ب) مس (ج) پلاستیک

د) ژرمانیوم

۶- مقدار بار الکتریکی که در هر جسم وجود دارد

بر حسب ..... بیان می شود.

۷- واحد بار الکتریکی کدام است؟



# فهرست

## بخش اول : مبانی الکتریسیته

### فصل اول: آشنایی با اصول و مبانی الکتریسیته

۴	۱-۱ آشنایی با اصول الکتریسیته ساکن
۴	۱-۲ ساختمان اتم
۶	۱-۳ طبقه بندی از نظر هدایت الکتریکی
۷	۱-۴ آشنایی با نحوه پخش بار الکتریکی بر روی جسم
۸	۱-۵ آشنایی با میدان الکتریکی
۹	۱-۶ کمیت های الکتریکی
۱۲	۱-۷ آشنایی با قانون کولن
۱۳	۱-۸ شدت میدان الکتریکی
۱۴	۱-۹ تبدیل واحدها به یکدیگر
۱۵	۱-۱۰ مدار الکتریکی
۱۵	۱-۱۰ قانون اهم
۱۷	۱-۱۱ توان و انرژی در جریان مستقیم
۱۹	۱-۱۲ نکات ایمنی
۲۳	۱-۱۳ اطلاعات اولیه
۲۶	۱-۱۴ آزمایش شماره (۱)
۲۸	آزمون پایانی فصل (۱)

### فصل دوم: شناخت قطعات الکتریکی و کار با آنها

۳۲	۲-۱ آشنایی با مقاومت و انواع آن
۳۵	۲-۲ مشخصه های مقاومت
۳۸	۲-۳ اهم متر
۴۱	۲-۴ آزمایش شماره (۱)
۴۴	۲-۵ اتصال مقاومت ها به یکدیگر
۵۵	۲-۶ آزمایش شماره (۲)
۶۰	۲-۷ افت ولتاژ دو سر مقاومت ها در مدارهای سری و موازی
۶۳	۲-۸ منبع تغذیه DC

۶۶	۲-۹ آزمایش شماره (۳)
----	----------------------

۷۰	۲-۱۰ محاسبه ی جریان و توان در مدار سری و
----	------------------------------------------

۷۵	۲-۱۱ دستگاه اندازه گیری جریان «میلی آمپر متر»
۷۶	۲-۱۲ آزمایش شماره (۳)
۸۰	۲-۱۳ پیل ها و باتری ها
۸۳	۲-۱۴ اتصال پیل ها
۸۷	۲-۱۵ آزمایش شماره (۴)
۹۱	آزمون پایانی فصل (۲)

### فصل سوم: تجزیه و تحلیل و بستن مدارهای سری

#### و موازی

۹۶	۳-۱ یادآوری مدار سری
۹۹	۳-۲ یادآوری مدار موازی
۱۰۴	۳-۳ مدارهای سری- موازی
۱۰۴	۳-۴ پل مقاومت و تستون
۱۰۶	۳-۵ آزمایش شماره (۱)
۱۰۷	۳-۶ اطلاعات مقدماتی
۱۰۹	۳-۷ وسایل لحیم کاری
۱۱۴	۳-۸ قلع کش
۱۱۵	۳-۹ طریقه ی لحیم کاری
۱۱۷	۳-۱۰ نکات ایمنی این آزمایش
۱۱۹	۳-۱۱ آزمایش شماره (۲)
۱۲۲	آزمون پایانی فصل (۳)

### فصل چهارم: قوانین تونن و نورتن

۱۲۶	۴-۱ عناصر فعال مدارهای الکتریکی
۱۲۸	۴-۲ قضایای تونن و نورتن
۱۳۲	۴-۳ آزمایش شماره (۱)
۱۳۶	آزمون پایانی فصل (۴)

## بخش دوم : رفتار سلف و خازن در جریان DC و AC

### فصل پنجم: جریان و ولتاژ متناوب

۱۴۱	۵-۱ منابع تولید الکتریسته	۲۱۴	۷-۱۰ مشخصات خازن
۱۴۳	۵-۲ انواع موج‌های متناوب	۲۱۶	۷-۱۱ به هم بستن خازن‌ها
۱۴۳	۵-۳ مشخصات شکل موج سینوسی	۲۲۰	۷-۱۲ روش آزمایش سلامت خازن با اهم‌متر عقربه‌ای
۱۵۳	۵-۴ رفتار مقاومت اهمی (R) در جریان متناوب	۲۳۰	۷-۱۳ نحوه‌ی اندازه‌گیری ظرفیت خازن با دستگاه
۱۵۴	۵-۵ توان تلف شده در یک مقاومت اهمی	۲۳۲	اندازه‌گیری LCR متر
۱۵۵	در جریان متناوب	۲۳۴	۷-۱۴ آزمایش شماره‌ی (۲)
۱۵۸	۵-۶ قوانین کریشهف در جریان متناوب	۲۳۶	۷-۱۵ آزمایش شماره‌ی (۳)
۱۶۴	۵-۷ بردار	۲۳۸	۷-۱۶ خازن در جریان متناوب
۱۶۷	۵-۸ جریان‌های سه‌فازه	۲۴۰	۷-۱۷ اندازه‌گیری زاویه‌ی اختلاف فاز توسط
	آزمون پایانی فصل (۵)	۲۴۴	اسیلوسکوپ
			۷-۱۸ آزمایش شماره‌ی (۴)
			۷-۱۹ مدار RC سری
			۷-۲۰ مدار RC موازی
			۷-۲۰ آزمایش شماره‌ی (۵)
			آزمون پایانی فصل (۷)

### فصل هشتم: عملکرد سلف در جریان مستقیم و

#### متناوب

۲۵۱	۸-۱ خطوط نیروی مغناطیس و میدان مغناطیسی
۲۵۴	۸-۲ سلف
۲۵۵	۸-۳ جریان القایی
۲۵۵	۸-۴ ضریب خود القایی سلف
۲۵۶	۸-۵ ولتاژ القایی
۲۵۷	۸-۶ شارژ و دشارژ سلف
۲۵۷	۸-۷ ثابت زمانی در مدار RL سری
۲۵۸	۸-۸ روش آزمایش (تست) سلف به کمک اهم‌متر
۲۵۸	۸-۹ سلف (سیم پیچ) در جریان متناوب
۲۶۲	۸-۱۰ آزمایش شماره‌ی (۱)
۲۶۳	۸-۱۱ ضریب خود القایی متغیر
۲۶۴	۸-۱۲ سلف به صورت سری و موازی
۲۶۶	۸-۱۳ مدار RL سری
۲۶۹	۸-۱۴ مدار RL موازی
۲۷۲	۸-۱۵ آزمایش شماره‌ی (۲)
۲۷۶	۸-۱۶ اصول کار ترانسفورماتور

### فصل نهم: دستگاه‌های اسیلوسکوپ و انواع منبع

#### تغذیه آزمایشگاهی

۱۷۳	نکات ایمنی فصل (۶)
۱۷۴	۶-۱ اسیلوسکوپ
۱۸۵	۶-۲ آزمایش شماره (۱)
۱۸۸	۶-۳ مولدهای سیگنال (signal Generators)
۱۹۲	۶-۴ آزمایش شماره‌ی (۲)
۱۹۶	آزمون پایانی فصل (۶)

### فصل هفتم: خازن در جریان مستقیم و متناوب

۲۰۲	۷-۱ ساختمان داخلی خازن
۲۰۲	۷-۱ مفهوم ظرفیت
۲۰۳	۷-۳ شارژ و دشارژ خازن در جریان مستقیم
۲۰۴	۷-۴ انرژی ذخیره شده در خازن
۲۰۴	۷-۵ ثابت زمانی
۲۰۵	۷-۶ آزمایش شماره‌ی (۱)
۲۰۹	۷-۷ عوامل موثر در ظرفیت خازن
۲۱۰	۷-۸ انواع خازن‌ها
۲۱۳	۷-۹ تشخیص مقدار ظرفیت از روی رمز عددی



۳۵۸	۱۱-۳ آزمایش شماره‌ی (۱)	۲۷۹	۸-۱۷ ترانسفورماتورهای تطبیق امپدانس
۳۶۰	۱۱-۴ آزمایش شماره‌ی (۲)	۲۸۱	۸-۱۸ تلفات در ترانسفورماتور
۳۶۲	۱۱-۵ آزمایش شماره‌ی (۳)	۲۸۲	۸-۱۹ خرابی‌های ترانس تغذیه
۳۶۴	۱۱-۶ منبع تغذیه‌ی متقارن	۲۸۴	۸-۲۰ اتو ترانس
۳۶۵	۱۱-۷ کلید ۲۲۰/۱۱۰	۲۸۵	آزمون پایانی فصل (۸)
۳۶۶	۱۱-۸ چند برابر کننده‌های ولتاژ		<b>فصل نهم: مدارهای هماهنگ</b>
۳۶۷	۱۱-۹ آزمایش شماره‌ی (۴)	۲۹۲	۹-۱ مدار LC
۳۶۹	۱۱-۱۰ مدار کلیپر قیچی کننده (Clipper)	۲۹۵	۹-۲ مدار RLC سری
۳۶۹	۱۱-۱۱ مدار کلمپر یا مهار کننده (clamper)	۲۹۸	۹-۳ مدار RLC موازی
۳۷۰	۱۱-۱۲ آشکار ساز نوک به نوک	۳۰۰	۹-۴ رزونانس در مدار RLC سری
۳۷۱	۱۱-۱۳ آزمایش شماره‌ی (۵)	۳۰۴	۹-۵ رزونانس در مدار RLC موازی
۳۷۴	آزمون پایانی فصل (۱۱)	۳۰۵	۹-۶ مقایسه مدارهای رزونانس سری و موازی
	<b>فصل دوازدهم: کار با دیودهای خاص</b>	۳۰۷	۹-۷ آزمایش شماره‌ی (۱)
۳۷۸	۱۲-۱ دیود زبر	۳۰۹	۹-۸ آزمایش شماره‌ی (۲)
۳۷۹	۱۲-۲ تنظیم کننده ولتاژ با استفاده از دیود زبر	۳۱۳	۹-۹ فیلترها (Filters)
۳۸۰	۱۲-۳ آزمایش شماره (۱)	۳۱۷	۹-۱۰ آزمایش شماره‌ی (۳)
۳۸۱	۱۲-۴ انواع دیودها	۳۲۲	آزمون پایانی فصل (۹)
۳۸۸	۱۲-۵ نام گذاری دیودها		<b>بخش سوم: دیود</b>
	۱۲-۶ نحوه استخراج مشخصات دیودها از کتاب‌های مرجع		<b>فصل دهم: مشخصات و خصوصیات دیود</b>
۳۸۹		۳۳۰	نکات ایمنی (۱)
۳۹۲	۱۲-۷ ساختمان و طرز کار ترانزیستور معمولی (BJT)	۳۳۱	۱۰-۱ دیود Diode
	۱۲-۸ تعیین پایه‌ها و نوع ترانزیستور توسط مولتی متر		۱۰-۲ تشخیص پایه‌های دیود و سالم بودن آن
۳۹۳	دیجیتالی	۳۳۹	به وسیله‌ی اهم متر
۳۹۵	۱۲-۹ آزمایش شماره (۲)	۳۴۲	۱۰-۳ آزمایش شماره (۱)
۳۹۷	۱۲-۱۰ آزمایش شماره (۳)	۳۴۵	آزمون پایانی فصل (۱۰)
	آزمون پایانی فصل (۱۲)		<b>فصل یازدهم: تجزیه و تحلیل مدارهای دیودی</b>
		۳۵۰	۱۱-۱ یکسوسازها یا رکتی فایرها (Rectifiers)
		۳۵۷	۱۱-۲ ترانسفورماتور تغذیه



## فصل دوم

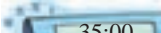
### شناخت قطعات الکتریکی و کار با آنها

**هدف کلی:** انواع مقاومت‌ها و کاربرد آنها در مدارهای الکتریکی



پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود که:

- ۱- مقاومت الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.
- ۲- انواع مقاومت‌های الکتریکی را نام ببرد.
- ۳- طرز کار هر یک از مقاومت‌های متغیر وابسته به عوامل فیزیکی را به طور مختصر شرح دهد.
- ۴- نحوه‌ی تقسیم‌بندی مقاومت‌ها را از نظر ساختمان آنها به طور عملی اندازه بگیرد.
- ۵- مشخصه‌های مقاومت را نام ببرد و هر یک را به اختصار توضیح دهد.
- ۶- مدار سری را شرح دهد.
- ۷- مقاومت معادل در یک مدار سری را محاسبه کند.
- ۸- افت ولتاژ دو سر مقاومت‌ها در یک مدار سری را محاسبه کند.
- ۹- مدار موازی را شرح دهد.
- ۱۰- نحوه‌ی محاسبه‌ی مقاومت معادل در مدار موازی را محاسبه کند.
- ۱۱- جریان و ولتاژ در یک مدار موازی را محاسبه کند.
- ۱۲- نحوه‌ی اندازه‌گیری ولتاژ را شرح دهد.
- ۱۳- دستگاه اندازه‌گیری و چگونگی اندازه‌گیری جریان را شرح دهد.
- ۱۴- کاربرد اهم‌تر و طرز کار آن را شرح دهد.
- ۱۵- مقاومت، ولتاژ و جریان را در مدارهای سری و موازی به طور عملی اندازه بگیرد.
- ۱۶- قانون KVL را در مدارهای سری شرح دهد.
- ۱۷- قانون KVL را در مدارهای سری به طور عملی تحقیق کند.
- ۱۸- قانون KCL را در مدارهای موازی شرح دهد.
- ۱۹- قانون KCL را در مدارهای موازی عملاً تحقیق کند.
- ۲۰- انواع پیل‌ها را مختصراً شرح دهد.
- ۲۱- اتصال سری پیل‌ها را توضیح دهد.
- ۲۲- اتصال متقابل پیل‌ها را توضیح دهد.
- ۲۳- اتصال موازی پیل‌ها را توضیح دهد.
- ۲۴- انواع اتصال پیل‌ها را به طور عملی تجربه کند.
- ۲۵- کلیه‌ی اهداف رفتاری در حیطه‌ی عاطفی که در فصل اول به آنها اشاره شده‌است را در این فصل نیز اجرا کند.

 ساعت آموزش			توانایی شماره
جمع	عملی	نظری	
۳۵	۱۸	۱۷	



۸- برای اندازه گیری جریان در مدارهای الکتریکی از ..... استفاده می شود، که با سایر قطعات .... قرار می گیرد.

(الف) ولت متر - سری (ب) ولت متر - موازی

(ج) آمپر متر - سری (د) آمپر متر - موازی

۹- پیل های اولیه قابل شارژ نیستند.

صحيح ☐ غلط ☐

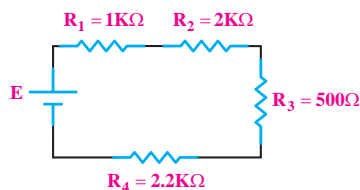
۱۰- پیل های قلیایی ..... و نیکل - کادمیوم ..... هستند.

(الف) اولیه - ثانویه (ب) ثانویه - اولیه

(ج) اولیه - اولیه (د) ثانویه - ثانویه

۱۱- پیل ها را سری می کنند تا ولتاژ کل مدار را ..... دهند.

۱۲- مقاومت معادل شکل زیر را محاسبه کنید.



۱- واحد بار الکتریکی کولن بر ثانیه است.

صحيح ☐ غلط ☐

۲- تolerانس مقاومت های سری E۱۲ برابر  $\pm 10\%$  است.

صحيح ☐ غلط ☐

۳- ترمستوری را که تغییر مقاومت آن با افزایش دما

نسبت مستقیم دارد ..... می گویند.

۴- واریستور مقاومتی وابسته به ..... است.

(الف) حرارت (ب) نور (ج) ولتاژ (د) دما

۵- مقاومت معادل در یک مدار سری، از همی

مقاومت های موجود در مدار (بزرگ تر - کوچک تر) است.

۶- کدام یک از جملات زیر صحیح نیست؟

(الف) در مدار موازی، جریان شاخه ها مساوی است.

(ب) در مدار موازی، توان کل مدار برابر مجموع توان های

مصرف کننده ها است.

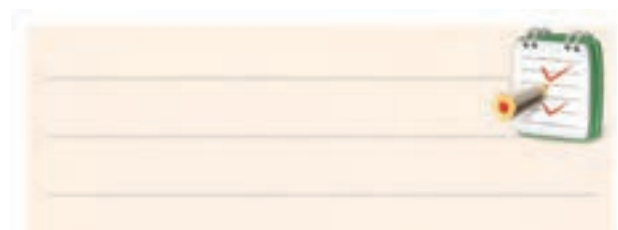
(ج) در مدار سری، ولتاژ کلیه مصرف کننده ها برابر با

ولتاژ منبع است.

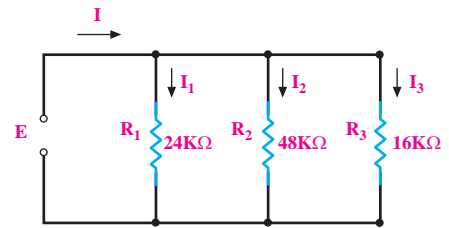
(د) در مدار سری، توان کل مدار برابر مجموع توان های

مصرف کننده ها است.

۷- ساختمان داخلی ولت متر DC را شرح دهید.



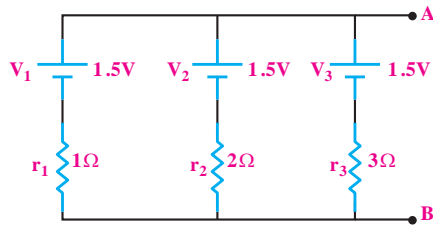
۱۳- مقاومت معادل را در شکل زیر محاسبه کنید.



۱۵- در مدار شکل زیر، مطلوب است:

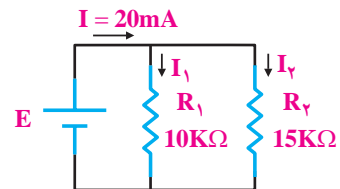
الف- کاربرد مدار

ب- مقاومت داخلی کل پیل‌ها از دو نقطه A و B.



۱۴- در مدار شکل زیر مطلوب است:

محاسبه‌ی جریان  $I_1$  و  $I_2$ .



## ۱-۲ آشنایی با مقاومت و انواع آن

«مقاومت الکتریکی» خاصیتی است که در مقابل عبور جریان الکتریکی از خود مخالفت نشان می‌دهد. این مخالفت گاهی مانند مقاومت الکتریکی سیم‌های رابط، به صورت ناخواسته و مزاحم در مدارهای الکتریکی وجود دارد و گاهی به عنوان عاملی از پیش تعیین شده به صورت یک مصرف کننده در مدارهای الکتریکی قرار می‌گیرد.

### ۱-۱-۲ انواع مقاومت‌ها

به طور کلی مقاومت‌ها را می‌توان از نظر مقدار اهمی به دو دسته ثابت و متغیر تقسیم بندی کرد. منظور از مقاومت ثابت مقاومتی است که مقدار آن در اثر حرارت، نور، میدان‌های مغناطیسی و یا سایر عوامل فیزیکی تغییر نمی‌کند. در شکل ۱-۲ دو نمونه مقاومت ثابت نشان داده شده است.



شکل ۱-۲ دو نمونه مقاومت اهمی (R)

مقاومت متغیر مقاومتی است که می‌توان مقدار اهم آن را با عواملی مانند تغییر مکان یک اهرم، نور، حرارت و ولتاژ تغییر داد.

در شکل ۲-۲ یک نمونه مقاومت متغیر که مقدار آن با تغییر اهرم تغییر می‌کند را مشاهده می‌کنید. به این نوع

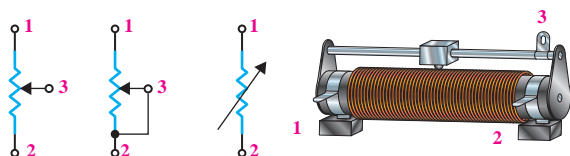
مقاومت پتانسیومتر می‌گویند.



شکل ۲-۲ یک نمونه مقاومت متغیر

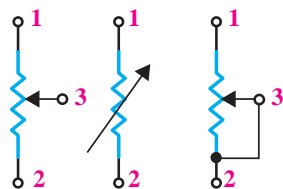
### ۲-۱-۲ رئوستا و پتانسیومتر

رئوستا و پتانسیومتر، هر دو مقاومت متغیر هستند که می‌توان با جابه‌جا کردن یا چرخاندن یک اهرم مکانیکی، مقدار مقاومت اهمی آن‌ها را تغییر داد. به مقاومت‌های متغیر سیمی بزرگ اصطلاحاً رئوستا گفته می‌شود. از این مقاومت‌ها در جریان‌های زیاد استفاده می‌کنند. در شکل ۲-۳ یک نمونه مقاومت متغیر سیمی نشان داده شده است.



شکل ۲-۳ یک نمونه مقاومت متغیر سیمی و نمادهای آن

در اصطلاح به مقاومت‌های متغیر کوچک‌تر، پتانسیومتر می‌گویند. مقدار مقاومت اهمی این نوع مقاومت‌های متغیر را می‌توان با اهرمی که روی آن‌ها قرار دارد، تغییر داد. در شکل ۲-۴ نمونه‌هایی از پتانسیومتر نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۲-۴ دیده می‌شود، مقاومت‌های متغیر از نظر ابعاد و شکل ظاهری از تنوع نسبتاً زیادی برخوردارند و با مقدار مقاومت اهمی مختلف ساخته می‌شوند.



شکل ۲-۶ علامت قراردادی مقاومت متغیر

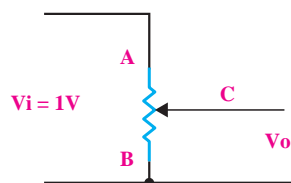
## بیشترین کاربرد مقاومت‌های متغیر در تقسیم

**ولتاژ است.** این روش اتصال در شکل ۲-۶ را پتانسیومتر

می‌گویند. پتانسیومتر را برای تغییر حجم صدای یک وسیله‌ی

صوتی به کار می‌برند. در شکل ۲-۷ با تغییر سر وسط مقاومت

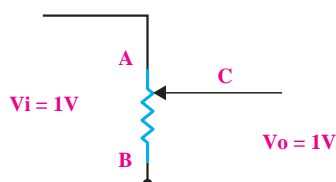
متغیر، می‌توان ولتاژ خروجی را از صفر تا یک ولت تغییر داد.



شکل ۲-۷ اتصال مقاومت متغیر به صورت پتانسیومتر

اگر سر وسط پتانسیومتر در وضعیت A قرار داشته‌باشد،

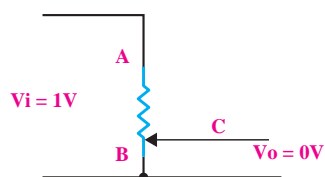
ولتاژ خروجی برابر با یک ولت می‌شود، شکل ۲-۸.



شکل ۲-۸ سر وسط پتانسیومتر در وضعیت A

اگر سر وسط پتانسیومتر در وضعیت B قرار گیرد، ولتاژ

خروجی برابر با صفر ولت می‌شود، شکل ۲-۹.



شکل ۲-۹ سر وسط پتانسیومتر در وضعیت B



شکل ۲-۴ چند نمونه پتانسیومتر پر کاربرد در الکترونیک

مقاومت متغیر سه سر دارد که مقاومت اهمی بین دو سر

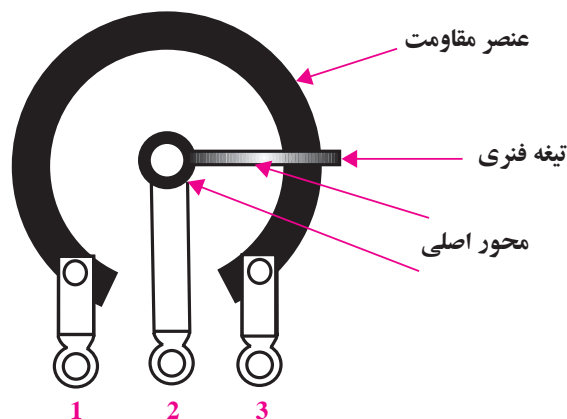
آن همیشه ثابت است و مقاومت اهمی سر سوم و یکی از دو

سر دیگر را می‌توان با تغییر اهرم مکانیکی تغییر داد. ساختمان

داخلی یک نمونه مقاومت متغیر در شکل ۲-۵ نشان داده

شده است. در این شکل مقاومت اهمی بین پایه ۱ و ۳ ثابت و

مقاومت بین پایه ۲ و ۱ و یا ۲ و ۳ با تغییر اهرم قابل تغییر است.



شکل ۲-۵ ساختمان داخلی مقاومت متغیر

علامت قراردادی برای نمایش یک مقاومت متغیر را در

شکل ۲-۶ ملاحظه می‌کنید.





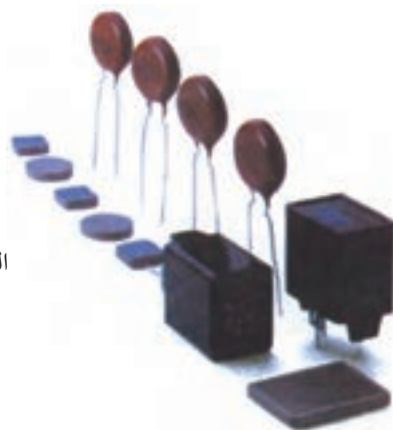
شکل ۱۱-۲ چند نمونه از مقاومت های NTC و علامت اختصاری آن

### • مقاومت حرارتی PTC: PTC ترمیستوری است

که در اثر افزایش دما، مقدار مقاومت آن افزایش می یابد. در شکل ۱۲-۲ چند نمونه از مقاومت های PTC و علامت اختصاری آن ها را مشاهده می کنید.



الف - علامت اختصاری



ب- شکل ظاهری

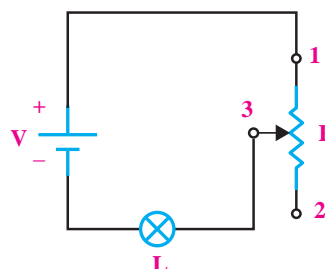
شکل ۱۲-۲ چند نمونه مقاومت های PTC همراه علامت اختصاری

### ۴-۱-۲ مقاومت وابسته به نور «فتورزیستور»

#### (Photo Resistor)

مقدار مقاومت تابع نور (LDR) وابسته به شدت نور تابیده شده به آن است. هر قدر شدت نور بیشتر شود، مقدار مقاومت فتورزیستور کاهش می یابد. در شکل ۱۳-۲ شکل ظاهری و علامت اختصاری این مقاومت ها نشان داده شده است.

اگر سر وسط پتانسیومتر بین A و B حرکت کند، ولتاژ خروجی بین صفر تا یک ولت تغییر می کند. روش دیگر اتصال مقاومت متغیر به مدار، اتصال به صورت رئوستا است. در حالت رئوستایی جریان مدار قابل تنظیم است. در این حالت تنها از دو پایه مقاومت متغیر استفاده می شود، شکل ۱۰-۲.



شکل ۱۰-۲ اتصال مقاومت متغیر به صورت رئوستا

هر گاه از یک پایه ثابت و پایه متغیر مقاومت متغیر استفاده شود، در اصطلاح گفته می شود که مقاومت متغیر در حالت رئوستایی قرار گرفته است.

### ۳-۱-۲ مقاومت وابسته به حرارت «ترمیسور»

#### (Thermistor – Thermally sensitive Resistor)

این مقاومت ها تابع حرارت هستند و تغییرات دما روی مقدار مقاومت آن ها اثر می گذارد.

ترمیسورها در دو نوع:

NTC (Negative Temperature Coefficient) و

PTC (Positive Temperature Coefficient) وجود دارند.

### • مقاومت حرارتی NTC: NTC ترمیستوری است

که در اثر افزایش دما، مقدار مقاومت آن کاهش می یابد. در شکل ۱۱-۲ چند نمونه مقاومت NTC و علامت اختصاری آن را مشاهده می کنید.

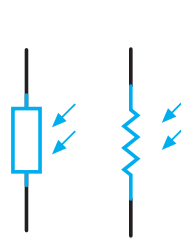
می‌نامند. تئولرانس قابل قبول در مقاومت به نوع کاربرد مقاومت‌ها در مدارهای الکتریکی یا الکترونیکی بستگی دارد. مقاومت‌ها را در عمل با تئولرانس‌های ۱۰٪ و ۵٪ می‌سازند. برای دستگاه‌های اندازه‌گیری حساس، مقاومت‌هایی با تئولرانس ۲/۵٪، ۱٪ و ۰/۵٪ نیز وجود دارد. یک مقاومت ۱۰Ω با تئولرانس ۱۰٪ مقاومتی بین ۹Ω تا ۱۱Ω دارد. اگر فرض کنیم که در مدارهای الکترونیکی تئولرانس ۲۰٪ (درصد خطا) قابل قبول است و ما نیاز به یک مقاومت ۹/۵Ω داشته باشیم، می‌توانیم از یک مقاومت  $10\Omega \pm 10\%$  استفاده کنیم. اگر قرار باشد هر مقاومت با هر مقدار دلخواه که ما نیاز داشته باشیم را بسازند، تعداد مقاومت‌های ساخته شده بی‌نهایت زیاد می‌شوند که در عمل امکان‌پذیر نیست. ولی با پذیرش درصد خطای مجاز معینی، تعداد مقاومت‌ها از نظر مقدار به شدت کاهش می‌یابد. برای مثال اگر تئولرانس ۲۰٪ را بپذیریم، در یک فاصله ده‌تایی (۱Ω تا ۱۰Ω) تعداد مقاومت‌ها به ۶ عدد کاهش می‌یابد. این ۶ مقاومت می‌توانند تمام محدوده یک تا ده اهم را با ۲۰٪ خطا پوشش دهند، (جدول ۲-۱).

جدول ۲-۱

۱	۱/۵	۲/۲	۳/۳	۴/۷	۶/۸
---	-----	-----	-----	-----	-----

در جدول ۲-۱ هر مقاومتی که لازم داشته باشیم را می‌توانیم حداکثر با ۲۰٪ کمتر یا ۲۰٪ بیشتر از یکی از اعداد جدول انتخاب کنیم. به مقاومت‌های جدول ۲-۱ مقاومت‌های سری E۶ می‌گویند. یا به عبارت دیگر در سری مقاومت‌های E۶ تئولرانس مقاومت‌ها ۲۰٪ است.

اگر تئولرانس را ۱۰٪ در نظر بگیریم، تعداد مقاومت‌ها مطابق سطر دوم جدول ۲-۲ در فاصله یک ده‌تایی (۱Ω تا



ب- علامت اختصاری



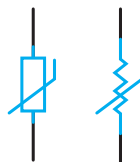
الف- شکل ظاهری

شکل ۱۳-۲ تصویر ظاهری و علامت اختصاری مقاومت LDR

## ۵-۱-۲ مقاومت وابسته به ولتاژ «واریستور»

(Voltage Dependent Resistor)

مقاومت‌های متغیری هستند که مقدار مقاومت آن‌ها، در برابر ولتاژهای مختلف ثابت نیست و تغییر می‌کند. در این مقاومت‌ها که به VDR معروف هستند، هر قدر ولتاژ داده شده بیشتر شود، مقدار مقاومت کاهش می‌یابد، شکل ۱۴-۲.



شکل ۱۴-۲ شکل ظاهری واریستور و نماد آن

## ۲-۲ مشخصه‌های مقاومت

هر مقاومت ثابت یا متغیر، دارای مشخصه‌هایی است که به شرح تعدادی از آن‌ها می‌پردازیم.

### ۱-۲-۲ مقدار مقاومت و تئولرانس

هر مقاومت، دارای یک مقدار ثابت همراه با تئولرانس است. درصد خطایی که مقدار یک مقاومت دارد را تئولرانس

۱۰٪ است. این سری مقاومت‌ها پرکاربردترین مقاومت‌ها در الکترونیک هستند. اگر تolerance را ۵٪ در نظر بگیریم تعداد مقاومت‌ها در فاصله یک ده تایی ( $1\Omega$  تا  $10\Omega$ ) مطابق سطر سوم جدول ۲-۲ برابر با ۲۴ عدد می‌شود. به اعداد سطر سوم جدول ۲-۲ مقاومت‌های سری E۱۲، tolerance به عبارت دیگر در سری مقاومت‌های E۱۲، tolerance

جدول ۲-۲ جدول سری های استاندارد مقاومت

IEC-Series	E6	1.0				1.5				2.2				3.3				4.7				6.8			
	E12	1.0		1.2		1.5		1.8		2.2		2.7		3.3		3.9		4.7		5.8		6.8		8.2	
	E24	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.5	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1

اعداد جدول ۲-۱ و ۲-۲ را اعداد پایه می‌گویند. به جای ممیز نیز به کار می‌رود.

با تقسیم کردن این اعداد بر ۱۰، ۱۰۰ یا ضرب کردن آن‌ها در ۱۰، ۱۰۰، ۱K، ۱۰K، ۱۰۰K و یا ۱M مقاومت‌های جدیدی به دست می‌آید. مثلاً برای عدد ۲/۲ مقاومت‌هایی مانند  $22\Omega$ ،  $220\Omega$ ،  $2.2K$ ،  $22K$ ،  $220K$  و  $2.2M$  ساخته می‌شود.

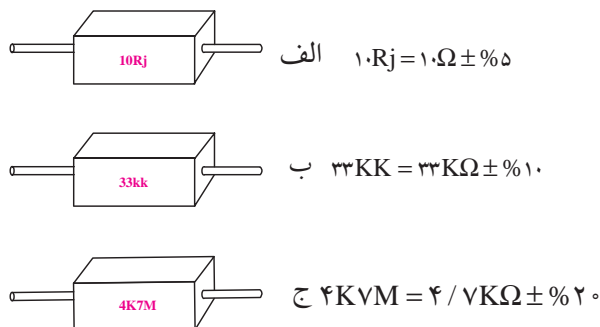
جدول ۲-۳ حروف اختصاری tolerance برای مقاومت‌های سیمی

حروف اختصاری	J	K	M
مقدار tolerance	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$

برای آشنایی بیشتر با این روش به ذکر چند مثال می‌پردازیم.

**مثال ۱:** مقدار مقاومت و tolerance مقاومت‌های نشان داده

شده در شکل ۲-۱۶ چه قدر است؟

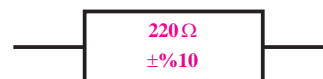


شکل ۲-۱۶ سه نمونه مقاومت

**ج:** مقدار مقاومت و tolerance آن را با استفاده از نوارهای رنگی روی بدنه مقاومت مشخص می‌کنند. نوارهای رنگی

مقدار اهمی و tolerance یک مقاومت را معمولاً به سه صورت مشخص می‌کنند.

**الف:** مقدار مقاومت و tolerance را مستقیماً روی مقاومت می‌نویسند. شکل ۲-۱۵ یک نمونه این نوع مقاومت‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۵ مقدار مقاومت و tolerance آن مستقیماً روی مقاومت نوشته می‌شود.

**ب:** مقدار مقاومت را مستقیماً می‌نویسند و به جای واحد اهم از حرف R و به جای tolerance طبق جدول ۲-۳ از حروف J، K، M استفاده می‌کنند. در ضمن حروف R اهم، K (کیلو اهم) و M (مگا اهم)، علاوه بر نمایش مقدار مقاومت،

### توجه

در مقاومت‌هایی که دارای چهار نوار رنگی هستند:

۱- اگر حلقه‌ی رنگی چهارم وجود نداشته باشد (بدون رنگ)، مقدار تولرانس ۲۰٪ است.

۲- نوار رنگی سیاه به عنوان حلقه‌ی اول و حلقه‌ی چهارم به کار نمی‌رود.



را معمولاً برای مقاومت‌های کوچک که امکان نوشتن و خواندن مقاومت به طور مستقیم بر روی آن وجود ندارد به کار می‌برند. تعداد نوارهای رنگی چهار یا پنج عدد است. در مقاومت‌های با چهار نوار رنگی، مطابق شکل ۱۷-۲، رنگ نوار اول و دوم نماد اعداد صحیح و رنگ نوار سوم نماد ضریب و رنگ نوار چهارم نماد تولرانس مقاومت است. در مقاومت‌های با ۵ نوار رنگی، رنگ نوار اول و دوم و سوم نماد اعداد صحیح، رنگ نوار چهارم نماد ضریب و رنگ نوار پنجم نماد تولرانس است.

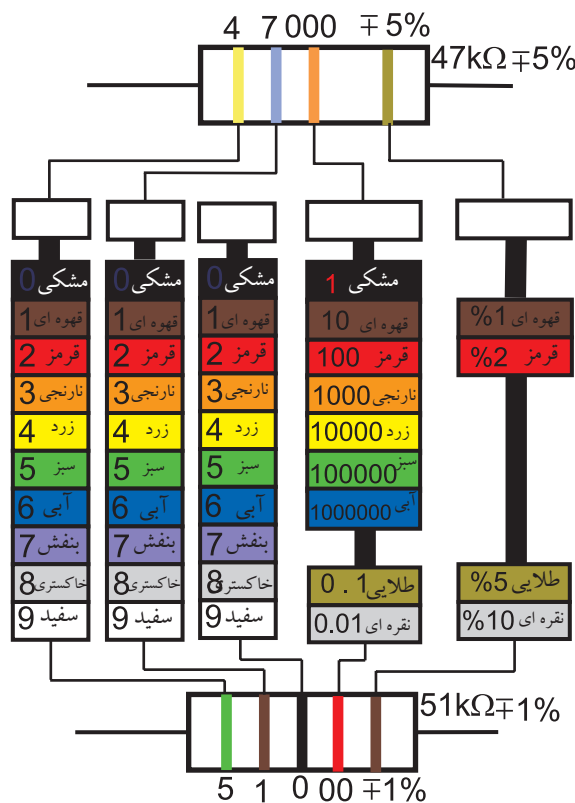
در شکل ۱۷-۲ چگونگی خواندن مقاومت‌های با چهار نوار رنگی و پنج نوار رنگی نشان داده شده است.

### توجه

در مقاومت‌هایی که دارای پنج نوار رنگی هستند:

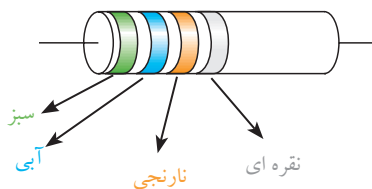
۱- اگر حلقه‌ی رنگی پنجم وجود نداشته باشد (بدون رنگ)، مقدار تولرانس ۲۰٪ است.

۲- نوار رنگی سیاه به عنوان حلقه‌ی اول و حلقه‌ی پنجم به کار نمی‌رود.



برای آشنایی بیشتر با روش خواندن کد رنگی مقاومت‌ها به ذکر چند مثال می‌پردازیم.

**مثال ۲:** در شکل ۱۸-۲ مقدار مقاومت و تولرانس آن چقدر است؟



شکل ۱۸-۲

شکل ۱۷-۲ تعیین مقدار و تولرانس مقاومت‌ها با کد ۴ نوار رنگی و ۵ نوار رنگی

حل:

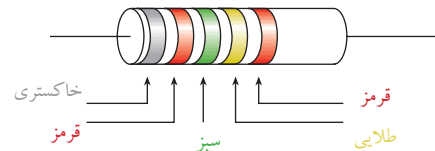
نقره ای - نارنجی - آبی - سبز

$$R = 5 \ 6 \ 000 \ \Omega \pm 10\%$$

$$R = 56000 \ \Omega \pm 10\%$$

مثال ۳: در شکل ۱۹-۲ مقدار مقاومت اهمی و تولرانس

آن چقدر است؟



شکل ۱۹-۲

حل:

قرمز - طلایی - سبز - قرمز - خاکستری

$$R = 8 \ 2 \ 500 \ \Omega \pm 2\%$$

$$R = 825 \times 10^3 = 825 \ \text{k}\Omega \pm 2\%$$

### ۲-۲-۲ توان مجاز مقاومت

وقتی از یک مقاومت جریانی عبور می کند ، مقاومت گرم می شود . به عبارت دیگر مقداری توان در آن تلف می شود. هر مقاومت با توجه به ابعاد فیزیکی خود می تواند توان معینی را تحمل کند. به عبارت دیگر یک مقاومت را برای تحمل توان معینی می سازند. بنابر این توان تلف شده در یک مقاومت نباید از مقدار تعیین شده توسط کارخانه سازنده بیشتر شود. در غیر این صورت ممکن است مقاومت آسیب ببیند. مقاومت ها را با توان های  $(\frac{1}{4} \text{ W})$  ،  $0.25 \text{ W}$  ،  $(\frac{1}{2} \text{ W})$  ،  $0.5 \text{ W}$  ،  $1 \text{ W}$  ،  $2 \text{ W}$  ،  $5 \text{ W}$  و  $10 \text{ W}$  و بالاتر می سازند. ماکزیمم مقدار توان مجاز به عوامل گوناگونی مانند ولتاژ، جریان و دمای محیط بستگی دارد.

### ۲-۲-۳ ضریب حرارتی

آن چه که در مورد مشخصات مقاومت گفته شد، در دمای اتاق صادق است. اما در دماهای کم تر یا بیش تر، معمولاً مقدار مقاومت کلیه اجسام تغییر می کند. تغییر مقاومت بر اثر حرارت اجسام مختلف متفاوت است.

بنابراین باید برای هر جسم ضریبی را تعریف کرد که آن را «ضریب حرارتی» می نامند. تغییرات مقاومت در برابر تغییر یک درجه سانتی گراد را، **ضریب حرارتی** می نامند و آن را با « $\alpha$ » نمایش می دهند.

برای مثال اگر  $\alpha = 0.004$  باشد، یعنی این که مقاومت این جسم در برابر تغییر یک درجه سانتی گراد،  $0.004$  اهم افزایش یا کاهش می یابد.

اگر مقاومت الکتریکی جسمی بر اثر حرارت افزایش یابد، ضریب حرارتی « $\alpha$ » مثبت است. در صورتی که در اثر حرارت مقدار مقاومت کاهش یابد، ضریب حرارتی « $\alpha$ » منفی است.

### ۲-۳ اهم متر

برای اندازه گیری مقاومت اهمی، از دستگاهی به نام اهم متر (مقاومت سنج) استفاده می شود. در شکل ۲۰-۲ یک نمونه اهم متر آزمایشگاهی نشان داده شده است. این نوع اهم مترها، معمولاً در دسترس همگان قرار ندارد و بیش تر به صورت آزمایشگاهی ساخته می شود.

برای اندازه گیری مقاومت با اهم متر، کافی است که ابتدا به کمک سیم رابط، دو پایانه (ترمینال) محل اتصال مقاومت اهمی را به هم اتصال کوتاه کنیم و ولوم تنظیم صفر را طوری تنظیم کنیم که عقربه روی عدد صفر قرار گیرد. سپس سیم های رابط را جدا و مقاومت اهمی را به دو سر آن وصل

اهم‌مترهایی که در دسترس همگان قرار دارد به صورت فقط اهم‌متر نیست بلکه ترکیبی از میلی آمپر متر و ولت متر و اهم متر است. به این دستگاه مولتی متر یا آوومتر می‌گویند. بعضی از مولتی مترها علاوه بر اندازه گیری ولتاژ، جریان و مقاومت اهمی، کمیت‌های دیگری مانند فرکانس و ظرفیت خازن را نیز اندازه می‌گیرند.

در شکل ۲۲-۲ یک نمونه مولتی متر عقربه‌ای نشان داده شده است.



شکل ۲۲-۲ یک نمونه مولتی متر عقربه‌ای (آنالوگ)

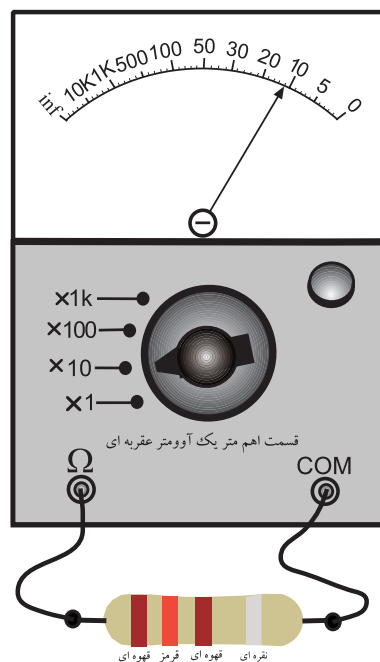
هر مولتی متر دارای تعدادی کلید سلکتور دورانی یا کشویی است. با تنظیم این کلیدها می‌توان از دستگاه به عنوان ولت متر، آمپر متر یا اهم متر مستقل استفاده کرد. برای خواندن مقادیر ولتاژ و جریان می‌توانیم از ضریب ثابت سنجش استفاده کنیم. در شکل ۲۳-۲ یک نمونه مولتی متر عقربه‌ای را مشاهده می‌کنید.

کنیم. عقربه مقداری را نشان می‌دهد، آن مقدار را در عدد کلید رنج حوزه کار ضرب می‌کنیم و مقدار مقاومت را به دست می‌آوریم.



شکل ۲۰-۲ یک نمونه اهم متر آزمایشگاهی

در شکل ۲۱-۲ کلید رنج اهم متر روی  $\times 10$  قرار دارد و عقربه عدد ۱۲ را نشان می‌دهد. بنابراین مقدار مقاومت برابر با  $12 \times 10 = 120 \Omega$  است.



شکل ۲۱-۲ اهم متر مقدار مقاومت را  $120 \Omega$  نشان می‌دهد.



به انتخاب رنج ندارند. برای اندازه گیری ولتاژ، کلید سلکتور اصلی را روی رنج ولتاژ (V) قرار می دهیم و ولتاژ را بدون توجه به مقدار آن به پایانه های مربوط به ولتاژ وصل می کنیم. برای اندازه گیری مقاومت، کلید سلکتور اصلی را روی حوزه کار (رنج) اهم ( $\Omega$ ) قرار می دهیم و پایانه های مولتی متر را به مقاومت اتصال می دهیم. در این حالت، مقاومت همراه با واحد آن روی صفحه نمایش (Display) مولتی متر نشان داده می شود. در شکل ۲۵-۲ یک نمونه دیگر مولتی متر دیجیتالی را مشاهده می کنید.



شکل ۲۵-۲ یک نمونه دیگر از مولتی متر دیجیتالی

### نکته: هنگام اندازه گیری ولتاژ توسط



مولتی متر دیجیتالی باید به مقدار مجاز ولتاژ که توسط کارخانه سازنده داده می شود توجه کنید. مثلاً چنانچه مقدار ماکزیمم قابل اندازه گیری توسط دستگاه ۱۰۰۰ ولت است، نباید آن را به ولتاژ بیش تر از ۱۰۰۰ ولت متصل نمایید.

حفاظت از دستگاه های اندازه گیری و استفاده بهینه از آنها، عامل مؤثر در حفاظت از ثروت ملی است.



شکل ۲۳-۲ یک نمونه مولتی متر عقربه ای (آنالوگ)

نوع دیگری از مولتی مترها که امروزه به فراوانی در دسترس عموم قرار دارد، مولتی متر دیجیتالی است. در مولتی متر دیجیتالی به جای حرکت عقربه، مقادیر به صورت رقم و عدد روی صفحه نمایش نوشته می شود و علاوه بر عدد معمولاً واحد کمیت نیز قابل مشاهده است. در شکل ۲۴-۲ دو نمونه مولتی متر دیجیتالی نشان داده شده است.



شکل ۲۴-۲ دو نمونه مولتی متر دیجیتالی

اکثر مولتی مترهای دیجیتالی دارای حوزه کار (رنج) خودکار اتوماتیک (برای ولتاژ و مقاومت اهمی هستند. به این معنی که برای اندازه گیری ولتاژ یا مقاومت اهمی، نیاز



## ۴-۲ آزمایش شماره (۱)

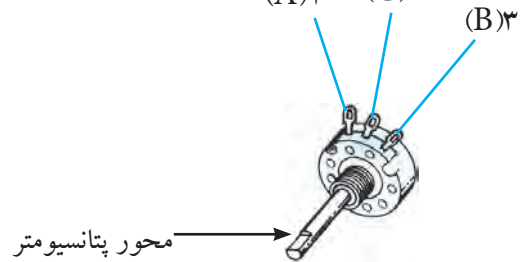
زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

### ۴-۲-۱ هدف آزمایش:

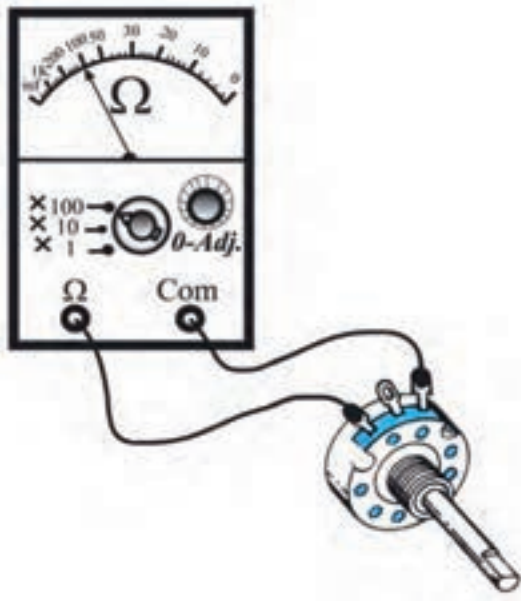
تحلیل عملی رفتار مقاومت‌های متغیر، وابسته به نور و

وابسته به حرارت در فضای آزمایشگاهی

۱(A) ۲(C) ۳(B)



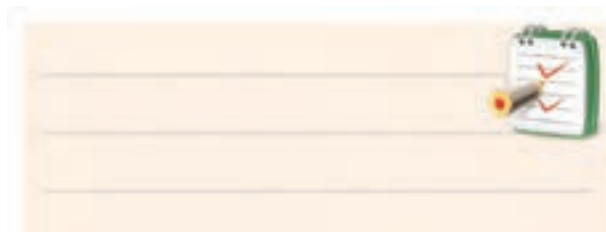
شکل ۲-۲۶ یک نمونه مقاومت متغیر



شکل ۲-۲۷ اندازه‌گیری مقاومت متغیر

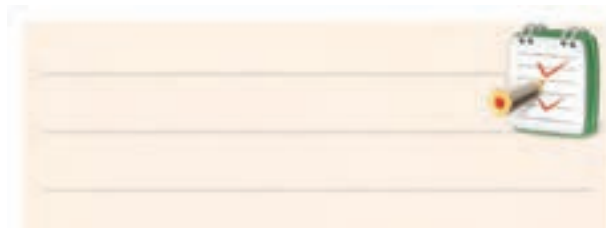
**سوال ۱:** هنگامی که مقاومت بین پایه‌ی ۱ و ۳ را با

اهم‌متر اندازه می‌گیرید، محور مقاومت متغیر را بچرخانید؛ آیا مقاومت اهمی در این حالات تغییر می‌کند؟ چرا؟ توضیح دهید.



■ پایه‌ی ۲ و ۳ مقاومت متغیر را مطابق شکل ۲-۲۸ به اهم

متر وصل کنید. محور مقاومت متغیر را در جهت عقربه‌های ساعت تا آخر بچرخانید. مقاومتی را که اهم‌متر نشان می‌دهد، بخوانید و مقدار آن را یادداشت کنید.



### ۴-۲-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	منبع تغذیه ۰-۱۵ V	یک دستگاه
۲	مولتی‌متر عقربه‌ای یا دیجیتالی	یک دستگاه
۳	هویه قلمی	یک دستگاه
۴	مقاومت متغیر $10k\Omega$	یک عدد
۵	مقاومت وابسته به نور (LDR)	یک عدد
۶	مقاومت وابسته به حرارت (PTC یا NTC)	یک عدد
۷	سیم رابط یک سر گیره دار	شش رشته
۸	سیم رابط تلفنی	دو رشته

### ۴-۲-۳ مراحل اجرای آزمایش:

#### موضوع الف- بررسی تغییرات مقاومت اهمی

##### مقاومت متغیر

وسایل مورد نیاز را آماده کنید.

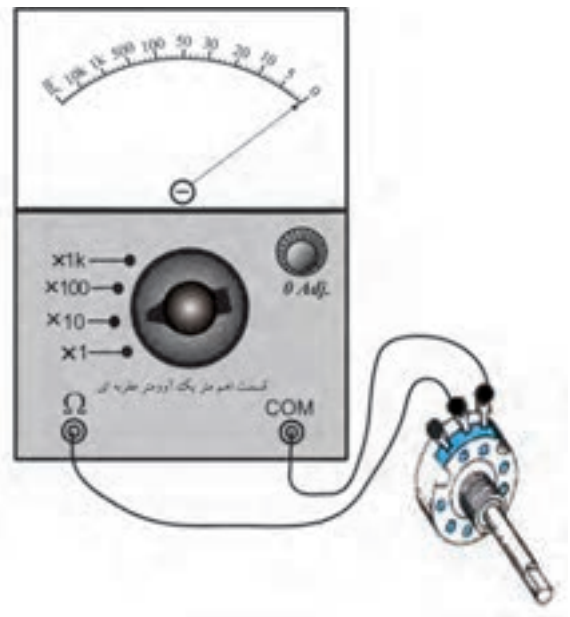
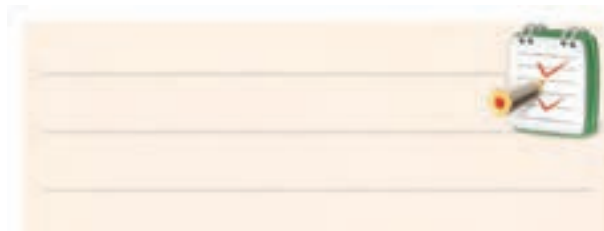
■ مقدار مقاومت بین دو پایه‌ی ۱ و ۳ را مطابق شکل

۲-۲۷ با اهم‌متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$R_{AB} = \dots\dots\dots K\Omega$$

مقاومت بین پایه‌ی ۲ و ۳	$R = \dots\dots\dots \Omega$
هنگامی که محور مقاومت	
متغیر در خلاف جهت	
عقربه‌های ساعت تا آخر چرخیده است.	

**سوال ۲:** آیا مقدار اهمی مقاومت متغیر با تغییر محور مقاومت متغیر در جهت حرکت عقربه‌های ساعت و خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت تفاوت دارد؟ چرا؟ شرح دهید.



شکل ۲۸-۲ اندازه‌گیری مقاومت پایه‌های ۲ و ۳ مقاومت متغیر

مقاومت بین پایه‌ی ۲ و ۳ در	$R = \dots\dots\dots \Omega$
حالتی که محور مقاومت	
متغیر در جهت حرکت	
عقربه‌های ساعت به طور کامل چرخیده است.	

■ محور پتانسیومتر را تقریباً تا وسط بچرخانید و مقدار مقاومتی را که اهم متر نشان می‌دهد، بخوانید و یادداشت کنید.

مقاومت بین پایه‌ی ۲ و ۳ در	$R = \dots\dots\dots \Omega$
حالتی که محور مقاومت	
متغیر تا وسط چرخیده است.	

■ مقاومت متغیر را در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت تا آخر بچرخانید و مقاومتی را که اهم متر نشان می‌دهد بخوانید و یادداشت کنید.

### توجه

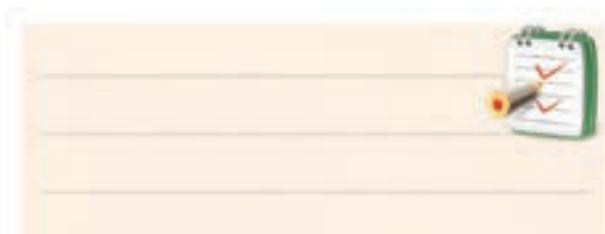
در این آزمایش نوع مقاومت‌های وابسته‌ی VDR، LDR، PTC و NTC تعیین نشده است. نوع قطعات با توجه به امکانات هنرستان و بازار تعیین می‌شود.



## موضوع ب- بررسی اثر تغییرات حرارت روی مقاومت اهمی وابسته به حرارت (PTC یا NTC)

- یک هویه قلمی را در اختیار بگیرید.
- مقاومت آن را در حالی که سرد است با استفاده از اهم‌متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$R = \dots\dots\dots \Omega$  هویه سرد

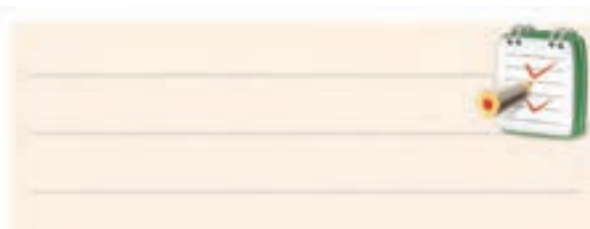


■ هویه را به برق وصل کنید و مدتی صبر کنید تا گرم شود.

■ مقدار مقاومت هویه را در حالت گرم با کمک اهم‌متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$R = \dots\dots\dots \Omega \text{ هویه گرم}$$

**سوال ۳:** مقدار مقاومت‌ها را با هم مقایسه کنید. آیا در اثر گرما مقدار مقاومت زیاد شده است؟ شرح دهید.



■ یک مقاومت NTC را انتخاب کنید.

■ اهم‌متر را به دو سر مقاومت NTC وصل کنید.

■ مقدار مقاومت اهمی NTC سرد را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$R_{NTC} (\text{سرد}) = \dots\dots\dots \Omega$$

■ هویه را به برق وصل کنید و مدتی صبر کنید تا گرم شود.

■ هویه را به مقاومت NTC نزدیک نمایید ولی به آن نچسبانید.

■ با استفاده از اهم‌متر مقدار مقاومت NTC را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$R_{NTC} (\text{گرم}) = \dots\dots\dots \Omega$$

**سوال ۴:** مقادیر مقاومت NTC در دو حالت گرم و سرد را با هم مقایسه کنید و درباره‌ی آن توضیح دهید.

## موضوع ج- اثر تغییر نور روی مقدار اهمی

### مقاومت وابسته به نور (LDR)

■ اهم‌متر را به دو سر یک نمونه مقاومت وابسته به نور (LDR) وصل کنید.

■ مقدار اهمی مقاومت را بخوانید و یادداشت کنید.

$$R_{LDR} = \dots\dots\dots \Omega \text{ در نور زیاد}$$

■ سطح LDR را کمی بپوشانید و مقدار نور تابیده شده به LDR را کاهش دهید.

■ اهم‌متر را مجدداً به دو سر LDR وصل کنید و مقدار مقاومت را بخوانید و یادداشت کنید.

$$R_{LDR} = \dots\dots\dots \Omega \text{ در نور کم}$$

■ سطح LDR را کاملاً بپوشانید.

■ نور تابیده به LDR را کاملاً قطع کنید.

■ مقدار مقاومت LDR را در حالت تاریکی کامل با وصل کردن اهم‌متر به آن بخوانید و یادداشت کنید.

$$R_{LDR} = \dots\dots\dots \Omega \text{ در تاریکی}$$

سوال ۵: مقدار مقاومت LDR با تغییر شرایط نوری چه

تغییری می کند؟ شرح دهید.



## ۵-۲ اتصال مقاومت ها به یکدیگر

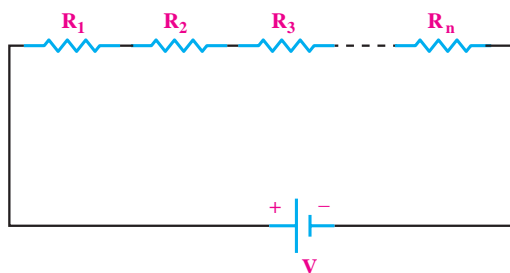
### ۵-۲-۱ سری بستن مقاومت ها:

اگر در یک مدار الکتریکی دو یا چند مصرف کننده به گونه ای به هم بسته شوند که جریان عبوری از هر یک از آنها یکسان باشد، می گوئیم مصرف کننده ها با هم سری بسته شده اند. مصرف کننده ها می توانند مقاومت های مساوی یا غیر مساوی نیز باشند. در شکل ۲۹-۲ دو عدد لامپ با یکدیگر به صورت سری بسته شده اند.



شکل ۲۹-۲ مدار واقعی دو لامپ به صورت سری

در یک مدار سری، مقاومت ها (مصرف کننده ها) طوری به هم متصل می شوند که انتهای مقاومت اول به ابتدای مقاومت دوم و انتهای مقاومت دوم به ابتدای مقاومت سوم وصل می شود و به همین ترتیب تا آخرین مقاومت ادامه می یابد، شکل ۳۰-۲.



شکل ۳۰-۲ نقشه ی فنی مدار سری

### ۴-۴-۲ نتایج آزمایش:

آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته اید به اختصار شرح

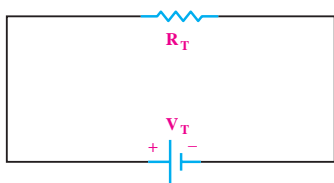
دهید.

الف -

ب -

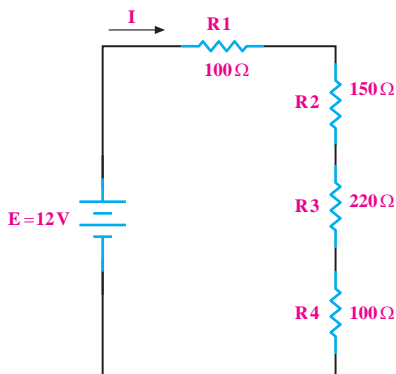
ج -

شکل ۲-۳۳ مدار معادل شکل ۲-۳۲ را نشان می دهد.



شکل ۲-۳۳ مدار معادل شکل ۲-۳۲

مثال ۴: مقاومت معادل در شکل ۲-۳۴ چند اهم است؟



شکل ۲-۳۴

حل:

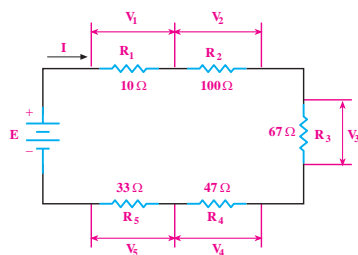
رابطه مقاومت ها را می نویسیم:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

اعداد را جایگزین می کنیم:

$$R_T = 100 + 150 + 220 + 100 \quad R_T = 570 \, \Omega$$

مثال ۵: مقاومت معادل در شکل ۲-۳۵ چند اهم است؟



شکل ۲-۳۵

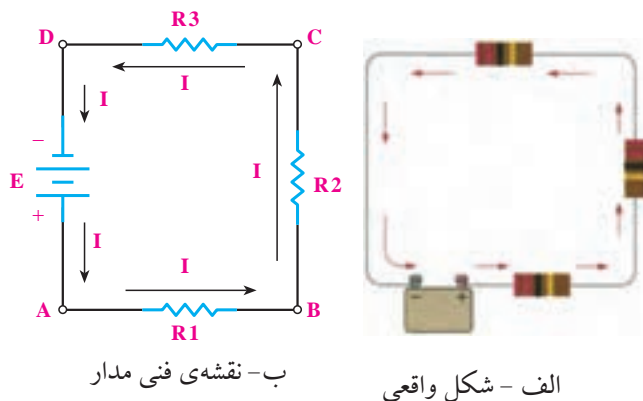
توجه

ابتدا و انتهای مقاومت انتخابی است و توسط ما انتخاب می شود.



در مدار سری فقط یک مسیر برای عبور جریان الکتریکی

وجود دارد، شکل ۲-۳۱.



شکل ۲-۳۱

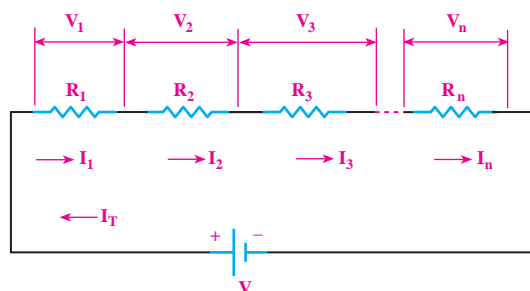
مقاومت معادل در مدار سری:

- مقاومت کل در مدار سری برابر با مجموع مقاومت های

مدار است، شکل ۲-۳۲.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$



شکل ۲-۳۲ جریان ها و ولتاژها در مدار سری

همیشه می توانیم مقاومت معادل  $R_T$  را جایگزین کلیه

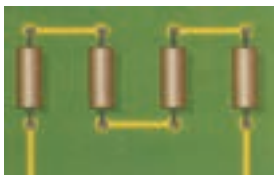
مقاومت های سری موجود در مدار نماییم.

**حل:**

**مثال ۷:** در صورتی که چهار مقاومت ۳۳ اهمی مانند

شکل ۲-۳۸ به هم اتصال یابند، مقاومت معادل مدار چند اهم

است؟



شکل ۲-۳۸ اتصال چهار مقاومت مساوی

به صورت سری روی برد مدار چاپی

**حل:**

با توجه به شکل ۲-۳۸ مدار به صورت سری است

و مقاومت‌ها از نظر مقدار با هم برابر هستند پس می‌توانیم

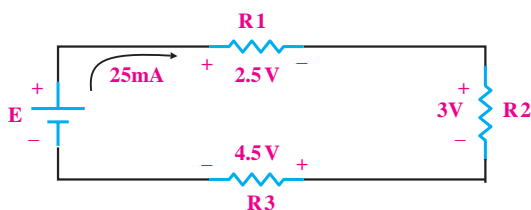
بنویسیم:

$$R_T = n \cdot R$$

$$R_T = 4 \times 33 \Rightarrow R_T = 132 \Omega$$

**مثال ۸:** با توجه به شکل ۲-۳۹ مقدار مقاومت هر یک از

مقاومت‌های  $R_1$ ،  $R_2$ ،  $R_3$  را حساب کنید.



شکل ۲-۳۹ محاسبه مقادیر مجهول در مدار سری و تحقیق قانون اهم

**حل:**

در این مدار، جریان کل و ولتاژ دو سر هریک از

مقاومت‌ها را داریم. با استفاده از قانون اهم، مقدار هر مقاومت

را محاسبه می‌کنیم.

رابطه‌ی مقاومت معادل در مدار سری را می‌نویسیم:

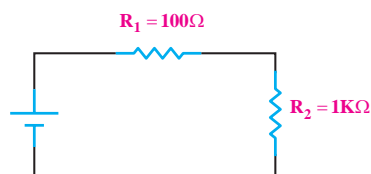
$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

اعداد را جایگزین می‌کنیم:

$$R_T = 10 + 100 + 67 + 47 + 33 \quad R_T = 257 \Omega$$

**مثال ۶:** مقاومت معادل دو مقاومت سری شکل ۲-۳۶

چند اهم است؟



شکل ۲-۳۶

**حل:**

$$R_T = R_1 + R_2$$

$$R_T = 100(\Omega) + (1 \times 1000)(\Omega) \Rightarrow R_T = 1100 \Omega$$

**نکته:** هرگاه چند مقاومت مساوی به صورت

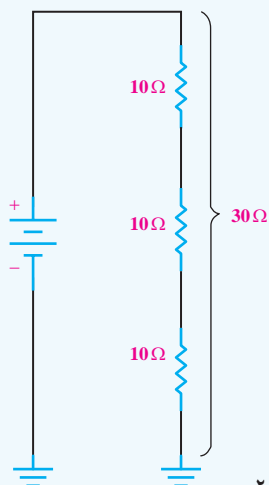


سری به یکدیگر اتصال یابند، مقدار مقاومت معادل از

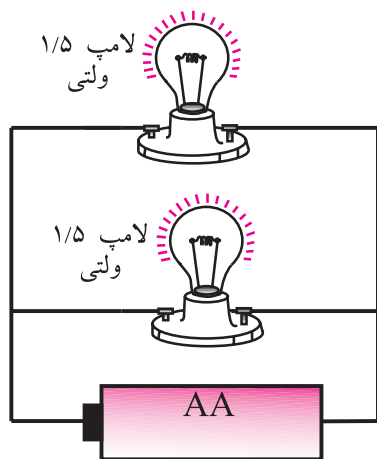
حاصل ضرب تعداد مقاومت‌ها در مقدار یک مقاومت به

دست می‌آید، شکل ۲-۳۷.

$$R_1 = R_2 = R_3 = R \Rightarrow R_T = n \cdot R$$

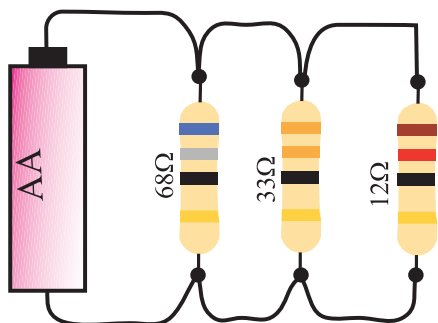


شکل ۲-۳۷

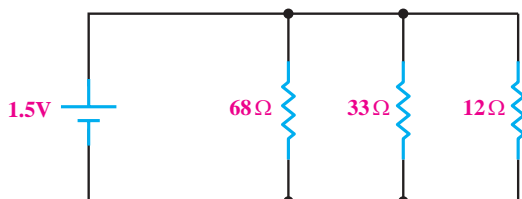


شکل ۲-۴۱ مدار موازی

شکل ۲-۴۲، سه عدد مقاومت را که به صورت موازی بسته شده اند نشان می‌دهد. برای بیان محاسبات مدار، به جای استفاده از تصاویر واقعی از نقشه‌ی فنی استفاده می‌کنند. در نقشه‌ی فنی به جای هر قطعه، از علامت قرار دادی یا نماد آن قطعه استفاده می‌کنند. در شکل ۲-۴۳ نقشه‌ی فنی مدار شکل ۲-۴۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۴۲ سه عدد مقاومت با یکدیگر موازی شده‌اند



شکل ۲-۴۳ نقشه‌ی فنی مدار شکل ۲-۴۲

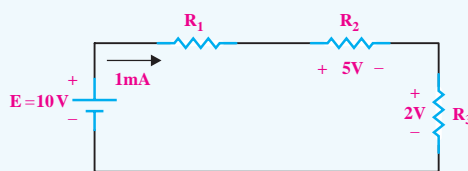
$$R_1 = \frac{V_1}{I} = \frac{2.5V}{25mA} \Rightarrow R_1 = 100\Omega$$

$$R_r = \frac{V_r}{I} = \frac{3V}{25mA} \Rightarrow R_r = 120\Omega$$

$$R_r = \frac{V_r}{I} = \frac{4.5V}{25mA} \Rightarrow R_r = 180\Omega$$

**تمرین کلاسی ۱:** مقدار مقاومت هر یک

از مقاومت‌های  $R_1$ ،  $R_r$ ،  $R_r$  را در شکل ۲-۴۰ به دست آورید.



شکل ۲-۴۰

## ۲-۵-۲ موازی بستن مقاومت‌ها

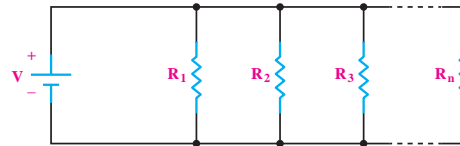
### تعریف مدار موازی

اگر در یک مدار الکتریکی، دو یا چند مصرف کننده طوری به هم متصل شوند که ولتاژ دو سر آن‌ها با هم برابر باشد، می‌گوییم مصرف کننده‌ها با هم به صورت موازی بسته شده‌اند. شکل ۲-۴۱ دو عدد لامپ ۱/۵ ولتی را نشان می‌دهد که با یکدیگر موازی بسته شده‌اند.



## مقاومت معادل در یک مدار موازی

برای محاسبه مقاومت معادل در مدار موازی نشان داده شده در شکل ۲-۴۴ از رابطه‌ی  $R_T$  که در زیر آمده است، استفاده می‌کنیم.

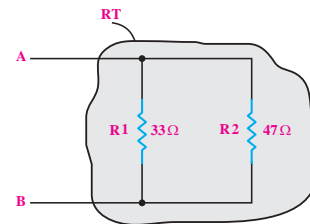


شکل ۲-۴۴ بررسی معادل در مدار موازی

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

## مثال ۹: مقاومت معادل $R_T$ را در مدار شکل ۲-۴۵

به دست آورید.



شکل ۲-۴۵

حل:

رابطه‌ی مقاومت معادل موازی را می‌نویسیم:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

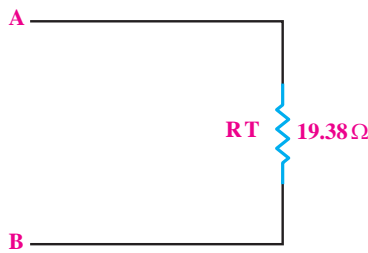
اعداد را جایگزین می‌کنیم و مقدار  $R_T$  را به دست

می‌آوریم:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{33} + \frac{1}{47} = \frac{47 + 33}{33 \times 47} = \frac{80}{1551}$$

$$R_T = \frac{1551}{80} = 19.38 \Omega$$

در شکل ۲-۴۶ مقاومت معادل  $R_T$  و  $R_p$  آمده است.

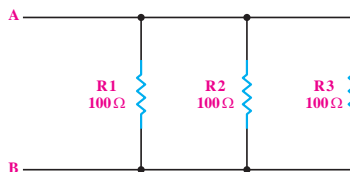


شکل ۲-۴۶

مقاومت‌های موازی را با «||» نشان می‌دهند، مثلاً مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  که موازی هستند را به صورت  $R_1 || R_2$  می‌نویسند.

## مثال ۱۰: مقاومت کل $R_T$ را از دو نقطه‌ی A و B در

مدار شکل ۲-۴۷ به دست آورید.



شکل ۲-۴۷

حل:

رابطه‌ی مقاومت معادل در مدار موازی را می‌نویسیم:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

اعداد را جایگزین می‌کنیم و مقدار  $R_T$  را به دست

می‌آوریم:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{100} + \frac{1}{100} + \frac{1}{100} = \frac{1+1+1}{100} = \frac{3}{100}$$

$$R_T = \frac{100}{3} = 33.33 \Omega$$

### توجه

اگر در مدار موازی، فقط دو عدد مقاومت اهمی وجود داشته باشد، برای به دست آوردن مقاومت معادل آن، از رابطه‌ی زیر نیز می‌توانیم استفاده کنیم.

$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$



### توجه

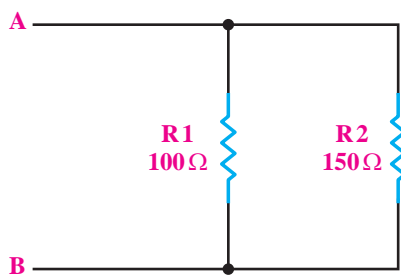
اگر  $n$  مقاومت مساوی با یکدیگر به صورت موازی بسته شده باشند، برای به دست آوردن مقاومت معادل  $R_T$ ، مقدار یک مقاومت را به  $n$  تقسیم می‌کنیم.

$$R_T = \frac{R}{n}$$



**مثال ۱۲:** مقاومت معادل  $R_T$  را در مدار شکل ۲-۴۹

به دست آورید.



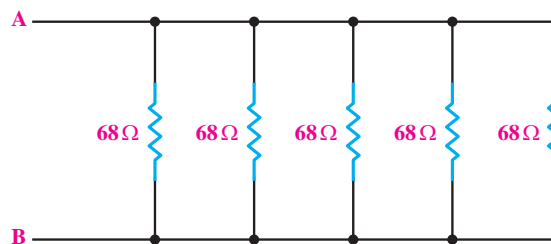
شکل ۲-۴۹

**حل:**

$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 \times 150}{100 + 150} = \frac{15000}{250} = 60 \Omega$$

**مثال ۱۱:** در شکل ۲-۴۸، پنج عدد مقاومت  $68 \Omega$  با

یکدیگر به صورت موازی بسته شده‌اند. مقاومت معادل را در این مدار به دست آورید.



شکل ۲-۴۸

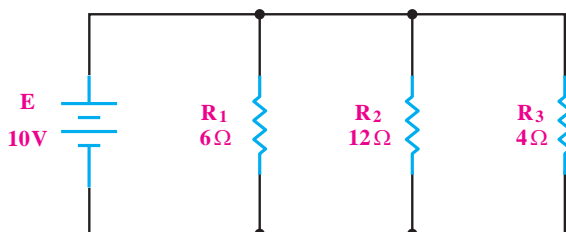
**حل:**

$$R_T = \frac{R}{n} = \frac{68}{5} = 13 \frac{4}{5} \Omega$$

$$R_T = 13 \frac{4}{5} \Omega$$

**مثال ۱۳:** مقاومت معادل را در مدار شکل ۲-۵۰ به

دست آورید.



شکل ۲-۵۰

حل:

مقاومت‌ها موازی هستند، رابطه‌ی مقاومت معادل در مدار موازی را می‌نویسیم:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

اعداد را جایگزین می‌کنیم و مقدار  $R_T$  را به دست می‌آوریم:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} + \frac{1}{4} = \frac{2+1+3}{12} = \frac{6}{12}$$

$$R_T = \frac{12}{6} = 2\Omega$$



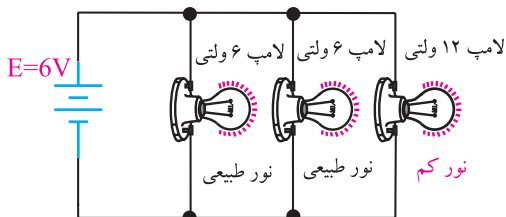
**تحقیق کنید:** اتصال مصرف‌کننده‌ها به برق در سیم‌کشی داخل خانه، سری است یا موازی؟ با ذکر دلیل نتایج را به کلاس ارائه دهید.

### ۳-۵-۲ به هم بستن مقاومت‌ها به صورت ترکیبی «سری-موازی»

#### تعریف مدار سری-موازی

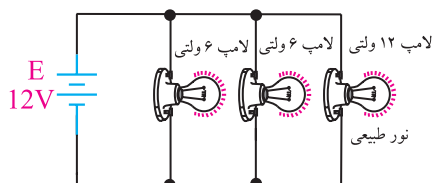
فرض کنید دو عدد لامپ ۶ ولتی یک وات و یک عدد لامپ ۱۲ ولتی یک وات داریم، می‌خواهیم هر سه لامپ را با یک منبع تغذیه روشن کنیم. حالات زیر اتفاق می‌افتد:

- هر سه لامپ را به صورت موازی ببندیم و به منبع ۶ ولت وصل کنیم. در این صورت لامپ‌های ۶ ولتی نور طبیعی دارند ولی لامپ ۱۲ ولت، نور طبیعی ندارد زیرا ولتاژ تغذیه‌ی آن کم‌تر از ۱۲ ولت است، شکل ۵۲-۲.



شکل ۵۲-۲ نور لامپ ۱۲ ولتی کم است

- هر سه لامپ را به صورت موازی ببندیم و به منبع ۱۲ ولت وصل کنیم. در این صورت لامپ ۱۲ ولتی دارای نور طبیعی است، ولی لامپ‌های ۶ ولتی هر دو می‌سوزند. زیرا به دو سر آنها ولتاژ ۱۲ ولت، بیش‌تر از ولتاژ تغذیه وصل شده است، شکل ۵۳-۲.

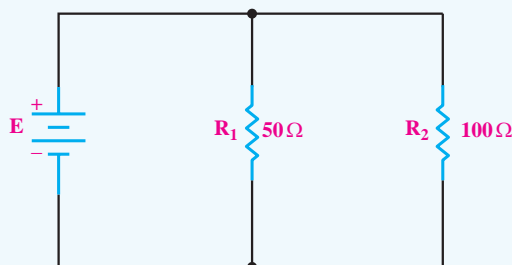


شکل ۵۳-۲ در این مدار لامپ‌های ۶ ولتی می‌سوزند.



#### تمرین کلاسی ۲: مقدار مقاومت معادل

را در شکل ۵۱-۲ به دست آورید.



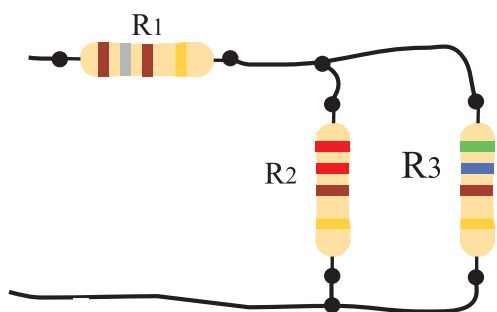
شکل ۵۱-۲



#### نکته: مقدار مقاومت معادل هر مدار موازی

از کوچک‌ترین مقاومت موجود در مدار، کوچک‌تر است.





شکل ۲-۵۵ یک نمونه مدار مقاومتی سری- موازی

برای محاسبه مقاومت معادل این گونه مدارها به ترتیب زیر عمل می کنیم:

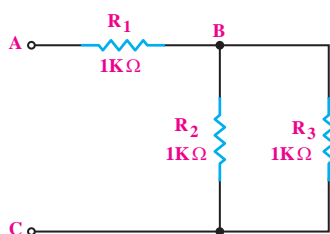
۱- برای ساده کردن مدار از قسمتی شروع می کنیم که منبع تغذیه وجود ندارد یا نقاط باز مشخص شده در مدار هستند.

۲- ابتدا مقاومت هایی که به صورت سری یا موازی بسته شده اند و در یک مجموعه قرار دارند را باید با هم ترکیب و ساده کنیم.

۳- برای محاسبه  $R_T$  (مجموع = Total) یا  $R_{eq}$  (معادل = equivalent) در هر قسمت، از روابط مقاومت معادل در مدارهای سری و موازی استفاده می کنیم.

۴- بهتر است از نقطه ای شروع کنیم که مدار به تدریج ساده شود و به یک مقاومت معادل برسیم. برای این منظور لازم است قبل از شروع کار، مدار را به طور دقیق بررسی کنیم.

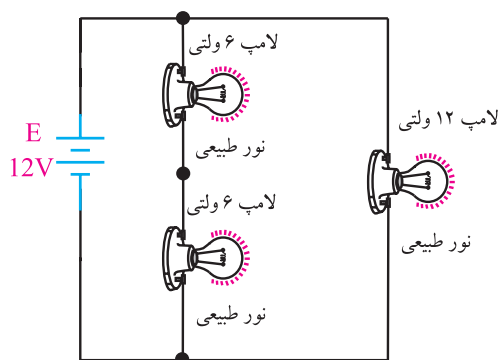
**مثال ۱۴:** مقاومت معادل مدار شکل ۲-۵۶ را به دست آورید.



شکل ۲-۵۶

- دو لامپ ۶ ولتی یک وات را با یکدیگر سری می کنیم و به ولتاژ ۱۲ ولت اتصال می دهیم. در این صورت به هر لامپ ۶ ولتی، ولتاژی برابر با ۶ ولت می رسد و لامپ ها با نور طبیعی خود کار می کنند.

لامپ ۱۲ ولتی را نیز مطابق شکل ۲-۵۴ به مجموعه اضافه می کنیم. در این مدار، لامپ ۱۲ ولت نیز با نور طبیعی خود کار خواهد کرد.



شکل ۲-۵۴ هر سه لامپ نور طبیعی دارند.

به مدار الکتریکی شکل ۲-۵۴ مدار «سری- موازی» می گویند. همان طور که مشاهده می کنید در مدارهای سری- موازی تعدادی از عناصر با یکدیگر سری و تعدادی دیگر با هم موازی یا با مجموعه های سری عناصر، موازی می شوند.

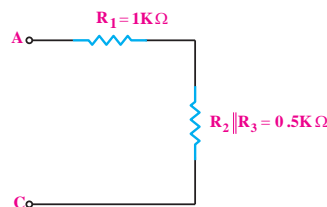
در شکل ۲-۵۵ مقاومت های  $R_p$ ، با یکدیگر موازی هستند و مجموعه این مقاومت ها با  $R_s$  به صورت سری بسته شده است. برای تحلیل مقاومت ها «سری- موازی» معمولاً باید مدار را به صورت سری یا موازی درآورد. در مدارهای ترکیبی «سری- موازی» قسمت هایی از مدار که به صورت سری بسته شده اند تمام ویژگی های مدار سری را دارند و قسمت هایی از مدار که به صورت موازی است، تمام خواص مدار موازی را دارد.

حل:

چون مقاومت‌های  $R_p$ ،  $R_p$  موازی هستند و منبع تغذیه‌ای به آن وصل نیست و در انتهای مدار قرار دارند از این مقاومت‌ها شروع می‌کنیم:

$$R_p \parallel R_p = \frac{R_p \times R_p}{R_p + R_p} = \frac{1 \times 1}{1 + 1} = \frac{1}{2} = 0.5 \text{ k}\Omega$$

حال مدار ساده‌تر شده را رسم می‌کنیم و به جای دو مقاومت  $R_p$ ،  $R_p$  مقاومت معادل موازی آن یعنی  $R_p \parallel R_p$  را می‌گذاریم، شکل ۲-۵۷.



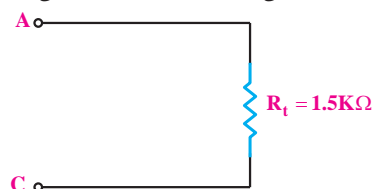
شکل ۲-۵۷

در مدار شکل ۲-۵۷ مقاومت ۰/۵ کیلو اهم و  $R_1$  با هم سری هستند. مقاومت معادل  $R_T$  را به دست می‌آوریم.

$$R_T = R_1 + (R_p \parallel R_p)$$

$$R_T = 1 + 0.5 \Rightarrow R_T = 1.5 \text{ k}\Omega$$

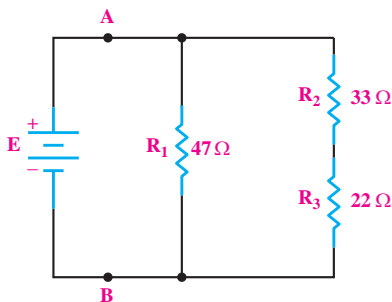
مدار معادل شکل ۲-۵۷ به صورت شکل ۲-۵۸ در می‌آید:



شکل ۲-۵۸

مثال ۱۵: مقاومت معادل از دو نقطه A و B در مدار

شکل ۲-۵۹ را به دست آورید.



شکل ۲-۵۹

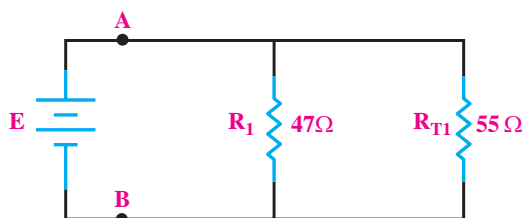
حل:

چون دو مقاومت  $R_p$ ،  $R_p$  به صورت مستقل با هم سری بسته شده‌اند و در بیرونی‌ترین نقطه مدار قرار دارند از آن‌ها شروع می‌کنیم.

ابتدا دو مقاومت  $R_p$ ،  $R_p$  را تبدیل به یک مقاومت معادل  $R_{p,p}$  (می‌خوانیم آر دو و سه) می‌کنیم:

$$R_{p,p} = R_p + R_p = 33 + 22 = 55 \Omega$$

مدار ساده شده را ترسیم می‌کنیم:

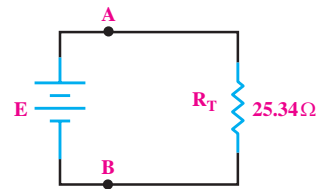


شکل ۲-۶۰

با توجه به شکل ۲-۶۰ مقاومت معادل  $R_{p,p}$  با مقاومت  $R_1$  به صورت موازی قرار دارند. مقاومت معادل را به دست می‌آوریم:

$$R_T = R_1 \parallel R_{p,p} = \frac{R_1 \times R_{p,p}}{R_1 + R_{p,p}} = \frac{47 \times 55}{47 + 55} = 25.34 \Omega$$

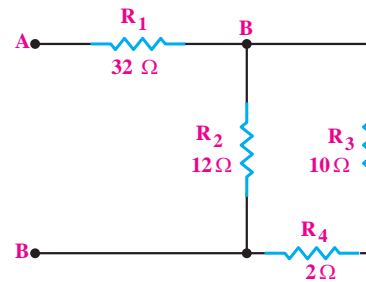
مدار شکل ۲-۵۹ به صورت شکل ۲-۶۱ درمی آید:



شکل ۲-۶۱

**مثال ۱۶:** مقدار مقاومت معادل شکل ۲-۶۲ را به

دست آورید.

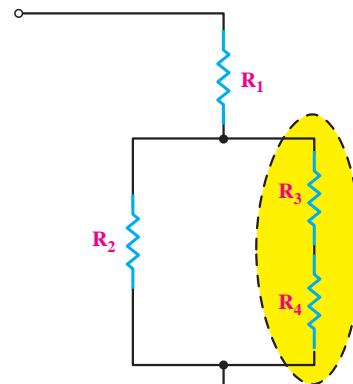


شکل ۲-۶۲

**حل:**

ابتدا مدار را به صورت شکل ساده شده ۲-۶۳

درمی آوریم و معادل دو مقاومت سری شده  $R_p$  و  $R_f$  را محاسبه می کنیم.



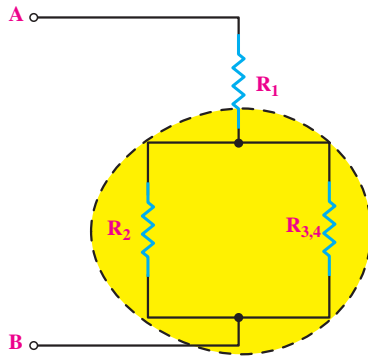
شکل ۲-۶۳

$$R_{p,f} = R_p + R_f = 10 + 2 = 12 \Omega$$

به جای دو مقاومت  $R_p$  و  $R_f$  مقدار معادل آن‌ها را که

$R_{p,f}$  (می خوانیم آر سه و چهار) می باشد، قرار می دهیم و به

شکل ۲-۶۴ می رسمیم:

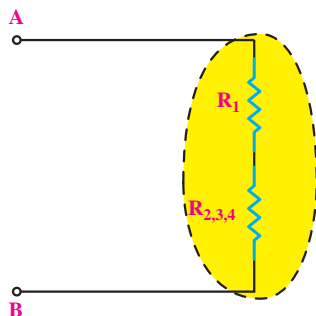


شکل ۲-۶۴

مقاومت معادل مقاومت‌های  $R_p$  و  $R_{p,f}$  را که به صورت موازی هستند و مقدار آن‌ها نیز مساوی است، به دست می آوریم. این مقاومت‌ها را  $R_{p,p,f}$  (می خوانیم آر ۲ و ۳ و ۴) می نامیم:

$$R_{p,p,f} = R_p \parallel R_{p,f} = \frac{12}{2} = 6 \Omega$$

با قرار دادن  $R_{p,p,f}$  به جای مقاومت  $R_p$  و  $R_{p,f}$  به شکل ۲-۶۵ خواهیم رسید:

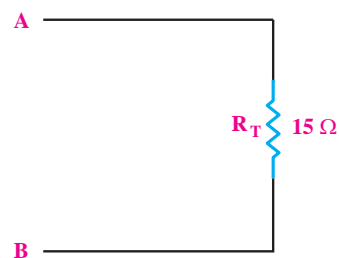


شکل ۲-۶۵

چون مقاومت معادل به دست آمده در مرحله ی قبل  $R_{p,p,f}$  با مقاومت  $R_1$  به صورت سری بسته شده است، مقاومت معادل  $R_T$  از مجموع آن‌ها به دست می آید.

$$R_T = R_1 + R_{p,p,f} = 3 + 12 = 15 \Omega$$

مقاومت به دست آمده برابر با مقاومت کل مدار است و مدار معادل شکل ۲-۶۲ به صورت شکل ۲-۶۶ در می آید:

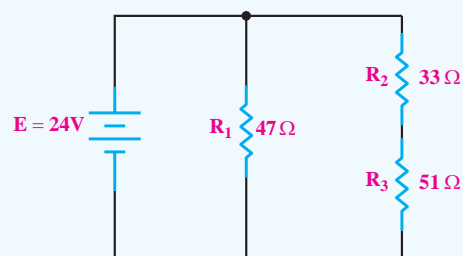


شکل ۲-۶۶

تمرین کلاسی ۳: مقاومت معادل مدار



شکل ۲-۶۷ را به دست آورید.



شکل ۲-۶۷





## ۶-۲ آزمایش شماره (۲)

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

### ۶-۲-۱ هدف آزمایش:

اندازه گیری مقاومت ها به صورت سری و موازی.

### ۶-۲-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و موارد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات تجهیزات (برای هر گروه کلاسی)	تعداد / مقدار
۱	مولتی متر عقربه ای یا دیجیتالی	یک دستگاه
۲	بردبرد	یک قطعه
۳	مقاومت یک کیلو اهم یک وات	پنج عدد
۴	مقاومت $180\Omega$ - $0.5$ وات	یک عدد
۵	مقاومت $560\Omega$ - $0.5$ وات	یک عدد
۶	سیم های رابط معمولی (تلفنی)	به مقدار کافی
۷	سیم های دو سرگیره سوسماری	به مقدار کافی

### ۶-۲-۳ مراحل اجرای آزمایش:

#### الف - به دست آوردن مقاومت معادل در یک مدار سری

■ مقدار و درصد خطای مقاومت های  $180\Omega$  و  $560\Omega$  و

$1K\Omega$  را با توجه به نوارهای رنگی بخوانید و در جدول ۴-۲

بنویسید.

■ اگر نوع مولتی متر شما عقربه ای (آنالوگ) است، قبل

از هر اندازه گیری ابتدا صفر آن را تنظیم کنید.

■ به کمک مولتی متر مقدار دقیق مقاومت های  $180\Omega$  و

$560\Omega$  و  $1K\Omega$  را اندازه بگیرید. مقاومت  $180$  اهم را با  $R_1$  و

مقاومت  $560\Omega$  را با  $R_2$  و مقاومت  $1K\Omega$  را با  $R_3$  نام گذاری

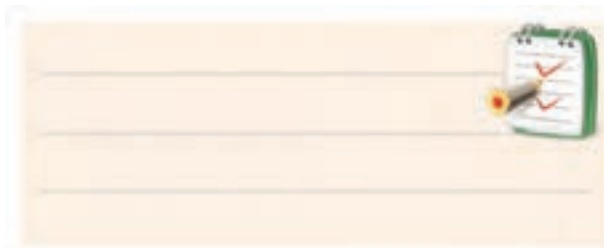
و در جدول ۴-۲ یادداشت کنید.

جدول ۴-۲

مقدار اندازه گیری شده	مقدار اهم و تolerانس خوانده شود	نوارهای رنگی	مقاومت
			$R_1$
			$R_2$
			$R_3$

**سؤال ۶:** آیا مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر خوانده شده

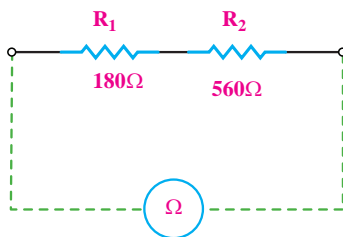
انطباق دارد؟ شرح دهید.



■ مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  را به صورت سری ببندید و

سپس مقاومت اهمی مجموعه سری را به کمک اهم متر مطابق

شکل ۶۸-۲ اندازه گرفته و یادداشت کنید.



شکل ۶۸-۲

$$R_T = \dots\dots\dots \Omega$$

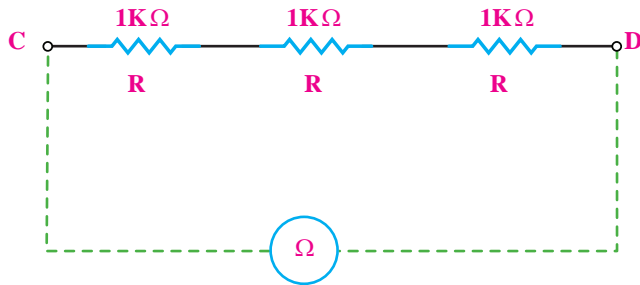
**سؤال ۷:** آیا  $R_T$  اندازه گیری شده به کمک اهم متر با

$R_T = R_1 + R_2$  که از طریق محاسبه به دست می آید یکی

است؟ توضیح دهید.

$$R_T = R_1 + R_2 = \dots\dots\dots \Omega \text{ محاسبه}$$

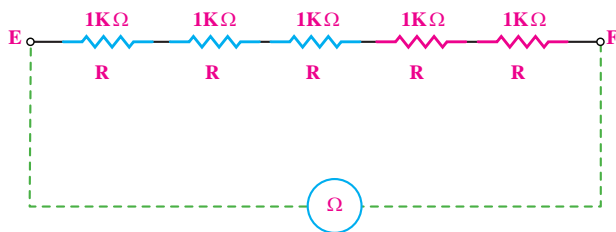
سری اتصال دهید و توسط مولتی متر مقاومت معادل بین دو نقطه C و D را اندازه گیری و یادداشت کنید.



شکل ۲-۷۰

$$R_T = R_{CD} = \dots\dots\dots \Omega$$

■ دو مقاومت یک کیلو اهم دیگر را مطابق شکل ۲-۷۱ به صورت سری به مدار قبل اضافه کنید.

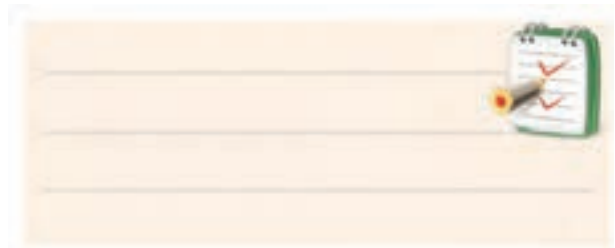
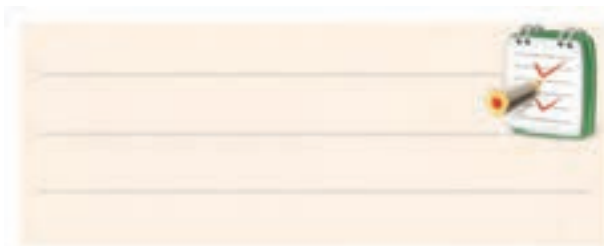


شکل ۲-۷۱

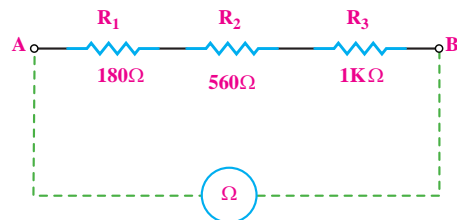
■ با استفاده از مولتی متر، مقاومت معادل بین دو نقطه E و F را اندازه گیری و یادداشت کنید.

$$R_T = R_{EF} = \dots\dots\dots K\Omega$$

**سؤال ۹:** آیا می توان نتیجه گرفت که اگر مقدار مقاومت های سری مساوی باشند، مقاومت معادل از رابطه  $R_T = n.R$  قابل محاسبه است؟



■ یک مقاومت یک کیلو اهم را مطابق شکل ۲-۶۹ به مدار سری اضافه کنید.



شکل ۲-۶۹

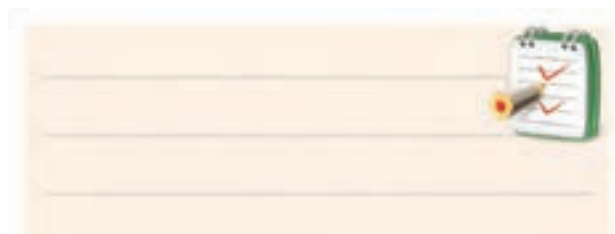
■ مقدار  $R_T$  در مدار شکل ۲-۶۹ را با استفاده از رابطه  $R_T = R_1 + R_2 + R_3$  به دست آورید و یادداشت کنید.

$$R_T = \dots\dots\dots \Omega$$

■ حوزه کار مولتی متر را روی  $1K\Omega \times R$  قرار دهید.  
■ مقاومت بین دو نقطه A و B در شکل ۲-۶۹ را اندازه گیری و یادداشت کنید.

$$R_T = \dots\dots\dots \Omega \text{ اندازه گیری}$$

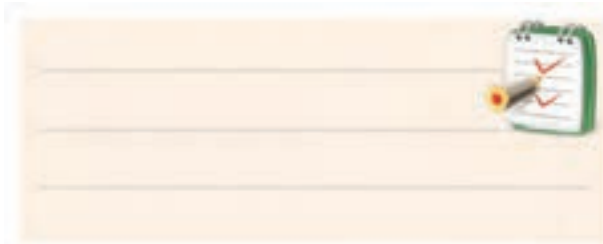
**سؤال ۸:** آیا  $R_T$  اندازه گیری شده به کمک مولتی متر با  $R_T$  به دست آمده از طریق محاسبه برابر است؟ توضیح دهید.



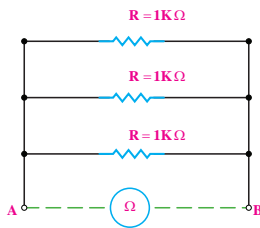
■ سه مقاومت  $1K\Omega$  را مطابق شکل ۲-۷۰ به صورت

$$R_T = \dots\dots\dots \Omega$$

**سوال ۱۰:** آیا  $R_T$  اندازه گیری شده به کمک مولتی متر با  $R_T$  محاسبه شده یکی است؟ توضیح دهید.



■ سه مقاومت  $1K\Omega$  را مطابق شکل ۲-۷۴ و به صورت موازی اتصال دهید.



شکل ۲-۷۴

■ مقاومت معادل را از رابطه‌ی  $R_T = \frac{R}{n}$  به دست آورید.

$$R_T = \dots\dots\dots K\Omega$$

■ با توجه به مقدار مقاومت بدست آمده، رنج مناسبی برای مولتی متر انتخاب کنید.

■ مقاومت معادل بین دو نقطه‌ی A و B را با استفاده از مولتی متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

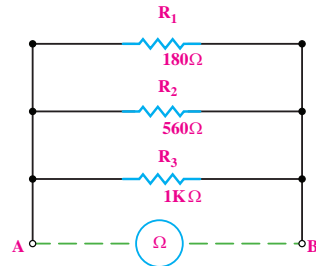
$$R_T = \dots\dots\dots K\Omega$$

**سوال ۱۱:** آیا مقادیر به دست آمده از طریق محاسبه با مقادیر اندازه گیری شده انطباق دارد؟ توضیح دهید.

**موضوع ب- به دست آوردن مقاومت معادل در یک مدار موازی.**

■ قبل از هر اندازه گیری، صفر اهم متر عقربه‌ای را تنظیم کنید.

■ مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  را مطابق شکل ۲-۷۲ به صورت موازی روی بردبرد ببندید.



شکل ۲-۷۲

■ مقاومت معادل شکل ۲-۷۲ را از رابطه‌ی:

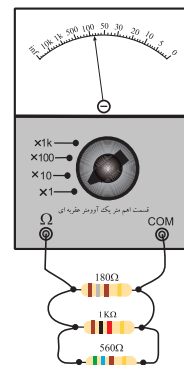
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

به دست آورید و یادداشت کنید.

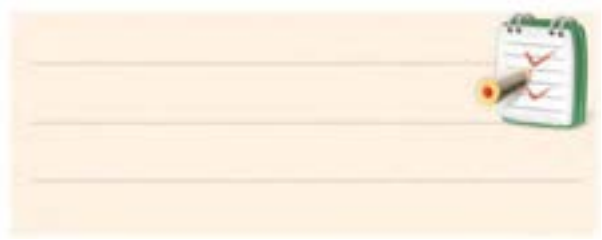
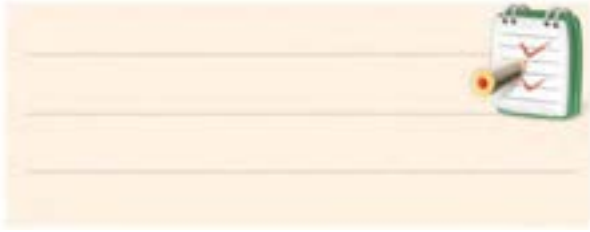
$$R_T = \dots\dots\dots \Omega$$

■ با توجه به مقدار محاسبه شده، رنج مناسبی را برای اهم متر انتخاب کنید.

■ مقاومت اهمی مجموعه‌ی اتصال موازی را مطابق شکل ۲-۷۳ به کمک مولتی متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.



شکل ۲-۷۳

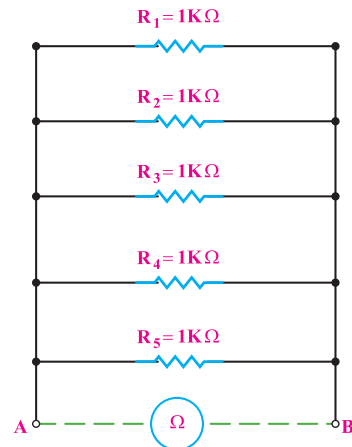
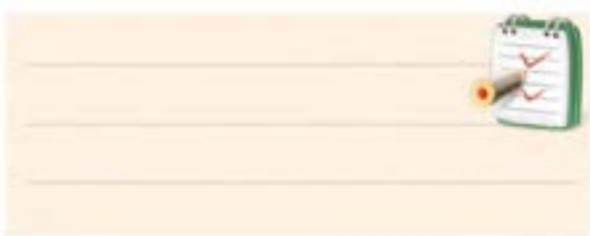


■ با توجه به مقدار به دست آمده رنج مناسبی برای مولتی متر انتخاب کنید.

■ مقدار مقاومت معادل بین دو نقطه‌ی A و B در شکل ۲-۷۵ را با استفاده از مولتی متر اندازه‌گیری و یادداشت کنید.

$$R_T = \dots\dots\dots K\Omega$$

**سؤال ۱۳:** آیا مقادیر به دست آمده از طریق محاسبه و اندازه‌گیری با مولتی متر یکی است؟ توضیح دهید.



شکل ۲-۷۵

■ مقاومت معادل را از طریق رابطه‌ی  $R_T = \frac{R}{n}$  به دست آورید.

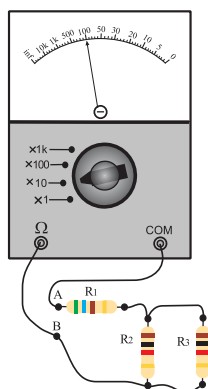
$$R_{T_1} = \dots\dots\dots \Omega$$

■ مقدار مقاومت معادل را از رابطه‌ی

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots\dots\dots$$

$$R_{T_2} = \dots\dots\dots \Omega$$

**سؤال ۱۲:** آیا مقادیر به دست آمده از این دو رابطه ( $R_{T_1}$  و  $R_{T_2}$ ) با هم برابر است؟ توضیح دهید.



شکل ۲-۷۶

**موضوع ج- اندازه‌گیری مقاومت معادل یک مدار ترکیبی سری- موازی با مولتی متر**

■ مداری مطابق شکل ۲-۷۶ روی بردبرد ببندید.

دهید.

■ مقدار مقاومت معادل شکل ۷۶-۲ را از طریق محاسبه

به دست آورید.

$R_p$  و  $R_r$  موازی هستند:

$$R_{T_1} = R_r \parallel R_p$$

$R_1$  با  $R_{T_1}$  سری است.

$$R_T = R_1 + R_{T_1}$$

$$R_T = \dots\dots\dots K\Omega$$

■ با توجه به مقدار مقاومت به دست آمده، رنج مناسبی را

برای مولتی متر انتخاب کنید.

■ اگر برای اندازه گیری مقاومت اهمی از مولتی متر

عقربه ای استفاده می کنید قبل از اندازه گیری صفر آن را تنظیم کنید.

■ به کمک مولتی متر مقدار مقاومت معادل بین دو نقطه ای

A و B را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$R_{AB} = \dots\dots\Omega$$

**سوال ۱۴:** آیا مقدار مقاومت معادل محاسبه شده با مقدار

مقاومت معادل اندازه گیری شده توسط مولتی متر برابر است؟



**۴-۶-۲ نتایج آزمایش:**

آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته اید به اختصار شرح

الف -

ب -

ج -

استفاده ی بهینه از وسایل و تجهیزات، مهارت

الگوی صحیح مصرف را در فرد ایجاد می کند و طول

عمر وسایل را افزایش می دهد.

## ۲-۷ افت ولتاژ دو سر مقاومت‌ها در مدارهای سری

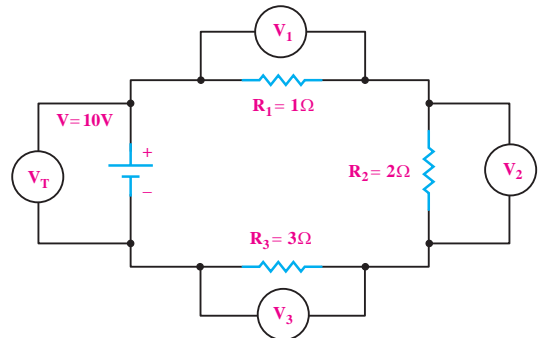
### و موازی

بر اثر عبور جریان الکتریکی از هر مقاومت الکتریکی در دو سر آن افت ولتاژ به وجود می‌آید. مقدار این ولتاژ بر اساس قانون اهم از رابطه‌ی  $V = R \cdot I$  محاسبه می‌شود.

### ۲-۷-۱ محاسبه افت ولتاژ دو سر مقاومت‌ها در مدار سری:

چون جریان در مدار سری ثابت است لذا مقدار افت ولتاژ در دو سر مقاومت با مقدار اهمی مقاومت رابطه‌ی مستقیم دارد، یعنی در صورت افزایش مقدار مقاومت ( $R$ )، مقدار ولتاژ ( $V$ ) نیز افزایش می‌یابد.

به عنوان مثال اگر مداری را مطابق شکل ۲-۷۷ ببینیم، ولت‌مترها مقادیر ولتاژهای متفاوتی را در دو سر مقاومت‌ها نشان می‌دهند. ولت‌مترهای  $V_1$ ،  $V_2$  و  $V_3$  مقادیر ولتاژ دو سر مقاومت‌های  $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_3$  و ولت‌متر  $V_T$  مقدار ولتاژ کل مدار را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۷۷ بررسی ولتاژها در مدار سری

با توجه به شکل ۲-۷۷ نتیجه می‌گیریم که در یک مدار

سری:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

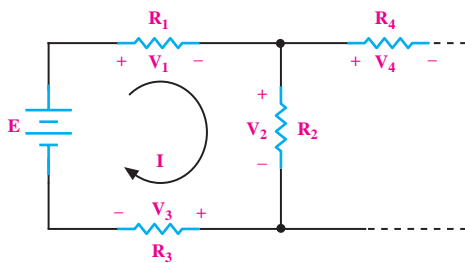
$$V_{R_T} = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3}$$

## ۲-۷-۲ قانون ولتاژ کریشف (KVL)

طبق قانون ولتاژ کریشف یا به اختصار (KVL) جمع

جبری ولتاژهای اعمال شده (نیروی محرکه) و افت ولتاژها در یک مدار بسته برابر صفر است. به عبارت دیگر در یک مدار بسته جمع جبری ولتاژها برابر صفر است. علامت جبری نیروی محرکه را معمولاً مثبت (+) و علامت افت ولتاژها را منفی (-) در نظر می‌گیریم. با توجه به شکل ۲-۷۸ در حلقه‌ی یک، موارد زیر وجود دارد.

$+E$ نیروی محرکه	$-V_1$ افت ولتاژ دو سر مقاومت $R_1$	$-V_2$ افت ولتاژ دو سر مقاومت $R_2$	$-V_3=0$ افت ولتاژ دو سر مقاومت $R_3$
---------------------	----------------------------------------	----------------------------------------	------------------------------------------

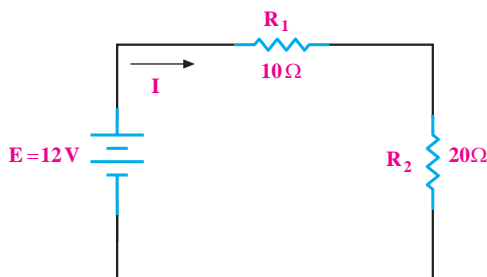


شکل ۲-۷۸

### مثال ۱۷:

در شکل ۲-۷۹ افت ولتاژ دو سر مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$

را به دست آورید.



شکل ۲-۷۹

حل:

با توجه به قانون اهم، رابطه مقدار افت ولتاژ را در دو سر

هر مقاومت می نویسیم:

$$V_1 = R_1 \cdot I = 10I$$

$$V_2 = R_2 \cdot I = 20I$$

طبق قانون KVL داریم:

$$E - V_1 - V_2 = 0$$

در رابطه بالا به جای E و  $V_1$  و  $V_2$  مقادیر معادل را

می نویسیم و مقدار I را محاسبه می کنیم:

$$12 - 10I - 20I = 0$$

$$12 - 30I = 0$$

$$12 = 30I$$

$$I = \frac{12}{30} = 0.4A \Rightarrow I = 0.4A$$

در رابطه  $V_1$  و  $V_2$  به جای I عدد می گذاریم:

$$V_1 = 10I = 10 \times 0.4 = 4V \Rightarrow V_1 = 4(V)$$

$$V_2 = 20I = 20 \times 0.4 = 8V \Rightarrow V_2 = 8(V)$$

اگر دو منبع را به صورت شکل ۲-۸۰ با یکدیگر سری

کنیم، منبع معادل برابر با جمع ولتاژهای دو منبع با قطب های

نشان داده شده در شکل ۲-۸۰ است.

$$A \begin{array}{c} + \\ | \\ - \end{array} E_1 \begin{array}{c} - \\ | \\ + \end{array} E_2 B \Rightarrow A \begin{array}{c} + \\ | \\ - \end{array} E = E_1 + E_2 B$$

$$A \begin{array}{c} - \\ | \\ + \end{array} E_1 \begin{array}{c} + \\ | \\ - \end{array} E_2 B \Rightarrow A \begin{array}{c} - \\ | \\ + \end{array} E = -E_1 + E_2 B$$

شکل ۲-۸۰

و اگر دو منبع را مطابق شکل ۲-۸۱ با یکدیگر سری کنیم،

مقدار ولتاژ منبع معادل از تفاضل ولتاژ دو منبع با قطب های

نشان داده شده در شکل ۲-۸۱ به دست می آید.

$$A \begin{array}{c} + \\ | \\ - \end{array} E_1 \begin{array}{c} + \\ | \\ - \end{array} E_2 B \Rightarrow A \begin{array}{c} + \\ | \\ - \end{array} E = E_1 + E_2 B$$

$$A \begin{array}{c} - \\ | \\ + \end{array} E_1 \begin{array}{c} - \\ | \\ + \end{array} E_2 B \Rightarrow A \begin{array}{c} - \\ | \\ + \end{array} E = E_1 + E_2 B$$

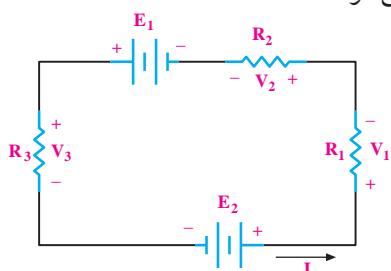
شکل ۲-۸۱ نحوه ی جمع جبری دو منبع ولتاژ (نیروی محرکه)

در مداري که بیش از یک منبع وجود دارد، به جای n

منبع می توان **منبع معادل منابع موجود** را براساس رابطه

قانون KVL قرار داد. در شکل ۲-۸۲ قانون KVL به صورت

زیر نوشته می شود:



شکل ۲-۸۲

$$E_1 + E_2 - V_1 - V_2 - V_3 = 0$$

$$E_1 + E_2 = V_1 + V_2 + V_3 \text{ (معادل منبع } E_1 \text{ و } E_2 \text{)}$$

هنگام نوشتن قانون KVL در یک حلقه بسته به نکات

زیر توجه کنید:

• برای حلقه، جریان I را در یک جهت دلخواه انتخاب

می کنیم.

• KVL را در جهت جریان انتخابی می نویسیم.

• اگر جریان مثبت از قطب مثبت منبع خارج می شود،

علامت منبع را مثبت (+) و اگر به قطب مثبت (+) وارد شود

علامت آن را منفی (-) در نظر بگیرید.

• علامت مثبت (+) برای ولتاژ دو سر یک مقاومت، محلی

است که جریان به آن نقطه وارد می شود.



**مثال ۱۸:** رابطه KVL را برای مدار شکل ۲-۸۳ بنویسید.

و سپس رابطه‌ی KVL را در آن می‌نویسیم:

$$-E_3 + E_1 + V_1 + V_2 = 0$$

مقادیر را در رابطه جایگزین می‌کنیم و مقدار I را به دست

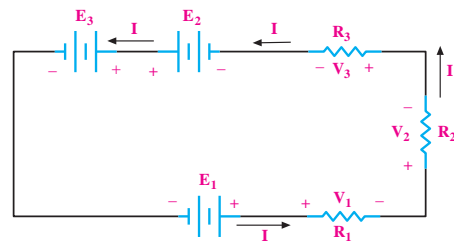
می‌آوریم:

$$-6 + 15 + R_1 \cdot I + R_2 \cdot I = 0$$

$$-6 + 15 + 10 \cdot I + 15 \cdot I = 0$$

$$+9 = -25 \cdot I$$

$$I = \frac{9}{-25} = -0.36 \text{ A} \Rightarrow I = -0.36 \text{ A}$$



شکل ۲-۸۳

**حل:**

علامت منفی نشان می‌دهد که جهت اصلی جریان

برخلاف جهت جریان انتخابی است، لذا جهت جریان باید

اصلاح شود.

$$V_1 = R_1 \cdot I = 10 \times (-0.36) = -3.6 \text{ V}$$

$$V_2 = R_2 \cdot I = 15 \times (-0.36) = -5.4 \text{ V}$$

علامت منفی  $V_1$  و  $V_2$  به این معنی است که قطب‌های

انتخاب شده‌ی مثبت (+) و منفی (-) باید معکوس شوند.

### ۳-۷-۲ محاسبه‌ی افت ولتاژ دو سر مقاومت‌ها در مدار موازی

در مدارهای موازی چون دو سر هر مقاومت مستقیماً به دو

سر باتری متصل است، بنابراین ولتاژ دو سر همه‌ی مقاومت‌ها

با هم مساوی است.

ولت‌متر  $V_1$ ،  $V_2$  و  $V_3$  افت ولتاژ دو سر مقاومت‌های  $R_1$ ،

$R_2$  و  $R_3$  را در شکل ۲-۸۵ نشان می‌دهد و ولت‌متر  $V_S$  مقدار

ولتاژ دو سر منبع تغذیه را مشخص می‌کند. در مدار موازی

تمام این ولتاژها مساوی هستند و همه‌ی ولت‌مترها در این

شکل یک عدد را نشان می‌دهند.

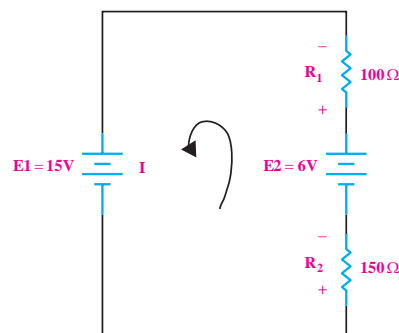
$+E_1$	$+E_2$	$-E_3$	$-V_1 - V_2 - V_3 = 0$
جریان از قطب مثبت آن خارج می‌شود	جریان از قطب مثبت آن خارج می‌شود	جریان به قطب مثبت وارد می‌شود	جریان به پایه‌ای که برای مقاومت، مثبت در نظر گرفته‌ایم وارد می‌شود

توجه داشته باشید که جهت انتخاب جریان (I) در شروع

کار برای حل مسئله اختیاری است.

### مثال ۱۹: در شکل ۲-۸۴ ولتاژ دو سر هر یک از

مقاومت‌های مدار را به دست آورید.



شکل ۲-۸۴

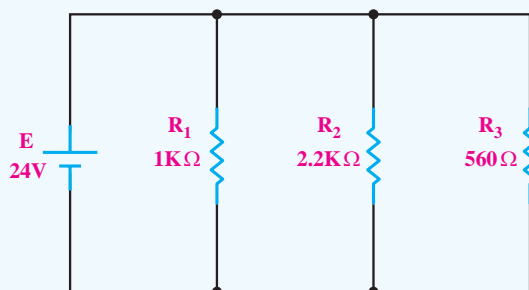
**حل:**

ابتدا یک جهت جریان دلخواه برای مدار در نظر می‌گیریم

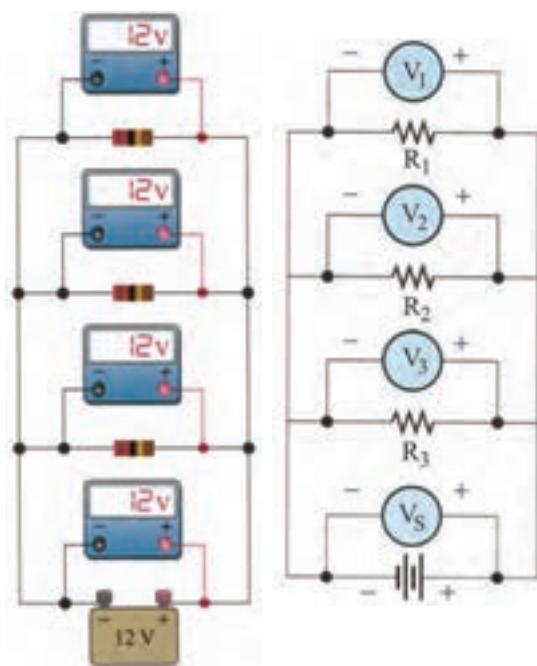
همان گونه که قبلاً نیز اشاره شد، برای اندازه گیری افت ولتاژ دو سر مقاومت ها از دستگاه اندازه گیری ولت متر استفاده می شود. قبل از به کار گیری عملی دستگاه اندازه گیری ولت متر، آن را مورد بررسی قرار می دهیم.

### تمرین کلاسی ۴: در مدار شکل ۲-۸۷ افت

ولتاژ دو سر مقاومت های  $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_3$  را به دست آورید.



۲-۸۷



شکل ۲-۸۵ مدار با چهار مقاومت موازی

بنابراین برای مدارهای موازی می توانیم رابطه ی زیر را

بنویسیم:

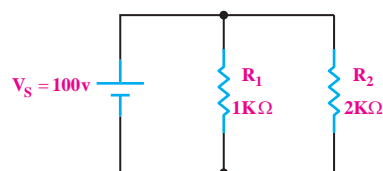
$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_S$$

یعنی:

$$V_{R1} = V_{R2} = V_{R3} = \dots = V_S$$

**مثال ۲۰:** ولتاژ دو سر مقاومت های  $R_1$ ،  $R_2$  در مدار

شکل ۲-۸۶ را به دست آورید.



شکل ۲-۸۶

**حل:**

مقاومت های  $R_1$ ،  $R_2$  موازی هستند، پس افت ولتاژ دو سر

این دو مقاومت با هم برابر و مساوی ولتاژ تغذیه است:

$$V_S = V_{R1} = V_{R2} = 100V$$

**۲-۸ منبع تغذیه DC**

**۲-۸-۱ آشنایی با منبع تغذیه**

منبع تغذیه یک دستگاه الکترونیکی است که ولتاژ موجود (معمولاً ولتاژ ۲۲۰ ولت برق شهر) را دریافت و آن را تبدیل به ولتاژ DC مورد نیاز برای مدارهای الکترونیکی می کند. خروجی منبع تغذیه می تواند ثابت یا متغیر باشد. در صورتی که منبع تغذیه دارای ولتاژ خروجی متغیر باشد روی پانل دستگاه، یک ولوم قرار می دهند. با تغییر این ولوم می توان ولتاژ خروجی را به مقدار دلخواه تنظیم کرد. در شکل ۲-۸۸

دو نمونه منبع تغذیه آزمایشگاهی با خروجی متغیر نشان داده شده است. خروجی این منابع تغذیه‌ی متغیر ولتاژ DC متغیر است.



با این ولوم می‌توان  
جریان خروجی  
را به میزان دلخواه  
تنظیم کرد.



با این ولوم می‌توان  
ولتاژ خروجی را به  
میزان دلخواه تنظیم  
کرد.

در منابع تغذیه‌ای که سیستم حفاظت در مقابل اتصال کوتاه دارند، برای تنظیم حداکثر جریان خروجی، دو ترمینال ولتاژ خروجی را با یکدیگر اتصال کوتاه می‌کنند و با تغییر ولوم «Current» مقدار ماکزیمم جریان خروجی منبع تغذیه را تنظیم می‌کنند، شکل ۸۹-۲. توجه داشته باشید هنگام اتصال کوتاه ولتاژ دو سر ترمینال خروجی منبع تغذیه نزدیک به صفر می‌شود.



با فشار دادن این  
کلید صفحه نمایش  
مقدار جریان را  
نشان می‌دهد.  
با تغییر این ولوم  
می‌توان ماکزیمم  
جریان خروجی را  
تنظیم کرد.

با یک سیم رابط دو ترمینال  
خروجی را اتصال کوتاه می‌کنیم.

شکل ۸۹-۲ نحوه‌ی تنظیم جریان خروجی یک منبع تغذیه

شکل ۸۸-۲ دو نمونه منبع تغذیه آزمایشگاهی

صفحه‌ی هر دستگاه الکترونیکی را پانل آن دستگاه می‌نامند.

## ۲-۸-۲ دستگاه اندازه‌گیری ولتاژ یا «ولت‌متر»

ولت‌متر در دو نوع عقربه‌ای و دیجیتالی ساخته می‌شود. علائمی روی این دستگاه‌ها وجود دارد که نشان‌دهنده‌ی توانایی‌های دستگاه در اندازه‌گیری کمیت‌های AC، DC، (موج متناوب که بعداً به آن اشاره خواهد شد)، وضعیت باتری

بیشتر منابع تغذیه‌ی آزمایشگاهی، دارای یک ولت‌متر و یک آمپر‌متر هستند تا ولتاژ دو سر خروجی منبع تغذیه و جریان مصرف‌کننده را بدون نیاز به یک ولت‌متر و آمپر‌متر دیگر، نشان دهند. از طرفی برای محدود کردن جریان خروجی در مقابل اتصال کوتاه و یا به هر دلیل دیگر، یک ولوم به نام «Current» روی دستگاه نصب شده است با تنظیم این ولوم می‌توان جریان خروجی منبع تغذیه را به هر مقدار دلخواه تنظیم کرد.



شکل ۹۰-۲ صفحه مولتی متر عقربه‌ای

ولت‌متر دیجیتالی نوع دیگری از ولت‌متر است. بزرگ‌ترین مزیت این دستگاه، نشان دادن کمیت به همراه واحد آن به صورت عدد و رقم است. به منظور داشتن دقت بیشتر، همیشه رنجی را انتخاب می‌کنیم که تقریباً ارقام روی صفحه‌ی نمایش بتواند مقدار کمیت را نشان دهد. شکل ۹۱-۲ یک نمونه ولت‌متر آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



این ولت‌متر گران است. برای اندازه‌گیری از مولتی متر استفاده کنید.

شکل ۹۱-۲ ولت‌متر عقربه‌ای

داخلی دستگاه و مواردی دیگر است. این علائم با توجه به توانایی‌های دستگاه‌های مختلف، متفاوت است. ولت‌متر یکی از حوزه‌های کار مولتی‌متر است. در مولتی‌مترهای عقربه‌ای برای خواندن دقیق ولتاژ، باید به کلید سلکتور اصلی مولتی‌متر، که ماکزیمم مقدار ولتاژ را روی صفحه‌ی مدرج نشان می‌دهد، توجه کنیم و همچنین باید تعداد تقسیمات آن کمیت را روی صفحه‌ی مدرج در نظر بگیریم.

برای به دست آوردن مقدار کمیت ولتاژ اندازه‌گیری شده، ابتدا باید ببینیم که عقربه چند قسمت منحرف شده است. سپس تعداد تقسیمات را در ماکزیمم مقدار رنج روی صفحه (بزرگ‌ترین عدد روی صفحه‌ی مدرج) ضرب کنیم. در نهایت مقدار به دست آمده را بر تعداد تقسیمات صفحه‌ی مدرج تقسیم می‌کنیم. به طور مثال اگر کلید سلکتور روی ۵۰۰ ولت قرار دارد و از طرفی درجه بندی صفحه‌ی مدرج، ۵۰ قسمت است، ضریب صفحه ۱۰ می‌شود زیرا:

$$10 = \frac{500}{50} = \text{ضریب صفحه}$$

حال اگر عقربه به اندازه‌ی ۳۸ قسمت منحرف شده باشد، باید این عدد را در ده ضرب کنیم تا مقدار اندازه‌گیری شده به دست آید.

$$38 \times \frac{500}{50} = 380 \text{ (V)}$$

(رنج ولت‌متر) / (حداکثر درجه بندی)

## ۹-۲ آزمایش شماره‌ی (۳)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

### ۹-۲-۱ هدف آزمایش:

آشنایی با منبع تغذیه و اندازه‌گیری ولتاژها در مدار سری و موازی و تحقیق عملی قانون ولتاژ KVL

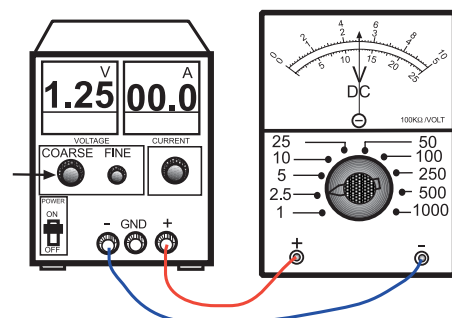
### ۹-۲-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و موارد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد/ مقدار
۱	منبع تغذیه ۱A، ۰-۱۵V	یک دستگاه
۲	مولتی‌متر عقربه‌ای یا دیجیتالی	یک یا دودستگاه
۳	مقاومت ۱۸۰Ω - ۰/۵ وات	یک عدد
۴	مقاومت ۵۶۰Ω - ۰/۵ وات	یک عدد
۵	سیم‌های یک سرگیره سوسماری	چهار رشته
۶	سیم‌های دو سرگیره سوسماری	دو رشته
۷	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

### ۹-۲-۳ مراحل اجرای آزمایش:

#### موضوع الف - آشنایی با منبع تغذیه

- منبع تغذیه را با احتیاط به برق شهر وصل کنید.
- مدار شکل ۹۲-۲ را ببندید. حتی اگر منبع تغذیه شما ولت متر داشت باز هم، خروجی آن را حتماً به ولت متر جداگانه وصل کنید.



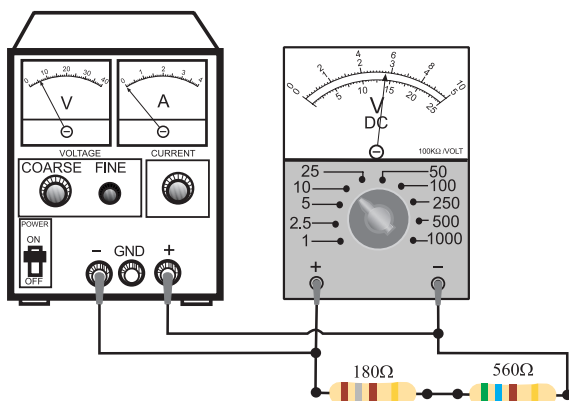
شکل ۹۲-۲

شکل ۹۳-۲

- منبع تغذیه را روشن کنید.
- سعی کنید به کمک ولت‌متر جداگانه‌ای که به منبع تغذیه وصل کرده‌اید، ولتاژ خروجی را روی ۱/۲۵V، ۳/۸۵V، ۴/۵V، ۵/۱V و ۶/۸۵V ولت تنظیم کنید.
- هنگام اندازه‌گیری ولتاژ، رنج کلید ولت‌متر را طوری انتخاب کنید که انحراف عقربه، بیشترین مقدار ممکن را داشته باشد به عنوان مثال اگر می‌خواهید ولتاژ ۴/۵ ولت را اندازه‌بگیرید رنج ولت‌متر را روی ۵V قرار دهید.
- بر روی اکثر منابع تغذیه، علاوه بر ولوم تنظیم ولتاژ، یک ولوم دیگر به نام FINE وجود دارد که با تغییر این ولوم می‌توان ولتاژ خروجی را در حد دهم ولت تنظیم کرد.

#### موضوع ب- ولتاژ در مدار سری و قانون KVL

- ولتاژ منبع تغذیه را صفر کنید.
- مداری مطابق شکل ۹۳-۲ ببندید.



- رنج مولتی‌متر را روی ۱۰ ولت قرار دهید.
- منبع تغذیه را طوری تنظیم کنید که ولت‌متری که مانند شکل ۹۳-۲ در مدار قرار دارد، مقدار ۶ ولت را نشان دهد.
- ولت‌متر را یک بار به دو سر مقاومت ۱۸۰ اهم و یک

■ در شکل ۹۳-۲ حوزه‌ی کار مولتی‌متر را روی ۲۵ ولت قرار دهید.

■ ولتاژ منبع تغذیه را به آرامی زیاد کنید.

■ مولتی‌متر را به قسمت ورودی مدار وصل کنید.

■ افزایش ولتاژ منبع تغذیه را تا وقتی که مولتی‌متر ولتاژ ورودی را ۱۲ ولت نشان می‌دهد، ادامه دهید.

■ در این حالت ولتاژ دو سر مقاومت‌های  $180\Omega$  و  $560\Omega$  را با مولتی‌متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

**توجه**

برای اندازه‌گیری ولتاژ در هر قسمت، مولتی‌متر را جابه‌جا کنید.

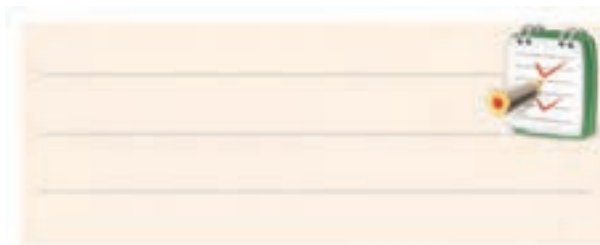


بار به دو سر مقاومت  $560\Omega$  وصل کنید. مقدار ولتاژ دو سر این مقاومت‌ها را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

■ مقدار ولتاژی را که مولتی‌متر در هر یک از حالت‌های زیر نشان می‌دهد بخوانید و یادداشت کنید:

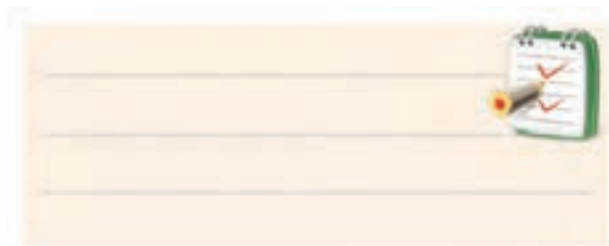
مقدار ولتاژی را که مولتی‌متر برای کل مدار نشان می‌دهد.	$V_1 = 6\text{ V}$
مقدار ولتاژی را که ولت‌متر در دو سر مقاومت $180\Omega$ اهم نشان می‌دهد.	$V_p = \dots\dots\dots \text{V}$
مقدار ولتاژی را که ولت‌متر در دو سر مقاومت $560\Omega$ اهم نشان می‌دهد.	$V_p = \dots\dots\dots \text{V}$

**سوال ۱۵:** آیا مقدار  $V_1 = V_p + V_p$  است؟ چرا؟ توضیح دهید.



مقدار ولتاژی را که مولتی‌متر در دو سر مقاومت $180\Omega$ نشان می‌دهد.	$V_p = \dots\dots\dots \text{V}$
مقدار ولتاژی را که مولتی‌متر در دو سر مقاومت $560\Omega$ نشان می‌دهد.	$V_p = \dots\dots\dots \text{V}$

**سوال ۱۶:** مقادیر  $V_p$  و  $V_p$  را به ازای  $V_1 = 6\text{V}$  و  $V_1 = 12\text{V}$  با یکدیگر مقایسه کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ دقیقاً توضیح دهید.

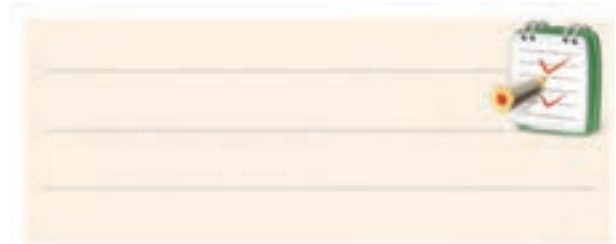


**توجه**

استفاده از مولتی‌متر عقربه‌ای یا دیجیتالی تفاوتی ندارد، هر کدام را که در اختیار دارید، استفاده کنید.



**سوال ۱۷:** آیا می توان نتیجه گرفت که در هر دو مرحله ی آزمایش که انجام شد، رابطه ی  $V_1 = V_p + V_s$  برقرار است؟ به عبارتی دیگر آیا جمع جبری افت ولتاژها در حلقه ی بسته ی مدار سری، صفر است،  $V_1 - V_p - V_s = 0$  توضیح دهید.



- رنج مولتی متر را روی ۱۰ ولت تنظیم کنید.
- ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی ۶ ولت تنظیم کنید.



در این مدار، اندازه گیری ها توسط یک مولتی متر انجام می شود. شکل نشان داده شده مشخص کننده ی حالت های اندازه گیری است. برای هر اندازه گیری باید سیم های رابط مولتی متر را جابه جا کنید.

- مولتی متر در شکل ۹۴-۲ چه عددی را نشان می دهد؟ یادداشت کنید.

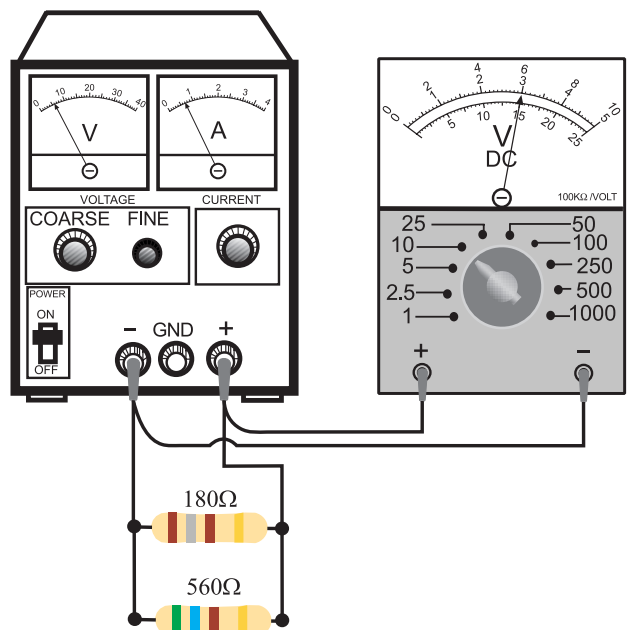
ولتاژی را که مولتی متر در حالت (۱) نشان می دهد.	$V_1 = \dots\dots\dots (V)$
-------------------------------------------------	-----------------------------

- مولتی متر را در حالت (۲) در شکل ۹۵-۲ قرار دهید و به دو سر مقاومت  $180\ \Omega$  وصل کنید و مقدار ولتاژ نشان داده شده را بخوانید و یادداشت کنید.

ولتاژی را که مولتی متر در حالت (۲) نشان می دهد.	$V_2 = \dots\dots\dots (V)$
-------------------------------------------------	-----------------------------

### موضوع ج- اندازه گیری ولتاژ دو سر مقاومت ها در مدار موازی

- منبع تغذیه را روی صفر ولت بگذارید.
- مدار را مطابق شکل ۹۴-۲ ببندید.



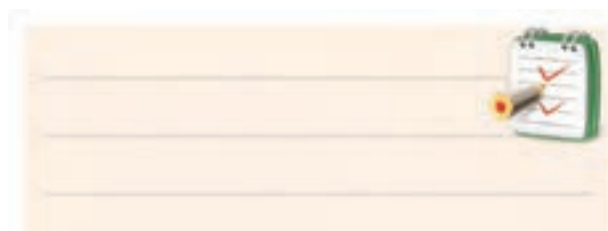
شکل ۹۴-۲

ولتاژی را که مولتی متر در

حالت (۳) نشان می دهد.  $V_p = \dots\dots\dots (V)$

**سوال ۱۸:** آیا هر سه ولتاژ اندازه گیری شده ی  $V_1$  و  $V_p$

و  $V_p$  یکسان هستند؟ چرا؟ توضیح دهید.



#### ۴-۹-۲ نتایج آزمایش :

آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته اید به اختصار شرح

دهید.

الف-.....

ب-.....

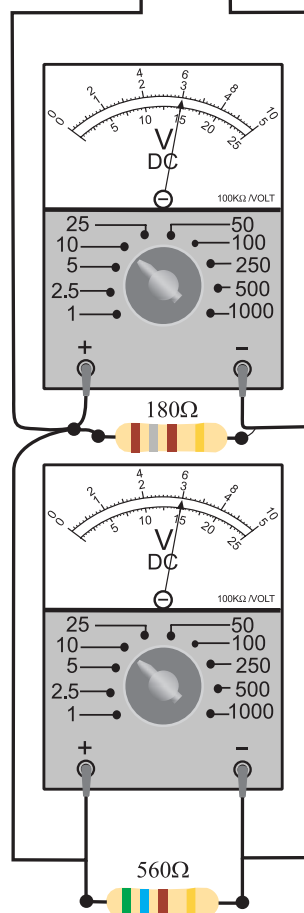
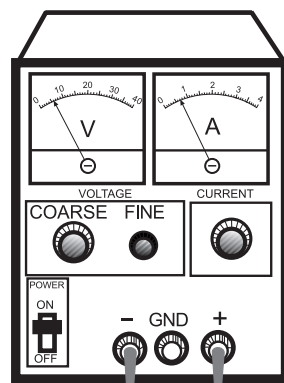
ج-.....

حفاظت از وسایل، مهارت ارزش گذاری بر ثروت

عمومی را ایجاد می کند و میزان هزینه هایی که برای

تحصیل هر فرد از طرف خانواده و دولت صرف می شود

را کاهش می دهد.



شکل ۹۵-۲

■ مولتی متر را در حالت (۳) به دو سر مقاومت  $560\Omega$

اهم به صورت موازی وصل کنید و ولتاژ را بخوانید و

یادداشت کنید.

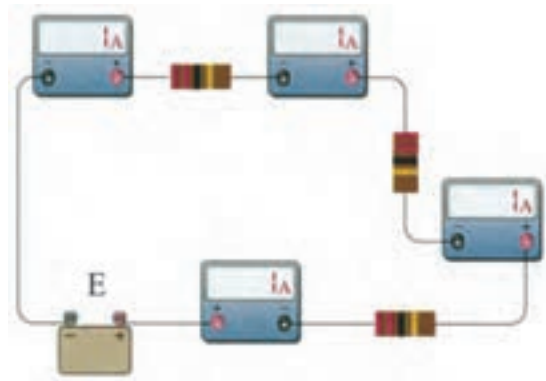


## ۱۰-۲ محاسبه‌ی جریان و توان در مدار سری و مدار

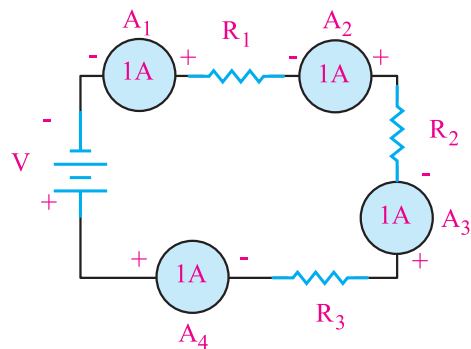
### موازی

#### ۱۰-۱-۲ محاسبه‌ی جریان و توان در یک مدار سری

چون در مدار سری یک مسیر برای عبور جریان الکتریکی وجود دارد در نتیجه جریان عبوری از تمام مقاومت‌ها ثابت است. مطابق شکل ۹۶-۲ در یک مدار سری هر یک از آمپرمترها جریان‌های مساوی را نشان می‌دهند.



الف - مدار واقعی



ب- نقشه‌ی فنی

شکل ۹۶-۲ جریان مدار سری همواره ثابت

برای جریان در مدار سری می‌توانیم رابطه‌ی زیر را بنویسیم:

$$I_{A1} = I_{A2} = I_{A3} = I_{A4} = I_T$$

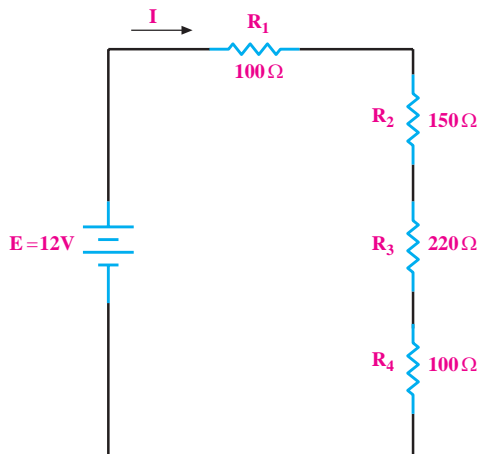
یعنی:

$$I_{R1} = I_{R2} = I_{R3} = I_T$$

طبق قانون اهم، جریان کل در مدار سری شکل ۹۶-۲ برابر است با:

$$I_T = \frac{E}{R_T} = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

**مثال ۲۱:** در شکل ۹۷-۲ جریان هر یک از مقاومت‌های مدار و جریان کل مدار چند میلی‌آمپر است؟



شکل ۹۷-۲ محاسبه‌ی جریان در مدار سری

**حل:**

مقاومت معادل را به دست می‌آوریم:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_T = 100 + 150 + 220 + 100 = 570\Omega$$

با استفاده از قانون اهم، جریان مدار را محاسبه می‌کنیم:

**نکته :**



ولتاژ منابع تغذیه‌ی DC را در مدارها با حروف E یا V

نمایش می‌دهند.

از رابطه‌ی  $P=EI$  است.

**توجه**

در یک مدار سری، توان کل مصرفی برابر با مجموع توان‌های مصرفی دو سر هر مصرف کننده است.

$$P_T = P_1 + P_2$$



**راه حل اول:** ابتدا توان کل را به دست می‌آوریم:

$$P_T = 100 + 100 = 200 \text{ W}$$

رابطه‌ی توان را بر حسب ولتاژ و جریان می‌نویسیم و جریان

مدار را با استفاده از مقادیر توان و ولتاژ محاسبه می‌کنیم:

$$P_T = I \cdot V$$

$$I = \frac{P_T}{V} = \frac{200}{220} = 0.91 \text{ A} \Rightarrow I = 0.91 \text{ A}$$

**راه حل دوم:** استفاده از رابطه‌ی:  $P = \frac{V^2}{R}$  ابتدا مقاومت

اهمی هر یک از مصرف کننده‌ها را با استفاده از رابطه‌ی توان

محاسبه می‌کنیم:

$$P_1 = \frac{V_1^2}{R_1}$$

$$R_1 = \frac{V_1^2}{P_1} = \frac{(110)^2}{100} = 121 \Omega$$

برای مقاومت  $R_2$  نیز با همین روش عمل می‌کنیم:

$$R_2 = \frac{V_2^2}{P_2} = \frac{(110)^2}{100} = 121 \Omega$$

مقدار مقاومت کل را محاسبه می‌کنیم:

$$R = R_1 + R_2 = 121 + 121 = 242 \Omega$$

$$I = I_{R_1} = I_{R_2} = I_{R_T} = \frac{E}{R_T}$$

$$I = \frac{E}{R_T} = \frac{12}{570} = 0.021 \text{ A} \Rightarrow I = 0.021 \text{ A}$$

برای تبدیل جریان بر حسب میلی آمپر، مقدار جریان بر

حساب آمپر را در عدد ۱۰۰۰ ضرب می‌کنیم:

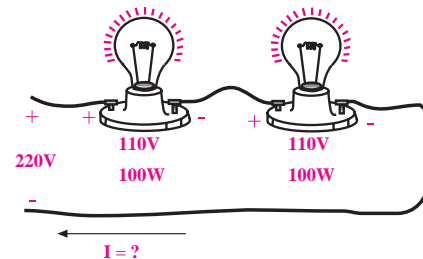
$$1 \text{ A} = 1000 \text{ mA} = 10^3 \text{ mA}$$

$$I = 0.021 \times 1000 = 21 \text{ mA} \Rightarrow I = 21 \text{ mA}$$

**مثال ۲۲:** در شکل ۹۸-۲ دو عدد لامپ ۱۱۰ ولت، ۱۰۰

وات با هم سری شده‌اند و به ولتاژ ۲۲۰ ولت اتصال دارند.

جریان عبوری از هر لامپ چند آمپر است؟



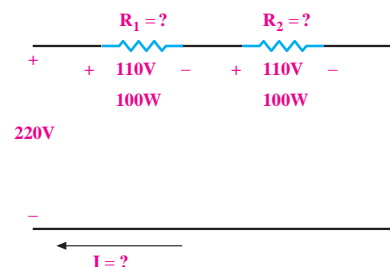
شکل ۹۸-۲

**حل:**

می‌توانیم به جای دو عدد لامپ، دو عدد مقاومت در نظر

بگیریم و به جای مدار عملی شکل ۹۸-۲ از نقشه‌ی فنی مدار

شکل ۹۹-۲ برای محاسبات استفاده کنیم.



شکل ۹۹-۲

برای حل مسئله سه روش وجود دارد، روش اول استفاده

جریان مدار را به دست می آوریم:

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{220}{242} = 0.91A \Rightarrow I = 0.91A$$

ولتاژ دو سر  $R_p$  را به دست می آوریم:

$$V_p = R_p \cdot I = 10 \times 0.91 = 9.1V$$

با استفاده از قانون حلقه‌ی KVL مقدار ولتاژ  $V_p$  را

محاسبه می کنیم:

$$E - V_p - V_p = 0 \\ 12 - 1 - V_p = 0 \Rightarrow V_p = 11(V)$$

با استفاده از قانون اهم مقدار  $R_p$  را به دست می آوریم:

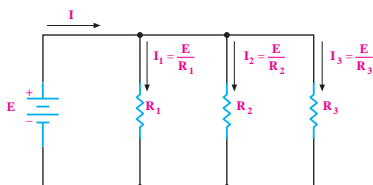
$$V_p = R_p \cdot I \Rightarrow 11 = R_p \times 0.91 \\ R_p = \frac{11}{0.91} = 11.0\Omega \Rightarrow R_p = 11.0\Omega$$

## ۲-۱۰-۲ محاسبه جریان و توان در مدار موازی

جریان در هر شاخه‌ی یک مدار موازی به نسبت عکس مقدار مقاومت‌های هر شاخه تقسیم می شود، زیرا طبق قانون اهم،  $I = \frac{V}{R}$  است. در مدار موازی جریانی که از منبع کشیده می شود، بین مقاومت‌ها تقسیم می شود. یا به عبارت دیگر داریم:

$I =$	$I_1$	$+I_p$	$+I_n$
جریانی که از منبع کشیده می شود	جریان عنصر اول	جریان عنصر دوم	جریان عنصر n ام

جریان در مدار موازی بین عناصر به نسبت عکس مقدار اهمی مقاومت‌ها تقسیم می شود، شکل ۲-۱۰۱.



شکل ۲-۱۰۱ جریان  $I$  به نسبت عکس مقدار اهمی مقاومت‌ها تقسیم می شود.

**راه حل سوم:** می دانیم جریان در مدار سری یکسان

است:

$$I = I_1 = I_p$$

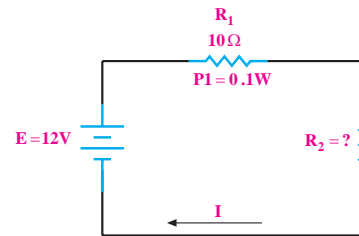
با استفاده از رابطه‌ی  $I = \frac{P}{V}$  مقدار  $I$  را محاسبه می کنیم:

$$I = \frac{P_1}{V_1} = \frac{100}{110} = 0.91A \Rightarrow I = 0.91A$$

همان‌طور که مشاهده می شود، مقدار جریان از سه روش

یکسان است.

**مثال ۲۳:** در شکل ۲-۱۰۰ مقاومت  $R_p$  چند اهم است؟



شکل ۲-۱۰۰

**حل:**

رابطه‌ی توان را برای  $R_1$  می نویسیم:

$$P_1 = V_1 \cdot I_1 = R_1 \cdot I^2$$

مقادیر  $R_1$  و  $P$  را در رابطه قرار می دهیم و مقدار  $I$  را

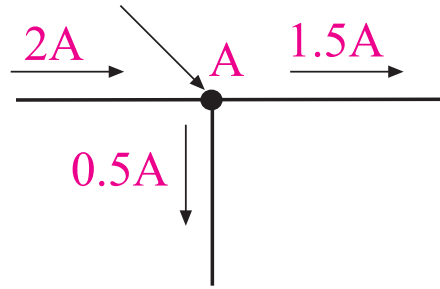
محاسبه می کنیم:

$$0.1 = 10 \cdot I^2 \Rightarrow I^2 = \frac{0.1}{10} = 0.01$$

$$I = 0.1A$$

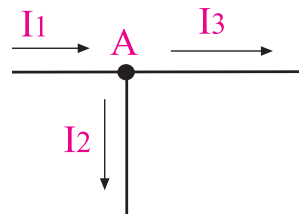
### ۳-۱۰-۲- قانون جریان کریشف (KCL)

طبق این قانون (KCL) جمع جبری جریان‌هایی که در یک مدار الکتریکی به یک نقطه وارد می‌شوند برابر با صفر است، یا به معنی دیگر، جمع جریان‌هایی که به یک نقطه وارد می‌شوند برابر جمع جریان‌هایی است که از آن نقطه خارج می‌شوند، شکل ۲-۱۰۲.



شکل ۲-۱۰۲

در شکل ۲-۱۰۲ جریانی برابر ۲ آمپر به نقطه‌ی A وارد می‌شود و جریان‌های ۰/۵ و ۱/۵ آمپری (۰/۵ A + ۱/۵ A) از آن نقطه خارج می‌شود. جریان‌های وارده به نقطه یا گره (NODE) را معمولاً با علامت مثبت (+) و جریان‌هایی که از نقطه یا گره خارج می‌شوند با علامت منفی (-) نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۲-۱۰۳ مشاهده می‌شود، مجموع جریان‌های ورودی به گره ۲A و جریان خارج شده از گره نیز ۲A است.



شکل ۲-۱۰۳

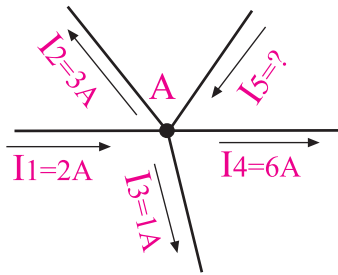
$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

رابطه‌ی بالا را به صورت زیر نیز می‌توانیم بنویسیم:

$$\sum I = 0$$

می‌خوانیم: زیگمای I برابر صفر است.

**مثال ۲۴:** در شکل ۲-۱۰۴ جریانی I<sub>۵</sub> چند آمپر است؟



شکل ۲-۱۰۴

**حل:**

قانون KCL را در گره A می‌نویسیم:

$$I_1 - I_2 - I_3 - I_4 + I_5 = 0$$

به جای جریان‌ها مقدار عددی می‌گذاریم:

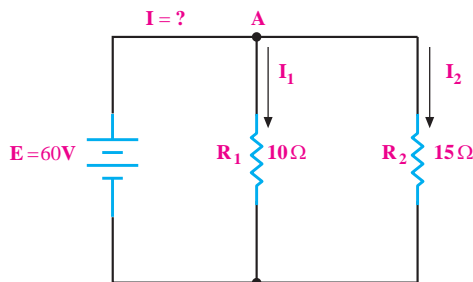
$$2 - 3 - 1 - 6 + I_5 = 0$$

جریان I<sub>۵</sub> را به دست می‌آوریم:

$$2 - 10 + I_5 = 0$$

$$I_5 = 8 \text{ A}$$

**مثال ۲۵:** در شکل ۲-۱۰۵ جریانی I چند آمپر است؟



شکل ۲-۱۰۵

**حل:**

قانون KCL را در گره A می‌نویسیم:

$$I - I_1 - I_2 = 0$$

مقدار جریان  $I_1$  و  $I_2$  را با استفاده از قانون اهم محاسبه می کنیم:

مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  برابر با  $E$  است، مقادیر  $I_1$  و  $I_2$  را محاسبه می کنیم:

$$I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{6/875}{1000} = 0.006875 \text{ A} = 6/875 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_1 = 6/875 \text{ mA}$$

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{6/875}{2200} = 0.003125 \text{ A} = 3/125 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_2 = 3/125 \text{ mA}$$

$$I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{60}{10} = 6 \text{ A} \Rightarrow I_1 = 6 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{60}{15} = 4 \text{ A} \Rightarrow I_2 = 4 \text{ A}$$

مقادیر  $I_1$  و  $I_2$  را در رابطه ی KCL قرار می دهیم و مقدار  $I$  را حساب می کنیم:

$$I - 6 - 4 = 0$$

$$I - 10 = 0 \Rightarrow I = 10 \text{ A}$$

**راه حل دوم:** با استفاده از روابط زیر که به تقسیم جریان

بین دو شاخه ی موازی مشهور است می توانیم جریان های  $I_1$  و  $I_2$  را محاسبه کنیم:

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{و} \quad I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

ابتدا مقدار  $I_1$  را محاسبه می کنیم:

$$I_1 = 10 \text{ mA} \frac{2200}{1000 + 2200} = 6/875 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_1 = 6/875 \text{ mA}$$

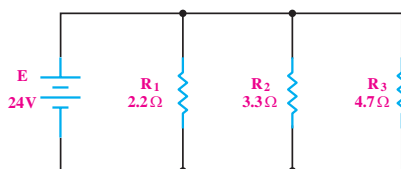
مقدار جریان  $I_2$  را محاسبه می کنیم:

$$I_2 = 10 \text{ mA} \frac{1000}{1000 + 2200} = 3/125 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_2 = 3/125 \text{ mA}$$

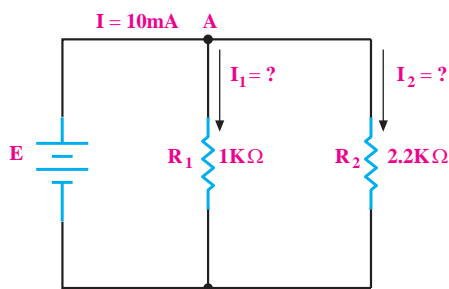
**مثال ۲۶:** توان تلف شده در هر مقاومت شکل ۲-۱۰۶ و

توان مصرفی کل مدار چند وات است؟



شکل ۲-۱۰۷

**مثال ۲۶:** در شکل ۲-۱۰۶ مقدار جریان های  $I_1$  و  $I_2$  را به دست آورید.



شکل ۲-۱۰۶

**راه حل اول:**

با توجه به مقادیر  $R_1$  و  $R_2$ ، مقدار  $R_T$  را محاسبه می کنیم:

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1000 \times 2200}{1000 + 2200} = 687/5 \Omega$$

ولتاژ  $E$  را محاسبه می کنیم:

$$E = 687/5 \times 10 \times 10^{-3} = 6/875 \text{ V}$$

با توجه به این که مدار موازی است و ولتاژ دو سر

حل:

با استفاده از رابطه‌ی مقدار توان را در هر یک از مقاومت‌ها محاسبه می‌کنیم:

$$P_1 = \frac{E^2}{R_1} = \frac{(24)^2}{2/2} = 261/8 W \Rightarrow P_1 = 261/8 W$$

$$P_2 = \frac{E^2}{R_2} = \frac{(24)^2}{3/3} = 174/5 W \Rightarrow P_2 = 174/5 W$$

$$P_3 = \frac{E^2}{R_3} = \frac{(24)^2}{4/7} = 122/5 W \Rightarrow P_3 = 122/5 W$$

توان کل برابر است با مجموع توان‌های مصرفی در هر مقاومت:

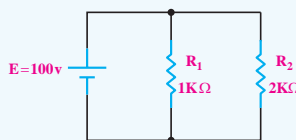
$$P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

$$P_T = 261/8 + 174/5 + 122/5 = 558/8 W$$

$$R_T = 558/8 W$$

تمرین کلاسی ۵: توان تلف شده در

هر مقاومت در شکل ۱۰۸-۲ و توان مصرفی کل مدار چند وات است؟



شکل ۱۰۸-۲

نکته ۲: در مدارهای الکتریکی و

الکترونیکی آمپر متر به صورت سری با مقاومت و سایر قطعات قرار می‌گیرد.

## ۱۱-۲ دستگاه اندازه‌گیری جریان «میلی آمپر متر»

برای اندازه‌گیری جریان، ابتدا کلید سلکتور اصلی را در حالت DC قرار می‌دهیم، اگر حدود جریان مورد اندازه‌گیری از قبل مشخص باشد، رنج مناسب را انتخاب می‌کنیم. مثلاً اگر جریان مورد اندازه‌گیری حدود ۲ mA باشد، رنج را در حالت ۳ mA یا ۵ mA قرار می‌دهیم و مقدار جریان را اندازه می‌گیریم. چنانچه مقدار تقریبی جریان از قبل مشخص نباشد، ابتدا رنج میلی آمپر متر را در بیشترین مقدار خود می‌گذاریم و به تدریج مقدار رنج را کم‌تر می‌کنیم تا انحراف عقربه در حد مناسب باشد.

هنگام تغییر رنج آمپر متر، حتماً آمپر متر را از مدار جدا کنید.

هر آمپر متر مقداری مقاومت داخلی دارد که به علت وجود مقاومت، ممکن است مقدار جریان اندازه‌گیری شده در دو رنج مختلف، تفاوت داشته‌باشد.

انتخاب رنج مناسب در اندازه‌گیری جریان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

اندازه‌گیری جریان در مولتی مترهای دیجیتالی، معمولاً به صورت اتوماتیک نیست. در هنگام اندازه‌گیری جریان باید تغییر رنج (حوزه‌ی کار) به صورت دستی انجام شود. برای اندازه‌گیری جریان در این دستگاه‌ها، ابتدا سلکتور را در

نکته ۱: برای اندازه‌گیری جریان در

مدارهای الکتریکی از آمپر متر استفاده می‌شود.

## ۱۲-۲ آزمایش شمارهی (۳)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

### ۱۲-۲-۱ هدف آزمایش:

اندازه‌گیری جریان در مدارهای سری و موازی و تحقیق

عملی قانون KCL، تأثیر تغییر ولتاژ روی مقاومت VDR

### ۱۲-۲-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات تجهیزات	تعداد/مقدار
۱	منبع تغذیه ۰-۱۵V-1A	یک دستگاه
۲	مولتی‌متر عقربه‌ای یا دیجیتالی	یک دستگاه
۳	مقاومت‌های $220\Omega$ ، $560\Omega$ از هر کدام	یک عدد
۴	مقاومت وابسته به ولتاژ (VDR)	یک عدد
۵	سیم‌های دو سرگیره سوسماری	چهار رشته
۶	سیم‌های یک سرگیره سوسماری	چهار رشته
۷	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

### ۱۲-۲-۳ مراحل اجرای آزمایش

#### موضوع الف- اندازه‌گیری جریان در مدار

##### سری

- ولتاژ منبع تغذیه را صفر کنید.
- مداری مطابق شکل ۱۱۰-۲ را روی بردبرد ببندید.

##### توجه

برای اندازه‌گیری جریان، فقط از یک مولتی‌متر و به صورت مرحله‌ای استفاده کنید.



مقدار ماکزیمم قرار دهید. اگر مقدار جریان توسط تمامی ارقام صفحه‌ی نمایش نشان داده نشد، مولتی‌متر را از مدار جدا کنید سپس رنج مولتی‌متر را به تدریج کم کنید.

درضمن در بسیاری از مولتی‌مترها، ترمینال جریان از ترمینال ولتاژ جدا است. در این دستگاه‌ها باید جریان را به ترمینال mA و com اعمال کرد.

اگر حدود جریان مورد اندازه‌گیری از قبل مشخص باشد، رنج مناسب را انتخاب کنید. چنان‌چه مقدار تقریبی جریان از قبل مشخص نبود، ابتدا رنج آمپرتر را در بیش‌ترین مقدار خود قرار دهید.

در شکل ۱۰۹-۲ یک نمونه میلی‌آمپرتر مالتی رنج با ۱۰ رنج مختلف نشان داده شده است.

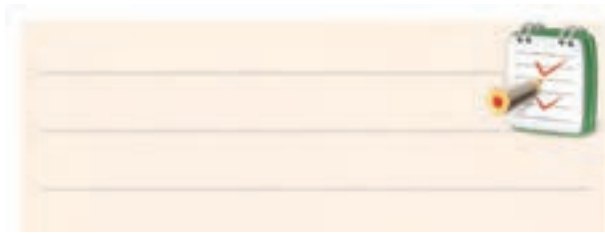


شکل ۱۰۹-۲ یک نمونه میلی‌آمپرتر آزمایشگاهی

این نمونه میلی‌آمپرتر آزمایشگاهی است و گران قیمت است. برای اندازه‌گیری از مولتی‌متر استفاده کنید.

## سوال ۱۹: آیا هر سه جریان یکسان هستند؟ چرا؟

توضیح دهید؟



### توجه

آمپر متر در مدار به صورت سری به قطعات وصل می شود.



### توجه

هنگام تغییر رنج آمپر متر حتما آن را از مدار جدا کنید، یا جریان برق را قطع کنید.



## موضوع ب- تحقیق روی قانون KCL و

### اندازه گیری جریان در مدار موازی

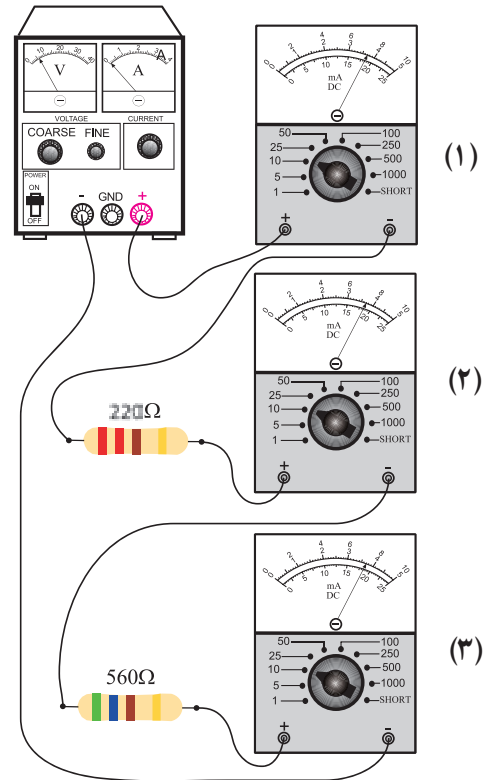
■ ولتاژ منبع تغذیه را صفر کنید.

■ مداری مطابق شکل ۱۱۱-۲ ببندید.

■ میلی آمپر متر را ابتدا مطابق شکل ۱۱۱-۲ به صورت

سری به ورودی منبع تغذیه ی حالت (۱) اتصال دهید و مقدار جریان مدار را اندازه گیری و یادداشت کنید.

$$I_{\text{کل}} = I_1 = \dots\dots\dots \text{mA}$$



شکل ۱۱۰-۲

■ رنج میلی آمپر متر را روی ۱۰mA بگذارید.

■ منبع تغذیه را روی ۶ ولت تنظیم کنید.

■ جریانی که میلی آمپر متر در حالت های مختلف نشان

می دهند را بخوانید و یادداشت کنید.

$I_{\text{کل}} = I_1 = \dots\dots\dots \text{mA}$  جریانی که میلی آمپر در

حالت (۱) نشان می دهد.

$I_2 = \dots\dots\dots \text{mA}$  جریانی که میلی آمپر در

حالت (۲) نشان می دهد.

$I_3 = \dots\dots\dots \text{mA}$  جریانی که میلی آمپر در

حالت (۳) نشان می دهد.



طبق شکل ۱۱۱-۲ (حالت ۳) میلی آمپر متر را به طور سری به مقاومت  $560\ \Omega$  وصل کنید و جریان را اندازه گیری و یادداشت کنید.

$$I_p = \dots\dots\dots \text{mA}$$

■ رنج میلی آمپر متر حالت (۱) را روی  $50\ \text{mA}$  قرار دهید.

■ ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی ۵ ولت تنظیم کنید.

■ مقادیری که میلی آمپر متر نشان می دهند را بخوانید و یادداشت کنید.

$$I_{\text{کل}} = I_1 = \dots\dots\dots \text{mA}$$

حالت (۱) نشان می دهد.

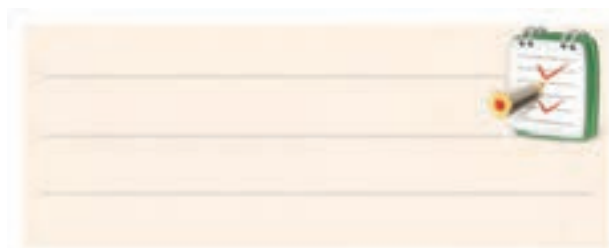
$$I_p = \dots\dots\dots \text{mA}$$

حالت (۲) نشان می دهد.

$$I_p = \dots\dots\dots \text{mA}$$

حالت (۳) نشان می دهد.

**سؤال ۲۰:** با توجه به نتایج آزمایش بالا، رابطه  $I_1 = I_p + I_p$  تأیید می شود؟ چرا؟ توضیح دهید.

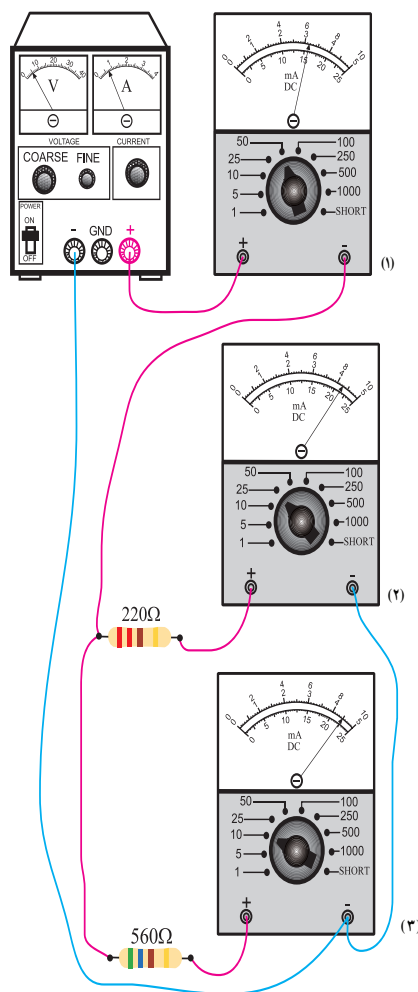


■ ولتاژ منبع تغذیه را کمی کم کنید تا میلی آمپر متر در حالت (۱) جریان  $10\ \text{mA}$  را نشان دهد.

■ جریان های مقاومت  $220\ \Omega$  (حالت ۲) و  $560\ \Omega$  را (حالت ۳) اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

### توجه

در هر مرحله که مولتی متر (میلی آمپر متر) را از مدار جدا می کنید، محل اتصال دو سیم مولتی متر را با یک قطعه سیم، اتصال کوتاه کنید.



شکل ۱۱۱-۲

■ طبق شکل ۱۱۱-۲ (حالت ۲)، میلی آمپر متر را به طور سری به مقاومت  $220\ \Omega$  وصل کنید و جریان را اندازه گیری و یادداشت کنید.

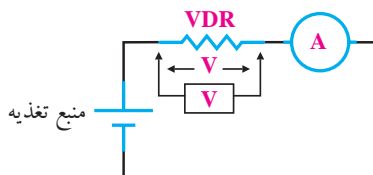
$$I_p = \dots\dots\dots \text{mA}$$

## موضوع ج- بررسی اثر تغییرات ولتاژ روی مقاومت اهمی وابسته به ولتاژ (VDR)

در صورت موجود بودن مقاومت VDR و نیز دسترسی به منبع ولتاژ DC با رنج بالا، این آزمایش را می‌توانید انجام دهید.

■ مقدار ولتاژ ورودی منبع تغذیه را روی ۳۰ ولت تنظیم کنید.

■ مدار شکل ۲-۱۱۲ را روی بردبرد ببندید.



۲-۱۱۲

■ یک ولت‌متر به طور موازی به دو سر مقاومت VDR وصل کنید و ولتاژ دو سر آن را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{VDR} = \dots\dots\dots (V)$$

■ با تغییر ولتاژ منبع تغذیه مطابق جدول زیر، در هر مرحله مقدار ولتاژ دو سر مقاومت و نیز جریان عبوری از مدار را اندازه بگیرید و در جدول ۲-۵ یادداشت کنید.

جدول ۲-۵

مرحله	$E_{(volt)}$	$V_{VDR}(V)$	$I_{(A)}$	$R_{VDR}(\Omega)$
۱	۳۰			
۲	۵۰			
۳	۱۰۰			
۴	۱۵۰			

$I_{\text{کل}} = I_1 = 10 \text{ mA}$  جریانی که میلی‌آمپر متر در

حالت (۱) نشان می‌دهد.

$I_2 = \dots\dots\dots \text{mA}$  جریانی که میلی‌آمپر متر در

حالت (۲) نشان می‌دهد.

$I_3 = \dots\dots\dots \text{mA}$  جریانی که میلی‌آمپر متر در

حالت (۳) نشان می‌دهد.

**سوال ۲۱:** آیا رابطه‌ی  $I_1 - I_2 - I_3 = 0$  (قانون KCL) با

توجه به مقادیر به دست آمده در مدار شکل ۲-۱۱۱ صادق است؟ توضیح دهید.

**سوال ۲۲:** آیا رابطه‌ی تقسیم جریان به دو شاخه‌ی

موازی در مدار شکل ۲-۱۱۱ صادق است؟ توضیح دهید.

$$\left[ \begin{array}{l} I_1 = I_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2} \\ I_2 = I_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \end{array} \right.$$

## ۱۳-۲ پیل‌ها و باتری‌ها

پیل وسیله‌ای است که انرژی را به صورت انرژی شیمیایی ذخیره و هنگام تحویل به مصرف کننده، آن را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. از اتصال چند پیل الکتروشیمیایی، یک باتری تشکیل می‌شود. در بین عامه به اشتباه از اصطلاح باتری به جای پیل استفاده می‌شود.

### ۱۳-۱ انواع پیل

در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان پیل‌ها را به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم کرد.

پیل‌های اولیه پیل‌هایی هستند که قابل شارژ مجدد نیستند و پس از اتمام عمر مفید، باید آن‌ها را دور انداخت. از پیل‌های اولیه که به صورت پیل یا باتری ساخته می‌شود می‌توان انواع باتری‌های ساعت مچی یا باتری‌های چراغ قوه را نام برد.

پیل‌های ثانویه پیل‌های قابل شارژ هستند. پس از خالی شدن، مجدداً می‌توان آن‌ها را با جریان DC شارژ کرد. پیل‌های ثانویه را به صورت باتری می‌سازند. از انواع باتری‌های ثانویه می‌توان به باتری خودرو اشاره کرد که در انواع مختلف ساخته می‌شود.

### ۱۳-۲ پیل‌های اولیه

پیل‌های اولیه در صنعت اصطلاحاً تحت عنوان «پیل‌های خشک» معروف هستند. و مهم‌ترین آن‌ها به شرح زیر است:

#### الف: پیل روی-کربن

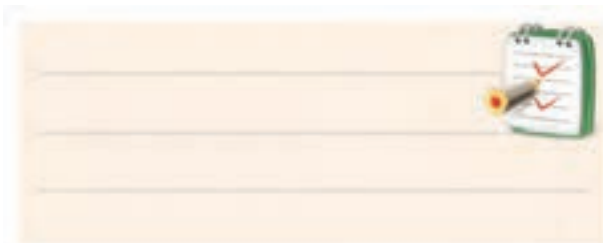
پیل روی-کربن یکی از رایج‌ترین پیل‌ها و از انواع پیل اولیه و غیر قابل شارژ است. این پیل‌ها که در اندازه‌های قلمی، متوسط و بزرگ با کاربردهای گوناگون تولید و به بازار عرضه می‌شود. ولتاژ پیل روی-کربن ۱/۵ ولت است و به ابعاد پیل بستگی ندارد. به پیل روی-کربن پیل لکلانسه نیز

■ با استفاده از رابطه‌ی  $R = \frac{V}{I}$  مقدار مقاومت VDR

را در هر مرحله محاسبه کنید و در جدول ۵-۲ بنویسید.

**سوال ۲۳:** مقادیری را که برای مقاومت VDR در

هر مرحله به دست آورده اید، مقایسه کنید و درباره‌ی نتیجه توضیح دهید.



### ۴-۱۲-۲ نتایج آزمایش:

آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته اید به اختصار شرح دهید.

الف -

ب -

ج -

### ج: پیل های لیتیوم (Lithium)

نوع دیگری از پیل های یک بار مصرف، پیل های لیتیوم هستند که اخیراً نوع قابل شارژ آن نیز ساخته شده است. از ویژگی این نوع پیل ها، ولتاژ خروجی زیاد ( $2/9$  تا  $3/7$  ولت بستگی به الکترولیت آن)، طول عمر زیاد (۵ تا ۷ سال)، وزن کم و حجم کم آن است. از این رو از این باتری در ساعت های مچی و کاربردهای ویژه ای مشابه استفاده می شود. شکل ۲-۱۱۵ نمونه هایی از انواع پیل و باتری لیتیوم را نشان می دهد.



شکل ۲-۱۱۵ انواع پیل و باتری لیتیوم

پیل های لیتیوم را به صورت باتری نیز می سازند .

### د: پیل اکسید نقره

این نوع پیل از تولیدات دهه ی اخیر است که ولتاژی برابر  $1/5$  ولت دارد. پیل اکسید نقره در ابعاد بسیار کوچک تولید می شود، به همین جهت در ساعت های مچی یا دستگاه های مشابه کوچک که با باتری  $1/5$  ولت کار می کنند مورد استفاده قرار می گیرند.

پیل های اکسید نقره در وسایل الکترونیک با ابعاد کوچک مانند ماشین حساب جیبی نیز کاربرد دارد. شکل ۲-۱۱۶ شکل ظاهری چند نمونه پیل و ساختمان داخل آن را نشان می دهد.

می گویند. شکل ۲-۱۱۳ نمونه هایی از پیل های روی - کربن را نشان می دهد.



شکل ۲-۱۱۳ پیل های روی - کربن

در بازار به این نوع پیل ها به غلط باتری می گویند.

### ب: پیل قلیایی (آلکالین)

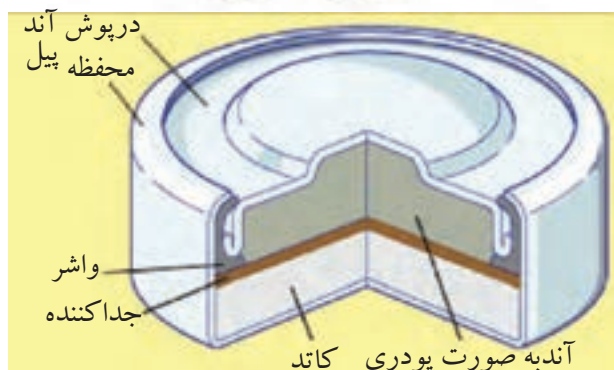
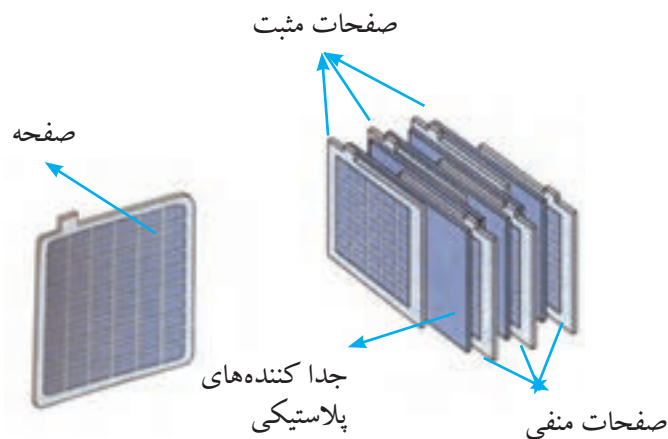
ولتاژ پیل قلیایی مانند پیل روی - کربن  $1/5$  ولت است. با ابعاد مشابه، پیل قلیایی می تواند گنجایش جریانی دو تا پنج برابر پیل روی - کربن را داشته باشد. همچنین در اثر کشیدن جریان، ولتاژ پیل قلیایی افت کمتری نسبت به پیل روی - کربن دارد) زیرا مقاومت داخلی کوچکتری دارد). بنابراین در جایی که جریان بیشتر، همراه با عمر بیش تر، مورد نظر باشد می توان از باتری قلیایی به جای باتری روی - کربن استفاده کرد. شکل ۲-۱۱۴ چند نمونه از باتری قلیایی را نشان می دهد.



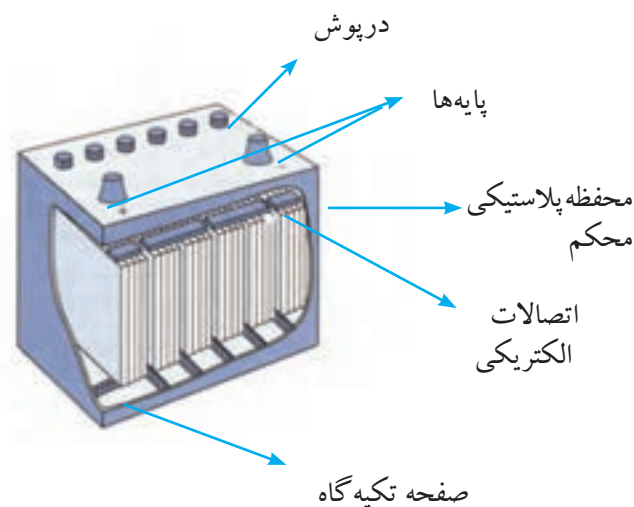
شکل ۲-۱۱۴ چند نمونه پیل قلیایی

### پیل سرب-اسید

پیل سرب-اسید یکی از قدیمی ترین و رایج ترین پیل ها و از نوع ثانویه و قابل شارژ شدن است. در باتری های به کار رفته در اکثر اتومبیل ها از این نوع پیل استفاده می شود. در شکل ۱۱۷-۲ ساختمان داخلی باتری سرب-اسید را مشاهده می کنید که معمولاً در اتومبیل به کار می رود.



شکل ۱۱۶-۲ شکل ظاهری چند نمونه پیل اکسید نقره و ساختمان داخلی آن



شکل ۱۱۷-۲ ساختمان باتری سرب - اسید



الساندرو ولتا (۱۷۴۵-۱۸۲۷)  
واحد اختلاف پتانسیل (ولتاژ)  
به نام اوست و پیل روی-کربن  
(ولتا) را ساخته است.

### ۳-۱۳-۲ پیل های ثانویه

پیل های ثانویه، قابلیت پر شدن (شارژ) و خالی شدن (دشارژ) مکرر را دارند.

از انواع این نوع پیل ها می توان پیل های سرب-اسید و نیکل-کادمیوم را نام برد.

### پیل های نیکل - کادمیوم

این پیل نیز از انواع پیل های ثانویه است و قابلیت شارژ شدن را دارد. ولتاژ نامی این پیل دربار کامل ۱/۲ ولت و در حالت بی باری ۱/۳ تا ۱/۳۸ ولت است. میزان جریان دهی لحظه ای

## ۱۴-۲ اتصال پیل‌ها

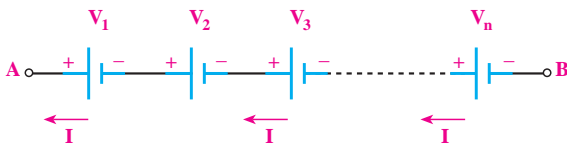
### ۱۴-۱-۲ اتصال سری پیل‌ها

اگر پیل‌ها را طوری به هم وصل کنیم که قطب منفی هریک به قطب مثبت دیگری اتصال داشته باشد و این روش اتصال تا آخرین پیل ادامه یابد، این نوع اتصال را «اتصال سری» موافق پیل‌ها می‌نامند، شکل ۲-۱۲۰.



شکل ۲-۱۲۰ اتصال سری پیل‌ها

جریان عبوری از مدار چند پیل که با هم سری شده‌اند، برای همه‌ی پیل‌ها مساوی است. ولتاژ کل پیل‌های سری در شکل ۲-۱۲۱ از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

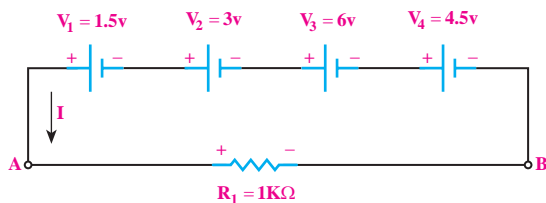


شکل ۲-۱۲۱ جریان عبوری از اتصال سری پیل‌ها

$$V_{AB} = V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

**مثال ۲۸:** هرگاه چهار باتری مانند شکل ۲-۱۲۲ به

صورت سری موافق به هم وصل شوند، ولتاژ کل مدار چه مقدار است؟



شکل ۲-۱۲۲ اتصال چهار باتری به صورت سری

این پیل خیلی زیاد است به دفعات بسیار زیاد می‌تواند شارژ شود. این پیل را می‌توان به‌طور کامل تخلیه و مجدداً شارژ کرد. باتری بسیاری از اتومبیل‌های جدید و همچنین بعضی از تلفن‌های همراه از ترکیب پیل‌های نیکل - کادمیوم است. معمولاً بر روی پیل‌های نیکل - کادمیوم واژه «RECHARGABLE» به معنی قابل شارژ شدن را می‌نویسند. در شکل ۲-۱۱۸ نمونه‌هایی از پیل‌های نیکل - کادمیوم نشان داده شده است.

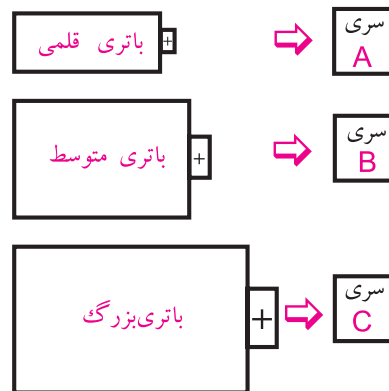


شکل ۲-۱۱۸ پیل نیکل کادمیوم

اندازه‌ی باتری‌های کوچک که مصرف خانگی دارند مانند رادیوهای کوچک، ساعت و غیره را با حروف مشخص می‌کنند.

مثلاً باتری AA بزرگ‌تر از AAA است. در شکل ۲-۱۱۹

نام انواع باتری‌های خانگی در زیر هر یک نوشته شده است.



شکل ۲-۱۱۹ نمادهای انواع پیل‌های قلمی، متوسط و بزرگ



حل:

برای محاسبه‌ی ولتاژ کل باید ولتاژ هر یک از پیل‌ها را با هم جمع کنیم.

$$V_{AB} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

$$V_{AB} = 1/5 + 3 + 6 + 4/5$$

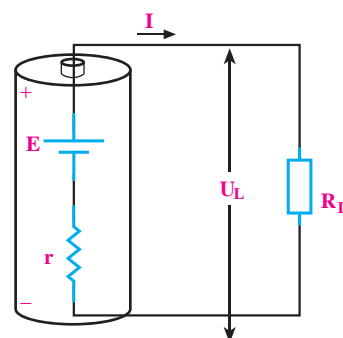
$$V_{AB} = V_T = 15V$$

## ۲-۱۴-۲ مقاومت داخلی پیل‌ها

یک پیل را در نظر می‌گیریم و ابتدا به کمک ولت‌متر، ولتاژ دو سر پیل را اندازه‌گیری می‌کنیم. سپس این پیل را به دو سر مقاومت وصل می‌کنیم و مجدداً ولتاژ دو سر پیل را اندازه می‌گیریم. از مقایسه‌ی ولتاژها در می‌یابیم که ولتاژ اندازه‌گیری شده در مرحله‌ی دوم از مرحله‌ی اول کم‌تر است. در صورتی که انتظار داشتیم ولتاژ اندازه‌گیری شده در هر دو مرحله یکسان باشد.

اختلاف ولتاژ حاصل شده در دو مرحله‌ی اندازه‌گیری را این‌گونه تعبیر می‌کنیم که باید حتماً در داخل پیل، مقاومتی وجود داشته باشد که با عبور جریان، مقداری از ولتاژ پیل در دو سر آن افت کرده است و باعث کاهش ولتاژ خروجی پیل در مرحله‌ی دوم شده است. این مقاومت را «مقاومت

داخلی پیل» می‌نامند، شکل ۲-۱۲۳. مقاومت داخلی پیل را با حرف  $r$  نمایش می‌دهند. این مقاومت همیشه با مصرف‌کننده به صورت سری قرار می‌گیرد.



شکل ۲-۱۲۳ مقاومت داخلی باتری

توجه

در صورتی که بخواهیم ولتاژ کل را افزایش دهیم، پیل‌ها را به طور سری با هم می‌بندیم.



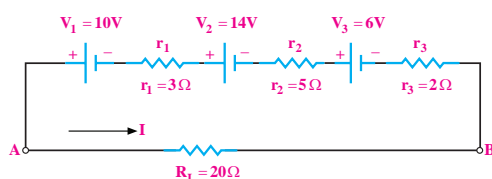
اگر پیل‌های سری شده را به صورت واقعی یعنی با مقاومت داخلی  $r$ ، در نظر بگیریم، اثر مقاومت پیل‌ها در مدار مانند چند مقاومت ظاهر می‌شود.

**مثال ۲۹:** در شکل ۲-۱۲۴ سه باتری به صورت سری، یک مقاومت را تغذیه می‌کند، مطلوب است:

الف- ولتاژ کل مدار

ب- مقاومت داخلی کل باتری‌ها

ج- جریان عبوری از مقاومت  $R_L$



شکل ۲-۱۲۴

حل:

ولتاژ کل را بدون در نظر گرفتن مقاومت‌های داخلی پیل‌ها محاسبه می‌کنیم:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_T = 10 + 14 + 6 = 30V$$

(الف)

(ب) چون مقاومت داخلی پیل‌ها به صورت سری با هم بسته شده‌اند، مقاومت معادل آن را به دست می‌آوریم.

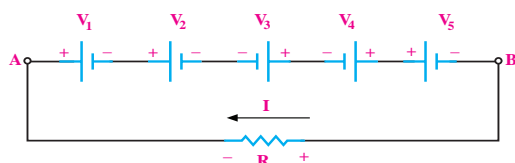
$$r_T = r_1 + r_2 + r_3$$

$$r_T = 3 + 5 + 2 = 10\Omega$$

ج) طبق قانون اهم جریان از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$I_L = \frac{V_{AB}}{R_L + r_T} = \frac{30}{20 + 10} \\ \Rightarrow I_L = 1A$$

پیل‌ها و قطب‌های مثبت و منفی افت ولتاژ دو سر مقاومت‌ها مشخص باشد. معمولاً قطب‌های مولد یا منابع از ابتدا مشخص است. یک جهت قراردادی را برای جریان مدار در نظر می‌گیریم و براساس جهت قراردادی جریان، قطب‌های افت ولتاژ را در مصرف‌کننده‌ها تعیین می‌کنیم. در نقطه‌ای که جریان وارد مصرف‌کننده می‌شود براساس جهت قراردادی جریان، آن نقطه مثبت است. در حلقه بسته حرکت می‌کنیم و  $kV_L$  را می‌نویسیم، شکل ۲-۱۲۶.



شکل ۲-۱۲۶ پنج باتری به صورت متقابل وصل شده‌اند.

اگر جهت فلش جریان به قطب مثبت پیل وارد شود آن را مثبت و اگر به قطب منفی پیل وارد شود آن را منفی در نظر می‌گیریم. در مدار شکل ۲-۱۲۶ معادله‌ی KVL به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$V_1 + V_2 - V_3 - V_4 + V_5 + RI = 0$$

### توجه

در این مدار نیز به جهت قرار دادی جریان برای نوشتن KVL توجه شده است.



### ۴-۱۴-۲ اتصال موازی پیل‌ها

هر گاه تعدادی پیل را طوری به هم اتصال دهیم که قطب مثبت همه پیل‌ها به یکدیگر و قطب منفی آن‌ها نیز به هم متصل شوند، این نوع اتصال را «اتصال موازی» می‌گویند، شکل ۲-۱۲۷.

### توجه

اگر ولتاژ پیل‌های سری شده با هم برابر باشند، ولتاژ کل آن‌ها از رابطه‌ی  $V_T = n \cdot V$  محاسبه می‌شود.



### ۳-۱۴-۲ اتصال متقابل (سری مخالف) پیل‌ها

یکی دیگر از روش‌هایی که می‌توان پیل‌ها را به صورت سری به هم اتصال داد، حالت اتصال سری مخالف است. در این روش نحوه اتصال قطب‌های مثبت و منفی پیل‌ها، ترتیب خاصی ندارد و ممکن است قطب‌های هم نام به هم وصل شوند و یا قطب‌های غیر هم نام به یکدیگر اتصال داده شوند. به عبارت دیگر در این نوع اتصال، تعدادی از پیل‌ها به صورت سری مخالف (منفی به منفی و مثبت به مثبت) بسته می‌شوند، شکل ۲-۱۲۵.



شکل ۲-۱۲۵

چنانچه بخواهیم برای افزایش ولتاژ یا افزایش جریان چند پیل را به صورت سری یا موازی ببندیم، باید مشخصات پیل‌ها، کاملاً با هم مشابه باشد. برای محاسبه ولتاژ کل مدار، باید قطب‌های مثبت و منفی



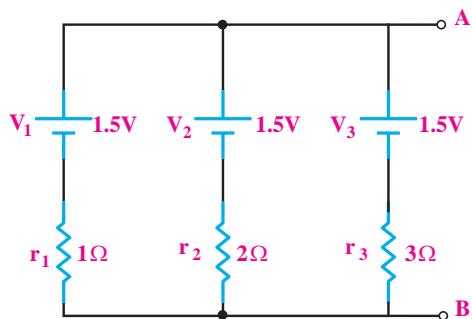
از طرفی چون پیل‌ها مساوی هستند، می‌توانیم از رابطه‌ی زیر نیز استفاده کنیم:

$$r_{AB} = r_T = \frac{r}{n}$$

**مثال ۳۰:** در مدار شکل ۱۲۹-۲ مطلوب است:

الف) کاربرد مدار

ب) مقاومت داخلی کل پیل‌ها از دو نقطه‌ی A و B



شکل ۱۲۹-۲

**حل:**

الف) چون پیل‌ها موازی هستند، جریانی بیشتر از جریان یک پیل به بار می‌رسد.

ب) مقاومت داخلی از رابطه‌ی مقاومت‌های موازی به

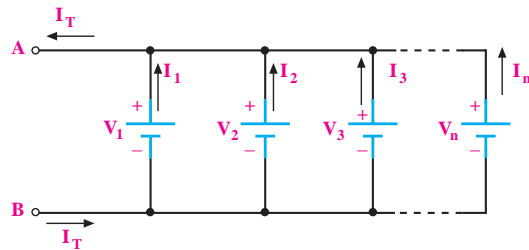
دست می‌آید:

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$$

مقادیر مقاومت‌های داخلی پیل‌ها را در رابطه جایگزین

می‌کنیم:

$$\begin{aligned} \frac{1}{r_T} &= \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \\ \frac{1}{r_T} &= \frac{6+3+2}{6} = \frac{11}{6} \\ r_T &= 0.54\Omega \end{aligned}$$



شکل ۱۲۷-۲

از اتصال موازی پیل‌ها زمانی استفاده می‌شود که جریان مورد نیاز بیشتر از میزان جریان دهی یک پیل باشد.

در اتصال موازی پیل‌ها، ولتاژ دو سر مدار ثابت است.

در اتصال موازی پیل‌ها داریم:

$$V_{AB} = V_T = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

از طرفی چون پیل‌ها از نظر ولتاژ یکسان هستند پس

می‌توانیم بنویسیم:

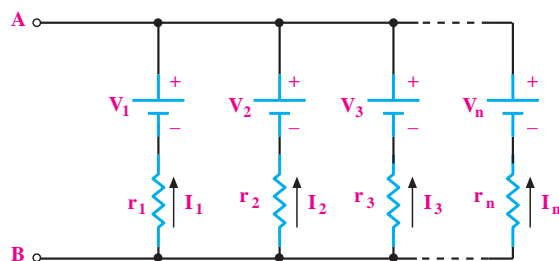
$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \Rightarrow I_T = nI$$

اگر مقاومت داخلی هر پیل را نیز برابر در نظر بگیریم،

مداری مطابق شکل ۱۲۸-۲ به دست می‌آید. در این مدار،

مقاومت معادل پیل‌ها، مشابه مقاومت‌های موازی قابل محاسبه

است و از رابطه‌ی زیر حساب می‌شود:



شکل ۱۲۸-۲

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n}$$

## ۱۵-۲ آزمایش شماره (۴)

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

### ۱-۱۵-۲ هدف آزمایش:

اتصال سری و موازی پیل ها به صورت عملی.

### ۲-۱۵-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و موارد مورد نیاز:

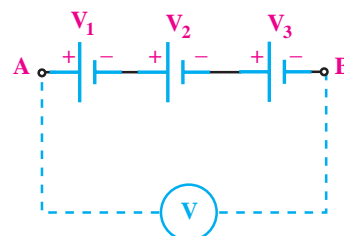
ردیف	نام و مشخصات	تعداد/مقدار
۱	ولت متر دیجیتالی	یک دستگاه
۲	پیل قلمی ۱/۵ ولتی	سه عدد
۳	مقاومت $1K\Omega$ ، $1W$	یک عدد
۴	بردبرد	یک قطعه
۵	سیم های دو سر گیره سوسماری	پنج رشته
۶	سیم رابط تلفنی	به مقدار لازم
۷	سیم چین	یک عدد
۸	سیم لخت کن	یک عدد

### ۳-۱۵-۲ مراحل اجرای آزمایش:

#### موضوع الف- به هم بستن سری پیل ها

■ با استفاده از ولت متر دیجیتالی، ولتاژ DC پیل ها را

اندازه بگیرید و یادداشت کنید، شکل ۱۳۰-۲.



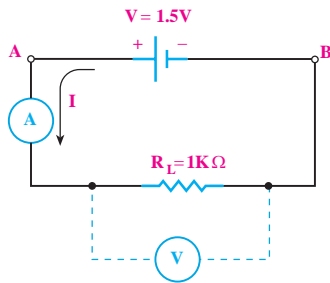
شکل ۱۳۰-۲

$$V_1 = \dots\dots\dots V$$

$$V_2 = \dots\dots\dots V$$

$$V_3 = \dots\dots\dots V$$

■ مدار شکل ۱۳۱-۲ را روی برد برد ببندید.



شکل ۱۳۱-۲

■ ابتدا به کمک مولتی متر دیجیتالی، ولتاژ دو سر

مقاومت  $R_L$  را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

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

■ رنج دستگاه اندازه گیری را جهت اندازه گیری جریان

آماده کنید.

■ مولتی متر دیجیتالی را در حوزه ی کار آمپر متر به

صورت سری در مدار قرار دهید و جریان را اندازه بگیرید

و یادداشت کنید.

$$I_{R_L} = \dots\dots\dots A$$

**سؤال ۲۴:** آیا ولتاژ اندازه گیری شده دو سر پیل با

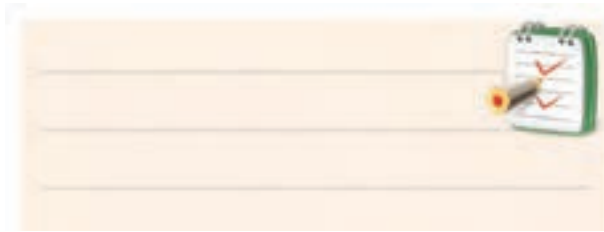
ولتاژ اندازه گیری شده دو سر مقاومت یکی است؟

در هر صورت پاسخ خود را شرح دهید.



**سؤال ۲۶:** آیا بین مقدار این ولتاژ و  $V_{AB}$  که قبلاً

اندازه گیری کردید، تفاوتی وجود دارد؟ چرا؟



■ مولتی متر دیجیتالی را برای اندازه گیری جریان در

حوزه کار آمپر متر قرار دهید.

■ جریان مدار شکل ۲-۱۳۳ را اندازه بگیرید و یادداشت

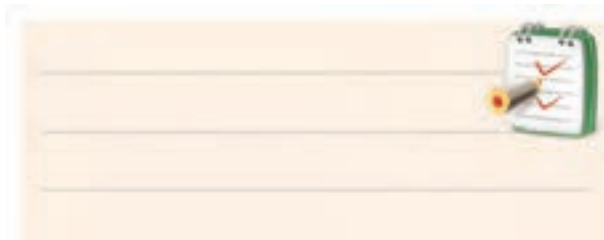
کنید.

$$I_{AB} = \dots\dots\dots A$$

**سؤال ۲۷:** جریان در این مرحله که سه پیل در مدار

وجود دارد نسبت به مرحله ای که فقط یک پیل در مدار

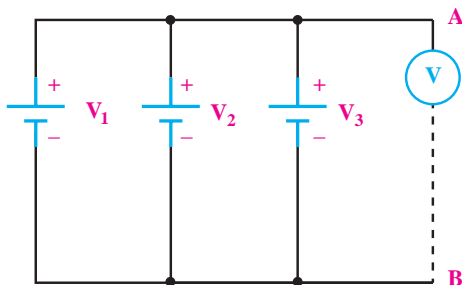
وجود داشت، چه تغییری کرده است؟ شرح دهید.



**موضوع ب- اتصال موازی پیل ها و اندازه گیری**

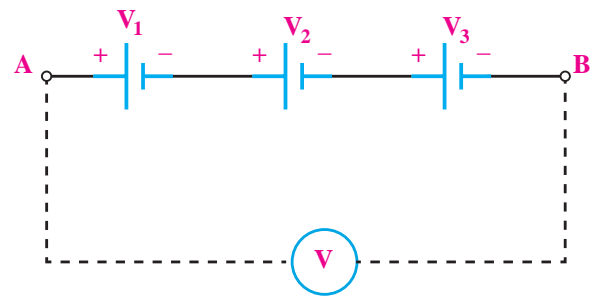
**مقادیر ولتاژ و جریان**

■ مدار شکل ۲-۱۳۴ را ببینید.



شکل ۲-۱۳۴

■ سه پیل را به صورت مدار شکل ۲-۱۳۲ اتصال دهید.



شکل ۲-۱۳۲

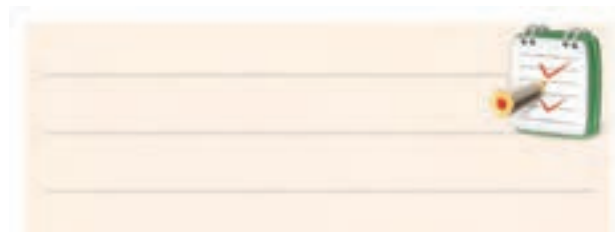
■ با ولت متر dc، ولتاژ دو نقطه ای A و B را اندازه بگیرید

و یادداشت کنید.

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

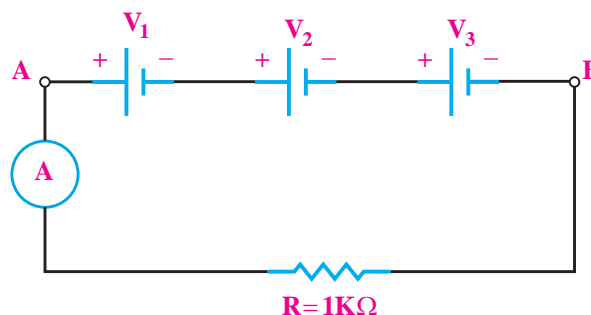
**سؤال ۲۵:** از مقدار ولتاژ به دست آمده چه نتیجه ای

می گیرید؟



■ یک مقاومت  $1K\Omega$  را مانند شکل ۲-۱۳۳ به مدار

اضافه کنید.

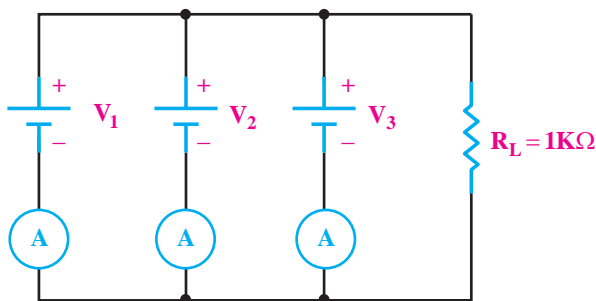


شکل ۲-۱۳۳

■ با مولتی متر دیجیتالی، ولتاژ دو سر مقاومت را اندازه

بگیرید و یادداشت کنید.

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

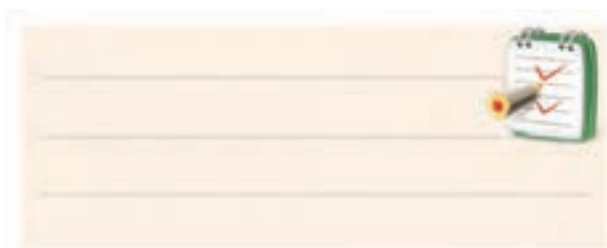


شکل ۲-۱۳۶

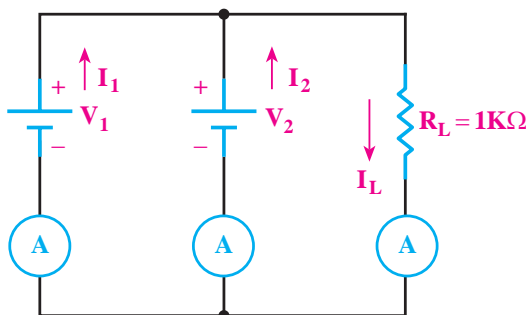
$$\begin{aligned} I_1 &= \dots\dots\dots \\ I_2 &= \dots\dots\dots \\ I_3 &= \dots\dots\dots A \end{aligned}$$

**سوال ۲۹:** از مقایسه‌ی جریان‌ها در این دو مرحله چه

نتیجه‌ای می‌گیرید؟ توضیح دهید.



■ مدار شکل ۲-۱۳۷ را با دو پیل و یک مقاومت ببندید.



شکل ۲-۱۳۷

■ با استفاده از مولتی‌متر که در حوزه‌ی کار ولت‌متر

DC قرار دارد، ولتاژ دو سر مقاومت  $R_L$  را اندازه بگیرید و

یادداشت کنید.

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

■ با مولتی‌متری که در حوزه‌ی کار ولت DC قرار دارد،

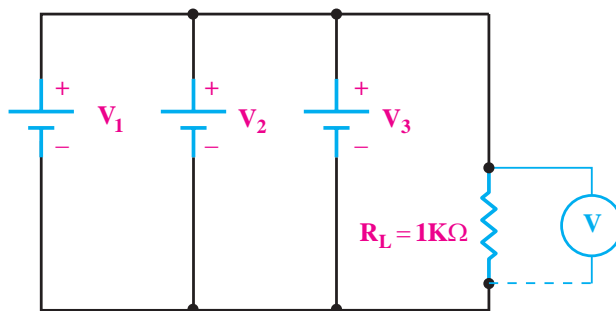
ولتاژ دو نقطه‌ی A و B را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

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

■ یک مقاومت  $1K\Omega$  را با پیل‌ها موازی کنید.

■ ولتاژ دو سر مقاومت  $R_L$  را با استفاده از مولتی‌متر DC

اندازه بگیرید و یادداشت کنید، شکل ۲-۱۳۵.

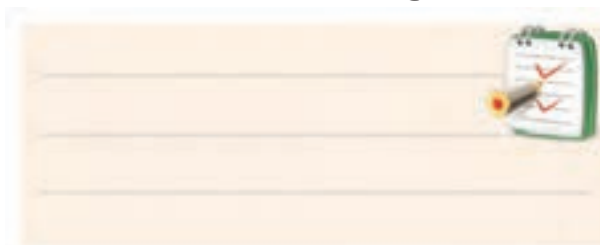


شکل ۲-۱۳۵

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

**سوال ۲۸:** ولتاژ اندازه‌گیری شده در این دو مرحله یکی

هستند؟ چرا؟ توضیح دهید.



■ با استفاده از مولتی‌متر در حوزه‌ی کار آمپر متر dc،

جریان جاری شده در مقاومت  $R_L$  را اندازه بگیرید و یادداشت

کنید.

$$I_L = \dots\dots\dots A$$

■ مولتی‌متر را در حوزه‌ی کار آمپر متر به تفکیک در

مسیر پیل‌ها قرار دهید و مانند شکل ۲-۱۳۶، جریان هر یک از

پیل‌ها را یادداشت کنید.

#### ۴-۱۵-۲ نتایج آزمایش:

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

الف -

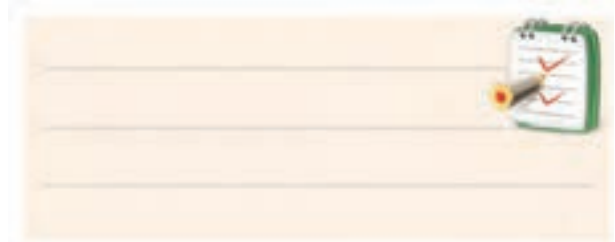
ب -

ج -

صاحب نظران علم مدیریت معتقدند: اگر ۲۰ درصد زمان خود را صرف برنامه‌ریزی کنیم، با اطمینان بیش‌تری در مورد ۸۰ درصد زمان باقی‌مانده قدم برمی‌داریم.

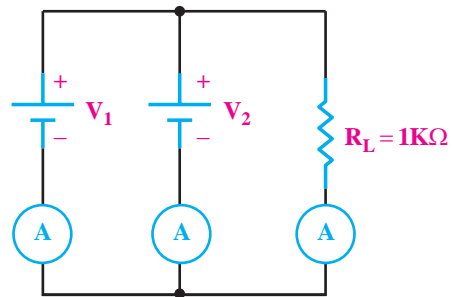
**سوال ۳۰:** آیا این ولتاژ با ولتاژ دو سر مقاومت  $R_L$  در

حالی که سه پیل با هم موازی شده بودند، یکی است؟ چرا؟ توضیح دهید.



■ با استفاده از آمپر متر dc جریان هر یک از شاخه‌ها را

مانند شکل ۲-۱۳۸ اندازه بگیرید و یادداشت کنید.



شکل ۲-۱۳۸

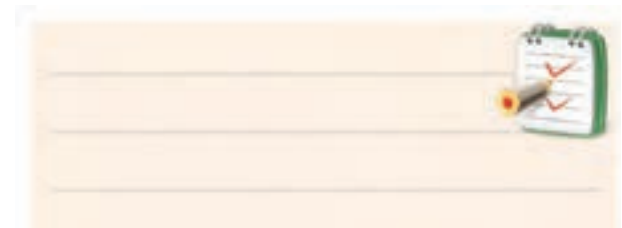
$$I_1 = \dots\dots\dots A$$

$$I_2 = \dots\dots\dots A$$

$$I_{R_L} = \dots\dots\dots A$$

**سوال ۳۱:** جریان‌های هر یک از پیل‌ها و جریان عبوری

مقاومت بار در این مرحله چه تفاوتی با جریان‌های اندازه‌گیری شده‌ی مرحله‌ی قبل دارد؟ توضیح دهید.





## آزمون پایانی فصل (۲)

۱- پیل های لیتیوم چند ولتی هستند؟

الف) ۱/۲ (ب) ۱/۵

ج) ۳ (د) ۶

۲- پیل های ۱/۵ ولت کوچک (مخصوص ساعت مچی)

معمولا از کدام نوع پیل ساخته می شوند؟

الف) آلکالین (ب) روی-کربن

ج) لیتیوم (د) اکسید نقره

۳- پیل های اولیه ی قابل شارژ ..... و پیل های ثانویه قابل

شارژ.....

الف) هستند- نیستند (ب) هستند- هستند

ج) نیستند- نیستند (د) نیستند- هستند

۴- مزیت باتری های آلکالین بر باتری های روی-کربن

کدام است؟

الف) حجم کم تر (ب) ولتاژ بیش تر

ج) جریان دو تا ۵ برابر (د) جریان دهی تا صد برابر

۵- مقدار مقاومت شکل ۲-۱۳۸ کدام است؟

470RM

شکل ۲-۱۳۹

الف)  $470\Omega \pm 20\%$  (ب)  $470\Omega \pm 10\%$

ج)  $470M\Omega \pm 20\%$  (د)  $470M\Omega \pm 10\%$

۶- مقاومت معادل شکل ۲-۱۴۰ چند اهم است؟



شکل ۲-۱۴۰

الف)  $2200\Omega \pm 10\%$  (ب)  $220\Omega \pm 10\%$

ج)  $2200\Omega \pm 5\%$  (د)  $220\Omega \pm 5\%$

۷- ترمیستوری را که تغییر مقاومت آن با افزایش دما

نسبت مستقیم دارد،..... می گویند.

۸- مقاومت های لایه ای معمولا از ترکیبات اکسید فلزی

..... و ..... ساخته می شوند.

۹- مقاومت هایی که در اثر افزایش دما، مقدار مقاومت شان

کاهش می یابد، NTC نام دارد.

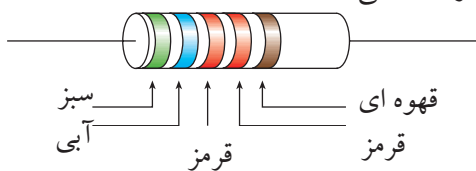
صحیح ☐ غلط ☐

۱۰- تلرانس مقاومت های سری E12 برابر  $10\pm\%$  است.

صحیح ☐ غلط ☐

۱۱- کدام گزینه مقدار اهم و تلرانس مقاومت شکل

۲-۱۴۱ را نشان می دهد؟



شکل ۲-۱۴۱

الف)  $56/2\Omega \pm 2\%$  (ب)  $6/84\Omega \pm 10\%$

ج)  $56/2K\Omega \pm 1\%$  (د)  $6/84K\Omega \pm 1\%$

۱۲- در مدارهای الکتریکی آمپر متر به صورت..... و

ولت متر به صورت ..... قرار می گیرد.

الف) سری- سری (ب) سری- موازی

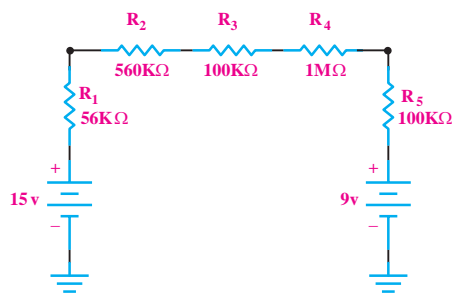
ج) موازی- سری (د) موازی- موازی

۱۳- ولتاژ هر پیل نیکل-کادمیوم حدود چند ولت

است؟

الف- ۱/۵ (ب) ۱/۳

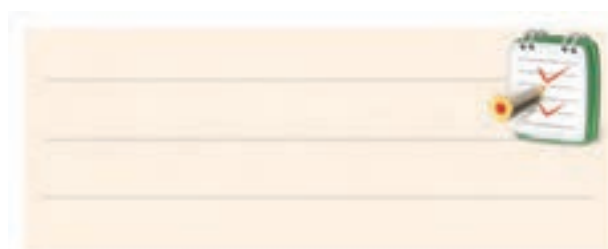
ج) ۲ (د) ۱/۳۵



شکل ۲-۱۴۳

مراحل محاسبه را بنویسید.

- الف) ۳/۳ (ب) ۰/۰۲  
ج) ۰/۰۴۵ (د) ۱۰



۱۴- الکتروود مثبت کدام یک از باتری‌های زیر از جنس اکسید منگنز است؟

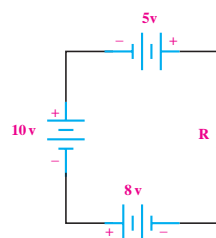
- الف) سرب-اسید (ب) روی-کربن  
ج) قلیایی (د) جیوه‌ای

۱۵- ولتاژ دو سر مقاومت در مدار شکل ۲-۱۴۲ چند ولت

است؟

مراحل محاسبه را بنویسید.

- الف) ۷ (ب) ۱۳  
ج) ۱۸ (د) ۲۳

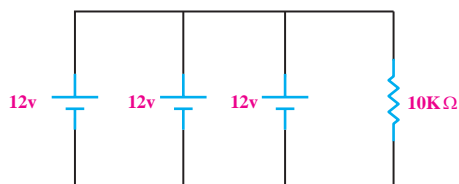


شکل ۲-۱۴۲



۱۷- توان مصرفی در مدار شکل ۲-۱۴۴ چقدر است؟

- الف) ۱/۴۴mW (ب) ۱۴/۴mW  
ج) ۱/۴۴W (د) ۱۴/۴W



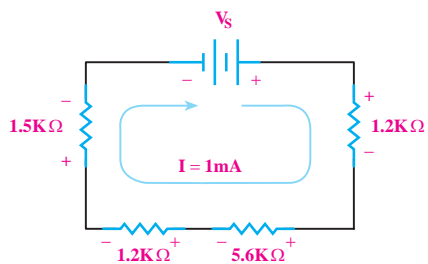
شکل ۲-۱۴۴

۱۸- جریان عبوری از مقاومت بار شکل ۲-۱۴۵ چند

- الف) ۱۱/۹ (ب) ۶  
ج) ۳ (د) ۱۲/۴

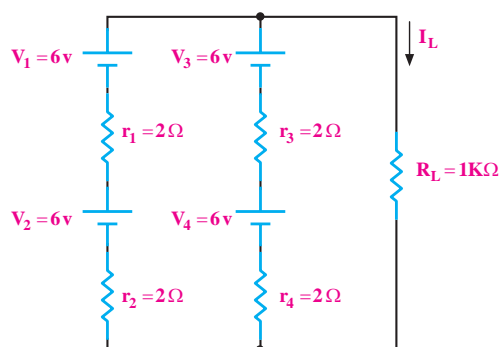
۱۶- جریان در مدار شکل ۲-۱۴۳ چند میکرو آمپر است؟

میلی آمپر است؟



شکل ۲-۱۴۷

الف) ۹/۵      ب) ۰/۹۵      ج) ۹۵      د) ۰/۰۹۵



شکل ۲-۱۴۵

۱۹- جریان عبوری از مدار شکل ۲-۱۴۶ چند میلی آمپر

است؟

مراحل محاسبه را بنویسید.

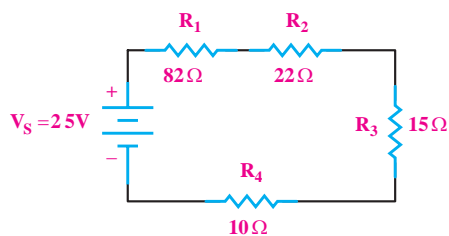
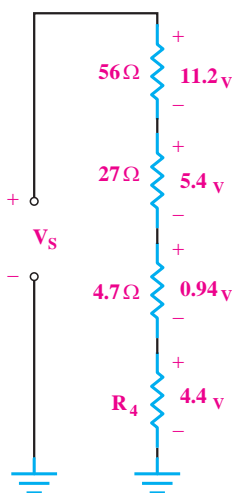
الف) ۱۹۴      ب) ۴/۸

ج) ۶/۲      د) ۵/۶

۲۱- مقدار مقاومت  $R_F$  در شکل ۲-۱۴۸ چند اهم است؟

مراحل محاسبه را بنویسید.

الف) ۰/۸۸      ب) ۲/۲      ج) ۲۲۰      د) ۲۲



شکل ۲-۱۴۶

۲۰- در مدار شکل ۲-۱۴۷ ولتاژ  $V_S$  چند ولت است؟

مراحل محاسبه را بنویسید.



## فصل سوم

### تجزیه و تحلیل و بستن مدارهای سری و موازی

**هدف کلی:** آشنایی با مدارهای سری، موازی و سری-موازی. اصول بستن پل و تستون و اصول کار با هویه

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



- ۱- خرابی در مدارهای سری را شرح دهد.
- ۲- عامل غیر مشترک در یک مدار موازی را توضیح دهد.
- ۳- ساختمان پل و تستون را شرح دهد.
- ۴- رابطه‌ی بین مقاومت‌ها را در پل و تستون، وقتی در کند.
- ۵- خصوصیات روغن لحیم را به اختصار شرح دهد.
- ۶- کاربرد لحیم‌های نوع A، B و C را توضیح دهد.
- ۷- چگونگی تشخیص لحیم کاری خوب را از بد شرح
- ۸- مدار پل و تستون را به طور عملی بررسی کند.
- ۹- اصول کار با هویه و قلع کش را به طور عملی تجربه
- ۱۰- کلیه‌ی اهداف رفتاری در حیطه‌ی عاطفی که در

ساعت آموزش			توانایی شماره
جمع	عملی	نظری	
۱۶	۸	۸	

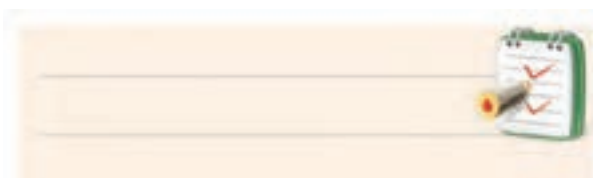


## پیش آزمون فصل (۳)

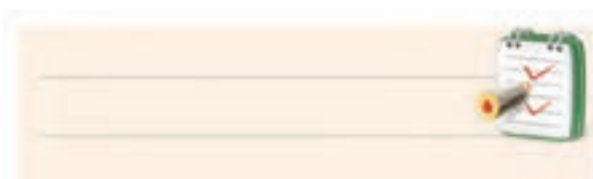
ج) مساوی بودن ولتاژ در مدار موازی به عنوان عامل غیر مشترک در نظر گرفته می شود.

د) آمپر متر به صورت سری با مصرف کننده ها قرار می گیرد.

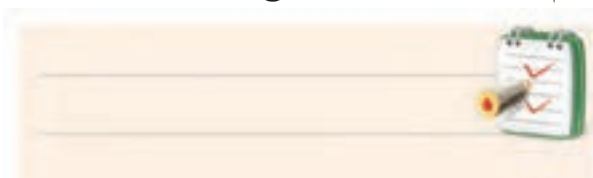
۸- اساس کار پل وتستون را شرح دهید.



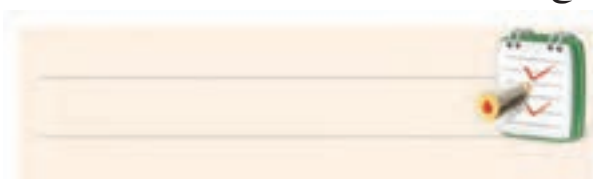
۹- روغن لحیم چه خصوصیتی دارد؟



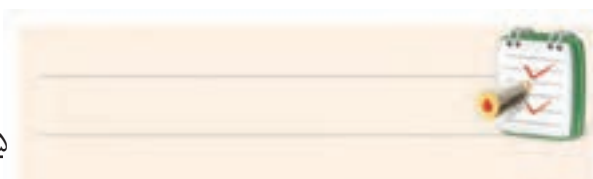
۱۰- چگونه می توان یک لحیم کاری خوب را از لحیم کاری بد تشخیص داد؟ شرح دهید.



۱۱- دو مورد مهم در تعمیر و نگهداری هویه ی قلمی را شرح دهید.



۱۲- انواع هویه های قلمی را نام ببرید.



۱- در یک مدار سری، عامل مشترک کدام است؟

الف) ولتاژ      ب) جریان

ج) مقاومت      د) هیچکدام

۲- ولتاژ منبع در یک مدار سری به نسبت ..... مقدار

مقاومت های آن مدار تقسیم می شود.

۳- در یک مدار سری با افزایش تعداد مقاومت ها، توان

مصرفی مدار چه تغییری می کند؟

الف) افزایش می یابد.      ب) کاهش می یابد.

ج) تغییر نمی کند.      د) نصف می شود.

۴- در مدار سری، جریان صفر خواهد شد اگر.....

الف) منبع تغذیه قطع شود.

ب) سیم های رابط قطع شود.

ج) مقاومت مصرف کننده قطع شود.

د) هر سه مورد.

۵- قانون تقسیم جریان در چه مداری استفاده می شود؟

الف) سری      ب) موازی

۶- کدام یک از روابط زیر صحیح نیست؟

الف)  $I = \frac{R}{V}$       ب)  $R = \frac{V}{I}$

ج)  $V = R \cdot I$       د)  $I = \frac{V}{R}$

۷- کدامیک از جملات زیر در یک مدار موازی صحیح نیست؟

الف) جریان در هر شاخه به نسبت عکس مقاومت های هر

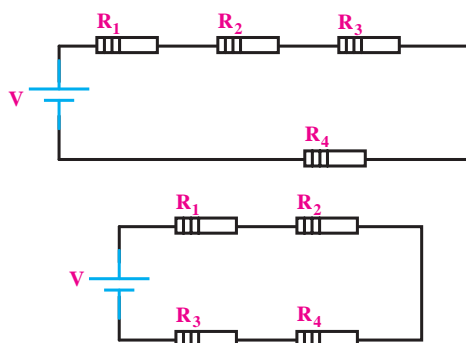
شاخه تقسیم می شود.

ب) توان تولید شده ی منبع، با مجموع توان های مصرفی

هر شاخه برابر است.

### ۳-۱ یادآوری مدار سری

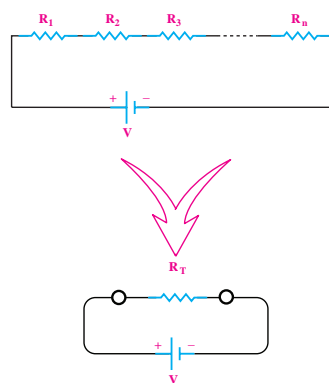
همان گونه که قبلاً گفته شد، اگر چند مقاومت پشت سر هم طوری به یکدیگر متصل شوند که فقط یک مسیر برای عبور جریان داشته باشند، یک مدار سری را تشکیل می‌دهند. ترتیب قرار گرفتن مقاومت ها در مدار سری، در مقدار مقاومت معادل مدار تاثیری ندارد. چون دو طرف مقاومت از نظر قرار گرفتن در مدار با یکدیگر تفاوتی ندارد، برای آن‌ها ابتدا یا انتهایی فرضی در نظر می‌گیرند، شکل ۳-۱.



شکل ۳-۱ ترتیب قرار گرفتن مقاومت‌ها در دو نمونه مدار سری

#### ۳-۱-۱ مقاومت معادل در مدار سری

مقاومت کل یا «مقاومت معادل» به مقاومتی گفته می‌شود که بتواند به تنهایی جایگزین همه‌ی مقاومت‌های موجود در مدار شود. در شکل ۳-۲ مقاومت معادل  $R_T$  می‌تواند جایگزین تمام مقاومت‌های موجود در مدار باشد.



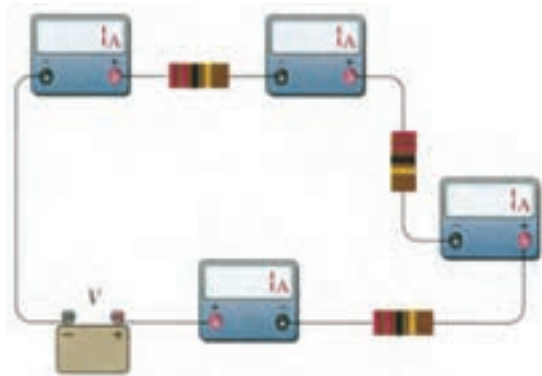
شکل ۳-۲ مقاومت معادل در مدار سری

با توجه به خصوصیت‌های ذکر شده در مورد مدارهای سری، رابطه‌ی نهایی مقاومت معادل  $R_T$  از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

#### ۳-۱-۲ عامل مشترک در مدار سری

چنان چه مداری را مطابق شکل ۳-۳ اتصال دهید، مشاهده می‌کنید که هر یک از آمپرمترها جریان‌های مساوی (یک آمپر) را نشان می‌دهند.



شکل ۳-۳ جریان در یک مدار سری

در مدار سری فقط یک مسیر برای عبور جریان الکتریکی وجود دارد. به عبارت دیگر در مدار سری، شدت جریان در همه‌ی نقاط مدار یکسان است. به همین دلیل در مدارهای سری، جریان به عنوان یک عامل مشترک برای تمام عناصر موجود در مدار فرض می‌شود.

برای جریان در مدار سری رابطه‌ی زیر صدق می‌کند:

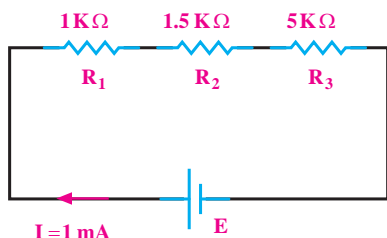
$$I_{R_1} = I_{R_2} = I_{R_3} = I_{R_4} = I_T$$

#### ۳-۱-۳ عامل غیر مشترک در مدار سری

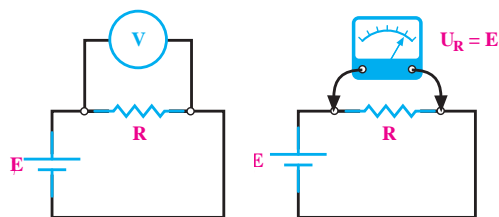
اگر به دو سر یک مقاومت ولتاژ مشخصی داده شود، تمام آن ولتاژ در دو سر مقاومت افت می‌کند، شکل ۳-۴.

### تمرین کلاسی ۱: در مدار شکل ۳-۶،

ولتاژ منبع تغذیه و افت ولتاژ دو سر مقاومت ها را به دست آورید.



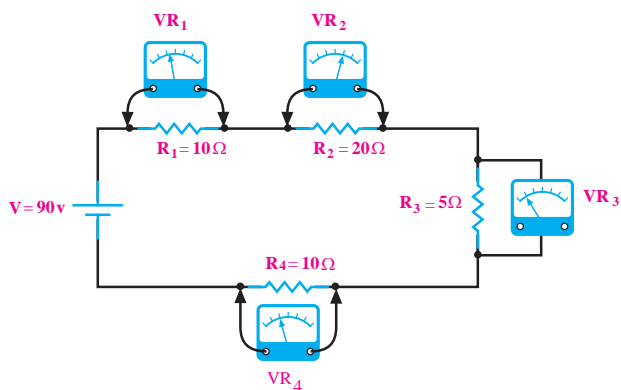
شکل ۳-۶



شکل ۳-۴ ولتاژ در دو سر مقاومت

مقدار ولتاژ دو سر مقاومت را به کمک ولت متر می توان اندازه گرفت. در واقع ولتاژ منبع با ولتاژ دو سر مقاومت برابر است.

چنانچه در یک مدار سری، چندین مقاومت با هم سری شده باشند، ولتاژ به نسبت مقدار مقاومت ها تقسیم می شود. به طوری که اگر با ولت متر، افت ولتاژهای دو سر هر یک از مقاومت ها را اندازه بگیریم و با هم جمع کنیم، ولتاژ منبع به دست می آید، شکل ۳-۵.

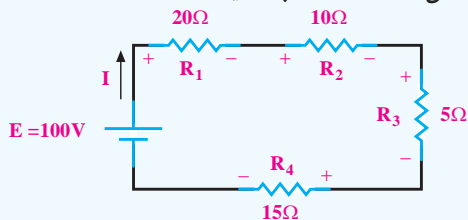


شکل ۳-۵ ولتاژ در مدار سری

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

### تمرین کلاسی ۲: در مدار شکل ۳-۷،

جریان کل مدار را حساب کنید.



شکل ۳-۷

نکته: ولتاژ منبع در یک مدار سری به نسبت

مستقیم مقدار مقاومت های آن مدار تقسیم می شود، یعنی مقاومت بیش تر ولتاژ بیش تر و مقاومت کم تر دارای ولتاژ کم تر است.

### ۵-۱-۳ مفهوم توان در مدار سری

توان کل در یک مدار سری، از مجموع توان‌های مصرف شده در هر یک از مقاومت‌ها به دست می‌آید. اگر مداری شامل  $n$  مقاومت سری باشد، توان کل برابر است با:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

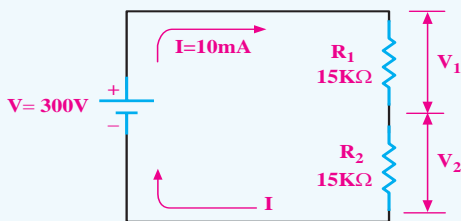
برای محاسبه‌ی توان هر یک از مقاومت‌ها و یا توان کل مدار، باید یکی از روابط توان را به کار ببریم که این روابط عبارتند از:

$$P = RI^2 \quad \text{و} \quad P = \frac{V^2}{R} \quad \text{و} \quad P = V \cdot I$$

### تمرین کلاسی ۴: در مدار شکل ۳-۹

مطلوب است:

- الف) افت ولتاژ مقاومت‌ها  
ب) توان مصرفی هر یک از مقاومت‌ها  
ج) توان کل مدار



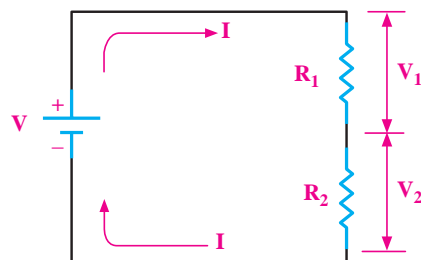
شکل ۳-۹

در یک مدار سری، جریان به عنوان یک عامل مشترک برای تمام عناصر موجود در مدار فرض می‌شود.

### ۴-۱-۳ تقسیم ولتاژ در مدار سری

دو مقاومت طبق شکل ۳-۸ به صورت سری بسته

شده‌اند.



شکل ۳-۸ افت ولتاژ در یک مدار سری

مقدار ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌ها را از روابط زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$V_1 = V \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

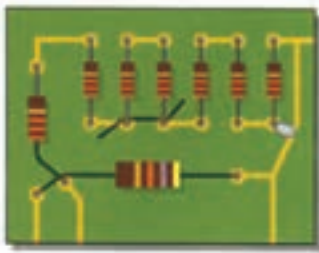
بر همین اساس برای محاسبه‌ی ولتاژ  $V_2$  نیز می‌توانیم بنویسیم:

$$V_2 = V \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

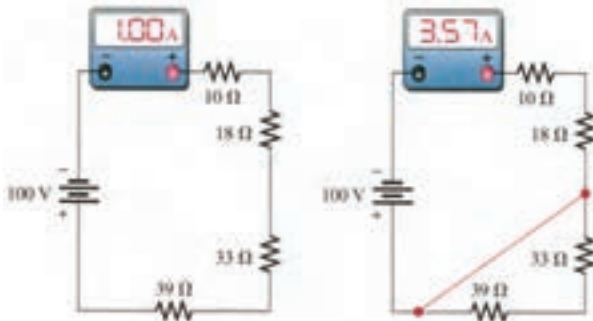
### تمرین کلاسی ۳: در صورتی که دو لامپ

با مقاومت  $4\Omega$  به صورت سری به باتری  $1/5$  ولت اتصال یابند، افت ولتاژ در سر هر لامپ چند ولت است؟

این حالت را نشان می‌دهد.



الف - حالت‌های مختلف اتصال کوتاه روی برد مدار چاپی



ج - جریان مدار در حالت عادی

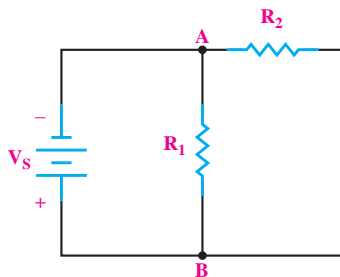
ب - جریان مدار در حالتی که دو مقاومت اتصال کوتاه شده‌اند.

شکل ۳-۱۱ - وضعیت مدار در حالت عادی و اتصال کوتاه

خوب گوش دادن یک هنر است، سعی کنید خوب گوش دهید تا مطالب درسی را به آسانی یاد بگیرید.

## ۳-۲ یادآوری مدار موازی

اگر دو یا  $n$  مقاومت به صورت شکل ۳-۱۲ به هم وصل شوند، اتصال موازی شکل می‌گیرد.



شکل ۳-۱۲ نمونه‌ای از مدار موازی



**نکته:** توان تولید شده توسط منبع، برابر مجموع

توان‌های مصرف شده در اجزای مدار است.

## ۳-۱-۶ خرابی در مدارهای سری

■ **قطع شدن مسیر عبور جریان:** در صورتی که در مدار

سری به خاطر هر یک از دلایل زیر، مسیر جریان قطع شود، جریان مدار صفر می‌شود.

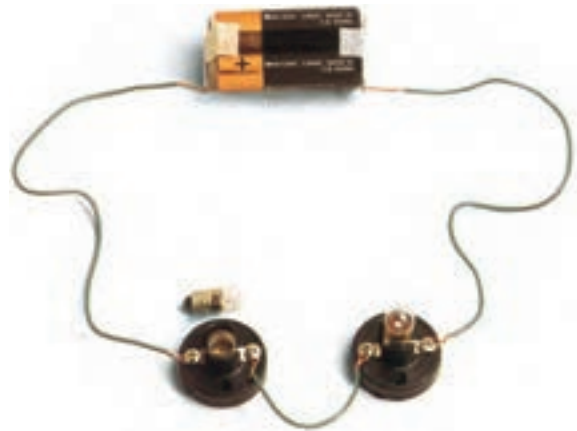
۱- قطع منبع تغذیه (خالی شدن باتری یا پیل)

۲- قطع شدن سیم‌های رابط (پارگی سیم)

۳- قطع شدن مقاومت مصرف کننده.

شکل ۳-۱۰ یک نمونه از حالات بالا را نشان می‌دهد.

در این مدار، لامپ قطع شده است.



شکل ۳-۱۰ قطع سیم یا لامپ موجب قطع شدن مدار سری می‌شود.

## ■ اتصال کوتاه در مدار سری

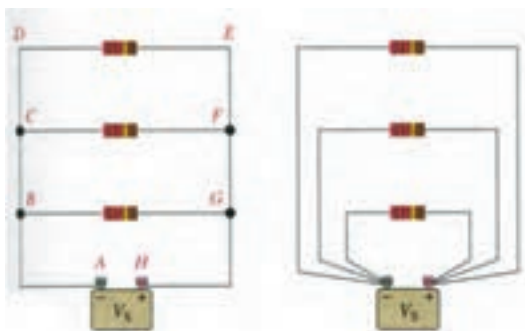
در صورتی که در یک مدار سری، اتصال کوتاه رخ دهد،

جریان مدار در مقایسه با مقدار اولیه، متناسب با تعداد (مقدار)

مقاومت‌های اتصال کوتاه شده، افزایش می‌یابد. شکل ۳-۱۱

### ۳-۲-۲ عامل مشترک در مدار موازی

در مدارهای موازی چون دو سر هر مقاومت مستقیماً به دو سر باتری متصل است، بنابراین ولتاژ دو سر همه‌ی مقاومت‌ها با هم مساوی است. **مساوی بودن ولتاژ** در مدار موازی به عنوان **عامل مشترک** مدار در نظر گرفته می‌شود. در شکل ۳-۱۵، تساوی ولتاژها در مدار موازی دیده می‌شود.



شکل ۳-۱۵ در مدار موازی، ولتاژ ثابت است.

برای مدارهای موازی، رابطه‌ی زیر صدق می‌کند:

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_S$$

به بیانی دیگر:

$$V_{R1} = V_{R2} = V_{R3} = \dots = V_S$$

### ۳-۲-۳ عامل غیر مشترک در مدار موازی

عاملی که در مدارهای موازی دارای مقدار ثابتی برای تمام عناصر مدار نیست را «**عامل غیر مشترک**» می‌نامیم. **جریان در هر شاخه‌ی یک مدار موازی** به نسبت عکس مقدار مقاومت‌های هر شاخه تقسیم می‌شود زیرا طبق قانون اهم  $I = \frac{V}{R}$  است.

مطابق شکل ۳-۱۶ در هر شاخه از مدار یک آمپر متر قرار

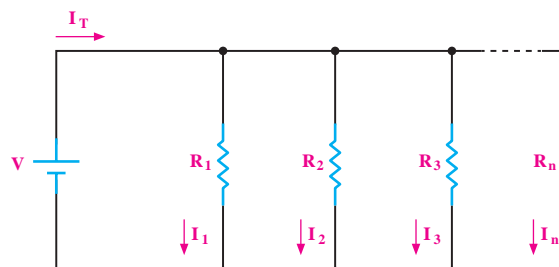
داده شده است:

در مدار شکل ۳-۱۲ یک طرف مقاومت‌ها در نقطه‌ی A و طرف دیگر مقاومت‌ها در نقطه‌ی B به هم وصل شده‌اند.

### ۳-۲-۱ مقاومت معادل در مدار موازی

برای محاسبه‌ی مقاومت معادل در مدار موازی شکل ۳-۱۳ می‌توان از رابطه‌ی نهایی  $R_T$  که در زیر آمده است استفاده کرد:

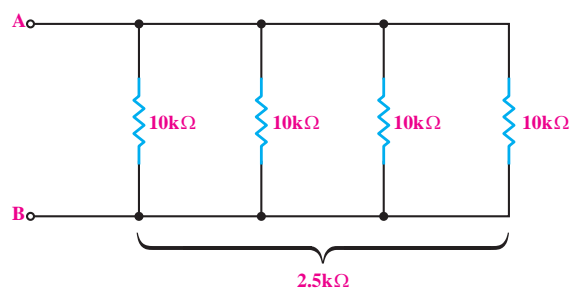
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$



شکل ۳-۱۳ مقاومت معادل در مدار موازی

اگر چند مقاومت مساوی مطابق شکل ۳-۱۴ به طور موازی به یکدیگر اتصال داده شوند، مقدار مقاومت معادل از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$R_T = \frac{R}{n}$$



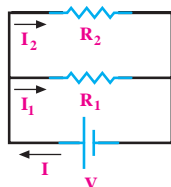
شکل ۳-۱۴ چند مقاومت مساوی به صورت موازی

در رابطه‌ی بالا، مقدار یکی از مقاومت‌ها، و n تعداد مقاومت‌ها می‌باشد.

$$R_T = \frac{R}{n} = \frac{10}{4} = 2.5 \text{ K}\Omega$$

### ۴-۲-۳ تقسیم جریان در مدار موازی

با توجه به شکل ۳-۱۸ و استفاده از قانون اهم برای هر شاخه از مدار موازی و مقاومت معادل در مدار موازی می توان روابط زیر را به دست آورد:



شکل ۳-۱۸

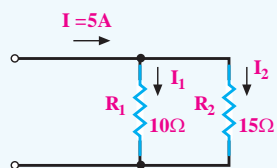
$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

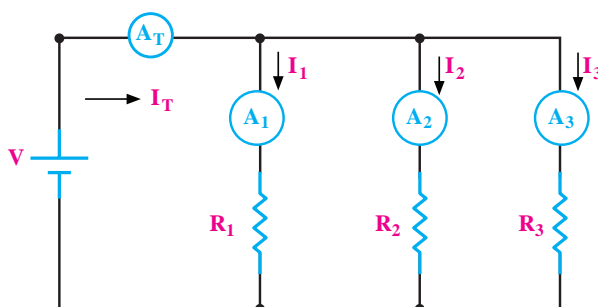
طبق قانون تقسیم جریان، جریان کل در شاخه های موازی به نسبت عکس مقاومت های شاخه ها تقسیم می شود.

### تمرین کلاسی ۶: شدت جریان هر شاخه

از مدار شکل ۳-۱۹ را به دست آورید.



شکل ۳-۱۹



شکل ۳-۱۶ بررسی جریان ها در مدار موازی

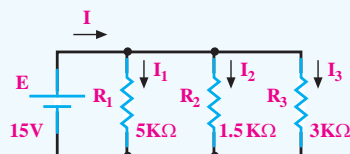
جریان کل  $I_T$  که به وسیله ی آمپر متر  $A_T$  نشان داده می شود. از قانون KCL پیروی می کند و مقدار آن از رابطه ی زیر محاسبه می شود:

$$I_{A_T} = I_{A_1} + I_{A_2} + I_{A_3}$$

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

### تمرین کلاسی ۵: در مدار شکل ۳-۱۷،

شدت جریان هر شاخه و شدت جریان کل را به دست آورید.



شکل ۳-۱۷



در این رابطه، جریان‌هایی را که به گره وارد می‌شوند، مثبت و جریان‌هایی را که از گره خارج می‌شوند، منفی در نظر می‌گیریم:

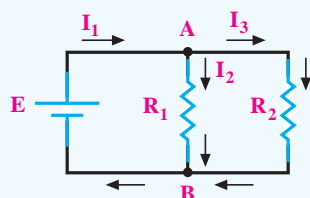


**تمرین کلاسی ۷:** در مدار شکل ۳-۲۱

تعیین کنید:

الف- تعیین تعداد نقطه‌ی گره

ب- رابطه‌ی جریان در گره‌های A و B را بنویسید.



شکل ۳-۲۱

**ویژدهی هنجریان علاقه‌مند:** نحوه‌ی

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

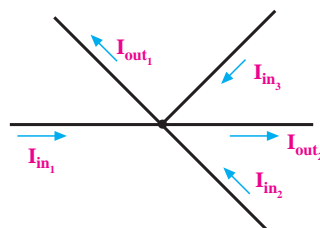
را در شکل ۳-۱۸ تحقیق کنید.

### ۳-۲-۵ جهت جریان در شاخه‌های موازی

در هر شبکه، انشعاب‌هایی وجود دارد. محل اتصال بیش از دو شاخه یا بیشتر را نقطه‌ی گره یا نقطه‌ی انشعاب می‌گویند.

طبق قانون جریان کریشهف: مجموع جریان‌های وارد شده به هر نقطه‌ی گره با مجموع جریان‌های خارج شده از آن نقطه برابر است.

طبق قانون جریان کریشهف برای شکل ۳-۲۰ می‌توانیم رابطه‌ی زیر را بنویسیم:



شکل ۳-۲۰

$$I_{in1} + I_{in2} + I_{in3} = I_{out1} + I_{out2}$$

رابطه‌ی بالا را می‌توانید به صورت رابطه‌ی زیر بنویسید:

$$I_{in1} + I_{in2} + I_{in3} - I_{out1} - I_{out2} = 0$$

براساس رابطه‌ی بالا، جمع جبری جریان‌ها در یک گره،

برابر صفر است.

### ۳-۲-۶ توان مصرفی در مدار موازی

با استفاده از روابط محاسبه‌ی توان که قبلاً گفته شده

است، می‌توانیم مقدار توان را در مدارهای موازی به دست

آوریم این روابط عبارتند از:

## ۳-۲-۷ خرابی در مدارهای موازی

در مدارهای موازی نیز دو نوع خرابی متداول است:

الف- خرابی در اثر قطع شدن.

ب- خرابی در اثر اتصال کوتاه.

**الف-** در مدار موازی عناصری مانند منبع تغذیه، مقاومت

و سیم‌های ارتباطی می‌توانند قطع شوند.

• در صورتی که منبع تغذیه قطع شود، جریان در سرتاسر مدار قطع می‌شود.

• چنانچه سیم رابط یا مقاومت یکی از شاخه‌ها قطع شود، جریان آن شاخه قطع خواهد شد ولی سایر قسمت‌های مدار به کار خود ادامه می‌دهند.

همان‌طور که می‌دانید، در سیم‌کشی منازل و اماکن تجاری، مصرف‌کننده‌ها به صورت موازی متصل می‌شوند. فرض کنید در داخل منزل مشغول تماشای تلویزیون هستید و سیم رابط تلویزیون قطع می‌شود. در این حالت فقط تلویزیون از کار می‌افتد و سایر سامانه‌های برقی منزل به کار خود ادامه می‌دهند.

**ب-** خرابی در اثر اتصال کوتاه

در مدارهای موازی در صورتی که اتصال کوتاهی برای منبع تغذیه یا یکی از عناصر موازی رخ دهد، مدار به طور کامل از کار می‌افتد.

برای مثال فرض کنید در داخل خانه، یکی از پریزها اتصال کوتاه شود، بلافاصله فیوز کنتور اصلی یا تابلوی برق قطع می‌شود و کل سیستم مرتبط با آن مجموعه را از کار می‌اندازد، شکل ۳-۲۳.

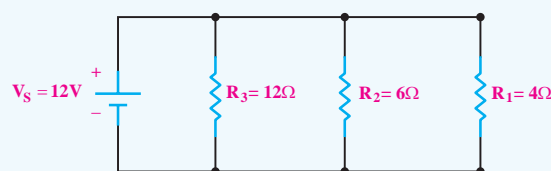
$$P = V \cdot I \quad \text{و} \quad P = R \cdot I^2 \quad \text{و} \quad P = \frac{V^2}{R}$$

نکته: توان تولید شده توسط منبع با مجموع توان‌های مصرفی شاخه‌های موازی برابر است.



**تمرین کلاسی ۸:** توان مصرفی هر یک از

مقاومت‌ها و توان کل مدار شکل ۳-۲۲ را به دست آورید.



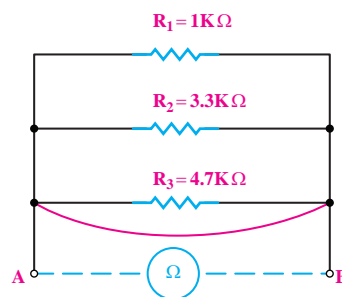
شکل ۳-۲۲



**تحقیق کنید:**

حالت‌های اتصال کوتاه و قطع را در مدار موازی بررسی کنید و مثال‌های دیگری را در این زمینه بیان کنید.

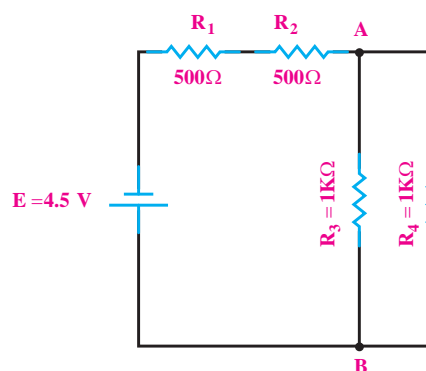




شکل ۳-۲۳ اتصال کوتاه در مدار موازی

### ۳-۳ مدارهای سری-موازی

مدار سری-موازی به مداری گفته می‌شود که در آن ترکیبی از مقاومت‌های سری و موازی وجود داشته باشد. در شکل ۳-۲۴ یک نمونه‌ی مدار سری-موازی را مشاهده می‌کنید.



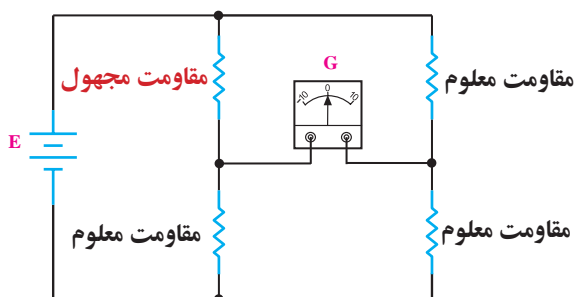
شکل ۳-۲۴

مدارهای سری-موازی از قوانین مربوطه‌ی مدار سری و مدار موازی تبعیت می‌کند. مثلاً در شکل ۳-۲۴ مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  سری هستند و مقاومت‌های  $R_3$  و  $R_4$  موازی هستند.

### ۳-۴ پل مقاومت و تستون

#### ۳-۴-۱ ساختمان پل مقاومتی و تستون

یکی دیگر از روش‌های اندازه‌گیری مقاومت اهمی، روش مقایسه است. در این روش مقاومت مجهول را با یک سری از مقاومت‌های معلوم و استاندارد مقایسه می‌کنند. اساس کار پل و تستون که برای اندازه‌گیری مقاومت اهمی به کار می‌رود، بر مبنای مقایسه‌ی مقاومت مجهول با مقاومت‌های معلوم و استاندارد است. در شکل ۳-۲۵ مدار الکتریکی پل مقاومتی و تستون نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۵ مدار الکتریکی پل و تستون

در شکل ۳-۲۵،  $G$  علامت قراردادی یک گالوانومتر صفر وسط است که نمونه‌ای از آن در شکل ۳-۲۶ نشان داده شده است.

### تمرین کلاسی ۹: در مدار شکل ۳-۲۴

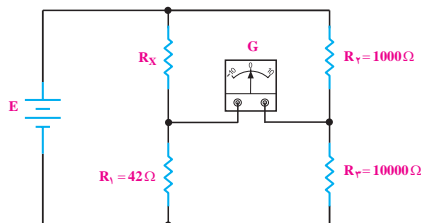


مطلوب است:

الف- مقاومت معادل مدار.

ب- جریان کل مدار.

بودن  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  می توان مقدار  $R_X$  را محاسبه کرد.  
**مثال ۱۰:** در شکل ۲۸-۳ از گالوانومتر جریانی عبور نمی کند.  $R_X$  چند اهم است؟



شکل ۲۸-۳: پل وتستون در حالت تعادل

**حل:**

اگر از گالوانومتر جریانی عبور نکند می گوییم پل در حالت تعادل قرار دارد. اگر پل در حالت تعادل باشد. رابطه زیر در آن صادق است:

$$R_X \cdot R_2 = R_1 \cdot R_3$$

$$R_X = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2}$$

مقادیر را در رابطه قرار می دهیم و  $R_X$  را محاسبه می کنیم:

$$R_X = \frac{42 \times 1000}{10000} = 4.2 \Omega$$



آندره ماری آمپر (۱۸۳۶-  
 ۱۷۷۵) فیزیکدان و ریاضیدان  
 فرانسوی که واحد شدت  
 جریان به نام او ثبت شده است.

گالوانومتر دستگاه  
 گران قیمت  
 آزمایشگاهی است.  
 برای اجرای آزمایش  
 پل وتستون از  
 مولتی متر دیجیتالی  
 استفاده کنید.

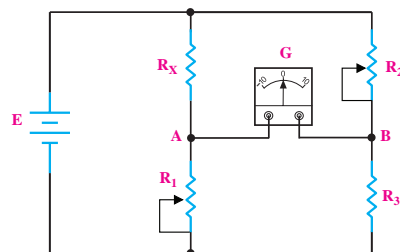


شکل ۲۶-۳: یک نمونه گالوانومتر صفر وسط

با توجه به جهت جریان اعمالی به گالوانومتر (صفر وسط)، عقربه ای از وسط به سمت چپ یا راست منحرف می شود.  
 در شکل ۲۷-۳، اگر پتانسیل نقطه A با پتانسیل نقطه B برابر باشد جریانی از گالوانومتر عبور نمی کند. در این حالت پل در حال تعادل بوده و رابطه زیر برقرار است:

$$R_X \cdot R_2 = R_1 \cdot R_3$$

$$R_X = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2}$$



شکل ۲۷-۳: مدار الکتریکی پل وتستون

در عمل مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  را متغیر انتخاب می کنند و این مقاومت را به قدری تغییر می دهند تا از گالوانومتر جریانی عبور نکند (عقربه گالوانومتر دقیقاً روی عدد صفر باشد) در ضمن مقادیر مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  به وسیله صفحه مدرج و یا وسایل مشابه در هر لحظه مشخص می شود. بنابراین با معلوم

### ۵-۳- آزمایش شماره ۱

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

#### پل مقاومتی و تستون

#### ۱-۵-۳ هدف آزمایش:

بررسی طرز کار پل مقاومتی و تستون

#### ۲-۵-۳ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد/ مقدار
۱	منبع تغذیه ۱۵V - ۰	یک دستگاه
۲	گالوانومتر صفر وسط	یک دستگاه
۳	مقاومت های $10\Omega$ ، $22\Omega$ ، $100\Omega$ ، از هر کدام یک عدد	
۴	سیم های دو سر گیره سوسماری	شش رشته
۵	سیم های یک سر گیره سوسماری	شش رشته
۶	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

#### ۳-۵-۳ مراحل اجرای آزمایش:

■ مقاومت  $10\Omega$  را  $R_X$  و مقاومت  $100\Omega$  را  $R_1$ ، مقاومت

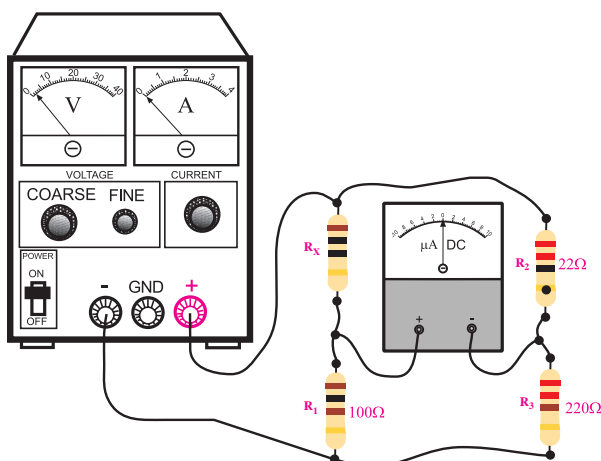
$22\Omega$  اهم را  $R_2$  و  $220\Omega$  را  $R_3$  نام گذاری کنید.

■ مدار شکل ۳-۲۹ را ببندید.

■ در صورت عدم دسترسی به گالوانومتر صفر وسط،

از مولتی متر دیجیتالی استفاده کنید و آن را روی رنج

میکروآمپر متر قرار دهید.



(ب) مدار عملی

شکل ۳-۲۹

■ منبع تغذیه را روی ۱/۵ ولت تنظیم کنید.

■ در پل و تستون شکل ۳-۲۹ رابطه  $R_X \cdot R_3 = R_1 \cdot R_2$

برقرار است. لذا مولتی متر دیجیتالی باید صفر را نشان دهد.

■ منبع تغذیه را قطع کنید.

■ مقدار  $R_X$  را از مقدار  $10\Omega$  به  $15\Omega$  تغییر دهید.

■ ولتاژ منبع تغذیه را روی ۱ ولت تنظیم کنید و به مدار

اتصال دهید.

■ در این حالت نیز، مولتی متر دیجیتالی که روی رنج

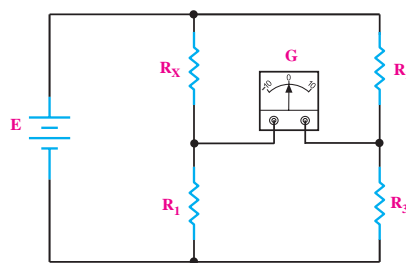
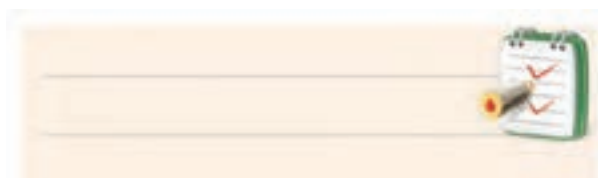
میکروآمپر متر قرار دارد، عدد معینی را نشان می دهد.

■ منبع تغذیه را قطع کنید.

**سوال ۱:** چرا وقتی به جای  $R_X = 10\Omega$  مقاومت  $R_X$  را

$15\Omega$  قرار می دهیم، مولتی متر مقداری را نشان می دهد؟

توضیح دهید.



(الف) نقشه فنی مدار

## ۳-۶ اطلاعات مقدماتی لحیم کاری

منظور از لحیم کاری اتصال دو یا چند قطعه‌ی فلز به یکدیگر است. این عمل به وسیله‌ی آلیاژی از قلع و سرب گاهی همراه با سایر فلزات که آن‌ها را لحیم می‌نامند انجام می‌شود. برای انجام لحیم کاری، ابتدا محل اتصال دو فلز را با وسیله‌ای در حدی گرم می‌کنیم که دمای آن محل به نقطه‌ی ذوب لحیم برسد و لحیم در محل اتصال ذوب شود. در نتیجه، پس از سرد شدن محل اتصال دو قطعه به هم متصل می‌شوند.

### ۳-۶-۱ انواع لحیم کاری

برای ایجاد یک اتصال معمولاً از دو نوع لحیم کاری سخت و لحیم کاری نرم استفاده می‌شود. در لحیم کاری سخت (خشن) درجه حرارت کار بالا است و در لحیم کاری نرم (سست) درجه حرارت کار نسبتاً پایین است.

### ۳-۶-۲ روغن لحیم

یکی از مهم‌ترین موادی که در عملیات لحیم کاری از آن استفاده می‌شود روغن لحیم است.

تمام فلزاتی که می‌خواهند به یکدیگر متصل شوند ممکن است در اثر عوامل جوی اکسید شوند و یا سطوح خارجی آن‌ها کثیف و آلوده باشد. برای از بین بردن این عوامل از مواد پاک‌کننده (روغن لحیم) استفاده می‌شود. این مواد علاوه بر آن که آلودگی سطوح قطعات را پاک می‌کنند مانع از اکسید شدن محل اتصال در خلال عمل لحیم کاری نیز می‌شوند، لذا تمام مواد پاک‌کننده‌ای را که می‌توانند ترکیباتی نظیر اکسیدها را در خود حل کنند، در ردیف روغن‌های لحیم به شمار می‌آورند. به این روغن‌ها، روغن‌های کروسیو (corrosive) یا ساینده می‌گویند. از روغن‌های کروسیو

■ به جای مقاومت  $R_X = 15\Omega$ ، مقاومت  $5/6\Omega$  را قرار

دهید.

■ منبع تغذیه را روی ۱ ولت تنظیم کنید و به مدار اتصال

دهید.

■ در این حالت نیز مولتی‌متر دیجیتالی که روی رنج

میکروآمپر متر قرار دارد، باز هم عدد معینی را نشان می‌دهد.

**سوال ۲:** چرا وقتی به جای مقاومت  $R_X = 15\Omega$ ، مقاومت

$5/6\Omega$  را قرار می‌دهیم، مولتی‌متر دیجیتالی به جای صفر عدد

معینی را روی صفحه نشان می‌دهد؟ توضیح دهید.



### ۳-۵-۴ نتایج آزمایش:

آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به اختصار شرح

دهید.



عموماً برای لحیم کاری خشن و قطعات بزرگ و حجیم استفاده می‌شود. معمولاً در لحیم کاری عناصر الکترونیکی این نوع روغن‌ها را به کار نمی‌برند، ضمن این که با استفاده از این نوع روغن لحیم عمل لحیم کاری راحت تر انجام می‌شود. دلیل استفاده نکردن از این روغن‌ها در لحیم کاری الکترونیک، درجه حرارت پایین لحیم کاری در صنایع الکترونیک است. در این درجه حرارت روغن لحیم تجزیه و تبخیر نمی‌شود و در محل اتصال باقی می‌ماند و در نهایت سبب خورده شدن محل اتصال می‌شود.

در کارهای الکترونیکی (لحیم کاری نرم) از روغن‌های نان کروسو یا غیرساینده استفاده می‌کنند که از نوع مواد آلی (کربنی) هستند.

این مواد در خلال عمل لحیم کاری تجزیه و تبخیر می‌شوند و در نتیجه مواد زاید و اکسیدها را در محل اتصال از بین می‌برند.

### ویژگی‌های هنرجویان علاقمند:

در صورتی که تمایل دارید، ترکیب روغن لحیم نان کروسو را پیدا کنید و درباره‌ی آن توضیح دهید.

### ۳-۶-۳ خواص روغن لحیم

روغن لحیم باید دارای خصوصیتی به شرح زیر باشد:

۱- نقطه‌ی ذوب روغن لحیم باید کم‌تر و پایین‌تر از نقطه‌ی ذوب لحیم باشد تا زودتر ذوب شود و سطح فلز را پاک کند.

۲- روغن لحیم ذوب شده باید قدرت نفوذ و گسترش در سطح فلز را داشته باشد ولی نباید روی سطح فلز پخش شود.  
۳- روغن لحیم نباید با فلزات به صورت ترکیب درآید.  
۴- روغن لحیم باید اکسیدها را به آسانی در خود حل کند.

۵- اثر روغن لحیم باید تا پایان عمل لحیم کاری باقی‌ماند و در ضمن عمل لحیم کاری از اکسید شدن سطح اتصال جلوگیری کند.

### ۴-۶-۳ لحیم

لحیم آلیاژی است از سرب و قلع که نقطه‌ی ذوب آن پایین است. آلیاژ لحیم را به صورت سیم‌های مفتولی با قطرهای محدود ۰/۵ تا ۴ میلی‌متر می‌سازند. در داخل اغلب این سیم‌ها معمولاً سوراخی سرتاسری وجود دارد که روغن لحیم در داخل آن قرار می‌گیرد. (سیم لحیم با مغزی روغن). نسبت قلع و سرب در آلیاژ لحیم بین ۴۰ تا ۶۰ درصد تغییر می‌کند.

در عمل، سیم‌های لحیم را معمولاً با آلیاژهای ۶۰/۴۰، ۵۰/۵۰ و ۴۰/۶۰ می‌سازند. لحیم ۶۰/۴۰ آلیاژی است که در آن به نسبت ۶۰ درصد قلع و ۴۰ درصد سرب وجود دارد. هرچه درصد قلع بیش‌تر باشد لحیم در درجه حرارت کم‌تری ذوب می‌شود. مثلاً لحیم ۶۰/۴۰ در درجه حرارت حدود  $190^{\circ}\text{C}$  ذوب می‌شود. در صورتی که لحیم ۴۰/۶۰ برای ذوب شدن به حداقل  $235^{\circ}\text{C}$  حرارت نیاز دارد. چون حرارت زیاد سبب معیوب شدن وسایل نیمه‌هادی نظیر دیود، ترانزیستور و آی‌سی و خرابی مدارهای چاپی می‌شود لذا برای انجام لحیم کاری قطعات الکترونیکی لحیم با درصد قلع بیش‌تر (حداکثر ۶۰ درصد) مناسب‌تر است که البته گران‌تر

آلیاژ لحیم ممکن است دارای ۶۰ درصد قلع و ۳۸ درصد سرب و ۲ درصد مس باشد. قطر سیم لحیم ممکن است ۰/۶mm، ۰/۸mm، ۱mm، ۱/۵mm یا ۲mm و بیش تر باشد.



نکته‌ی مهم:

با توجه به پیشرفت تکنولوژی در صنایع الکترونیک و گستردگی قطعات الکترونیکی، امروزه تنوع روغن لحیم و لحیم نیز بسیار زیاد شده است. برای کسب اطلاعات بیش تر می‌توانید با استفاده از کلمات Soldering، Desoldering، Rework، یا Soldering paste در یکی از موتورهای جست‌وجو در اینترنت به اطلاعات بیش تری دسترسی پیدا کنید.

## ۳-۷ وسایل لحیم کاری

برای لحیم کاری دو یا چند قطعه‌ی فلزی به یکدیگر باید ابتدا نقاط مورد نظر آن‌ها را گرم کنید و سپس عمل لحیم کاری را انجام دهید. وسیله‌ای که حرارت مورد نیاز را برای لحیم کاری تامین می‌کند **هویه** نام دارد. هویه بر دو نوع است. هویه‌ی ساده و هویه‌ی برقی.

### ۳-۷-۱ هویه‌ی ساده:

هویه‌ی ساده از سه قسمت تشکیل شده است.  
الف- سر هویه، که شبیه چکش و از جنس مس است.  
ب- دسته‌ی هویه که مفتولی از آهن است.  
ج- دسته‌ی چوبی هویه که در انتهای دسته‌ی فلزی قرار دارد.  
در شکل ۳-۳۳ یک نمونه هویه‌ی ساده نشان داده شده است.

است. بهترین لحیم برای عمل لحیم کاری در الکترونیک آلیاژ ۶۳/۳۷ (۶۳ درصد قلع و ۳۷ درصد سرب) است. در شکل ۳-۳۰ قرقره‌های مختلف لحیم با درصد قلع و سرب و قطر سیم مختلف نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۰ قرقره‌های مختلف لحیم

شکل ۳-۳۱ میله‌ی لحیم را نشان می‌دهد. اگر میله‌ی لحیم دارای ۶۰ درصد قلع و ۴۰ درصد سرب باشد نقطه‌ی ذوب آن حدود ۱۸۳ تا ۱۹۰°C است.



شکل ۳-۳۱ میله لحیم

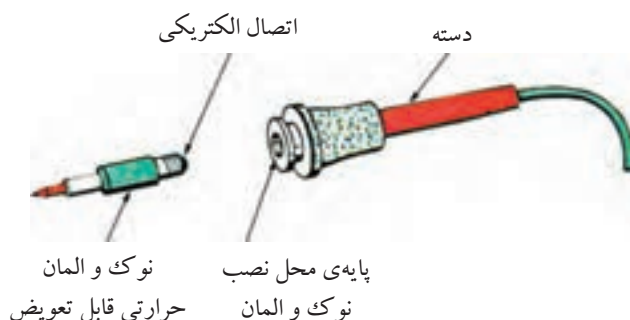
شکل ۳-۳۲ قرقره‌ی لحیم را روی پایه‌ی نگه‌دارنده‌ی آن برای میز کار نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳۲ قرقره‌ی لحیم و پایه‌ی نگه‌دارنده‌ی آن



در بعضی از انواع هویه‌های قلمی نوک و المان حرارتی آن قابل تعویض است. شکل ۳-۳۵ این نوع هویه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳۵ هویه قلمی با نوک و المان حرارتی قابل تعویض

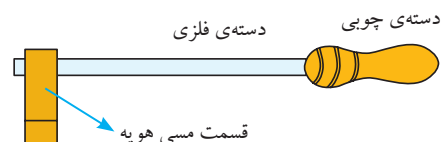
### ۳-۷-۳ انواع هویه‌های قلمی

هویه‌های قلمی در اندازه‌های کوچک با توان ۱۰ وات تا اندازه‌های بزرگ با توان ۵۰۰ وات ساخته می‌شوند. شکل ۳-۳۶ چند نمونه از این هویه‌ها را در توان‌ها و اندازه‌های مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳۶ چند نمونه هویه

■ **هویه قلمی کوچک:** برای لحیم کاری بسیار ظریف و دقیق در مدارهای الکترونیکی بسیار کوچک، مثلاً



شکل ۳-۳۳ یک نمونه هویه‌ی ساده

برای تمیز کردن نوک هویه، از دستورالعمل داده شده توسط کارخانه‌ی سازنده استفاده کنید و هرگز با سمباده اقدام به تمیز کردن نوک هویه نکنید.

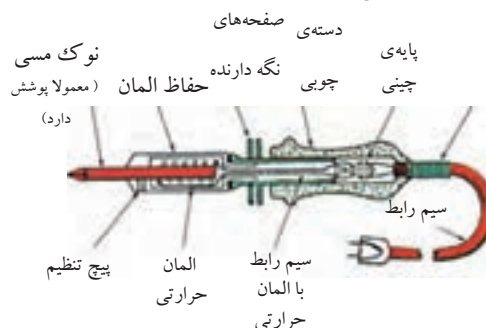
### ۲-۷-۲ هویه‌ی برقی

هویه‌ی برقی بر دو نوع است، هویه‌ی قلمی (مقاومتی) و هویه‌ی هفت تیری.

■ **هویه قلمی:** در ساختمان این نوع هویه‌ها معمولاً از سیم‌های حرارتی مانند کرم نیکل یا کرم آلومینیوم استفاده می‌شود.

در این نوع هویه سیم گرم کننده را روی عایقی از آجرنسوز که وسط آن خالی است می‌پیچند. یک میله‌ی مسی که همان نوک هویه است در داخل محفظه‌ی خالی قرار می‌گیرد. در اثر عبور جریان از سیم گرم کننده حرارت ایجاد می‌شود. حرارت به میله‌ی مسی انتقال می‌یابد.

شکل ۳-۳۴ قسمت‌های مختلف یک هویه‌ی قلمی را که از نوک هویه، المان گرم کننده، حفاظ، دسته‌ی چوبی و سیم رابط و غیره تشکیل شده است نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳۴ قسمت‌های مختلف یک هویه‌ی قلمی

در تولید و تعمیر ساعت الکترونیکی یا مهندسی پزشکی و دندانپزشکی، از هویه‌ی قلمی کوچک استفاده می‌کنند. شکل ۳-۳۷ چند نمونه از این هویه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳۷ هویه‌های قلمی کوچک

این هویه‌ها در توان ۵W ساخته می‌شوند و با ولتاژ کم مانند باتری ۶ ولتی یا ترانسفورماتور ۶ ولتی کار می‌کنند.

**۳-۷-۴- هویه‌ی سرعت بالا:** این هویه معمولاً برای تعمیر به کار می‌رود. با اتصال هویه به برق بلافاصله حرارت نوک آن بالا می‌رود. به علت اینکه مقاومت حرارتی این نوع هویه‌ها دارای ضریب حرارتی مثبت (PTC) است، با گرم شدن مقاومت حرارتی، اهم آن افزایش می‌یابد که سبب می‌شود جریان عبوری کم شود و در نتیجه حرارت نوک هویه کاهش یابد. در شکل ۳-۳۸ نوعی از این هویه‌ی سرعت بالا نشان داده شده است. این نوع هویه در حالت سرد دارای توان ۱۵۰W و در حالت گرم دارای توان ۶۰ وات است.



شکل ۳-۳۸ دو نمونه هویه‌ی سرعت بالا

**۳-۷-۵- هویه با کنترل الکترونیکی درجه حرارت:** در بعضی از هویه‌ها درجه حرارت هویه در ضمن کار قابل کنترل است. شکل ۳-۳۹ این نوع هویه را نشان می‌دهد. المنت (عنصر حرارتی) به کار رفته در این هویه مانند یک پروب حرارتی عمل می‌کند. درجه حرارت کار هویه‌ی نشان داده شده در این شکل از ۲۰۰ تا ۴۴۰ درجه سانتی گراد قابل تغییر است.



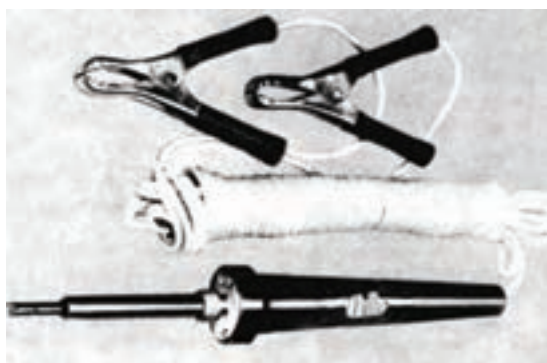
شکل ۳-۳۹ هویه با کنترل الکترونیکی

### ۳-۷-۶- هویه‌ی گازی

برای انجام عمل لحیم کاری در مواردی که برق وجود ندارد می‌توان از هویه‌ی گازی استفاده کرد. جرقه‌زن‌های پیزوالکتریک، گاز را مشتعل کرده و حرارت آن نوک هویه را گرم می‌کند. شکل ۳-۴۰ یک نوع هویه‌ی گازی را نشان می‌دهد. این هویه دارای توان ۸۰ تا ۱۵۰ وات است و مخزن گاز آن با گاز بوتان پر می‌شود. یک مخزن گاز می‌تواند تا ۱۸۰ دقیقه کار کند.



شکل ۳-۴۰ یک نمونه هویه‌ی گازی

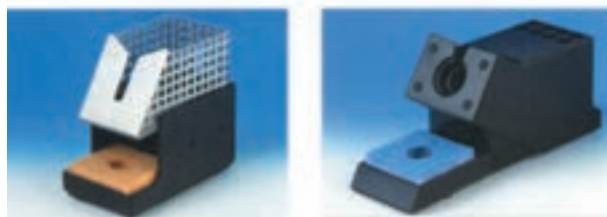


شکل ۳-۴۲ هویه قلمی باتری دار

### ۳-۷-۸ پایه‌ی نگه‌دارنده‌ی هویه

چون حرارت هویه ممکن است ناخواسته به محیط کار آسیب برساند، هنگام کار با هویه گرمی که از آن استفاده نمی‌کنیم باید آن را روی پایه‌ی نگه‌دارنده‌ی مناسب قرار دهیم. برخی از پایه‌های نگه‌دارنده دارای اسفنج نرم نسوز نیز می‌باشند که می‌توان با آن‌ها کردن اسفنج، نوک هویه را تمیز کرد.

در شکل ۳-۴۳ چند نوع پایه‌ی نگه‌دارنده‌ی هویه قلمی نشان داده شده است.



شکل ۳-۴۳ چند نمونه پایه‌ی نگه‌دارنده‌ی هویه قلمی

نوع دیگری از هویه‌ی گازی وجود دارد که نوک آن قابل تعویض است. از این جهت با تعویض نوک آن می‌توان استفاده‌های مختلفی از آن به عمل آورد. شکل ۳-۴۱ این نوع هویه کار نوک‌های مختلف آن را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴۱ هویه‌ی گازی با نوک قابل تعویض

توان این نوع هویه‌ها معمولاً از ۲۵ تا ۱۲۵ وات است و با گاز بوتان کار می‌کند. یک مخزن گاز می‌تواند حداکثر ۱۲۰ دقیقه سرویس دهد.

### ۳-۷-۷ هویه قلمی باتری دار

برای آن‌ها که بتوان عمل لحیم کاری را در موقعیت‌هایی که برق شهری وجود ندارد نیز انجام داد، از هویه‌ی قلمی باتری دار استفاده می‌کنند. این هویه طوری طراحی شده است که می‌تواند با باتری اتومبیل نیز کار کند. شکل ۳-۴۲ نمونه‌ای از این نوع هویه را نشان می‌دهد.

### ۹-۷-۳ نکات مهم در تعمیر و نگهداری هویه‌های قلمی

اگر یک هویه‌ی قلمی به طریق صحیح و فنی نگهداری شود می‌تواند سال‌های متوالی کار کند. برای این منظور باید نکات زیر را رعایت کنید.

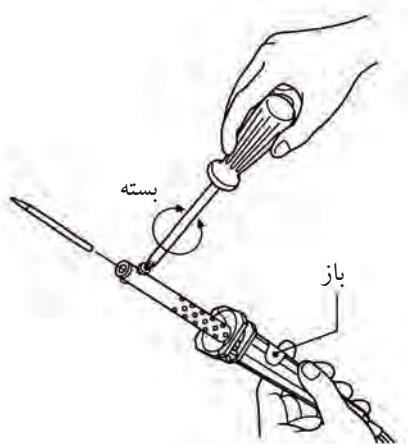
■ همیشه نوک هویه را قلع اندود کنید. اگر نوک هویه خیلی کثیف است ابتدا به وسیله‌ی یک سوهان یا سمباده‌ی نرم آن را تمیز کنید، سپس آن را به گونه‌ای قلع اندود کنید که نوک هویه کاملاً براق و درخشان شود. پس از اتمام کار کمی قلع روی نوک هویه قرار دهید و پس از ذوب شدن، آن را به وسیله‌ی اسفنج نرم یا پارچه‌ی نمدار تمیز کنید. بعضی از نوک‌ها دارای پوشش فلزی ضد اکسید هستند. برای تمیز کردن این قبیل نوک‌ها نباید سطح نوک را سوهان زد.

■ هنگامی که از هویه استفاده نمی‌کنید دو شاخه‌ی آن را از برق بکشید زیرا اتصال مداوم هویه به برق سبب ایجاد حرارت بیش از اندازه در نوک آن می‌شود و آن را اکسید می‌کند. اکسید شدن نوک هویه سبب از بین رفتن آن می‌شود. بعضی از هویه‌های قلمی دارای ترموستات هستند. ترموستات حرارت نوک هویه را به‌طور خودکار تنظیم می‌کند.

■ اگر دیدید هویه داغ نمی‌شود، ابتدا پریز را با استفاده از لامپ یا به وسیله‌ی ولت‌متر AC آزمایش کنید. پس از اطمینان از وجود برق در پریز، سیم رابط و اتصال آن را به دو شاخه، کنترل کنید. اگر سیم‌های رابط سالم بود به وسیله‌ی اهم‌متری مقاومت سیم حرارتی را اندازه بگیرید. در صورت قطع بودن رشته‌ی حرارتی، اهم‌متر مقاومت بی‌نهایت را نشان می‌دهد. یک هویه‌ی سالم دارای مقاومت کمی در حدود چند کیلو اهم است.

اگر سیم حرارتی (المنت) هویه سوخته باشد می‌توانید با

تعویض آن با یک قطعه گرم‌کننده‌ی سالم، هویه را تعمیر کنید. شکل ۴۴-۳ نحوه‌ی بیرون آوردن و تعویض قطعه‌ی گرم‌کننده را نشان می‌دهد.



شکل ۴۴-۳ نحوه‌ی بیرون آوردن و تعویض قطعه‌ی گرم‌کننده در هویه‌ی قلمی

### ۱۰-۷-۳ هویه‌ی هفت‌تیری (ترانسفورماتوری)

هویه‌ی هفت‌تیری بر اساس اصول کار ترانسفورماتور کار می‌کند. ترانسفورماتور یا ترانس دارای دو سیم‌پیچ به نام اولیه و ثانویه است. سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه بر روی هسته‌ی آهنی به شکل U یا E پیچیده شده‌اند. با توجه به رابطه‌ی  $\frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{I_1}{I_2}$  چنانچه دور سیم‌پیچ ثانویه کم‌تر باشد ترانسفورماتور از نوع کاهنده است و جریان در سیم‌پیچ ثانویه بیش‌تر می‌شود.

هویه‌ی هفت‌تیری بر اساس ترانسفورماتوری که سیم‌پیچ ثانویه‌ی آن اتصال کوتاه شده است کار می‌کند. اولیه‌ی ترانسفورماتور از چندین حلقه‌ی سیم نازک تشکیل شده است. ثانویه‌ی ترانسفورماتور از یک میله‌ی فلزی ساخته شده که دو انتهای آن به وسیله‌ی یک سیم مفتولی (نوک هویه) به هم مربوط می‌شوند.

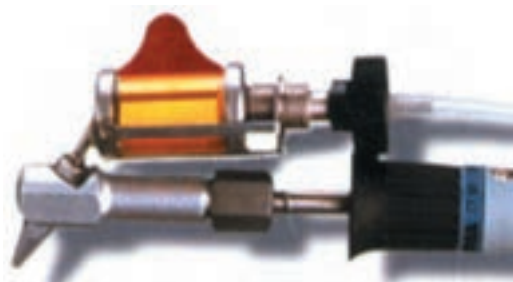
را به داخل سیلندر می‌مکد. شکل ۳-۴۶ چند نوع از این قلع کش‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴۶ چند نمونه از قلع کش پیستونی

## ۳-۸-۲ قلع کش حرارتی

این قلع کش در واقع نوعی هویه است، که خود، لحیم محل اتصال را ذوب می‌کند. سپس آن را با پمپ دستی یا دستگاه مکنده‌اش می‌مکد. شکل ۳-۴۷ نوک این قلع کش را نشان می‌دهد.

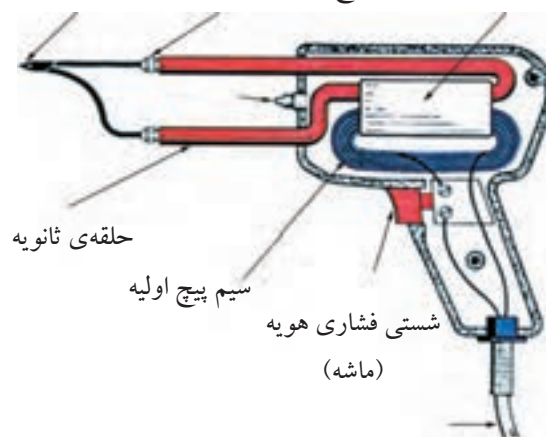


شکل ۳-۴۷ نوک قلع کش حرارتی

نوک در محل لحیم مانند شکل ۳-۴۸ قرار می‌گیرد، سپس دستگاه مکنده، قلع ذوب شده را مکش می‌کند. شکل ۳-۴۹ قلع کش با دستگاه مکنده را نشان می‌دهد.

با فشار دادن شستی ماشه‌ای، جریان برقی که در سیم پیچ اولیه جاری می‌شود، در سیم پیچ ثانویه جریان زیادی را برقرار می‌کند. این جریان باعث گرم شدن نوک هویه می‌شود. شکل ۳-۴۵ ساختمان داخلی یک هویه‌ی هفت تیری را نشان می‌دهد. فرق هویه‌ی هفت تیری با هویه‌ی قلمی در این است که هویه‌ی هفت تیری در مدت زمان کوتاه‌تری گرم می‌شود. این هویه‌ها برای تولید توان‌های بالا ساخته می‌شوند.

هسته‌ی ترانسفورماتور پیچ نگه‌دارنده‌ی سر هویه نوک هویه



شکل ۳-۴۵ ساختمان داخلی یک هویه‌ی هفت تیری

## ۳-۸ قلع کش

قلع کش وسیله‌ای است که با آن می‌توان لحیم را از محل اتصال جدا کرد. قلع کش‌ها در انواع مختلفی ساخته می‌شوند.

### ۳-۸-۱ قلع کش پیستونی

این قلع کش دارای سیلندر و پیستون است. با فشار دادن روی دسته‌ی قلع کش، پیستون به داخل سیلندر وارد شده و در نقطه‌ی انتهایی قفل می‌شود. برای برداشتن قلع، ابتدا با هویه لحیم (قلع) محل اتصال را ذوب کرده و نوک قلع کش پیستونی را به آن نزدیک می‌کنند. سپس با فشار دادن روی دکمه، فنر آزاد شده و پیستون به عقب کشیده می‌شود و لحیم



### ۹-۳. طریقه‌ی لحیم‌کاری

برای انجام لحیم کاری ابتدا نوک هویه را که در اثر کار کردن کثیف شده است با برس سیمی یا سمباده‌ی نرم تمیز کنید. سپس هویه را به برق وصل کنید تا گرم شود. بعد از این که نوک هویه به درجه حرارت ذوب لحیم رسید مقداری لحیم روی آن قرار دهید تا نوک هویه آغشته به یک لایه‌ی نازک لحیم شود. این عمل از اکسید شدن نوک هویه جلوگیری می‌کند. برای انجام عمل لحیم کاری نکات زیر را رعایت کند.

۱- از هوویه با وات مناسب استفاده کنید. در الکترونیک

هوويه‌های ۱۰ وات تا ۴۰ وات برای لحیم کاری مناسب‌اند.

۲- نقاطی را که می‌خواهید لحیم کاری کنید با سمباده‌ی

نرم یا پارچه‌ی زبر تمیز کنید، زیرا عمل لحیم کاری روی سیم‌های کثیف و اکسید شده انجام نمی‌گیرد.

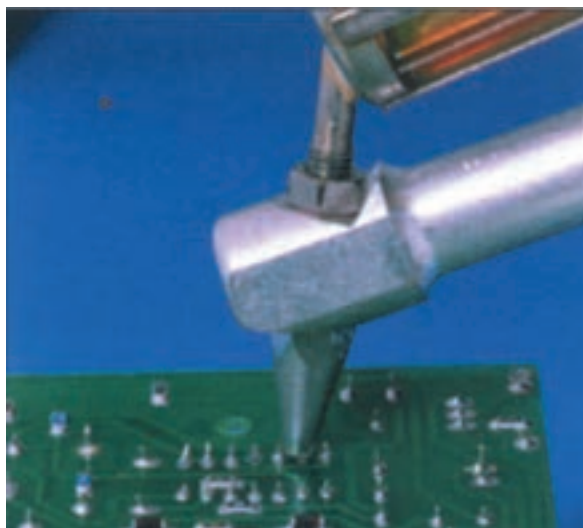
۳- نوک هویه را کاملاً تمیز کنید.

۴- سیم‌ها و عناصری را که می‌خواهید به یکدیگر متصل

کنید به‌طور جداگانه حرارت دهید و صبر کنید تا درجه حرارت محل اتصال افزایش یابد، سپس سیم لحیم را روی اتصال گرم‌شده قرار دهید تا ذوب شود و بتواند محل تقاطع دو سیم یا محل اتصال عناصر را کاملاً پیوشاند.

۵- هویه را به طور پی در پی از سطح کار جدا نکنید، زیرا

این عمل علاوه بر صرف وقت زیاد موجب لحیم بد در محل اتصال می شود، یعنی در این حالت لحیم در محل اتصال به طور کامل پخش نمی شود و یک اتصال با لحیم کاری سرد به وجود می آید. شکل ۵۰-۳ لحیم کاری صحیح و لحیم کاری سرد را نشان می دهد.



شکل ۴۸-۳ نحوه‌ی قرارگیری قلع کش حرارتی

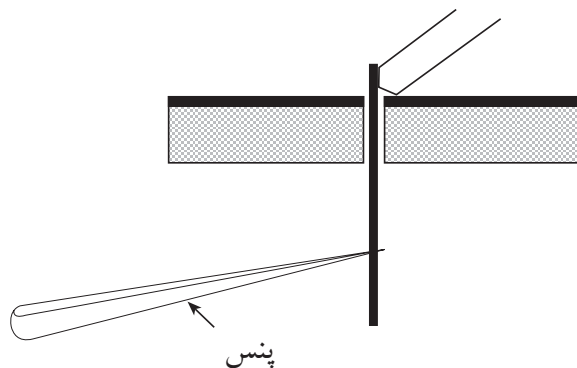


شکل ۴۹-۳ قلع کش با دستگاه مکنده

در صورتیکه برای پاک کردن نوک هویه از قلع‌های اضافه، مجبور شدید از قلع کش استفاده کنید، مراقب باشید که ذرات قلع روی لباس و بدن شما یا اطرافیان پرتاب نشود.

بینند. برای لحیم کاری این عناصر، باید زمان اعمال حرارت در خلال لحیم کاری دقیقاً تنظیم شود. در هنگام لحیم کاری پایه‌ی این قطعات را با پنس یا دم‌باریک، یا هر وسیله‌ی فلزی دیگر که سبب انتشار حرارت می‌شود نگه‌دارید.

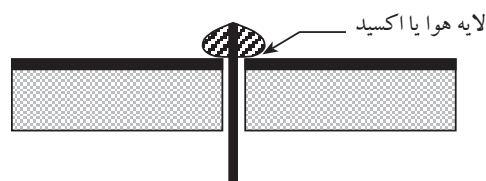
در شکل ۵۱-۳، پنس پایه‌ی قطعه را گرفته است. در این حالت حرارت پایه به پنس منتقل می‌شود و آسیبی به قطعه‌ی الکترونیکی نمی‌رسد.



شکل ۵۱-۳ نحوه‌ی لحیم کاری قطعات الکترونیکی

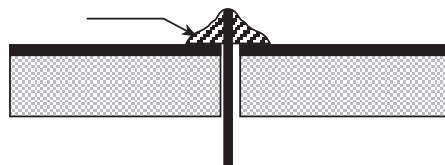
نوک هویه را هنگامی عوض کنید که هویه کاملاً سرد باشد.

قبل از لحیم کاری، اطمینان حاصل کنید که قطعات مورد لحیم کاری کاملاً تمیز باشد.



(الف) لحیم کاری سرد (غلط)

لحیم به صورت یک نواخت درآمده است.



(ب) لحیم کاری صحیح

شکل ۵۰-۳ لحیم کاری غلط و صحیح

در اتصال با لحیم سرد اگرچه مقدار قلع ظاهراً کافی به نظر می‌رسد ولی در زیر لحیم قشری از هوا به وجود می‌آید که مانع برقراری اتصال الکتریکی می‌شود. لحیم سرد ممکن است در اثر عوامل دیگری نیز به وجود آید. مثلاً حرکت دادن اتصال قبل از سرد شدن و نیز کثیف بودن محل اتصال سبب ایجاد لحیم سرد می‌شود. همچنین بیش از حد گرم شدن، محل اتصال سطح دو فلز را اکسید می‌کند و سبب تولید یک لایه اکسید بین دو فلز می‌شود. بروز این حالت در لحیم کاری را نیز لحیم سرد گویند. اگر هویه به طور مناسب به محل اتصال تماس داده نشود نیز لحیم سرد ایجاد می‌شود. به هر حال مهم‌ترین عامل ایجاد لحیم سرد کافی نبودن گرما در محل اتصال و در هنگام لحیم کاری است.

۶- اکثر قطعات الکترونیکی نظیر دیودها، ترانزیستورها و آی‌سی‌ها در مقابل افزایش حرارت مقاوم نیستند و این قطعات در اثر حرارت ناشی از لحیم کاری ممکن است آسیب

### ۳-۱۰ نکات ایمنی این آزمایش



۳-۱۰-۳ دوشاخه‌ی متصل شده به سیم‌های رابط دستگاه‌ها را بررسی کنید تا شکستگی نداشته باشد. شکل ۳-۵۴ چند نمونه دوشاخه‌ی سالم را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵۴ چند نمونه دوشاخه سالم

۳-۱۰-۴ هنگام جازدن و یا کشیدن دوشاخه از برق از سیم‌های متصل به آن استفاده نکنید و دوشاخه را مانند شکل ۳-۵۵ به طور صحیح در دست بگیرید و مراقب باشید دست شما با قسمت‌های فلزی دوشاخه تماس پیدا نکند.



شکل ۳-۵۵ در دست گرفتن صحیح دوشاخه

۳-۱۰-۵ برای برداشتن قسمت عایق سیم‌ها به منظور لحیم‌کاری از سیم لخت کن استفاده کنید. شکل ۳-۵۶ الف و ب دو نوع سیم لخت کن ساده و اتوماتیک را نشان می‌دهد.

■ لازم است برای اجرای کارهای عملی به دستورات حفاظتی و ایمنی کاملاً توجه کنید تا از خطرات احتمالی برق‌گرفتگی یا آسیب رساندن به قطعات و تجهیزات جلوگیری به عمل آید.

۳-۱۰-۱ همیشه از ابزار کار استاندارد استفاده کنید. ابزار استاندارد نظیر پیچ‌گوشتی، دم‌باریک و سیم‌چین باید دارای دسته‌ی عایق باشند، شکل ۳-۵۲.



شکل ۳-۵۲ تعدادی ابزار کار استاندارد

۳-۱۰-۲ سیم‌رابط هر دستگاهی را که به برق ۲۲۰ ولت وصل می‌کنید کاملاً بررسی کنید تا قسمتی از سیم لخت نباشد. شکل ۳-۵۳ سیم رابط سالم را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵۳ دو نمونه سیم رابط سالم



۳-۱۰-۷ هنگام لحیم کاری مراقب باشید هویه ی گرم با لباس یا بدن شما تماس پیدا نکند.

۳-۱۰-۸ هنگام لحیم کاری مانند سایر موارد، نظم و انضباط مقرر را به طور دقیق رعایت کنید.

۳-۱۰-۹ کارگاه باید مجهز به وسایل اطفاء حریق باشد و

این وسایل باید به راحتی در دسترس قرار گیرد. شکل ۳-۵۸  
وسایل اطفاء حریق را نشان می دهد.



شکل ۳-۵۸ وسایل اطفاء حریق

نکته ی مهم:



برای انجام کارهای عملی لحیم کاری، توصیه می کنیم از سیم های دورریز موجود در آزمایشگاه استفاده نمایید.



(الف)



(ب)

شکل ۳-۵۶ سیم لخت کن ساده و اتوماتیک

۳-۱۰-۶ هویه ی گرم را روی پایه ی مخصوص هویه قرار

دهید تا مانع آتش سوزی یا سوانح دیگر شود. شکل ۳-۵۷

یک نمونه پایه ی هویه ی مناسب را نشان می دهد.



شکل ۳-۵۷

## ۱۱-۳ آزمایش شماره ۱ (۲):

اصول کار با هویه و قلع کش

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

### ۱-۱۱-۳ هدف آزمایش:

مونتاژ (سوار کردن) و دیمونتاژ (پیاپی کردن) قطعات از

روی برد مدار چاپی و لحیم کاری صحیح.

### ۲-۱۱-۳ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات دستگاهها و قطعات	تعداد / مقدار
۱	هویه قلمی	یک عدد
۲	انبردست	یک عدد
۳	سیم چین	یک عدد
۴	دم باریک	یک عدد
۵	سیم لخت کن	یک عدد
۶	سیم لحیم	به مقدار لازم
۷	پایه هویه	یک عدد
۸	سیم مفتولی	به مقدار لازم
۹	قلع کش پیستونی	یک عدد
۱۰	مدار چاپی	یک فیبر

### ۳-۱۱-۳ مراحل اجرای آزمایش:

#### الف- لحیم کاری صحیح

■ چند قطعه سیم مفتولی با سطح مقطع ۱/۵ میلی متر مربع

روپوش دار انتخاب کنید.

■ دو سر سیمها را، با استفاده از سیم لخت کن، به اندازه‌ی

یک سانتی متر لخت کنید.

■ دو سر سیمها را سمباده‌ی نرم بکشید و آنها را قلع

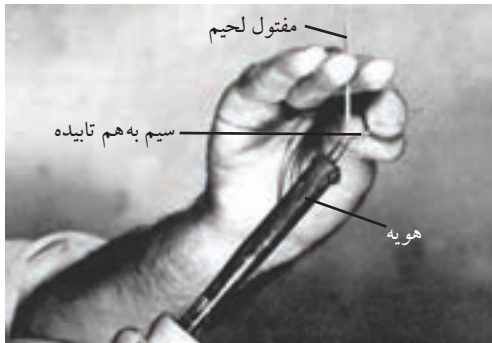
اندود کنید.

■ هر دو سیم را با زاویه‌ی  $30^\circ$  نسبت به هم در دست

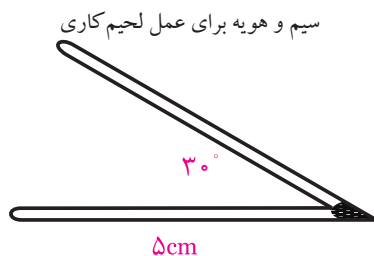
بگیرید و نوک هویه را در زیر تقاطع آنها قرار دهید. سیمها

باید به هم متصل شوند، شکل ۵۹-۳. یک لحیم کاری خوب

باید مطابق شکل ۶۰-۳ باشد.



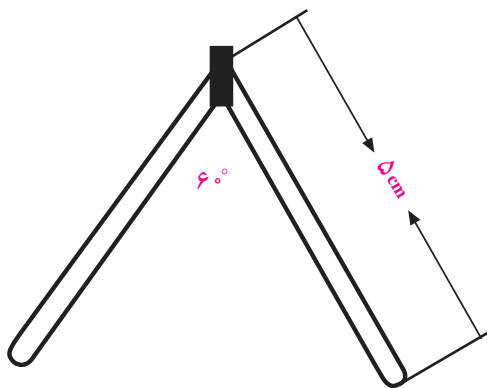
شکل ۵۹-۳ نحوه‌ی صحیح در دست گرفتن



شکل ۶۰-۳ نمونه‌ی صحیح ساختن زاویه‌ی  $30^\circ$

■ مراحل قبلی آزمایش را برای ساختن زاویه‌ی  $60^\circ$

تکرار کنید. کار در این تمرین باید مطابق شکل ۶۱-۳ باشد.



شکل ۶۱-۳ نمونه‌ی صحیح ساختن زاویه‌ی  $60^\circ$

## ب- پیاده کردن قطعات از روی فیبر مدار چاپی

■ فیبر مدار چاپی را مورد بازبینی قرار دهید و تا حد امکان قطعات روی آن را شناسایی کنید.

■ دستگاه هوویه قلمی را بررسی کنید و از سالم بودن آن مطمئن شوید.

■ قلع کش را آزمایش کنید و از سالم بودن آن مطمئن شوید.

■ هوویه را به برق بزنید تا گرم شود.

■ قطعه‌ی تعیین شده توسط مربی یا استادکار را با استفاده از هوویه و قلع کش از روی برد بیرون بکشید و آن را به مربی نشان دهید.

■ مرحله‌ی قبل را تکرار کنید تا مهارت لازم را در بیرون آوردن قطعات به دست آورید.

■ هنگامی که مهارت لازم را به دست آوردید از مربی یا استادکار بخواهید کار شما را مورد ارزیابی قرار دهد.

## ج- سوار کردن قطعات روی فیبر مدار چاپی

■ نوک هوویه را بررسی و در صورت نیاز آن را کاملاً تمیز کنید.

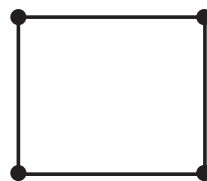
■ قطعاتی را که مربی یا استادکار برای شما تعیین می‌کند روی یک فیبر اوراقی سوار کنید.

■ مرحله‌ی قبل را آنقدر تکرار کنید تا مهارت لازم را به دست آورید.

■ پس از اطمینان از کسب مهارت کافی از استادکار بخواهید کار شما را مورد ارزیابی قرار دهد.

## ساختن مربع

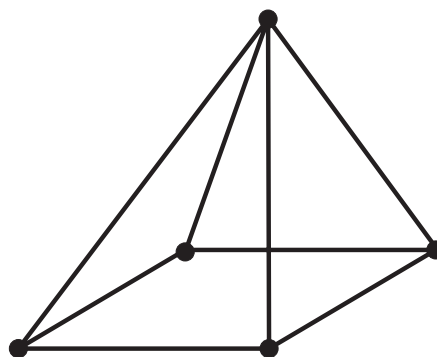
■ با استفاده از ۴ قطعه سیم طبق شکل ۳-۶۲ یک مربع بسازید.



شکل ۳-۶۲ نمونه‌ی صحیح ساختن مربع

## ساختن هرم

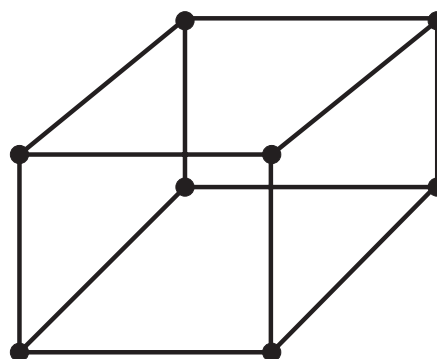
■ با استفاده از چند قطعه سیم، شکل ۳-۶۳ را بسازید.



شکل ۳-۶۳ نمونه‌ی صحیح ساختن هرم

## ساختن مکعب با استفاده از چند قطعه سیم

■ شکل ۳-۶۴ را بسازید.



شکل ۳-۶۴ نمونه‌ی صحیح ساختن مکعب

#### ۴-۱۱-۳ نتایج آزمایش:

آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به اختصار شرح

دهید.

الف:

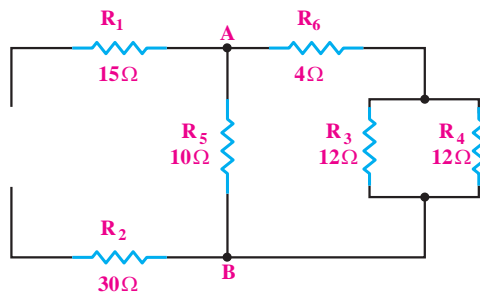
ب :

ج:

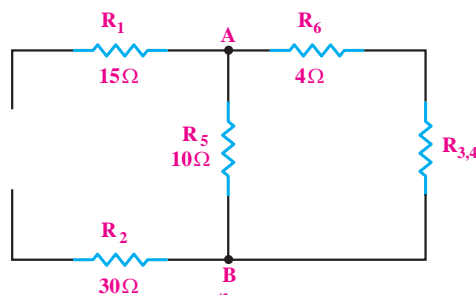


### آزمون پایانی فصل (۳)

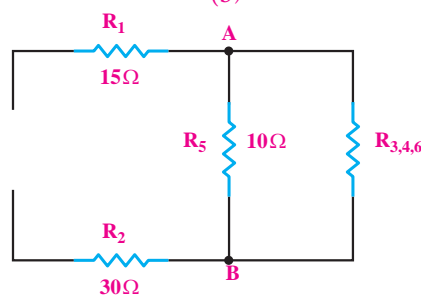
۱- در شکل ۳-۶۵ مدار (a) داده شده است. مدارهای (b) تا (e) ساده شده‌ی مدار (a) هستند. در روی این شکل‌ها، مقادیر مقاومت معادل‌هایی که مقدار آن‌ها نوشته نشده است را به ترتیب در هر شکل با توجه به شکل قبلی محاسبه کنید و بنویسید.



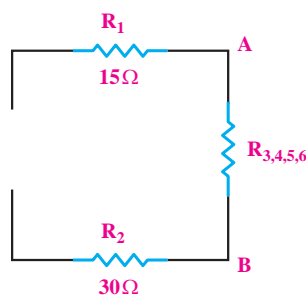
(a)



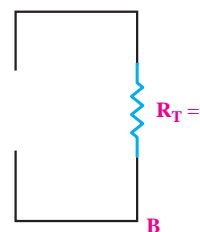
(b)



(c)



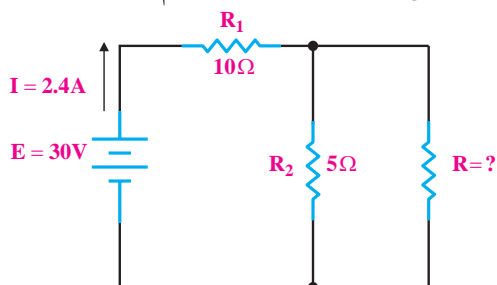
(d)



(e)

شکل ۳-۶۵

۲- در شکل ۳-۶۶ مقدار R چند اهم باید باشد؟



شکل ۳-۶۶

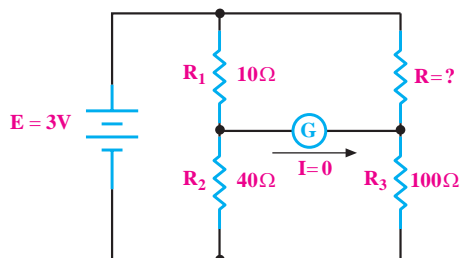
ب) ۳/۳۳۰

الف) ۵

د) ۱۰

ج) ۱۵

۳- در شکل ۳-۶۷ مقدار R چند اهم است؟



شکل ۳-۶۷

ب) ۲۶

الف) ۲۵

د) ۲۹

ج) ۲۸

۴- یک هویه‌ی ساده از چه قسمت‌هایی تشکیل شده

است؟ نام ببرید.



۵- روش صحیح نگه‌داری هویه‌ی قلمی را شرح دهید.



ج) قطع شدن سیم‌های رابط باعث صفر شدن جریان در مدار سری است.

د) توان مصرفی در مدار سری برابر با توان هر یک از مصرف‌کننده‌ها است.

۹- مدار سری- موازی را با رسم شکل شرح دهید.



۶- بهترین لحیم برای عمل لحیم‌کاری در الکترونیک،

آلیاژ ۶۳/۳۷ است.

☐ غلط

☐ صحیح

۷- اساس کار پل وتستون را شرح دهید.



۱۰- خواص روغن لحیم را شرح دهید.



۸- کدامیک از جملات زیر صحیح نیست؟

الف) توان مصرفی در مدارهای موازی با مجموع توان‌های

مصرف‌کننده‌ها برابر است.

ب) جریان در شاخه‌های موازی مدار، به نسبت عکس

مقاومت‌های شاخه‌ها تقسیم می‌شود.

## فصل چهارم

### قوانین تونن و نورتن

**هدف کلی:** آشنایی با منبع ولتاژ و منبع جریان و قوانین تونن و نورتن و به کارگیری آنها در مدارها

هدف های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می رود که:



- ۱- منبع جریان را تعریف کند.
- ۲- انواع منبع جریان را نام ببرد.
- ۳- منبع ولتاژ را تعریف کند.
- ۴- انواع منابع ولتاژ را نام ببرد.
- ۵- منابع ولتاژ و منابع جریان را به یکدیگر تبدیل کند.
- ۶- مدار معادل تونن مدارهای الکتریکی جریان مستقیم را به دست آورد.
- ۷- مدار معادل نورتن مدارهای الکتریکی جریان مستقیم را به دست آورد.
- ۸- کلیه هدف های رفتاری در حیطه ی عاطفی که در فصل اول بخش اول به آنها اشاره شده است را اجرا کند.

 ساعت آموزش			توانایی شماره ۴
جمع	عملی	نظری	
۸	۴	۴	



## پیش آزمون فصل (۴)

۱- عناصر فعال به عناصری گفته می شود که انرژی مدار را ..... می کنند.

الف) مصرف      ب) تامین

۲- منبع ولتاژ حقیقی را می توان منبع ولتاژ ایده آلی دانست که یک مقاومت اهمی .....، با آن ..... شده باشد.

الف) کوچک - سری      ب) کوچک - موازی

ج) بزرگ - سری      د) بزرگ - موازی

۳- منابع جریان واقعی، منابع جریان ایده آلی هستند که با یک مقاومت اهمی بزرگ به صورت موازی قرار گرفته اند.

☐ غلط      ☐ صحیح

۴- کدامیک از جملات زیر صحیح نیست؟

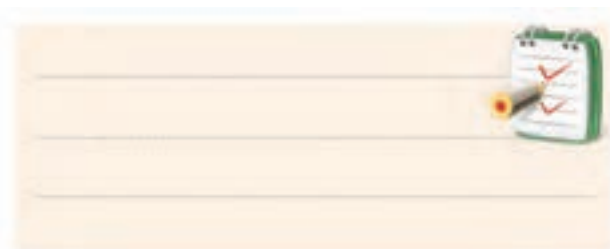
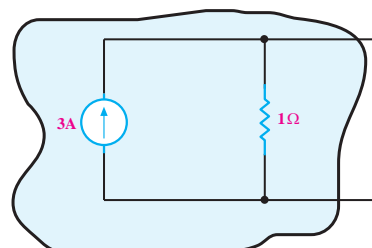
الف) منابع جریان ایده آل، در بارهای مختلف، جریان ثابتی به مدار می دهند.

ب) منبع ولتاژ حقیقی منبعی است که با افزایش بار، ولتاژ خروجی آن کاهش می یابد.

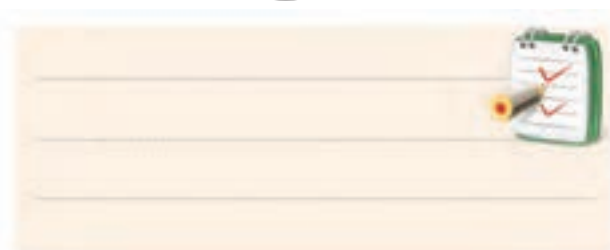
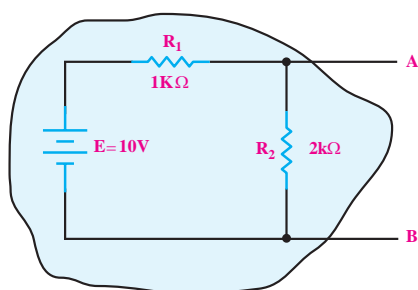
ج) منابع ایده آل را می توان به یکدیگر تبدیل کرد و توان آن را افزایش داد.

د) برای تبدیل یک منبع ولتاژ به منبع جریان، مقاومت داخلی منبع ولتاژ با مقاومت داخلی منبع جریان برابر است.

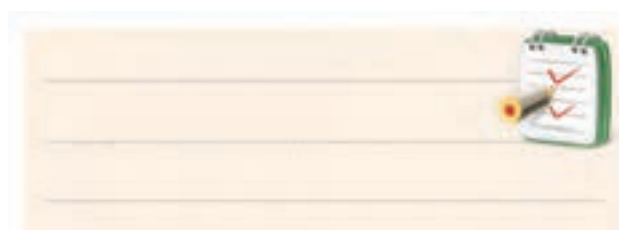
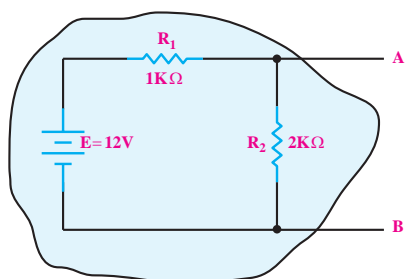
۵- منبع ولتاژ معادل منبع جریان شکل زیر را به دست آورید.



۶- مدار معادل نورتن شکل زیر را از دو نقطه A و B به دست آورید.



۷- مدار معادل تونن مدار زیر را از دو نقطه A و B به دست آورید.





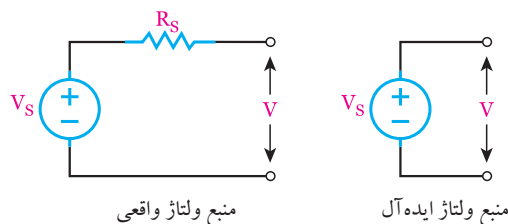
## ۴-۱ عناصر فعال مدارهای الکتریکی

عناصر فعال به عناصری گفته می‌شود که انرژی مدار را تأمین می‌کنند. این عناصر منابع ولتاژ و منابع جریان هستند. هر یک از این دو منبع به دو گروه منابع ایده‌آل و منابع حقیقی تقسیم می‌شوند.

### ۴-۱-۱ منابع ولتاژ

منبع ولتاژ ایده‌آل منبعی است که بتواند در بارهای مختلف، ولتاژ ثابتی را به مدار بدهد. منبع ولتاژ حقیقی، منبعی است که با افزایش بار (کاهش مقاومت مدار)، ولتاژ خروجی آن کاهش می‌یابد.

منبع ولتاژ حقیقی را می‌توان منبع ولتاژ ایده‌آلی دانست که یک مقاومت اهمی کوچک با آن سری شده است. منابع تغذیه در صنعت، منابع ولتاژ حقیقی هستند و منابع ولتاژ ایده‌آل وجود خارجی ندارند ولی با تقریب می‌توان منابع ولتاژ با انرژی بسیار بزرگ را ایده‌آل فرض کرد. شکل ۴-۱ یک نمونه منبع ولتاژ ایده‌آل و یک نمونه منبع ولتاژ واقعی را نشان می‌دهد.

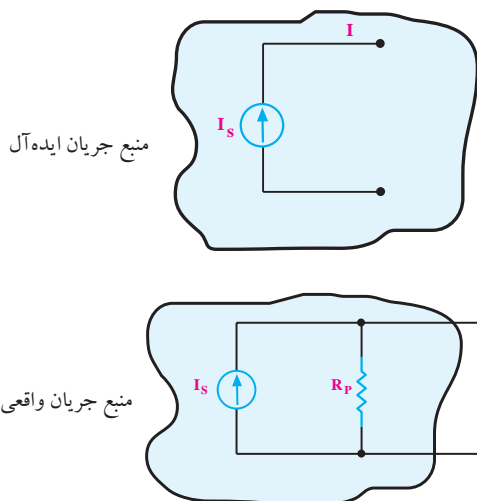


شکل ۴-۱ دو نمونه منبع ولتاژ

### ۴-۱-۲ منابع جریان

منابع جریان ایده‌آل منابعی هستند که در بارهای مختلف، جریان ثابتی به مدار می‌دهند. به عبارت دیگر، اگر مقاومت بار در مدار تغییر کند، ولتاژ آن تغییر می‌کند ولی جریان آن ثابت است. منابع جریان بیش‌تر در مدارهای الکترونیکی دیده می‌شوند و به صورت ایده‌آل وجود ندارند. منابع جریان واقعی، منابع جریان ایده‌آلی هستند که با یک مقاومت بزرگ اهمی به صورت موازی قرار گرفته‌اند.

در این منابع به دلیل ثابت بودن جریان منبع، در صورت تغییر بار، جریان عبوری در مصرف‌کننده قدری تغییر می‌کند. در شکل ۴-۲ دو نمونه منبع جریان ایده‌آل و واقعی را مشاهده می‌کنید.



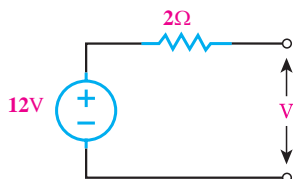
شکل ۴-۲ دو نمونه منبع جریان

### ۴-۱-۳ تبدیل منابع ولتاژ و جریان به یکدیگر

در تحلیل مدارهای الکتریکی مواردی پیش می‌آید که اگر به جای منبع ولتاژ، یک منبع جریان در مدار قرار گیرد، تحلیل مدار ساده‌تر می‌شود. برای تبدیل یک منبع ولتاژ به منبع جریان کافی است، ولتاژ منبع را بر مقاومت داخلی آن تقسیم کنیم تا مقدار جریان منبع جریان معادل به دست آید. مقاومت داخلی منبع ولتاژ با مقاومت داخلی منبع جریان برابر است.

**مثال ۱:** منبع جریان معادل منبع ولتاژ شکل ۴-۳ را به دست

آورید.



شکل ۴-۳

**حل:**

مقدار ولتاژ معادل منبع ولتاژ از حاصل ضرب جریان کل

مقاومت داخلی منبع جریان و منبع ولتاژ با هم برابر است: در  $R_p$  به دست می آید:

$$R_s = R_p = 2\Omega$$

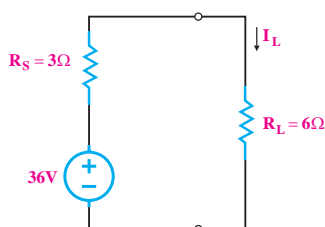
مقدار جریان منبع جریان را از تقسیم ولتاژ منبع ولتاژ بر

مقاومت سری با آن به دست می آوریم:

$$I_s = \frac{V_s}{R_s} = \frac{12(V)}{2(\Omega)} = 6A$$

منبع ولتاژ معادل منبع جریان این مثال را در شکل ۴-۶

مشاهده می کنید.



$$I_L = \frac{36(V)}{3 + 6} = 4(A)$$

شکل ۴-۶ مدار معادل منبع جریان

همان طور که ملاحظه می کنید جریان مصرف کننده در

حالتی که منبع جریان در مدار است برابر با زمانی است که

در مدار منبع ولتاژ معادل قرار دارد. بدیهی است که ولتاژ دو

سر مقاومت بار و توان مصرفی آن نیز در هر دو حالت، ثابت

است.

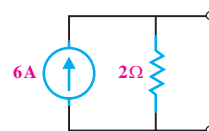
**تذکره:** منابع ایده آل را نمی توان به یکدیگر تبدیل

کرد.

به طور خلاصه برای تبدیل منبع جریان به منبع ولتاژ باید به

طریق صفحه بعد عمل کنید:

پس منبع جریان معادل به صورت شکل ۴-۴ در می آید.



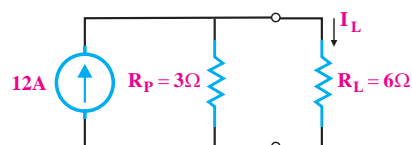
شکل ۴-۴ منبع جریان معادل

**مثال ۲:** در شکل ۴-۵ منبع ولتاژ معادل منبع جریان مدار

را محاسبه کنید و شکل مدار را رسم کنید. جریان مصرف

کننده  $R_L$  را در مدار منبع جریان و در مدار منبع ولتاژ

محاسبه کنید.



شکل ۴-۵

**حل:**

از قانون تقسیم جریان بین دو مقاومت برای به دست

آوردن  $I_L$  استفاده می کنیم:

$$I_L = I \times \frac{3\Omega}{3 + 6} = 12 \times \frac{3}{9} = 4(A)$$



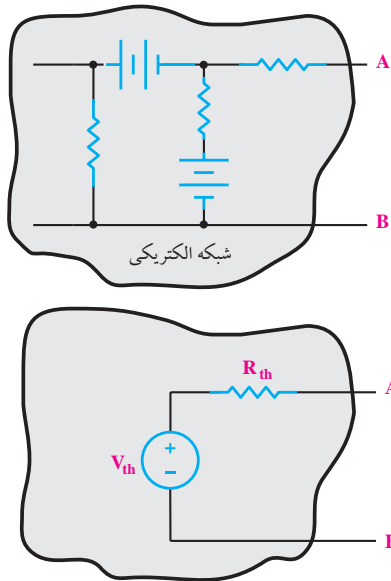
آیا می دانید:

یک لامپ کم مصرف ۲۰ وات با بازدهی انرژی A در طول عمر خود معادل یک بشکه نفت خام صرفه جویی می کند.

## ۴-۲ قضایای تونن و نورتن

### ۴-۲-۱ قضیه ی تونن

طبق قضیه ی تونن، هر شبکه ی الکتریکی از دو نقطه ی مشخص را می توان به صورت یک منبع ولتاژ و یک مقاومت سری شده با آن معادل نمود، شکل ۴-۸.



شکل ۴-۸ مدار معادل یک شبکه از دو نقطه ی A و B

ولتاژ مدار معادل شده از دو نقطه ی A و B با ولتاژ شبکه ی اصلی دقیقاً برابر است. هم چنین مقاومت اهمی شبکه ی اصلی با شبکه ی معادل شده نیز یکی است.

برای به دست آوردن مقاومت معادل تونن می توانیم مقاومت معادل از دو نقطه ی A و B را به کمک روابط محاسبه کنیم یا به کمک اهم متر مستقیماً اندازه بگیریم، شکل ۴-۹.

- همیشه مقاومت داخلی منبع ولتاژ با مقاومت داخلی منبع جریان برابر است.

$$R_s = R_p$$

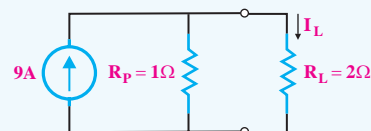
- ولتاژ منبع ولتاژ از حاصل ضرب جریان در مقاومت

داخلی منبع جریان به دست می آید.

$$V_s = R_p \times I_s$$

**تمرین کلاسی ۱:** در مدار شکل ۴-۷، منبع

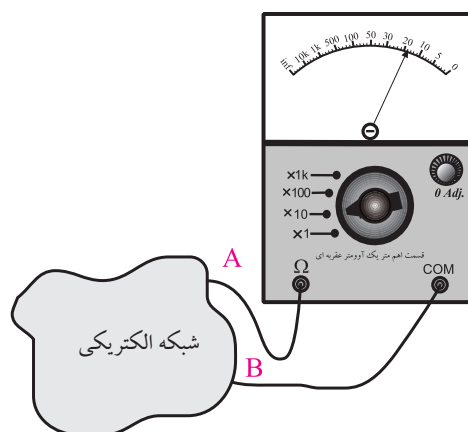
ولتاژ معادل منبع جریان مدار را محاسبه کنید و مدار جدید را رسم کنید. هم چنین جریان مصرف کننده ی  $R_L$  را در مدار منبع جریان و در مدار منبع ولتاژ محاسبه کنید.



شکل ۴-۷

### توجه

هنگام اندازه‌گیری مقاومت معادل تونن با مولتی‌متر، باید منبع ولتاژ را از مدار خارج کنیم و به جای آن مقاومت معادل داخلی آن را قرار دهیم.



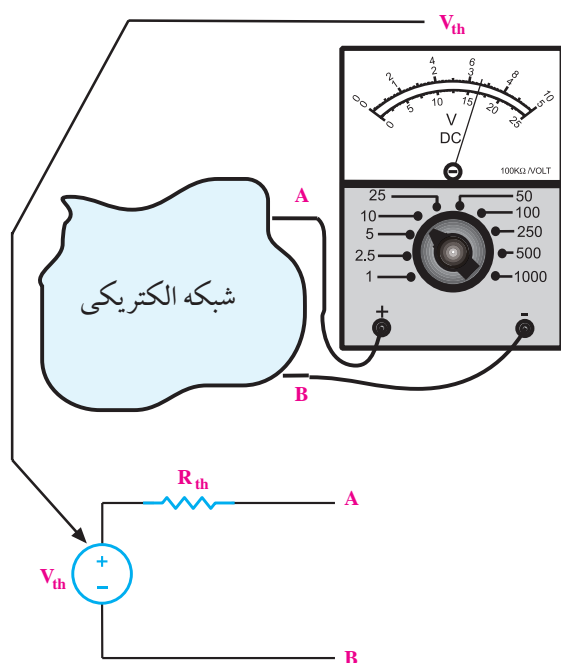
شکل ۹-۴- اهم‌متر مقاومت  $R_{th}$  را نشان می‌دهد.

برای به‌دست آوردن  $R_{th}$  به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

الف- بار را بر می‌داریم.

ب- منابع ولتاژ را بی‌اثر می‌کنیم. برای این منظور منابع ولتاژ ایده‌آل را اتصال کوتاه می‌کنیم. در شکل ۱۰-۴ به جای منابع ولتاژ واقعی، مقاومت داخلی آن را در مدار قرار داده‌ایم.

پ- از دو نقطه‌ای که بار قرار می‌گیرد (A و B) مقاومت معادل مدار را به‌دست می‌آوریم.



شکل ۱۱-۴- نحوه‌ی به‌دست آوردن ولتاژ معادل تونن

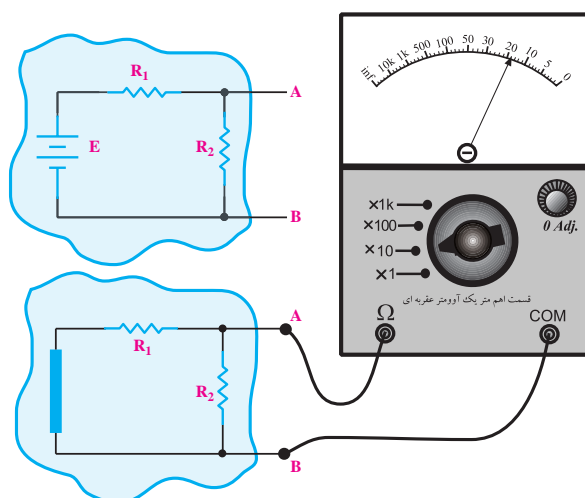
**مثال ۳:** مدار معادل تونن شکل ۱۲-۴ را از دو نقطه‌ی A

و B به دست آورید.

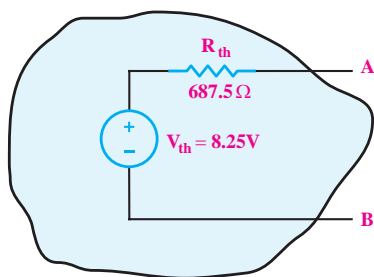
**حل:**

ولتاژ معادل تونن یا ولتاژ بین نقاط A و B در مدار شکل

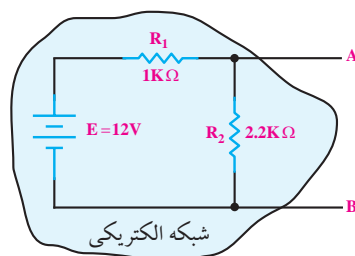
۱۲-۴، همان ولتاژ دو سر مقاومت  $R_p$  است.



شکل ۱۰-۴- اندازه‌گیری مقاومت معادل تونن با مولتی‌متر



شکل ۴-۱۴ مدار معادل تونن



شکل ۴-۱۲

$$V_{AB} = V_{th} = R_p \cdot I$$

$$I = \frac{E}{R_1 + R_p} = \frac{12}{1000 + 2200} = \frac{12}{3200} = 0.00375 \text{ A}$$

$$V_{th} = 2200 \times 0.00375 = 8.25 \text{ V}$$

با داشتن آرامش می توانید از تمام توانایی های خود استفاده کنید. پس سعی کنید در هنگام بروز اضطراب از تکنیک های کسب آرامش استفاده کنید.

### ۴-۲-۲ قضیه ی نورتن

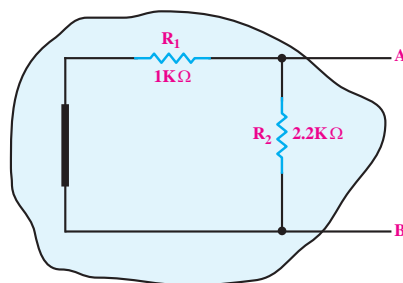
بر اساس قضیه ی نورتن، می توانیم هر شبکه ی الکتریکی را از دو نقطه ی مشخص به صورت یک منبع جریان و یک مقاومت موازی با آن معادل کنیم.

منبع جریان عنصری است که می تواند جریان ثابتی را به مدار تزریق کند. این جریان کاملاً ثابت بوده و به ولتاژ دو سر آن، یعنی به منبع بستگی ندارد. منبع جریان را با عناصر الکترونیکی و با استفاده از منبع ولتاژ می سازند و با علامت قرار دادی شکل ۴-۱۵ نشان می دهند.



شکل ۴-۱۵ علامت قرار دادی منبع جریان

برای به دست آوردن مقاومت معادل تونن ابتدا منبع ولتاژ (E) را از مدار جدا کنید، سپس به جای آن اتصال کوتاه بگذارید، سپس از دو نقطه ی A و B، مقاومت معادل مدار را محاسبه کنید، شکل ۴-۱۳.



شکل ۴-۱۳ محاسبه ی مقاومت معادل تونن

همان طور که مشاهده می شود از دو نقطه ی A و B مقاومت های  $R_1$  و  $R_p$  با یکدیگر موازی هستند. لذا داریم:

$$R_{AB} = R_{th} = \frac{R_1 \cdot R_p}{R_1 + R_p}$$

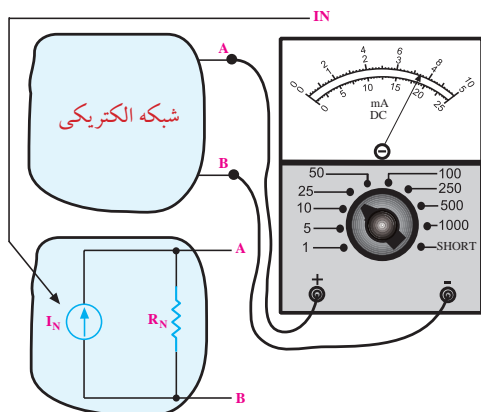
$$R_{th} = \frac{1000 \times 2200}{1000 + 2200} = 687.5 \Omega$$

مدار معادل تونن مدار شکل ۴-۱۱ به صورت شکل ۴-۱۴

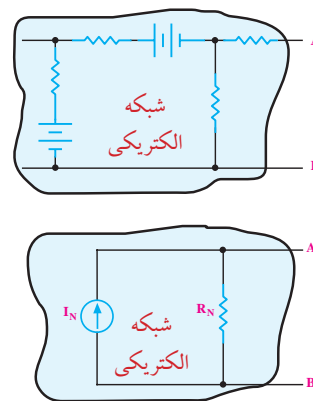
در می آید.

شکل ۴-۱۶ مدار معادل نورتن یک شبکه ی الکتریکی را

نشان می دهد.



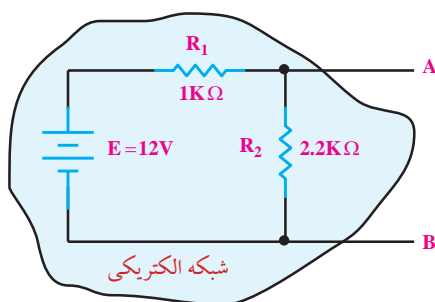
شکل ۴-۱۸ چگونگی به دست آوردن معادل نورتن



شکل ۴-۱۶ مدار معادل نورتن یک شبکه الکتریکی

**مثال ۴:** مدار معادل نورتن شکل ۴-۱۹ را از دو نقطه A

و B به دست آورید.



شکل ۴-۱۹

**حل:**

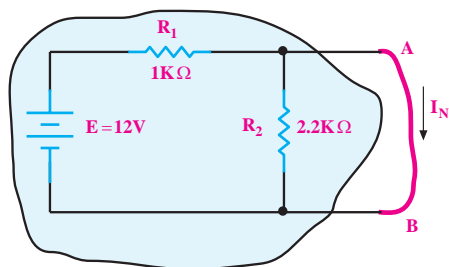
برای به دست آوردن جریان نورتن، نقطه‌های A و B را

اتصال کوتاه می‌کنیم و جریان گذرنده از آن را از طریق

محاسبه به دست می‌آوریم. در شکل ۴-۲۰ بین نقاط A و

B اتصال کوتاه شده است، لذا از مقاومت  $R_2$  جریانی عبور

نمی‌کند.



شکل ۴-۲۰ - محاسبه‌ی جریان معادل نورتن

برای به دست آوردن مقاومت معادل نورتن می‌توانیم

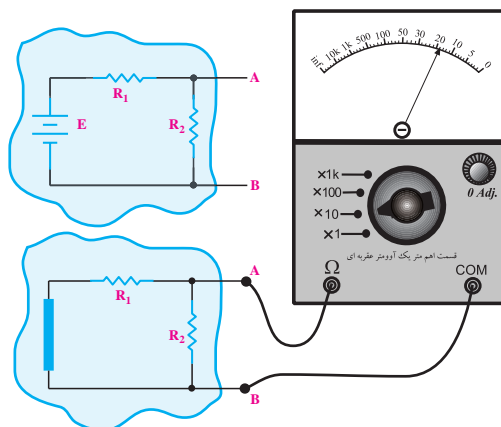
مقاومت معادل از دو نقطه‌ی A و B را به کمک روابط

محاسبه کنیم یا به کمک اهم‌متر مستقیم اندازه بگیریم. در هر

دو حالت، اگر در مدار منبع ولتاژ وجود داشته باشد باید منبع

را از مدار جدا کنید و در محل اتصال منبع به مدار یک اتصال

کوتاه قرار دهید، شکل ۴-۱۷.



شکل ۴-۱۷ - نحوه‌ی به دست آوردن مقاومت معادل نورتن

برای به دست آوردن جریان معادل نورتن مدار، باید بین دو

نقطه‌ی A و B در شکل ۴-۱۸ را اتصال کوتاه کنید. این جریان

اتصال کوتاه، که همان جریان نورتن است را می‌توانید به کمک

روابط محاسبه کنید یا با یک آمپر متر که بین دو نقطه‌ی A و B قرار

می‌دهید، جریان را اندازه بگیرید، شکل ۴-۱۸. توجه داشته باشید

که آمپر متر بین دو نقطه‌ی A و B را اتصال کوتاه می‌کند.

از طرفی، چون دو سر مقاومت  $R_p$  اتصال کوتاه شده است، جریان  $I_N$  از رابطی زیر به دست می آید.

$$I_N = \frac{E}{R_1} = \frac{12}{1K} = 0.012A = 12mA$$

است:

$$V_{th} = I_N \cdot R_N$$

یا:

$$I_N = \frac{V_{th}}{R_{th}}$$

بنابراین مدار معادل تونن و نورتن می توانند به هم تبدیل شوند.

### ۴-۳ آزمایش شماره ۱ (۱):

مدار تونن زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

#### ۴-۳-۱ هدف آزمایش:

به دست آوردن ولتاژ و مقاومت معادل تونن در یک مدار الکتریکی

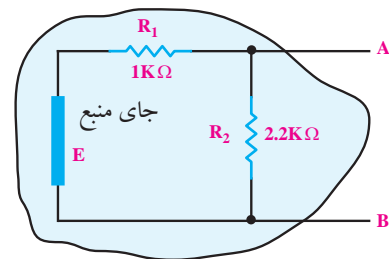
#### ۴-۳-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات دستگاه و قطعات	تعداد / مقدار
۱	منبع تغذیه ۰-۱۵V	یک دستگاه
۲	مولتی متر عقربه ای یا دیجیتالی	یک دستگاه
۳	بردبرد	یک قطعه
۴	مقاومت $2/2K\Omega$	یک عدد
۵	مقاومت $1K\Omega$	دو عدد
۶	سیم دو سرگیره دار	چهار رشته
۷	سیم یک سرگیره دار	چهار رشته
۸	سیم رابط	به مقدار کافی

#### ۴-۳-۳ مراحل اجرای آزمایش:

■ مدار شکل ۴-۲۳ را روی بردبرد ببندید.

برای به دست آوردن مقاومت معادل نورتن، منبع ولتاژ (E) را از مدار جدا می کنیم و به جای آن، اتصال کوتاه قرار می دهیم، شکل ۴-۲۱. سپس از دو نقطه A و B مقاومت معادل را محاسبه می کنیم.

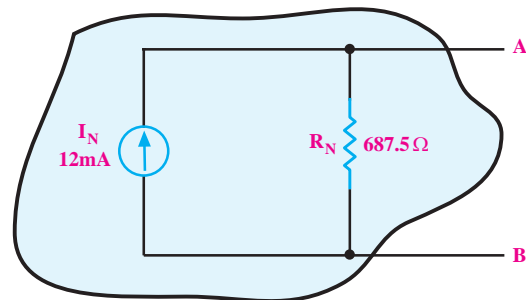


شکل ۴-۲۱ اتصال کوتاه منبع

با نگاه از دو نقطه A و B، مقاومت های  $R_1$  و  $R_p$  با هم موازی هستند لذا داریم:

$$R_N = R_{AB} = \frac{R_1 \cdot R_p}{R_1 + R_p} = \frac{1000 \times 2200}{1000 + 2200} = 687.5 \Omega$$

مدار معادل نورتن شکل ۴-۱۹ به صورت شکل ۴-۲۲ در می آید.

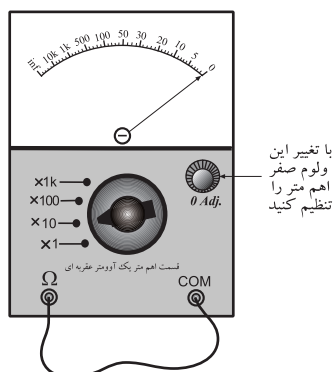


شکل ۴-۲۲ مدار معادل نورتن

توجه: همیشه  $R_N$  و  $R_{th}$  با یکدیگر برابرند و نحوه ی

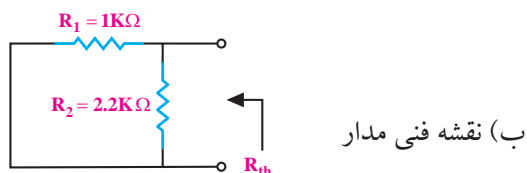
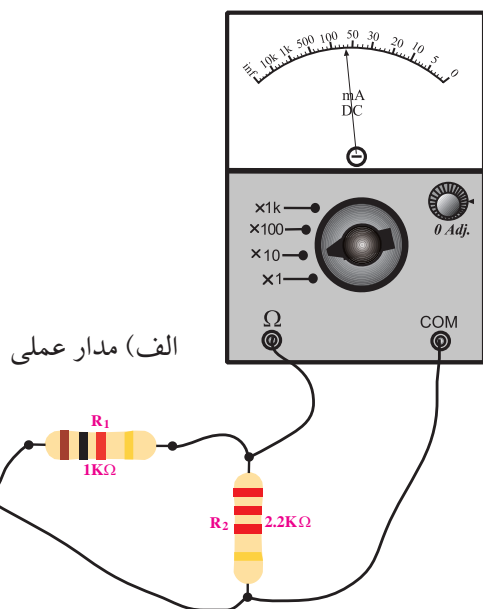
دهید.

■ اگر اهم متر شما عقربه‌ای است، حتماً صفر آن را تنظیم کنید. برای این کار دو ترمینال اهم متر که مقاومت به آن‌ها وصل می‌شود را اتصال کوتاه و با ولوم روی آن صفر را تنظیم کنید. اهم متر دیجیتالی نیاز به تنظیم صفر ندارد، شکل ۴-۲۴.



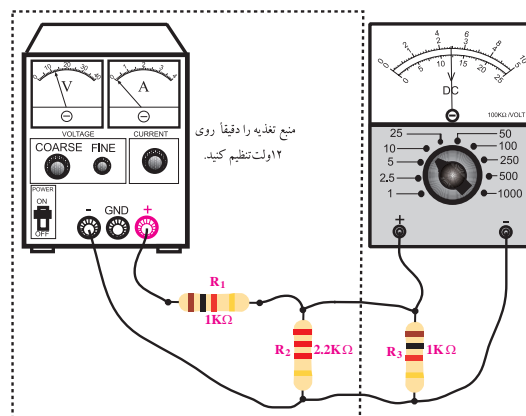
شکل ۴-۲۴- نحوه‌ی تنظیم صفر اهم متر عقربه‌ای

■ مدار شکل ۴-۲۵ را روی بردبرد ببندید.

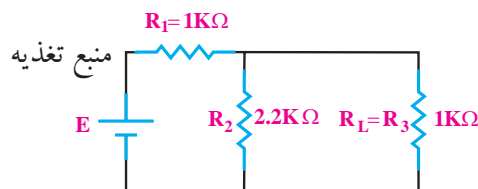


شکل ۴-۲۵

■ مقاومتی را که اهم متر اندازه می‌گیرد، مقاومت معادل



الف) مدار عملی



ب) نقشه فنی مدار

شکل ۴-۲۳

■ ابتدا در حالی که مدار به صورت کامل روی بردبرد بسته شده است، ولتاژ دو سر مقاومت بار را اندازه می‌گیریم.

■ ولت متر DC را به دو سر مقاومت بار  $1K\Omega$  وصل کنید و ولتاژ دو سر مقاومت بار را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{O_1} = V_{R_p} = \dots\dots\dots (V)$$

■ برای به دست آوردن مقاومت تونن مدار، ابتدا منبع تغذیه را از مدار جدا کنید.

■ به جای منبع ولتاژ، یک سیم اتصال کوتاه قرار دهید.

■ مقاومت بار  $R_p$  را از مدار جدا کنید.

■ مولتی متر را روی رنج اهم متر تنظیم کنید.

■ ولت متر را از مدار جدا کنید و به جای آن اهم متر قرار

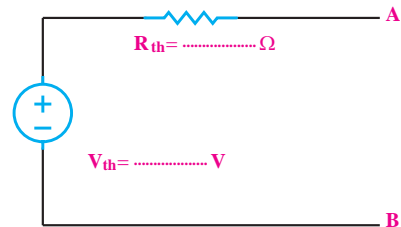


تونن مدار شکل ۴-۲۵ است. مقدار آن را بخوانید و یادداشت کنید.

$$R_{th} = \dots\dots\dots \Omega$$

معادل تونن مدار شکل ۴-۲۳ به صورت شکل ۴-۲۶

درمی آید.



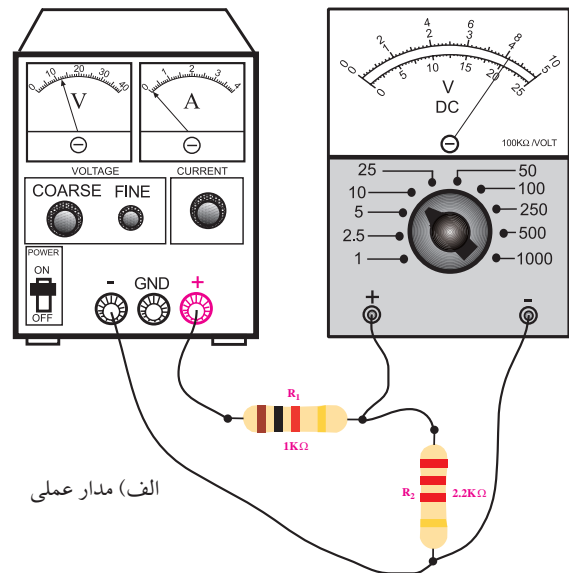
شکل ۴-۲۶ مدار معادل تونن شکل ۴-۲۳

■ برای به دست آوردن ولتاژ تونن، باید مجدداً منبع

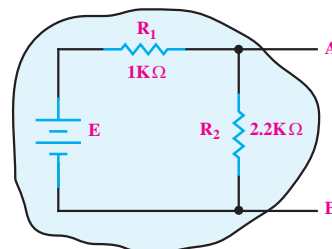
تغذیه را به دو سر مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_p$  وصل کنید.

■ هم‌چنان مقاومت بار  $R_p$  را در مدار قرار ندهید.

■ مدار شکل ۴-۲۷ را روی بردبرد ببندید.



الف) مدار عملی



ب) نقشه فنی مدار

شکل ۴-۲۷

■ رنج کلید ولت‌متر را روی ۱۰ ولت قرار دهید.

■ منبع تغذیه را روی ۱۲ ولت تنظیم کنید.

■ مقدار ولتاژی را که ولت‌متر نشان می‌دهد بخوانید و

یادداشت کنید. این همان ولتاژ معادل تونن مدار مورد نظر است.

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

■ منبع تغذیه را دقیقاً روی مقدار  $V_{th}$  که در مرحله‌ی

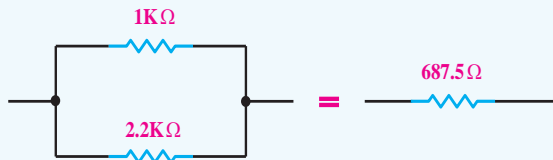
قبل به دست آورده‌اید، تنظیم کنید.

■ به جای مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_p$  مقاومت معادل تونن

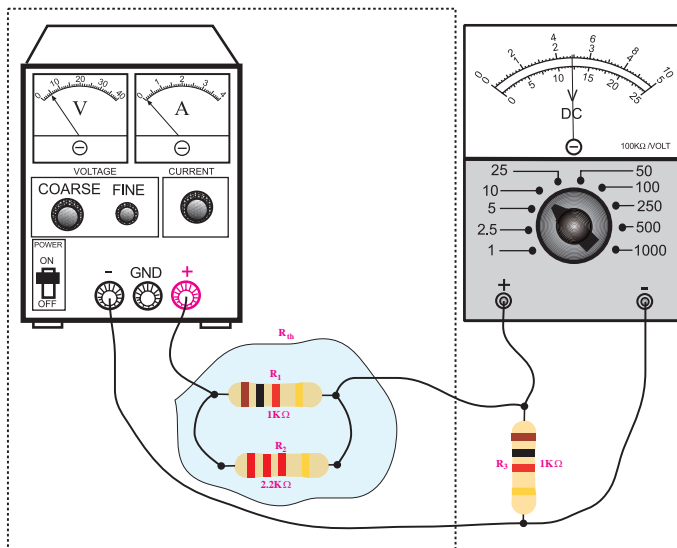
( $R_{th}$ ) را در مدار شکل ۴-۲۶ قرار دهید.

■ به جای  $R_{th} = 687.5 \Omega$  می‌توانید از دو مقاومت

$1K\Omega$  و  $2/2K\Omega$  که با یکدیگر موازی شده‌اند استفاده کنید.



■ مدار شکل ۴-۲۸ را روی بردبرد ببندید.



شکل ۴-۲۸

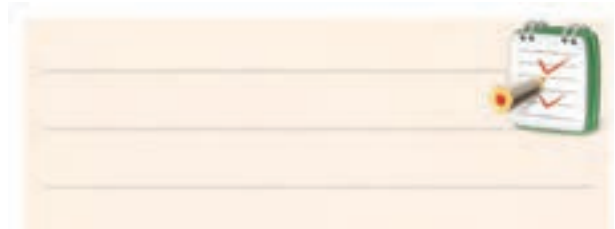
■ ولتاژ دو سر مقاومت  $R_p (1K\Omega)$  را اندازه بگیرید و

یادداشت کنید.

$$V_{O_p} = V_{R_p} = \dots\dots\dots (V)$$

**سوال ۱:** آیا مقدار  $V_{O_p}$  (خروجی مدار واقعی) با  $V_{O_p}$

(خروجی معادل تونن) دقیقا برابرند؟ چرا؟ توضیح دهید.



#### ۴-۳-۴ نتایج آزمایش:

آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح

دهید.

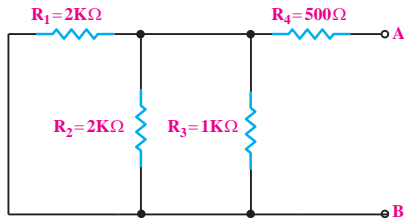


**حل:**

برای به دست آوردن مقاومت معادل تونن، ابتدا منبع

ولتاژ (E) را از مدار جدا می‌کنیم و جای آن را اتصال کوتاه

می‌گذاریم.



شکل ۴-۳۰

همان‌طور که در شکل ۴-۳۰ مشاهده می‌شود، از دو

نقطه‌ی A و B، مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_p$  و موازی هستند،

لذا داریم:

$$R_1 \parallel R_p = \frac{R_1 \times R_p}{R_1 + R_p}$$

$$R_1 \parallel R_p = \frac{2 \times 2}{2 + 2} = \frac{4}{4} = 1K\Omega$$

$$R_p \parallel (R_1 \parallel R_p) = \frac{R_p \times (R_1 \parallel R_p)}{R_p + (R_1 \parallel R_p)} = \frac{1 \times 1}{1 + 1} = \frac{1}{2} K\Omega$$

مقاومت معادل تونن از دو نقطه‌ی A و B، از سری شدن

$R_p$  با معادل موازی  $R_1$  و  $R_p$  به دست می‌آید:

$$R_{th} = R_{p_{eq}} + R_f$$

$$R_{th} = 0.5K\Omega + 500\Omega$$

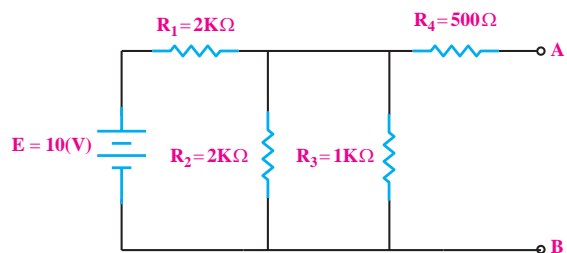
$$R_{th} = (0.5 \times 10^{-3})\Omega + 500\Omega$$

$$R_{th} = 500\Omega + 500\Omega = 1000\Omega$$

$$R_{th} = 1000\Omega = 1000 \times 10^{-3} = 1K\Omega$$

**مثال ۵:** مقاومت معادل تونن در شکل ۴-۲۹ از دو نقطه‌ی

A و B را به دست آورید.



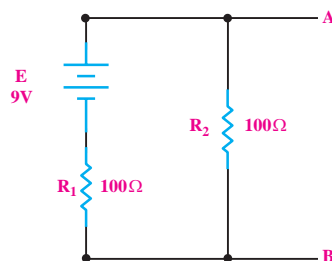
شکل ۴-۲۹

## آزمون پایانی فصل (۴)



۱- مدار معادل تونن از دو نقطه‌ی A و B مدار شکل

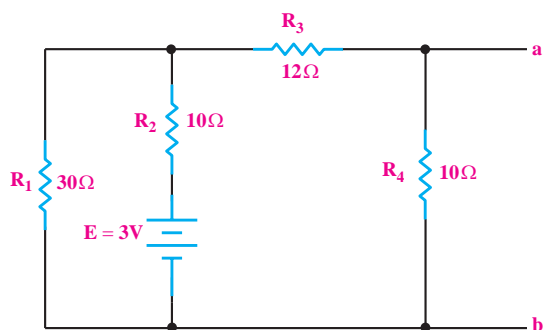
۴-۳۱ را به دست آورید.



شکل ۴-۳۱

۳- مدار معادل نورتن از دو نقطه‌ی a و b مدار شکل

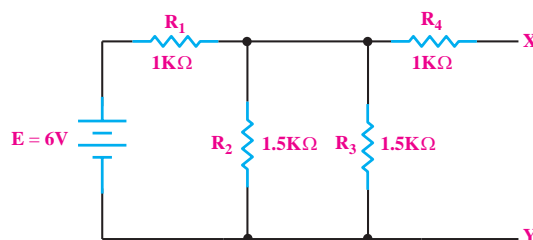
۴-۳۳ را به دست آورید.



شکل ۴-۳۳

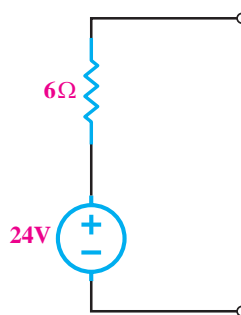
۲- مقاومت معادل تونن در شکل ۴-۳۲ از دو نقطه‌ی X و

Y را به دست آورید.



شکل ۴-۳۲

۴- منبع جریان معادل ولتاژ شکل ۴-۳۴ را به دست آورید.



شکل ۴-۳۴

۵- منبع ولتاژ ایده آل منبعی است که در بارهای مختلف ..... ثابتی به مدار می دهد.

۶- برای تبدیل یک منبع ولتاژ به منبع جریان، مقاومت داخلی منبع ولتاژ با مقاومت داخلی منبع جریان برابر است.

☐ غلط ☐ صحیح

۷- منابع ولتاژ و منابع جریان ایده آل را می توان به یکدیگر تبدیل کرد.

☐ غلط ☐ صحیح

۸- منابع جریان ایده آل با یک مقاومت اهمی ..... به صورت ..... قرار گرفته اند.

(الف) کوچک- سری

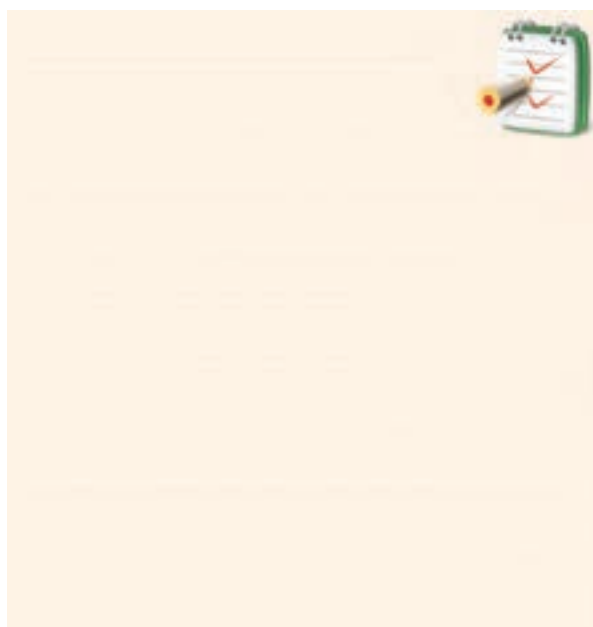
(ب) کوچک- موازی

(ج) بزرگ- سری

(د) بزرگ- موازی

۹- طبق قضیه ی نورتن، هر شبکه ی الکتریکی را می توان به صورت یک منبع جریان و یک مقاومت موازی با آن معادل نمود.

☐ غلط ☐ صحیح



این کتاب برای استاندارد الکترونیک کار صنعتی تنظیم شده است . برای آموزش سایر استانداردها نیز می توانید از این کتاب استفاده کنید . برای این منظور لازم است محتوای استاندارد مورد آموزش را دقیقاً مطالعه نمایید و موارد اضافی را آموزش ندهید. همچنین موارد اضافی مربوط به سایر استانداردها در این کتاب مشخص شده است .

## بخش دوم

### رفتار سلف و خازن در جریان AC و DC

هدف کلی :

آموزش رفتار سلف و خازن در جریان مستقیم و متناوب

زمان آزمایش			عنوان توانایی	شماره‌ی توانایی	واحد کار
نظری	عملی	جمع			
۶	۸	۱۴	توانایی کار با دستگاه اسیلوسکوپ و انواع منابع تغذیه‌ی آزمایشگاهی	۵	$u_p$
۷	۲	۹	توانایی اندازه‌گیری و محاسبه‌ی جریان و ولتاژ متناوب	۶	$u_p$
۱۲	۱۶	۲۸	توانایی بررسی عملکرد خازن در جریان مستقیم و متناوب	۷	$u_p$
۱۲	۹	۲۱	توانایی بررسی عملکرد سلف در جریان مستقیم و متناوب	۸	$u_p$
۶	۱۲	۱۸	توانایی بررسی و تجزیه و تحلیل مدارهای هماهنگ	۹	$u_p$
۴۳	۴۷	۹۰	جمع کل		

## فصل پنجم

### جریان و ولتاژ متناوب

#### هدف کلی: آشنایی با مشخصات موج متناوب



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

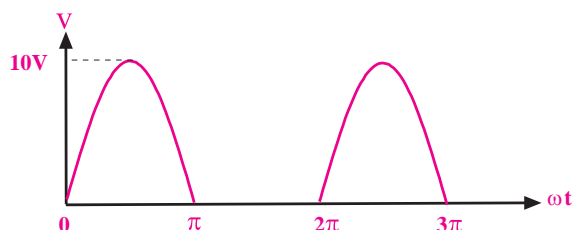
- ۱- منابع تولید الکتریسیته را نام ببرد.
- ۲- ولتاژ متناوب AC را توضیح دهد.
- ۳- انواع موج‌های متناوب را از یکدیگر تمیز دهد.
- ۴- مشخصه‌های یک موج سینوسی را نام ببرد و آن را شرح دهد.
- ۵- مقدار پیک، زمان تناوب و فرکانس یک موج متناوب را تعریف کند.
- ۶- اختلاف فاز را تعریف کند.
- ۷- اختلاف فاز بین دو موج سینوسی را تشخیص دهد.
- ۸- مقدار لحظه‌ای، متوسط و مؤثر یک موج سینوسی را تعریف کند.
- ۹- مقدار متوسط و مؤثر یک موج سینوسی را محاسبه کند.
- ۱۰- معادله‌ی ولتاژ یک موج متناوب سینوسی را بنویسد.
- ۱۱- چگونگی عبور جریان متناوب را از یک مقاومت اهمی توضیح دهد.
- ۱۲- اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ را در یک مقاومت اهمی بیان کند.
- ۱۳- توان تلف شده در یک مقاومت اهمی در جریان متناوب را محاسبه کند.
- ۱۴- قانون جریان و ولتاژ کریشف را در جریان متناوب شرح دهد.
- ۱۵- بردار را تعریف کند.
- ۱۶- هم‌سنگ یک بردار را رسم کند.
- ۱۷- چگونگی نمایش برداری یک موج سینوسی را شرح دهد.
- ۱۸- تفاضل و برآیند دو یا چند بردار را رسم کند.
- ۱۹- ولتاژ متناوب سه‌فاز و شکل موج آن را تعریف کند.
- ۲۰- نحوه‌ی اتصال سیم‌پیچ‌های مدار سه‌فاز را توضیح دهد.
- ۲۱- اتصال ستاره و مثلث را شرح دهد.
- ۲۲- کلیه‌ی هدف‌های رفتاری در حیطه‌ی عاطفی که در فصل اول آمده است را در این فصل نیز اجرا کند.

ساعت آموزش			
توانایی شماره			
جمع	عملی	نظری	۵
۹	۲	۷	



## پیش آزمون فصل (۵)

۶- مقدار متوسط موج نشان داده شده در شکل زیر چند ولت است؟ مراحل محاسبه را بنویسید.



۱- ترموکوپل انرژی..... را تبدیل به انرژی ..... می کند.

الف) الکتریکی - حرارتی      ب) حرارتی - الکتریکی

ج) الکتریکی - شیمیایی      د) شیمیایی - الکتریکی

۲- در پیل ولتاژ انرژی به صورت ..... ذخیره و هنگام

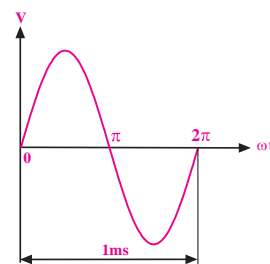
پس دادن، این انرژی به صورت ..... درمی آید.

الف) شیمیایی - الکتریکی      ب) الکتریکی - شیمیایی

ج) شیمیایی - شیمیایی      د) الکتریکی - الکتریکی

۳- فرکانس شکل موج نشان داده شده چند هرتز است؟

الف) ۱      ب) ۱۰۰      ج) ۱۰۰۰      د) ۱۰۰۰۰



۴- رابطه‌ی بین فرکانس و زمان تناوب کدام است؟

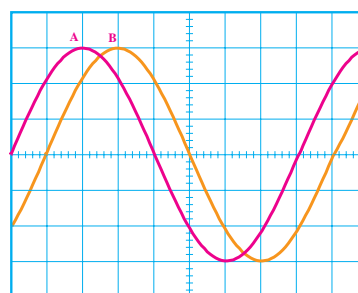
الف)  $f = \frac{1}{T}$       ب)  $f = T^2$

ج)  $f = \frac{1}{T^2}$       د)  $f = \frac{1}{T}$

۵- اختلاف فاز در شکل زیر چند درجه است؟

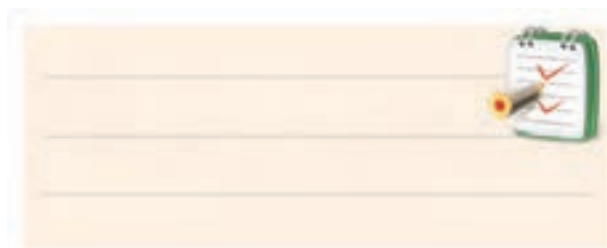
الف) ۴۵      ب) ۹۰

ج) ۱۳۵      د) ۱۸۰



۷- مقدار مؤثر یک شکل موج سینوسی چگونه به دست

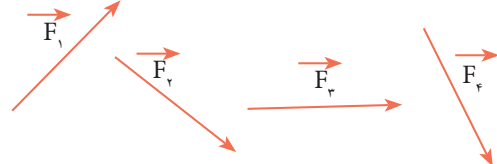
می آید؟ با ذکر روابط شرح دهید.



۸- بردار و هم‌سنگ یک بردار را تعریف کنید.

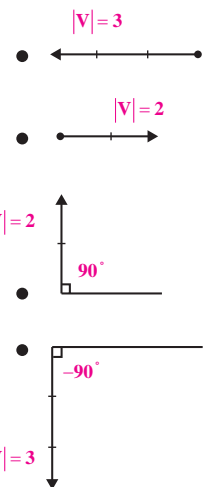


۹- برآیند بردارهای زیر را رسم کنید.



۱۰- پاسخ صحیح را از ستون دوم انتخاب کنید و آن را با

یک خط به ستون اول متصل نمایید.



$$V = r \sin \omega t$$

$$V = r \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$V = r \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

$$V = r \sin (\omega t - \pi)$$

ذخیره می‌شود.

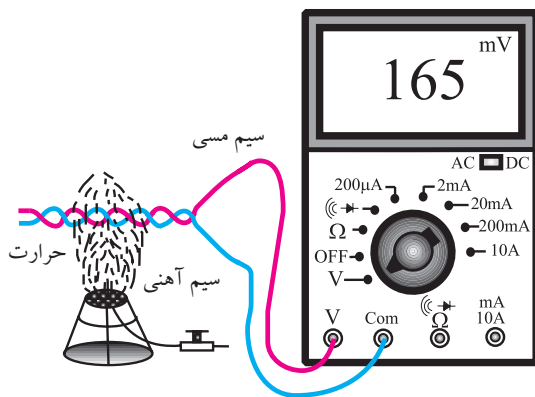
یک پیل انرژی الکتریکی را به صورت شیمیایی در خود ذخیره می‌کند و هنگام پس‌دادن انرژی، آن را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. باتری یک مولد انرژی الکتریکی مستقیم یا DC است.



شکل ۱-۵ باتری قلمی ۱/۵ ولتی

یک ترموکوپل انرژی حرارتی را مستقیماً به انرژی

الکتریکی تبدیل می‌کند، شکل ۲-۵. این مولد نیز یک مولد DC است.



شکل ۲-۵ ترموکوپل

تحقیق کنید:

در کدامیک از لوازم خانگی که در اختیار دارید،

ترموکوپل به کار رفته است؟

شکل ۳-۵ یک سلول خورشیدی را نشان می‌دهد

که انرژی نورانی (مثلاً نور خورشید) را مستقیماً به انرژی الکتریکی (DC) تبدیل می‌کند. تولید الکتریسیته با استفاده از انرژی خورشید در مقیاس کم مقرون به صرفه است.

امروزه برای تولید انرژی الکتریکی در مقیاس بسیار وسیع

طرح‌های گسترده‌ای در دست اقدام و در حال فراگیر شدن

## ۱-۵ منابع تولید الکتریسیته

### ۱-۱-۵ ولتاژ مستقیم (DC)

منابع تولید الکتریسیته متنوع است ولی در همه‌ی این

منابع، الکتریسیته از طریق تبدیل انرژی غیر الکتریکی به

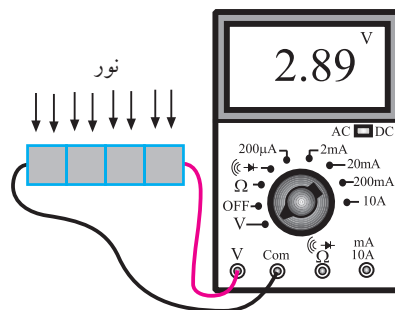
انرژی الکتریکی تولید می‌شود. تعدادی از روش‌های تولید

الکتریسیته به شرح زیر است:

در پیل شکل ۱-۵، انرژی الکتریکی از طریق شیمیایی



است.



شکل ۳-۵ سلول خورشیدی

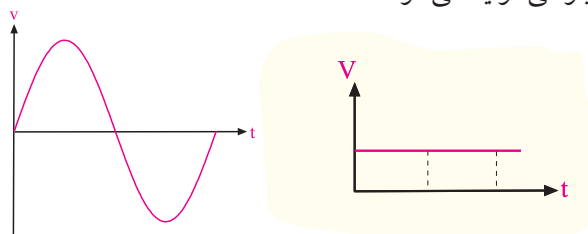
### تحقیق کنید:

آیا از سلول خورشیدی در زندگی روزمره شما استفاده می‌شود؟ درباره‌ی آن توضیح دهید.

### ۲-۱-۵ ولتاژ متناوب (AC)

برای تولید انرژی الکتریکی در مقیاس وسیع مانند تامین برق شهر از روش‌های مختلف تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی استفاده می‌شود. در این حالت ولتاژ یا جریان تولیدی طبق شکل ۴-۵ الف به صورت مستقیم یا DC نیست. شکل ۴-۵ ب یک نمونه ولتاژ AC را نشان می‌دهد.

این نوع ولتاژ را ولتاژ متناوب سینوسی می‌گویند. قابل ذکر است که در نیروگاه‌های تولید برق، ولتاژ متناوب به صورت سینوسی تولید می‌شود.



ب- ولتاژ متناوب سینوسی یا AC

الف- ولتاژ مستقیم یا DC

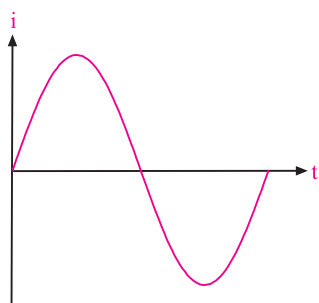
شکل ۴-۵ ولتاژهای AC و DC

در شکل ۴-۵ الف، نمودار تغییرات ولتاژ DC بر حسب تغییرات زمان را نشان داده‌ایم. همان‌طور که ملاحظه می‌شود دامنه‌ی ولتاژ DC با گذشت زمان ثابت باقی می‌ماند.

در شکل ۴-۵ ب، نمودار تغییرات ولتاژ متناوب بر حسب تغییرات زمان نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، دامنه‌ی موج سینوسی با گذر زمان از صفر به تدریج زیاد می‌شود و دوباره به صفر می‌رسد سپس در جهت مخالف زیاد می‌شود و دوباره به صفر می‌رسد و این روند ادامه می‌یابد.

یکی از دلایل تولید ولتاژ به صورت شکل موج سینوسی تولید و انتقال آسان آن است.

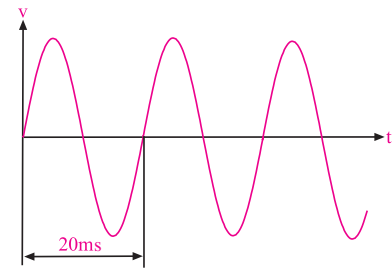
این نوع ولتاژ در مدارهای الکتریکی که حاوی مقاومت اهمی است، جریانی را تولید می‌کند که مانند شکل ۵-۵ از نظر شکل موج، شبیه ولتاژ است. به این شکل موج جریان سینوسی می‌گویند. به عبارت دیگر محور عمودی تغییرات جریان و محور افقی زمان را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۵ جریان سینوسی

اصطلاحاً به شکل موج ولتاژ یا جریان سینوسی، ولتاژ یا جریان متناوب نیز می‌گویند. به طور کلی به هر شکل موجی که در دو جهت مثبت و منفی تغییر کند و در فواصل زمانی معینی دائماً تکرار شود **شکل موج متناوب** می‌گویند. شکل

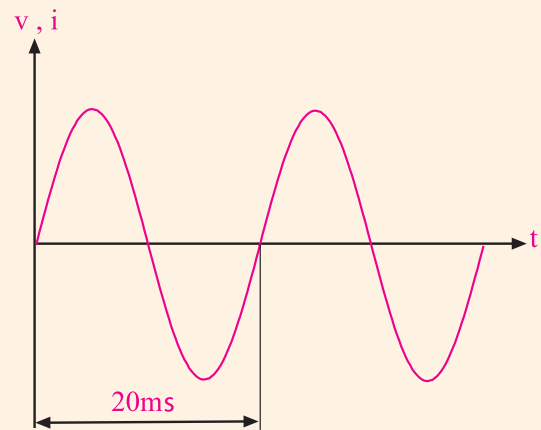
موج نشان داده شده در شکل ۵-۶ در فواصل زمانی ۲۰ ms (بیست میلی ثانیه) دائماً تکرار می شود.



این شکل موج تکرار می شود

شکل ۵-۶ شکل موج ولتاژ متناوب

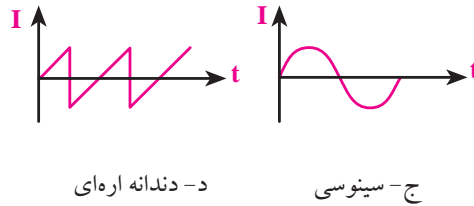
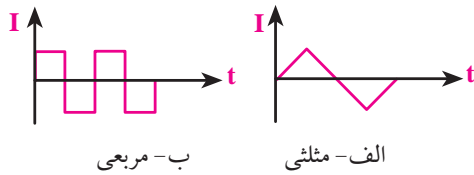
شکل موج ولتاژ برق شهر، مانند شکل ۵-۷ سینوسی است. این موج سینوسی در فواصل زمانی ۲۰ ms (بیست میلی ثانیه) تکرار می شود.



شکل ۵-۷ شکل موج سینوسی ولتاژ برق شهر

## ۵-۲ انواع موج های متناوب

از انواع شکل موج های متناوب می توان شکل موج مربعی، مثلثی، دندانه اره ای و سینوسی را نام برد. در تولید جریان متناوب معمولاً شکل موج سینوسی از سایر انواع موج ها متداول تر است. شکل ۵-۸ نمونه هایی از این امواج AC را نشان می دهد.



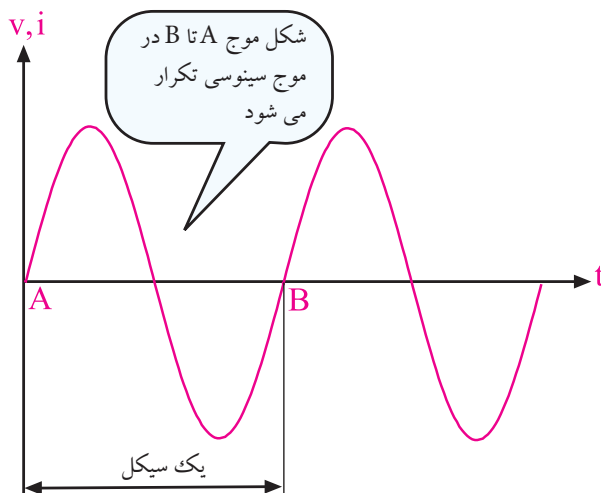
شکل ۵-۸ چهار نمونه شکل موج متناوب (AC)

## ۵-۳ مشخصات شکل موج سینوسی

شکل موج سینوسی ولتاژ یا جریان، دارای مشخصاتی است که در ادامه به بررسی آنها می پردازیم.

### ۵-۳-۱ زمان تناوب

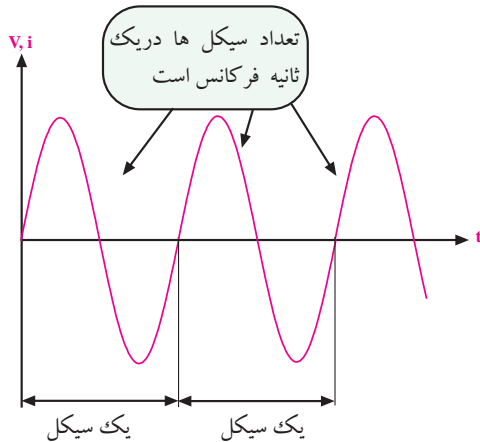
در شکل ۵-۹ شکل موج سینوسی نشان داده شده است.



شکل ۵-۹ موج سینوسی

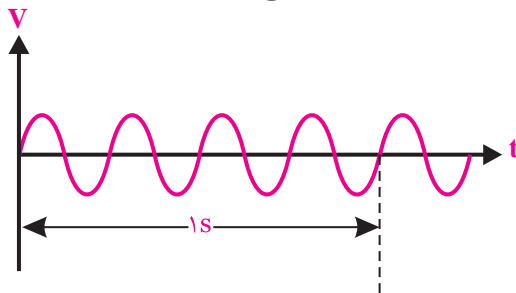
همان طور که مشاهده می شود شکل موج ولتاژ بین دو نقطه A و B، در فواصل بعدی به طور دائم تکرار می شود. شکل موج بین دو نقطه A و B را یک سیکل (دوره) در شکل موج ولتاژ یا جریان می گویند. مدت زمانی که طول

هرتز را با Hz نشان می دهند.



شکل ۵-۱۱ مفهوم فرکانس

**مثال ۲:** فرکانس شکل موج ۵-۱۲ چند هرتز است؟



شکل ۵-۱۲ مثال

**حل:**

چون چهار سیکل در مدت زمان یک ثانیه طی می شود پس فرکانس برابر با  $F=4\text{Hz}$  است.

$$F=4\text{Hz}$$

زمان تناوب برق شهر  $0.02$  ثانیه ( $T=20\text{ms}$ ) و فرکانس برق شهر  $50\text{Hz}$  است. یعنی در هر ثانیه  $50$  سیکل یا دوره تناوب تکرار می شود. شکل ۵-۱۳.

می کشد تا ولتاژ یا جریان از نقطه‌ی A به نقطه‌ی B برسد (طول مدت زمان یک سیکل) را **زمان تناوب** می گویند و آن را با حرف T نشان می دهند.

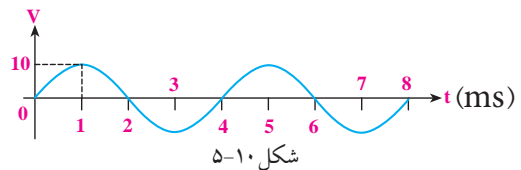
واحد زمان تناوب، ثانیه (sec) است. واحدهای کوچک تر زمان تناوب میلی ثانیه و میکروثانیه است که آن‌ها را با ms و  $\mu\text{s}$  نشان می دهند. رابطه‌ی بین میلی ثانیه و میکروثانیه به شرح زیر است:

$$1\text{ms} = 10^{-3}\text{Sec} = \frac{1}{1000} \text{ ثانیه (میلی ثانیه)}$$

$$1\mu\text{s} = 10^{-6}\text{Sec} = \frac{1}{1000000} \text{ ثانیه (میکرو ثانیه)}$$

به دوره‌ی تناوب **پریود (period)** گفته می شود.

**مثال ۱:** زمان تناوب موج در شکل ۵-۱۰ چند میلی ثانیه است؟



شکل ۵-۱۰

**حل:**

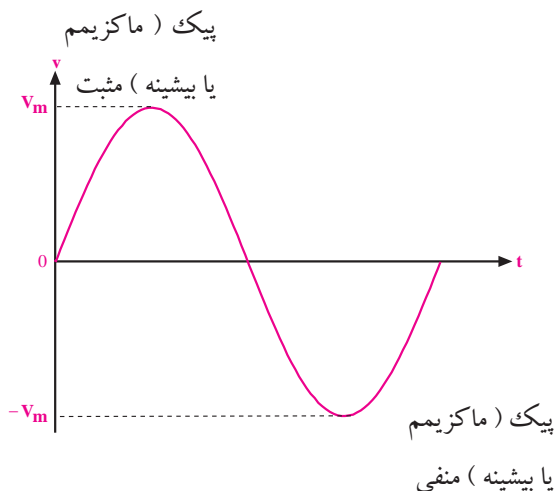
مدت زمان یک سیکل روی شکل برابر با  $T=4\text{ms}$  است. زیرا برای کامل شدن یک سیکل  $4$  میلی ثانیه طی می شود.

$$T=4\text{ms}$$

## ۲-۳-۵ فرکانس

در شکل موج سینوسی سیکل‌ها دائما تکرار می شوند. تعداد سیکل در یک ثانیه را **فرکانس** می گویند و با حرف F نشان می دهند.

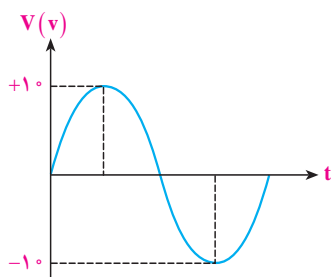
واحد فرکانس، سیکل بر ثانیه یا هرتز است، شکل ۵-۱۱.



شکل ۵-۱۴ مقدار ماکزیمم (پیک یا بیشینه) موج سینوسی

**مثال ۳:** مقدار دامنه‌ی پیک مثبت و مقدار دامنه‌ی پیک

منفی در شکل ۵-۱۵ چند ولت است؟



شکل ۵-۱۵ مثال

**حل:**

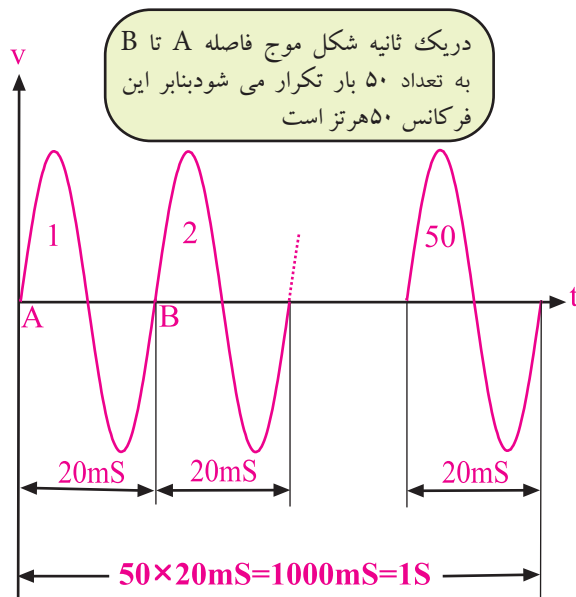
با توجه به شکل، دامنه‌ی پیک مثبت  $V_m = +10$  ولت و

مقدار دامنه‌ی پیک منفی  $V_m = -10$  ولت است.

پیک مثبت  $V_m = +10$

پیک منفی  $V_m = -10$

دامنه‌ی ماکزیمم شکل موج سینوسی را با  $V_m$  یا  $V_{peak}$  یا  $V_p$  نشان می‌دهند.



شکل ۵-۱۳ برق شهر

• مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک سیکل کامل طی شود را «زمان تناوب» یا «پریود» می‌گویند.

• تعداد سیکل در یک ثانیه را «فرکانس» می‌گویند.

• زمان تناوب و فرکانس عکس یکدیگرند.

$$T = \frac{1}{F} \quad \text{یا} \quad F = \frac{1}{T}$$

• در صورتی که  $T = 20 \text{ ms}$  باشد مقدار فرکانس برابر

است با:

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \times 10^{-3}} = 50 \text{ Hz}$$

در این رابطه زمان را از میلی‌ثانیه به ثانیه تبدیل کرده‌ایم.

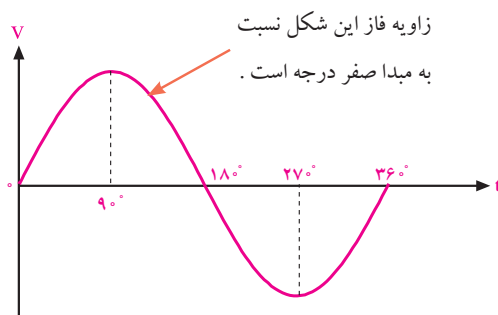
**۳-۳-۵ مقدار پیک یا دامنه‌ی ماکزیمم شکل موج سینوسی**

همان‌طور که در شکل ۵-۱۴ مشخص است به مقادیر

حداکثر دامنه در جهت مثبت یا منفی دامنه‌ی ماکزیمم (پیک)

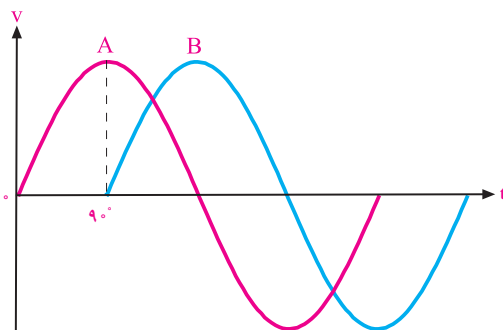
peak یا بیشینه) شکل موج سینوسی می‌گویند و آن را با  $V_m$

نشان می‌دهند.



شکل ۵-۱۶ یک سیکل کامل موج سینوسی

وقتی شکل موج سینوسی نسبت به شکل موج مبدأ به سمت چپ یا راست جابه‌جا شود، فاز به وجود می‌آید. در شکل ۵-۱۷ شکل موج سینوسی B به اندازه‌ی ۹۰ درجه نسبت به شکل موج ولتاژ مبدأ به سمت راست جابه‌جا شده است. بنابراین بین شکل موج A و شکل موج B یک زاویه‌ی فاز یا اختلاف فاز ۹۰ درجه به وجود آمده است.



شکل ۵-۱۷ اختلاف فاز ۹۰ درجه بین شکل موج A و B

در این شکل موج چون پیک ولتاژ (حداکثر دامنه‌ی ولتاژ) موج سینوسی B، بعد از پیک ولتاژ شکل موج سینوسی A به وجود آمده است لذا می‌توان گفت که شکل موج سینوسی B نسبت به شکل موج سینوسی A، ۹۰ درجه تأخیر فاز (پس فاز یا عقب افتادگی) دارد. به عبارت دیگر موج A نسبت به موج B، ۹۰ درجه تقدم فاز (پیش فاز یا جلوفتادگی) دارد. در شکل ۵-۱۸ شکل موج سینوسی B، به اندازه ۹۰ درجه به سمت چپ شیفت پیدا کرده (جابه‌جا شده) و دامنه‌ی شکل

در یک موج متناوب، به فاصله‌ی بین حداکثر دامنه در جهت مثبت تا حداکثر دامنه در جهت منفی، مقدار «پیک تو پیک» (peak to peak) شکل موج می‌گویند.

ولتاژ پیک تو پیک را با  $V_{P-P}$  نشان می‌دهند.

**مثال ۴:** مقدار «پیک تو پیک» شکل موج مثال ۳ (شکل

۵-۱۵) چند ولت است؟

**حل:**

ولتاژ پیک منفی - ولتاژ پیک مثبت = ولتاژ پیک تو پیک

$$+10 - (-10) = +20$$

$$V_{P-P} = +20$$

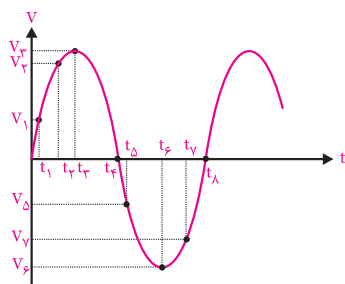
#### ۴-۳-۵ اختلاف فاز و زاویه‌ی فاز در امواج سینوسی

در الکتریسیته موقعیت زمانی یک کمیت الکتریکی را

نسبت به یک مبدأ، فاز (Phase) می‌گویند.

فاز یک موج سینوسی، مقدار زاویه‌ای است که موقعیت یک موج سینوسی را نسبت به مبدأ مشخص می‌کند. در شکل ۵-۱۶ یک سیکل کامل از یک موج سینوسی نشان داده شده است. در شکل موج نشان داده شده، نقطه‌ی (صفر) مبدأ حرکت و نقطه‌ی ۹۰ درجه نقطه‌ی ماکزیمم دامنه‌ی شکل موج در جهت مثبت است. در نقطه‌ی ۱۸۰ درجه مقدار دامنه به صفر می‌رسد، در نقطه‌ی ۲۷۰ درجه مقدار ولتاژ در جهت منفی ماکزیمم می‌شود و در زاویه‌ی ۳۶۰ درجه مقدار دامنه به صفر می‌رسد. در این شکل موج مقدار فاز شکل موج نسبت به مبدأ صفر درجه است.

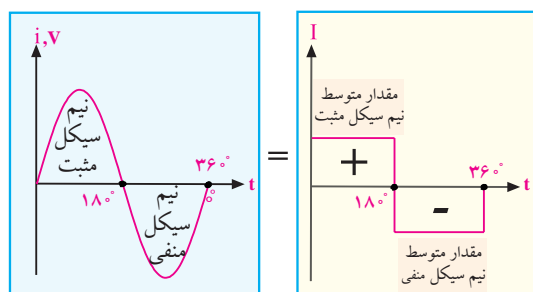
لحظه‌ی صفر، مقدار ولتاژ برابر با صفر، در لحظه‌ی  $t_1$  برابر با  $V_1$  و در لحظه‌ی  $t_p$  برابر با  $V_p$  و .... است. به مقادیری مانند  $V_1$  و  $V_p$  **مقادیر لحظه‌ای** می‌گویند. معمولاً مقادیر لحظه‌ای را با حروف کوچک  $v$  برای ولتاژ و  $i$  برای جریان نشان می‌دهند. مقادیر لحظه‌ای را فقط با دستگاه اسیلوسکوپ می‌توان اندازه گرفت.



شکل ۵-۲۰ مقدار لحظه‌ای

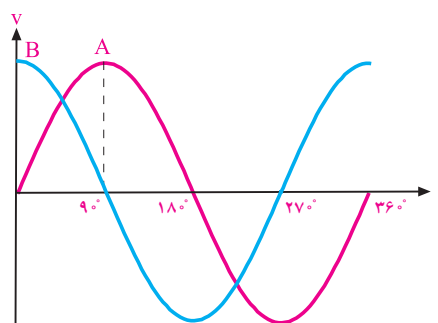
### ۵-۳-۶ مقدار متوسط

به میانگین مقادیر لحظه‌ای سیگنال متناوب، **متوسط موج** می‌گویند و معمولاً آن را برای یک دوره‌ی تناوب استفاده می‌کنند. مقدار متوسط یک شکل موج سینوسی کامل برابر با صفر است. زیرا در نیم سیکل مثبت بارهای الکتریکی در یک جهت حرکت می‌کنند و در نیم سیکل منفی، در جهت عکس حالت اول به منبع بر می‌گردند. بنابراین در یک سیکل کامل ولتاژ یا جریان سینوسی، مقدار متوسط ولتاژ یا جریان برابر با صفر است، شکل ۵-۲۱.



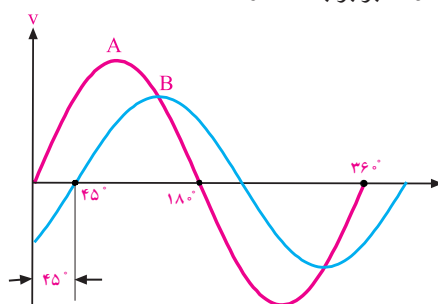
شکل ۵-۲۱ مقدار متوسط ولتاژ یا جریان سینوسی در یک سیکل کامل برابر با صفر است.

موج سینوسی  $B$ ، زودتر از دامنه‌ی شکل موج سینوسی  $A$  به ماکزیمم رسیده‌است، لذا شکل موج سینوسی  $B$  نسبت به شکل موج سینوسی  $A$  به اندازه‌ی  $90^\circ$  درجه تقدم فاز دارد. یا به عبارت دیگر شکل موج سینوسی  $A$  نسبت به شکل موج سینوسی  $B$ ،  $90^\circ$  درجه تأخیر فاز (عقب افتادگی) دارد.



شکل ۵-۱۸ تقدم فاز شکل موج  $B$  نسبت به شکل موج  $A$

به مقدار فاز بین دو شکل موج سینوسی **اختلاف فاز** می‌گویند. در شکل ۵-۱۹ اختلاف فاز بین دو شکل موج سینوسی  $A$  و  $B$  برابر با  $45^\circ$  درجه است.



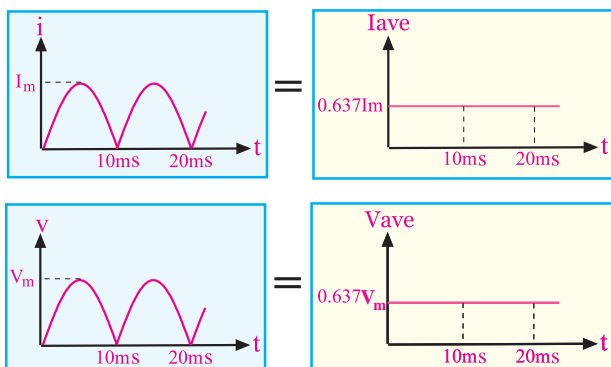
شکل ۵-۱۹ اختلاف فاز  $45^\circ$  درجه

دو شکل موج  $A$  و  $B$  می‌توانند ولتاژ یا جریان باشند، هم‌چنین می‌تواند شکل موج  $A$  مربوط به ولتاژ و شکل موج  $B$  مربوط به جریان باشد. عکس این موضوع نیز صادق است.

### ۵-۳-۵ مقدار لحظه‌ای

در یک شکل موج سینوسی مقدار ولتاژ یا جریان در هر لحظه نسبت به لحظه‌ی قبل تغییر می‌کند. در شکل ۵-۲۰

در شکل ۵-۲۴ شکل موج سینوسی یک سو شده‌ی تمام موج را مشاهده می‌کنید.



شکل ۵-۲۴ مقدار متوسط شکل موج سینوسی یک سو شده تمام موج برابر  $0.637 I_m$  است.

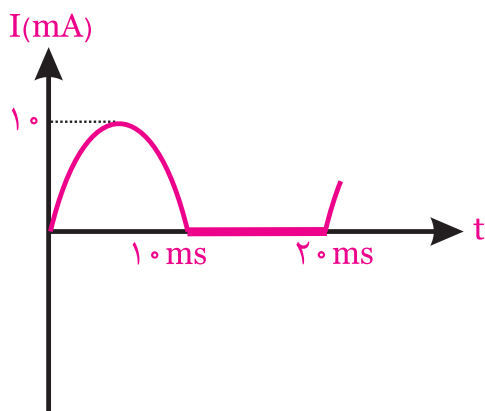
مقدار متوسط شکل موج یک سو شده‌ی سینوسی تمام موج از روابط زیر به دست می‌آید.

$$I_{ave} = \frac{2 I_m}{\pi} = 0.637 I_m$$

$$V_{ave} = \frac{2 V_m}{\pi} = 0.637 V_m$$

### تمرین کلاسی ۱: مقدار متوسط شکل

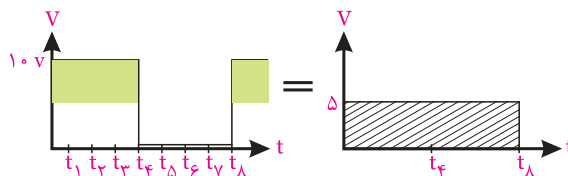
موج سینوسی نیم موج شکل ۵-۲۵ چند میلی آمپر است؟



شکل ۵-۲۵

مقدار متوسط ولتاژ را با  $V_{dc}$  یا  $V_{ave}$  (Average) و جریان متوسط را با  $I_{dc}$  یا  $I_{ave}$  نشان می‌دهند.

مقدار متوسط موج مربعی نشان داده شده در شکل ۵-۲۲ در یک سیکل کامل صفر نیست و از جمع مقادیر ولتاژ لحظه‌ای در زمان‌های تعیین شده، تقسیم بر تعداد نمونه‌های گرفته شده به دست می‌آید.

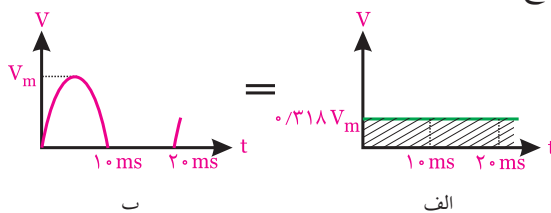


شکل ۵-۲۲ مقدار متوسط موج مربعی

$$V = V_{ave} = \frac{\text{جمع مقدار هر نمونه}}{\text{تعداد نمونه ها}}$$

$$= \frac{10 + 10 + 10 + 10 + 10 + 10 + 10 + 10}{8} = 10 \text{ ولت}$$

مقدار متوسط یک نیم سیکل از موج سینوسی شکل ۵-۲۳ ب برای تمام دوره‌ی تناوب  $T$ ، دارای مقدار مشخصی مطابق شکل ۵-۲۳ الف است. به سیگنال نشان داده شده در شکل ۵-۲۳ ب موج سینوسی یک سو شده‌ی نیم موج می‌گویند.



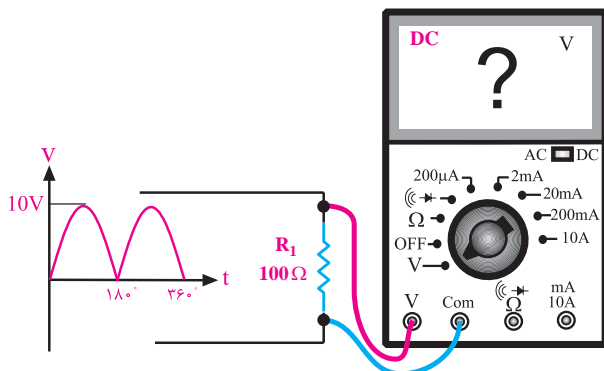
شکل ۵-۲۳ مقدار متوسط شکل موج سینوسی نیم موج

مقدار متوسط شکل موج یک سو شده‌ی نیم موج از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$V = V_{ave} = \frac{V_m}{\pi} = 0.318 V_m$$

**مثال ۵:** در شکل ۲۷-۵ ولت متر DC چند ولت را نشان

می دهد؟



شکل ۲۷-۵ مثال

حل:

ولت متر DC ولتاژ متوسط را اندازه می گیرد. چون موج مورد نظر، یک سو شده ی تمام موج است بنابراین می توانیم

بنویسیم:

$$V_{DC} = V_{av} = \frac{2V_m}{\pi} = 0.637V_m$$

$$V_{DC} = 0.637 \times 10 = 6.37 \text{ ولت}$$

$$V_{DC} = 6.37 \text{ ولت}$$

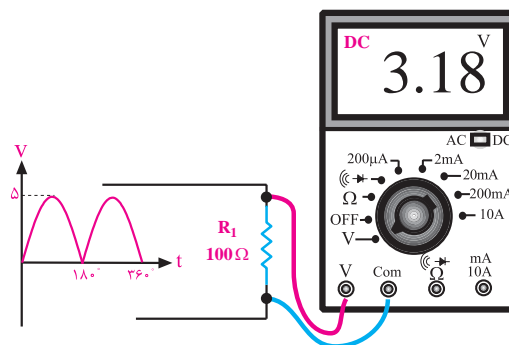
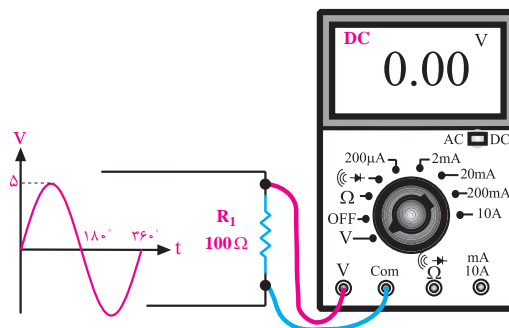
### ۷-۳-۵ مقدار مؤثر

اگر دو مقاومت ساده را به طور جداگانه به منبع ولتاژ DC و منبع ولتاژ سینوسی اتصال دهیم در اثر عبور جریان از مدار، مقاومت گرم می شود.

چنانچه منبع ولتاژ DC و منبع ولتاژ سینوسی را به گونه ای تنظیم کنیم که میزان گرمای تولید شده توسط دو مقاومت مساوی در هر دو مدار یکسان باشد، در این حالت می گویند مقدار ولتاژ منبع DC برابر با مقدار مؤثر ولتاژ موج سینوسی است.



ولت مترهای DC عقربه ای یا دیجیتالی مقدار متوسط ولتاژ را اندازه می گیرند. بنابراین اگر ولت متر را به ولتاژ AC متناوب وصل کنیم، ولت متر مقدار صفر ولت را نشان می دهد، شکل ۲۶-۵.

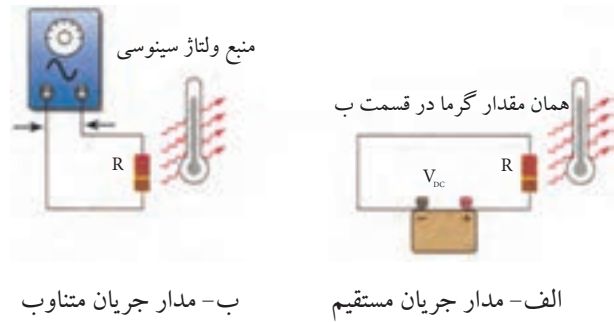


شکل ۲۶-۵ ولت متر DC مقادیر AC را اندازه نمی گیرد.

ولت مترهای DC فقط می توانند مقدار متوسط ولتاژ سینوسی را به طور صحیح اندازه بگیرند.

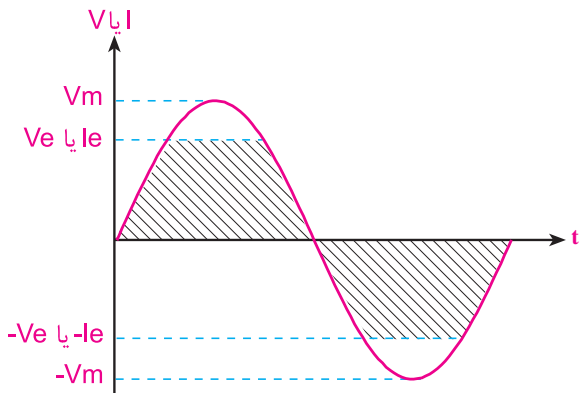


این مطلب در شکل ۵-۲۸ نشان داده شده است.



شکل ۵-۲۸

مقدار ولتاژ موثر را با  $V_e$  یا  $V_{rms}$  یا  $V_{eff}$  نشان می‌دهند. مقدار موثر یک موج سینوسی از روابط زیر قابل محاسبه است، شکل ۵-۲۹.



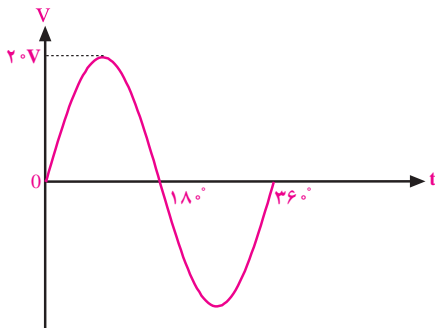
$$V_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \times V_m = 0.707 V_m$$

$$I_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \times I_m = 0.707 I_m$$

شکل ۵-۲۹ مقدار موثر موج سینوسی

**مثال ۶:** مقدار موثر شکل موج ولتاژ سینوسی شکل ۵-۳۰

برابر با چند ولت است؟



شکل ۵-۳۰ ولتاژ سینوسی

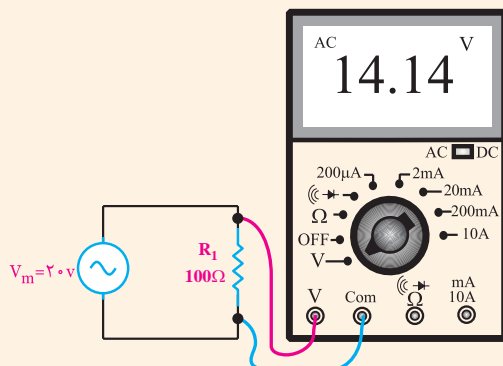
**حل:**

با استفاده از رابطه‌ی مربوط به ولتاژ موثر، مقدار ولتاژ موثر را به دست می‌آوریم.

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707 V_m = 0.707 \times 20 = 14.14 V$$

$$V_e = 14.14 V$$

به مقدار موثر موج، مقدار rms نیز می‌گویند. ولت‌مترهای AC مقدار موثر ولتاژ سینوسی را اندازه می‌گیرند، شکل ۵-۳۱.



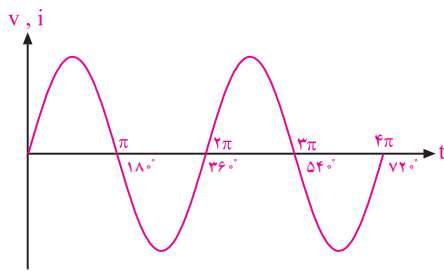
شکل ۵-۳۱ اندازه‌گیری ولتاژ موثر

**نکته:** این روابط فقط برای موج سینوسی



قابل قبول است.

طی شده برابر با  $۷۲۰^\circ$  یا  $۴\pi$  رادیان است.



شکل ۵-۳۳ دو سیکل کامل ولتاژ یا جریان

با توجه به اینکه یک سیکل کامل ولتاژ یا جریان  $۳۶۰^\circ$  می باشد می توانیم روابط زیر را برای محاسبه ی  $۱^\circ$  درجه بر حسب رادیان بنویسیم:

$$۲\pi(\text{rad}) = ۳۶۰^\circ \Rightarrow ۱^\circ = \frac{۲\pi}{۳۶۰}$$

$$۱^\circ = \frac{\pi}{۱۸۰} \text{ رادیان}$$

**مثال ۷:**  $۳۰^\circ$  درجه معادل چند رادیان است؟

**حل:**

با توجه به اینکه  $۱^\circ = \frac{\pi}{۱۸۰}$  رادیان است، پس می توانیم بنویسیم:

$$۳۰^\circ = ۳۰ \times \frac{\pi}{۱۸۰} \Rightarrow ۳۰^\circ = \frac{۳۰\pi}{۱۸۰} = \frac{\pi}{۶}(\text{rad})$$

$$۳۰^\circ = \frac{\pi}{۶} \text{ رادیان}$$

**تمرین کلاسی ۲:** زاوایای  $۹۰^\circ$ ،  $۶۰^\circ$ ،  $۴۵^\circ$

$۱۳۵^\circ$  و  $۲۷۰^\circ$  را بر حسب رادیان بنویسید.



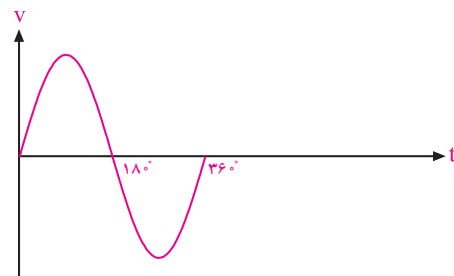
برای جریان نیز مقادیر مؤثر وجود دارد و جریان مؤثر را با

$I_e$ ،  $I_{\text{eff}}$  یا  $I_{\text{rms}}$  نشان می دهند.

### ۸-۳-۵ معادله ی ولتاژ سینوسی

**رابطه ی زوایا بر حسب رادیان:**

همان طور که در مباحث قبلی مطرح شد، مدت زمانی که طول می کشد تا یک سیکل کامل طی شود را «زمان تناوب» می گویند. در شکل ۵-۳۲ یک سیکل کامل ولتاژ  $۳۶۰^\circ$  درجه را طی می کند.



شکل ۵-۳۲ یک سیکل کامل ولتاژ

در روابط ریاضی زاویه ی  $۳۶۰^\circ$  درجه معادل  $۲\pi$  رادیان است. رادیان واحد دیگری برای سنجش زاویه به شمار می آید.

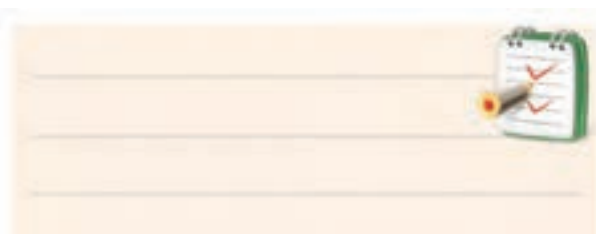
$$۳۶۰^\circ = ۲\pi(\text{رادیان})$$

در تئوری های مربوط به الکتریسته اندازه ی زوایا را بیشتر بر حسب رادیان بیان می کنند. ولتاژ یا جریان سینوسی در هر سیکل  $۳۶۰^\circ$  یا  $۲\pi$  رادیان را طی می کند. یک سیکل کامل مشابه حالتی است که یک دور کامل دایره را طی کرده باشیم.

یک سیکل کامل ولتاژ یا جریان، زاویه ی  $۳۶۰^\circ$  درجه

یا  $۲\pi$  رادیان را طی می کند.

در شکل ۵-۳۳ دو سیکل کامل ولتاژ یا جریان زاویه



## سرعت زاویه‌ای

مقدار زاویه‌ی طی شده توسط ولتاژ یا جریان سینوسی در مدت زمان یک ثانیه را سرعت زاویه‌ی ای می‌نامند و آن را با  $\omega$  (اُمگا) نشان می‌دهند.

مقدار  $\omega$  از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

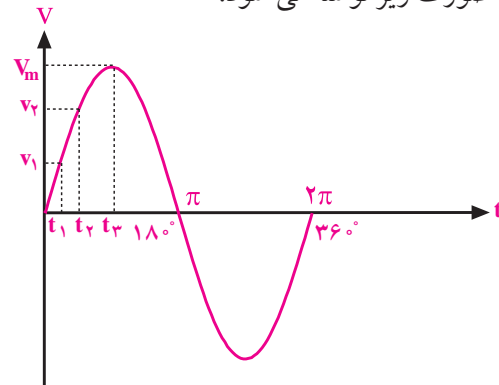
تعداد سیکل در ثانیه  $\times$  زاویه‌ی طی شده توسط یک سیکل = مقدار زاویه‌ی طی شده در مدت یک ثانیه

$$\omega = 2\pi \times f$$

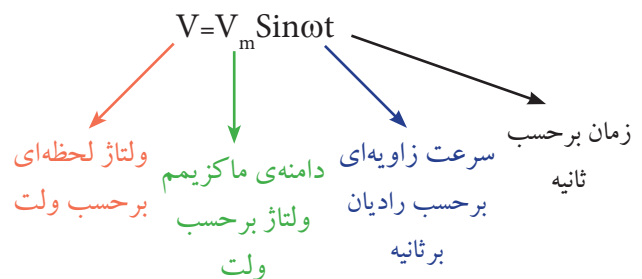
واحد  $\omega$ ، رادیان بر ثانیه است.

## معادله‌ی ولتاژ سینوسی

برای هر شکل موجی می‌توان رابطه‌ی ریاضی نوشت. رابطه‌ی ریاضی شکل موج سینوسی نشان داده شده در شکل ۵-۳۴ به صورت زیر نوشته می‌شود.



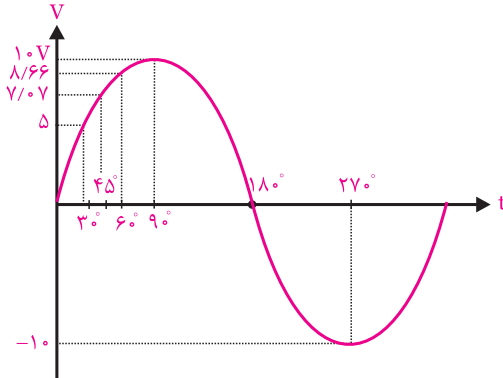
شکل ۵-۳۴ شکل موج ولتاژ سینوسی



رابطه‌ی ریاضی هر موج را معادله‌ی آن موج می‌گویند.

**مثال ۸:** مقدار ماکزیمم ولتاژ یک موج سینوسی برابر با

۱۰ ولت است. مقدار ولتاژ را در زوایای  $30^\circ$ ،  $45^\circ$ ،  $60^\circ$ ،  $90^\circ$  و  $180^\circ$  و  $270^\circ$  محاسبه کنید.



شکل ۵-۳۵

**حل:**

با توجه به رابطه‌ی مربوط به موج سینوسی می‌توانیم

بنویسیم:

$$V = 10 \sin \omega t$$

$$V = 10 \sin \theta$$

چون  $\theta = \omega t$  است به جای  $\theta$  مقدار زوایا را در فرمول

$V = 10 \sin \theta$  قرار می‌دهیم و مقدار ولتاژ را محاسبه می‌کنیم.

$$V = 10 \sin 30^\circ \Rightarrow V = 10 \times \frac{1}{2} = 5 \text{ ولت}$$

$$V = 10 \sin 45^\circ \Rightarrow V = 10 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 5\sqrt{2} = 7.07 \text{ ولت}$$

$$V = 10 \sin 60^\circ \Rightarrow V = 10 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 5\sqrt{3} = 8.66 \text{ ولت}$$

$$V = 10 \sin 90^\circ \Rightarrow V = 10 \times 1 = 10 \text{ ولت}$$

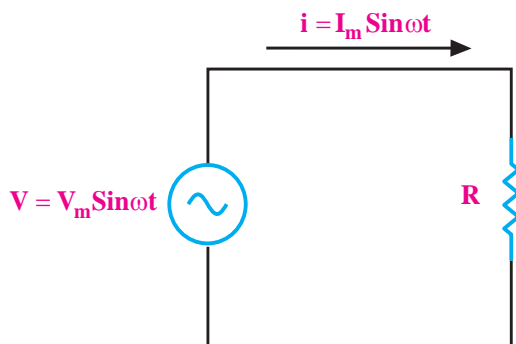
$$V = 10 \sin 180^\circ \Rightarrow V = 10 \times 0 = 0 \text{ ولت}$$

$$V = 10 \sin 270^\circ \Rightarrow V = 10 \times (-1) = -10 \text{ ولت}$$

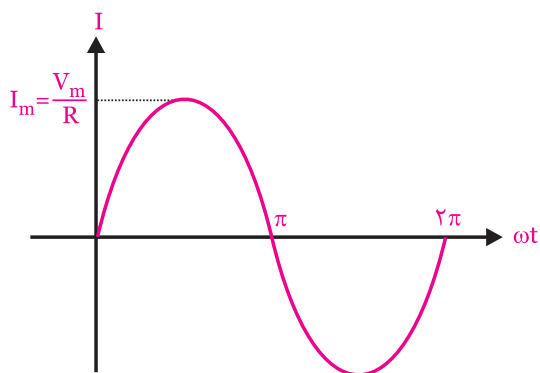
مقدار سینوس زوایا از جدول مثلثاتی قابل استخراج است.

$$i = \frac{V_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

در شکل ۵-۳۷ الف مدار عبور جریان متناوب از مقاومت اهمی و در شکل ۵-۳۷ ب شکل موج جریان سینوسی رسم شده است.



الف- مدار الکتریکی



ب- شکل موج جریان سینوسی

شکل ۵-۳۷ مدار الکتریکی و شکل موج جریان عبوری از آن

اگر یک منبع ولتاژ سینوسی را به دو سر یک مقاومت اهمی وصل کنیم، در مقاومت اهمی جریان سینوسی جاری خواهد شد.

وقتی جریان سینوسی از مقاومت اهمی عبور می کند بین جریان و ولتاژ هیچگونه اختلاف فازی به وجود نمی آید. در شکل ۵-۳۸ شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت اهمی و شکل موج جریان عبوری از آن نشان داده شده است.



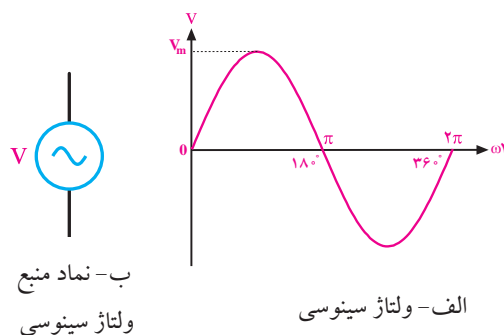
### تمرین کلاسی ۳: مقدار ماکزیمم جریان

یک موج سینوسی برابر با ۳ آمپر است. مقدار جریان را در زوایای  $30^\circ$ ،  $45^\circ$ ،  $60^\circ$ ،  $90^\circ$ ،  $180^\circ$  و  $270^\circ$  محاسبه کنید.



### ۴-۵ رفتار مقاومت اهمی (R) در جریان متناوب

اگر به دو سر یک مقاومت اهمی، یک ولتاژ سینوسی مانند ولتاژ برق شهر را وصل کنیم، جریانی در مدار برقرار خواهد شد که از نظر شکل موج دقیقاً مشابه ولتاژ است. به این جریان، جریان سینوسی می گویند. در شکل ۵-۳۶ الف شکل موج ولتاژ سینوسی و در شکل ۵-۳۶ ب نماد (علامت قراردادی) منبع ولتاژ سینوسی را ملاحظه می کنید.



شکل ۵-۳۶ شکل موج و نماد منبع ولتاژ سینوسی

جریانی که از مقاومت عبور می کند از رابطه ی زیر به دست می آید:

مقاومت از رابطه زیر به دست می آید.

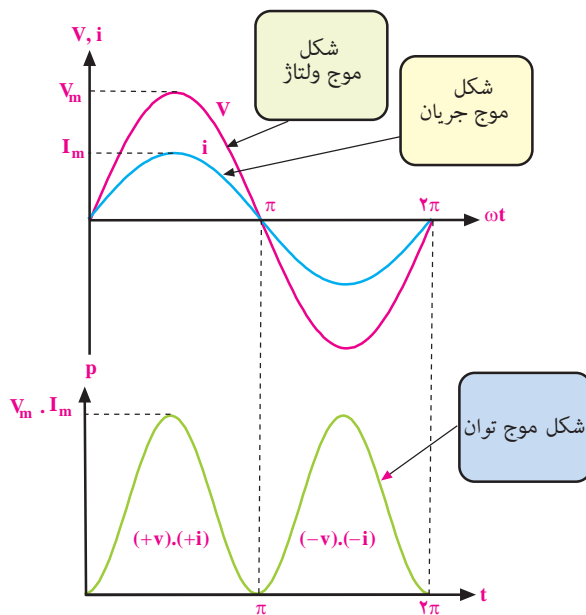
$$P = V_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

جریان مؤثر      ولتاژ مؤثر      توان تلف شده

می دانیم  $I_{\text{eff}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$  و  $V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$  است. مقدار توان از رابطه ی زیر نیز قابل محاسبه است.

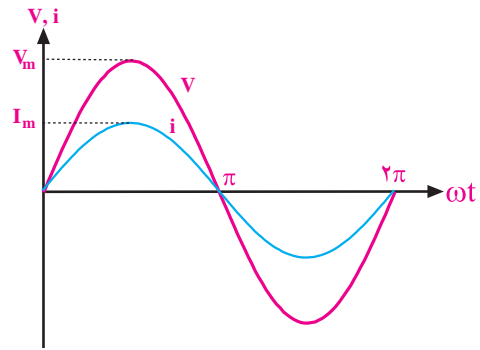
$$P = R \cdot I_{\text{eff}}^2 = \frac{(V_{\text{eff}})^2}{R}$$

در شکل ۵-۴۱، شکل موج های ولتاژ، جریان و توان تلف شده در مقاومت نشان داده شده است.



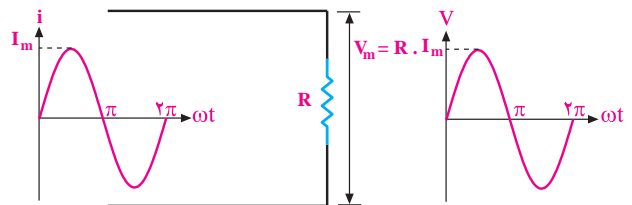
شکل ۵-۴۱ منحنی توان تلف شده در دو سر یک مقاومت اهمی

در نیم سیکل مثبت در فاصله ی صفر تا  $\pi$  مقادیر لحظه ای ولتاژ و جریان مثبت و در نتیجه حاصل ضرب آن ها نیز مثبت است. در نیم سیکل منفی در فاصله ی  $\pi$  تا  $2\pi$  مقادیر لحظه ای ولتاژ و جریان هر دو منفی هستند که حاصل ضرب آن ها مثبت



شکل ۵-۳۸ شکل موج ولتاژ و جریان در مقاومت اهمی

اگر جریان سینوسی از یک مقاومت اهمی عبور کند در دو سر مقاومت اهمی، یک ولتاژ سینوسی افت می کند که با جریان عبوری از مدار هم فاز است، شکل ۵-۳۹.

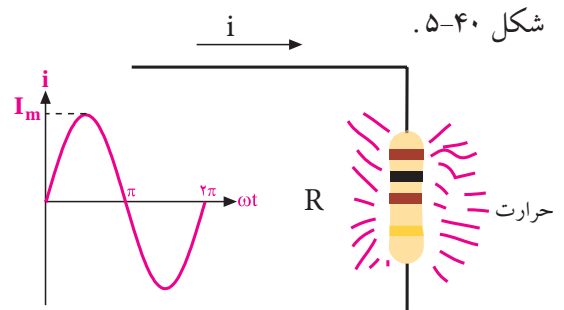


شکل ۵-۳۹ هم فاز بودن جریان و ولتاژ در مقاومت

## ۵-۵ توان تلف شده در یک مقاومت اهمی در جریان

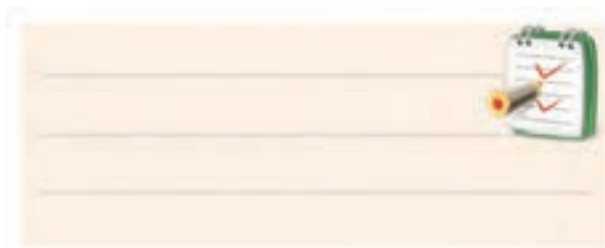
### متناوب

در صورتی که از یک مقاومت اهمی جریانی عبور کند، در آن مقاومت توانی به صورت حرارت تلف می شود،



شکل ۵-۴۰ توان تلف شده در مقاومت

مقدار توان تلف شده بستگی به شکل موج جریان دارد. اگر جریان عبوری از مدار، سینوسی باشد توان تلف شده در



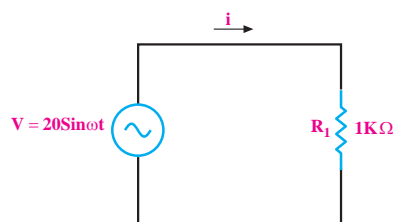
می شود. به این ترتیب در دو سر مقاومت اهمی هیچ گاه مقدار توان، منفی نمی شود. توانی که در مقاومت اهمی تلف می شود توان مؤثر است و آن را با  $P_{eff}$  نشان می دهند.

مقدار  $P_{eff}$  از حاصل ضرب  $V_{eff}$  در  $I_{eff}$  به دست می آید.

یعنی:

$$P_{eff} = V_{eff} I_{eff}$$

**مثال ۹:** به دو سر یک مقاومت اهمی  $R = 1\text{ K}\Omega$  یک منبع ولتاژ سینوسی مطابق شکل ۴۲-۵ وصل شده است. توان تلف شده و جریان گذرنده از مقاومت اهمی را حساب کنید.



شکل ۴۲-۵ مثال

**حل:**

$$\begin{aligned} V_m &= 20\text{ V} \\ I_m &= \frac{V_m}{R} = \frac{20}{1000} = 0.02 \\ I_{eff} &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{0.02}{\sqrt{2}} = 0.0141\text{ A} \Rightarrow I = 0.0141\text{ A} \\ V_{eff} &= \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{20}{\sqrt{2}} = 14.14\text{ V} \\ P &= V_{eff} \cdot I_{eff} = 14.14 \times 0.0141 = 0.2 \text{ وات} \\ P &= 0.2 \text{ وات} \end{aligned}$$

**تمرین کلاسی ۴:** دو مقاومت اهمی



$R_1 = 10\text{ K}\Omega$  و  $R_2 = 12\text{ K}\Omega$  به صورت سری به یک منبع ولتاژ سینوسی  $(V = 10 \sin \omega t)$  وصل شده است. توان تلف شده در هر مقاومت را حساب کنید.

هرتز (۱۸۵۷-۱۸۹۴) فیزیکدان

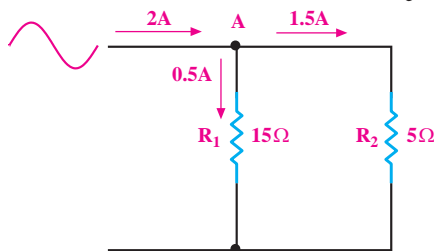
آلمانی، واحد فرکانس به نام او ثبت شده است.



## ۵-۶ قوانین کریشف در جریان متناوب

**قانون جریان کریشف (KCL):**

اصول مربوط به قوانین جریان و ولتاژ کریشف در ولتاژها و جریانهای DC و AC تفاوتی با یکدیگر ندارند. طبق قانون جریان کریشف (KCL)، جمع جبری جریانهایی که به یک نقطه از مدار وارد می شوند برابر با صفر است. در شکل ۴۳-۵ جریان ۲A متناوب سینوسی به نقطه‌ی (گره) A وارد می شود و از همان نقطه (گره) جریان  $2\text{ A} = 1.5\text{ A} + 0.5\text{ A}$  خارج می شود.



شکل ۴۳-۵ بررسی قانون جریان کریشف

معمولاً چندین جریان به یک نقطه وارد و یا از آن خارج می شوند. جریانهای وارد شده را با علامت + و جریانهای خارج شده را با علامت - مشخص می کنیم.

$$I_{1m} = \frac{V_m}{R_1} = \frac{120V}{10K\Omega} = 12mA$$

$$I_{2m} = \frac{V_m}{R_2} = \frac{120V}{15K\Omega} = 8mA$$

جریان  $I_T$  را از مجموع جریان‌های  $I_1$  و  $I_2$  به دست

می‌آوریم.

$$I_T = I_{1m} + I_{2m} \Rightarrow$$

$$I_T = 12 + 8 = 20mA$$

بعد از محاسبه‌ی مقدار ماکزیمم جریان‌های  $I_1$  و  $I_2$  و  $I_T$

معادله‌ی جریان‌ها را می‌نویسیم:

$$I_1 = 12\sin\omega t$$

$$I_2 = 8\sin\omega t$$

$$I_T = 20\sin\omega t$$

**تمرین کلاسی ۵:** رابطه‌ی جریان عبوری

از مقاومت‌های  $R_1 = 4K\Omega$  و  $R_2 = 5K\Omega$  که به طور موازی

به منبع ولتاژ سینوسی  $V_s = 20\sin\omega t$  وصل می‌باشند را به

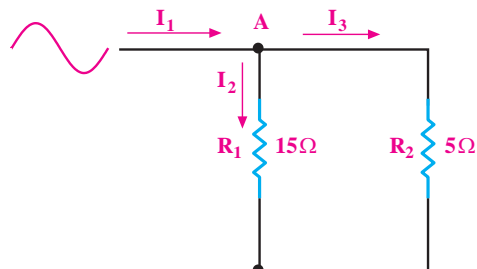
دست آورید.

در شکل ۴۴-۵ اگر جریان(های) ورودی را با علامت

«+» و جریان(های) خروجی را با علامت «-» نشان دهیم،

می‌توانیم در گره A رابطه‌ی زیر را بنویسیم.

$$\left. \begin{aligned} \text{جمع جبری جریان‌های ورودی و خروجی} \\ +I_1 - I_2 - I_3 = 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow I_1 = I_2 + I_3$$



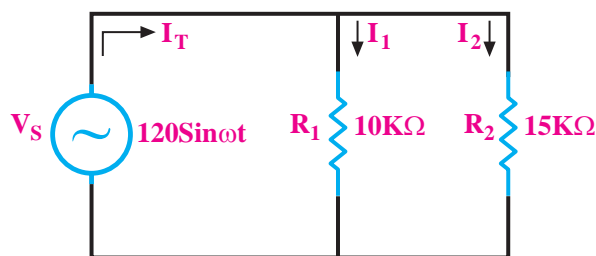
شکل ۴۴-۵ جمع جبری جریان‌های وارد شده و خارج شده

گره A برابر با صفر است.

**مثال ۱۰:** در شکل ۴۵-۵ رابطه‌ی جریان عبوری از

مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  و جریان خروجی از منبع ولتاژ سینوسی

را به دست آورید.



شکل ۴۵-۵

**حل:**

چون ولتاژ در مدار ثابت است جریان هر شاخه با استفاده

از قانون اهم محاسبه می‌شود.

$$I_1 = I_{1m} \sin\omega t \quad \text{و} \quad I_2 = I_{2m} \sin\omega t$$

ابتدا مقدار  $I_{1m}$  و  $I_{2m}$  را محاسبه می‌کنیم:

**قانون ولتاژ کریشف (KVL)**

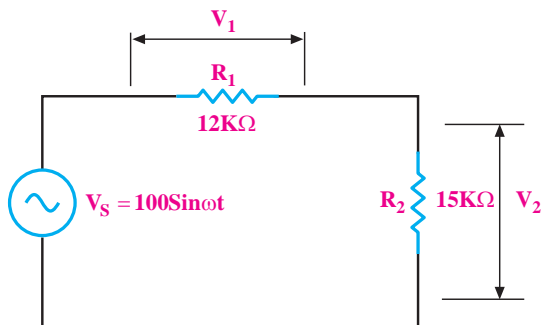
طبق قانون ولتاژ کریشف، در یک مدار بسته با منبع ولتاژ

متناوب یا مستقیم، جمع جبری ولتاژها برابر صفر است. به



**نکته مهم:** اگر بین ولتاژ و جریان در یک مدار اختلاف فاز وجود داشته باشد در این صورت به جای جمع جبری باید از جمع برداری استفاده شود.

**مثال ۱۱:** در شکل ۴۷-۵ رابطه‌ی ولتاژ دو سر مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  را به دست آورید.



شکل ۴۷-۵ محاسبه‌ی ولتاژ دو سر هر مقاومت

حل:

$$\begin{aligned} V_1 &= V_{1\max} \cdot \sin \omega t, \quad V_2 = V_{2\max} \cdot \sin \omega t \\ V_{1\max} &= I_m \cdot R_1, \quad V_{2\max} = I_m \cdot R_2 \\ I_{\max} &= \frac{V_{\max}}{R_1 + R_2} = \frac{100}{12k + 15k} = 3/7 \text{ mA} \\ V_{1\max} &= 3/7 \times 12 = 44/47 \text{ V} \\ V_{2\max} &= 3/7 \times 15 = 55/56 \text{ V} \\ V_1 &= 44/47 \sin \omega t \\ V_2 &= 55/56 \sin \omega t \end{aligned}$$



**تمرین کلاسی ۶:** رابطه‌ی ولتاژ دو سر مقاومت‌های  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$  و  $R_2 = 12 \text{ k}\Omega$  که به طور سری به منبع ولتاژ سینوسی با رابطه‌ی  $V_s = 110 \sin \omega t$  اتصال دارند را به دست آورید.

عبارت دیگر در یک مدار بسته ولتاژ منبع باید با مجموع افت ولتاژهای دو سر مقاومت‌ها برابر باشد. با توجه به شکل ۴۶-۵ می‌توانیم رابطه‌ی زیر را بنویسیم.

$$V_s = V_1 + V_2$$

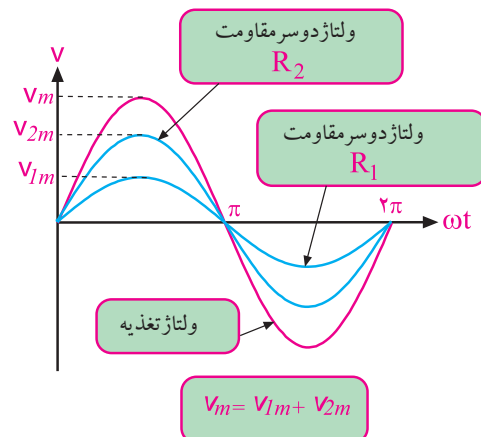
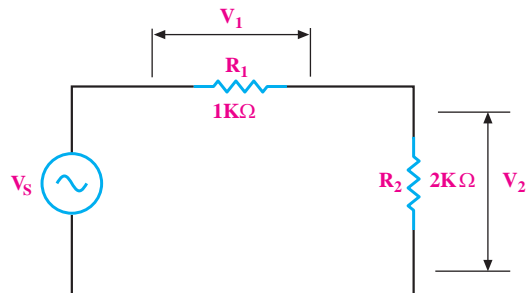
$$V_s = V_1 + V_2$$

$$V_s = V_1 + V_2$$

$$-V_s + V_1 + V_2 = 0$$

افت ولتاژ دو سر مقاومت  $R_1$  + افت ولتاژ دو سر مقاومت  $R_2$  = ولتاژ منبع

$$V_s = V_1 + V_2$$



شکل ۴۶-۵ قانون ولتاژ کریشهف



### ۵-۷-۱ هم‌سنگ (هم‌ارز) بردار

هم‌سنگ یک بردار، برداری هم‌جهت و هم‌اندازه‌ی آن بردار است. برای رسم هم‌سنگ یک بردار ابتدا از یک نقطه‌ی دلخواه خطی را به موازات راستای بردار رسم می‌کنیم. سپس روی این خط، برداری هم‌طول و هم‌جهت با بردار اصلی می‌کشیم. در شکل ۵-۵۰ هم‌سنگ بردار  $\vec{AB}$  را از نقطه‌ی دلخواه  $M$  رسم کرده‌ایم و بردار  $\vec{MN}$  را که هم‌سنگ بردار  $\vec{AB}$  است به وجود آورده‌ایم.

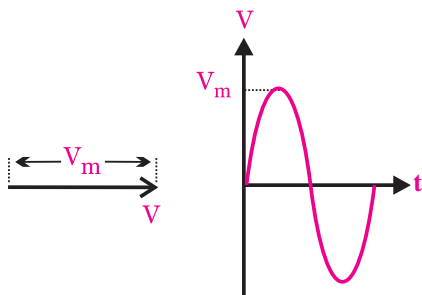


شکل ۵-۵۰ بردار  $\vec{MN}$  هم‌سنگ بردار  $\vec{AB}$  است.

دو بردار هم‌سنگ دارای اندازه (طول) و جهت یکسان هستند.

### ۵-۷-۲ نمایش برداری موج سینوسی

برای مقایسه‌ی فاز امواج متناوب می‌توان از بردار استفاده کرد. در شکل ۵-۵۱ موج سینوسی  $V = V_m \sin \omega t$  را به صورت برداری رسم کرده‌ایم.

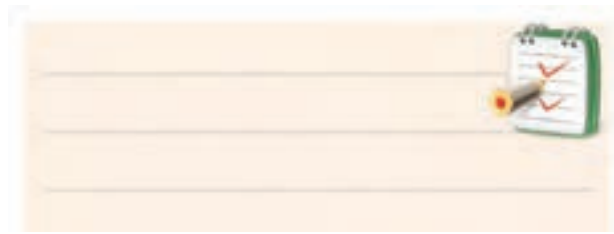


ب- نمایش برداری

الف- شکل موج ولتاژ سینوسی

ج- معادله‌ی ولتاژ سینوسی  $V = V_m \sin \omega t$

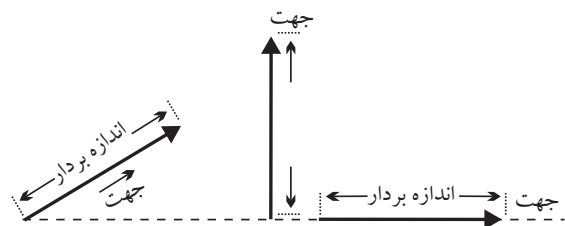
شکل ۵-۵۱ نمایش برداری موج سینوسی



### ۵-۷ بردار

برداری پاره‌خطی است که دارای اندازه (طول) و جهت است. از بردار در مدارهای الکتریکی به عنوان وسیله‌ای برای نمایش و محاسبه کمیت‌های مختلف الکتریکی مانند ولتاژ، جریان، مقاومت و توان استفاده می‌کنند.

در شکل ۵-۴۸ چند نمونه بردار رسم شده است.



شکل ۵-۴۸ چند نمونه بردار

اگر ابتدای برداری نقطه‌ی  $A$  و انتهای آن در نقطه‌ی  $B$  باشد آن را بردار  $\vec{AB}$  می‌نامند. اندازه‌ی بردار  $\vec{AB}$  را با  $|\vec{AB}|$  یا  $\overline{AB}$  نشان می‌دهند. در شکل ۵-۴۹ دو نمونه بردار رسم شده است.

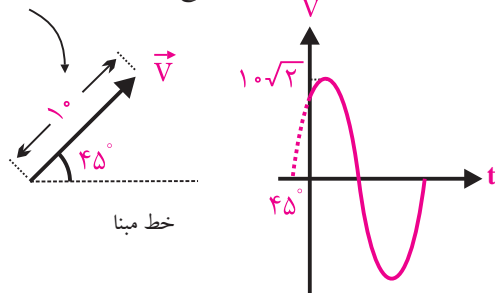


ب- بردار  $\vec{CD}$

الف- بردار  $\vec{AB}$

شکل ۵-۴۹ دو نمونه بردار

موج سینوسی با ۴۵ درجه پیش فاز



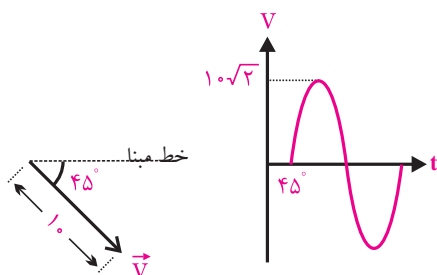
ب- نمایش برداری

الف- شکل موج ولتاژ سینوسی

ج- معادله‌ی ولتاژ سینوسی  $V = 10\sqrt{2} \sin(\omega t + 45^\circ)$

شکل ۵-۵۲ نمایش موج ولتاژ سینوسی با تقدم فاز

در شکل ۵-۵۳ یک نمونه شکل موج ولتاژ سینوسی که دارای تأخیر فاز است را نشان داده‌ایم.



ب- نمایش برداری

الف- شکل موج ولتاژ سینوسی

ج- معادله‌ی ولتاژ سینوسی  $V = 10\sqrt{2} \sin(\omega t - 45^\circ)$

شکل ۵-۵۳ موج سینوسی با تأخیر فاز ۴۵°

توجه



در شکل ۵-۵۱ برای نشان دادن جریان و ولتاژ سینوسی به صورت برداری، اندازه‌ی بردارها برابر دامنه‌ی ماکزیمم موج جریان یا ولتاژ رسم شده است. از آن جا که در محاسبات معمولاً مقادیر مؤثر ولتاژ و جریان به کار می‌رود، می‌توان اندازه‌ی این بردارها را برابر با مقدار مؤثر امواج نیز رسم کرد. در این کتاب از مقدار مؤثر برای نمایش اندازه‌ی بردار استفاده خواهد شد.

برای کسب موفقیت، تنها به دست آوردن اطلاعات و دانش کفایت نمی‌کند، بلکه به کارگیری و تمرین مستمر آن اطلاعات است.

توجه



برای تعیین اندازه‌ی بردار موج سینوسی، مقدار مؤثر موج را در نظر می‌گیرند.

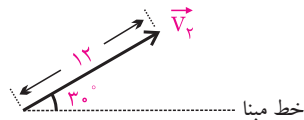
در شکل ۵-۵۲ یک نمونه موج سینوسی که دارای تقدم فاز (پیش فاز) است را مشاهده می‌کنید. برای رسم «نمایش برداری» لازم است میزان اختلاف فاز را با توجه به پیش فاز یا پس فاز بودن در نظر گرفت. اگر بخواهیم حالت پیش فازی را نشان دهیم باید نسبت به محور افقی که خط مبنا است در خلاف حرکت عقربه‌های ساعت زاویه‌ی فاز را انتخاب نماییم و بردار را رسم کنیم. امواج با تأخیر فاز (پس فاز) نیز با زاویه‌ای در جهت حرکت عقربه‌های ساعت رسم می‌شوند.

مثال ۱۲: معادله‌ی ولتاژ سینوسی مربوط به بردارهای

شکل ۵-۵۴ را بنویسید.

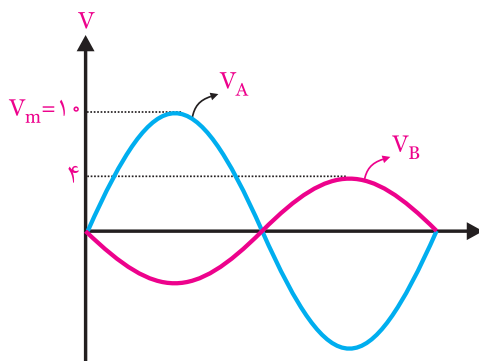
ب: در معادله‌ی (ب) چون علامت ۳۰ درجه مثبت است، پس ولتاژ نسبت به خط مبنا تقدم فاز دارد (جلو افتاده و پیش فاز است). بنابراین بردار آن نیز باید تقدم فاز داشته باشد.

$V_p$  موج ولتاژ با ۳۰ درجه تقدم فاز



شکل ۵-۵۵-ب پاسخ مثال

**مثال ۱۴:** دو موج رسم شده در شکل ۵-۵۶ را به صورت برداری نمایش دهید.



شکل ۵-۵۶

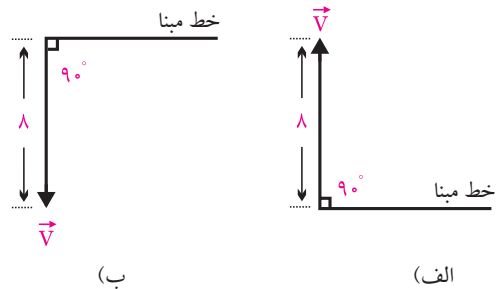
**حل:** با توجه به اینکه دو موج سینوسی رسم شده دارای ۱۸۰ درجه اختلاف فاز هستند، بنابراین بردار آن‌ها نیز باید ۱۸۰ درجه نسبت به یکدیگر اختلاف فاز داشته باشد. اندازه‌ی بردارها مقدار مؤثر موج سینوسی است.

$$\text{مؤثر } V_B = V_{\text{Beff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{4}{\sqrt{2}} = 2\sqrt{2}$$

$$\text{مؤثر } V_A = V_{\text{Aeff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} = 5\sqrt{2}$$



شکل ۵-۵۷-ب پاسخ مثال



شکل ۵-۵۴

**حل**

الف: چون بردار به اندازه‌ی ۹۰ درجه از خط مبنا جلوتر است، پس موج پیش فاز است و تقدم فاز دارد. پس می‌توانیم بنویسیم:

$$V = 8\sqrt{2} \sin(\omega t + 90^\circ)$$

ب: چون بردار ولتاژ به اندازه‌ی ۹۰ درجه از خط مبنا عقب‌تر است پس ولتاژ تأخیر فاز دارد و می‌توانیم بنویسیم:

$$V = 8\sqrt{2} \sin(\omega t - 90^\circ)$$

**مثال ۱۳:** دیاگرام برداری مربوط به معادلات ولتاژ

سینوسی  $V_1$  و  $V_2$  را رسم کنید:

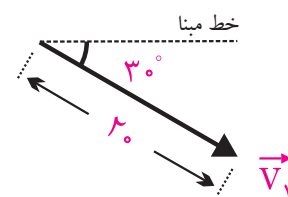
الف -  $V_1 = 20\sqrt{2} \sin(\omega t - 30^\circ)$

ب -  $V_2 = 12\sqrt{2} \sin(\omega t + 30^\circ)$

**حل:**

الف: در معادله‌ی (الف) ولتاژ به اندازه‌ی ۳۰ درجه از خط مبنا عقب‌تر است (تأخیر فاز دارد) پس بردار آن نیز باید تأخیر فاز داشته باشد.

$V_1$  موج ولتاژ با ۳۰ درجه تأخیر فاز



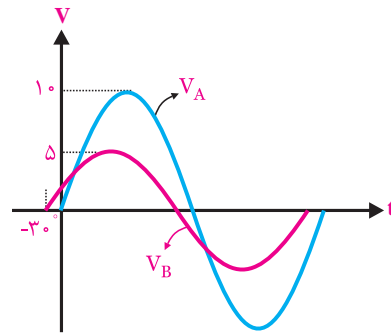
شکل ۵-۵۵-الف پاسخ مثال

**مثال ۱۵:** در شکل ۵۸-۵ دو موج A و B نشان داده شده است.

الف- امواج A و B را به صورت برداری نمایش دهید.

ب- روابط مربوط به معادله‌ی امواج سینوسی A و B را

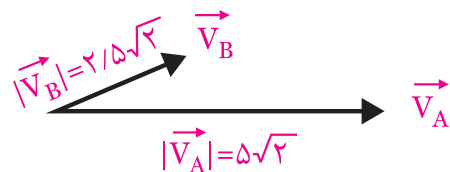
بنویسید.



شکل ۵۸-۵

**حل:**

الف- چون پیک موج B از پیک موج A جلوتر است پس موج B نسبت به موج A پیش فاز است. از سوی دیگر موج A از مبدا صفر شروع می‌شود پس بردار مربوط به موج A را روی خط مبدا می‌کشیم و بردار B را با  $30^\circ$  تقدم فاز ترسیم می‌کنیم.



اندازه‌ی بردارها نیز مقدار مؤثر موج سینوسی می‌باشد.

$$|\vec{V}_B| = \frac{V_{Bm}}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = \frac{2}{5\sqrt{2}}$$

$$|\vec{V}_A| = \frac{V_{Am}}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} = 5\sqrt{2}$$

شکل ۵۹-۵ پاسخ قسمت الف

ب- موج A چون از مبدا شروع می‌شود اختلاف فازی ندارد و معادله‌ی آن به صورت زیر است.

$$V_A = 10 \sin \omega t$$

موج B به اندازه‌ی  $30^\circ$  درجه تقدم فاز دارد و معادله‌ی آن

به صورت زیر است.

$$V_B = 5 \sin(\omega t + 30^\circ)$$

### ۳-۷-۵ برآیند دو یا چند بردار

برآیند دو یا چند بردار، برداری است که به تنهایی،

خاصیت و تأثیر آن دو یا چند بردار را داشته باشد.

برای تعیین برآیند چند بردار، ابتدا از یک نقطه مانند

«O» هم‌سنگ بردار  $\vec{F}_1$  و سپس از انتهای هم‌سنگ بردار

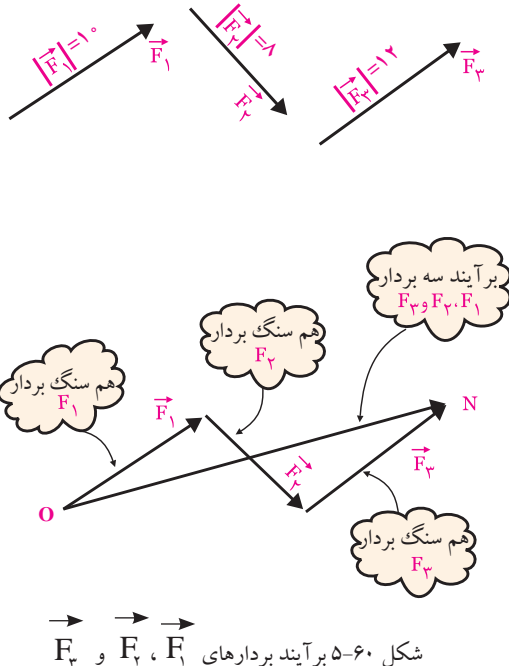
$\vec{F}_1$ ، هم‌سنگ بردار  $\vec{F}_2$  را رسم می‌کنیم. این عمل را برای

همه‌ی بردارها ادامه می‌دهیم تا انتهای آخرین بردار هم‌سنگ

(نقطه‌ی N) به دست آید. در شکل ۶۰-۵ اگر نقطه‌ی «O»

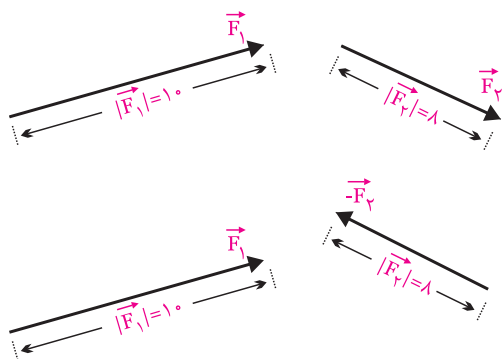
را به نقطه‌ی «N» وصل کنیم، بردار  $\vec{ON}$  برآیند بردارهای

مورد نظر خواهد بود.



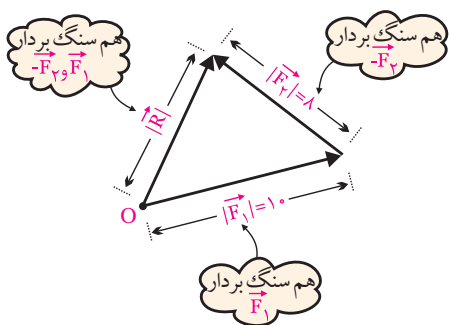
شکل ۶۰-۵ برآیند بردارهای  $\vec{F}_1$ ،  $\vec{F}_2$  و  $\vec{F}_3$

منفی بردار را رسم می کنیم. منفی یک بردار، هم سنگ آن بردار در جهت مخالف است. در شکل ۶۵-۵ برای رسم بردار  $-\vec{F}_1$  ابتدا برداری هم اندازه ولی در جهت مخالف بردار  $\vec{F}_1$  رسم می کنیم.



شکل ۶۵-۵ تفاضل بردارهای  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}_2$

سپس طبق شکل ۶۶-۵ برآیند دو بردار  $\vec{F}_1$  و  $-\vec{F}_2$  را به دست می آوریم.



شکل ۶۶-۵ تفاضل بردارهای  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}_2$

#### ۵-۷-۵ ضرب یک بردار در یک کمیت عددی

اگر عددی مثل K را در یک بردار مانند  $\vec{F}$  ضرب کنیم بردار حاصل ضرب طبق شکل ۶۷-۵ هم جهت با بردار  $\vec{F}$  است و اندازه آن K برابر اندازه بردار  $\vec{F}$  خواهد شد. اگر K مثبت باشد بردار  $K\vec{F}$  هم جهت با بردار  $\vec{F}$  و اگر K منفی باشد، بردار  $K\vec{F}$  در خلاف جهت بردار  $\vec{F}$  است.

برآیند بردارهای  $\vec{F}_1$ ،  $\vec{F}_2$  و  $\vec{F}_3$  را با  $\vec{R}$  نشان می دهند و به صورت زیر نوشته می شود:

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$$

**مثال ۱۶:** برآیند بردارهای رسم شده در شکل ۶۱-۵ را

رسم کنید.



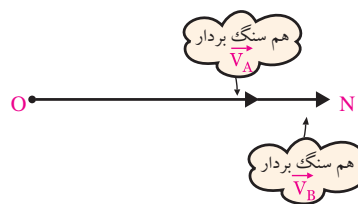
شکل ۶۱-۵

**حل:** برای رسم برآیند لازم است بردار هم سنگ را رسم کنیم. به این منظور ابتدا هم سنگ بردار  $\vec{V}_A$  را از نقطه O رسم می کنیم، شکل ۶۲-۵.



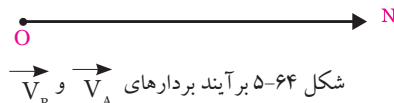
شکل ۶۲-۵ هم سنگ بردار  $\vec{V}_A$

سپس از انتهای بردار  $\vec{V}_A$ ، هم سنگ بردار  $\vec{V}_B$  را رسم می کنیم و نقطه انتهایی را N می نامیم، شکل ۶۳-۵.



شکل ۶۳-۵ هم سنگ بردار  $\vec{V}_A$  و  $\vec{V}_B$

حال از نقطه O به N برداری رسم می کنیم، بردار ON برآیند دو بردار  $\vec{V}_A$  و  $\vec{V}_B$  است، شکل ۶۴-۵.

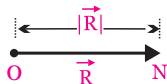


شکل ۶۴-۵ برآیند بردارهای  $\vec{V}_A$  و  $\vec{V}_B$

#### ۴-۷-۵ تفاضل بردارها

برای تعیین تفاضل بردارهای  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}_2$  ابتدا

بردار برآیند می‌نامند، شکل ۵-۷۲.  
 $\vec{R} = \vec{ON} = \vec{V_A} + \vec{V_B}$



شکل ۵-۷۲ برآیند بردارهای  $\vec{V_A}$  و  $\vec{V_B}$

اندازه‌ی برآیند بردارهای  $\vec{V_A}$  و  $\vec{V_B}$  از تفاضل اندازه‌ی دو بردار به دست می‌آید.

$$\begin{aligned} |\vec{R}| &= |\vec{V_A}| - |\vec{V_B}| \\ |\vec{R}| &= 10 - 4 = 6 \\ |\vec{R}| &= 6 \end{aligned}$$

**توجه**

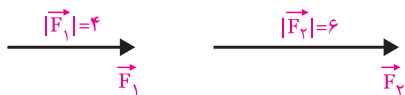
اگر دو بردار در یک جهت باشند اندازه‌ی برآیند دو بردار از جمع جبری اندازه‌ی هر بردار به دست می‌آید.

اگر دو بردار در خلاف جهت یکدیگر باشند اندازه‌ی برآیند دوبردار از تفاضل اندازه‌ی دو بردار به دست می‌آید.



**مثال ۱۸:** اندازه‌ی برآیند دو بردار هم‌جهت  $\vec{F_1}$  و  $\vec{F_2}$  در

شکل ۵-۷۳ را محاسبه کنید.



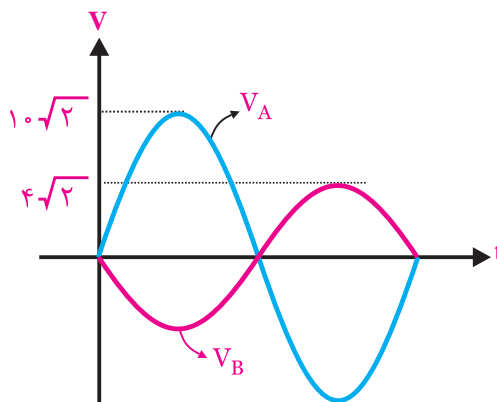
شکل ۵-۷۳



شکل ۵-۶۷ ضرب بردار ( $K$  مثبت)

**مثال ۱۷:** برآیند بردارهای مربوط به شکل موج‌های رسم

شده در شکل ۵-۶۸ را به دست آورید.



شکل ۵-۶۸ مثال

**حل:** ابتدا بردارهای مربوط به هر دو موج سینوسی را

رسم می‌کنیم، شکل ۵-۶۹.



شکل ۵-۶۹

سپس برای رسم برآیند بردارها، ابتدا هم‌سنگ بردار  $\vec{V_A}$

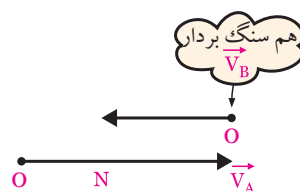
را رسم می‌کنیم، شکل ۵-۷۰.



شکل ۵-۷۰ هم‌سنگ بردار

هم‌سنگ بردار  $\vec{B}$  را از انتهای بردار رسم می‌کنیم، شکل ۵-۷۱.

برداری که از وصل دو نقطه‌ی  $O$  و  $N$  به دست می‌آید را

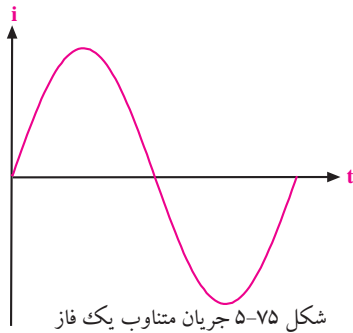


شکل ۵-۷۱

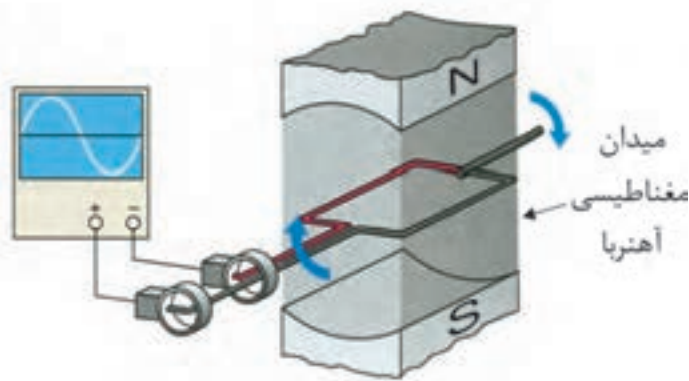
## ۸-۵ جریان های سه فازه

### ۸-۵-۱ جريان متناوب يك فازه

همان طور که در قبل گفته شد یکی از دلایل تولید ولتاژ به صورت شکل موج سینوسی، تولید و انتقال آسان آن است. به جريان سینوسی رسم شده در شکل ۵-۷۵ جريان متناوب يك فاز می گویند.



جریان متناوب يك فاز، از حرکت يك مجموعه ی سیم پیچ در داخل میدان مغناطیسی ایجاد می شود. میدان مغناطیسی را می توان توسط آهن ربای طبیعی یا مصنوعی تولید کرد. در شکل ۵-۷۶ حرکت يك مجموعه سیم پیچ در میدان مغناطیسی نشان داده شده است. شکل ۵-۷۶ حرکت سیم پیچ در میدان مغناطیسی



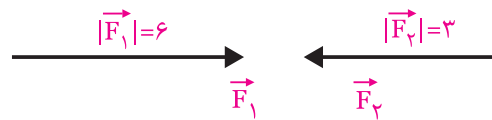
**حل:** با توجه به هم جهت بودن ۲ بردار اندازه ی برآیند بردارها از جمع جبری اندازه ی هر بردار محاسبه می شود.

$$\begin{aligned}\vec{R} &= \vec{F_1} + \vec{F_2} \\ |\vec{R}| &= 4 + 6 = 10 \\ \vec{R} &= 10\end{aligned}$$

**تمرین کلاسی ۷:** اندازه ی برآیند دو بردار



$F_1$  و  $F_2$  در شکل ۵-۷۴ که در خلاف جهت هم رسم شده اند را به دست آورید.

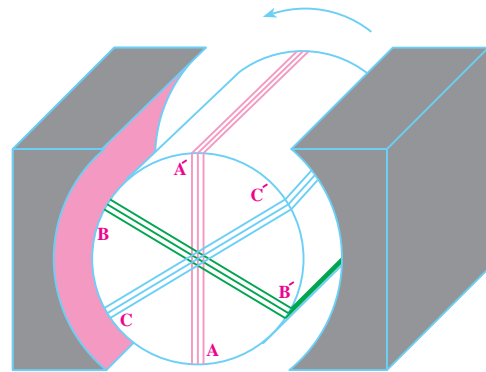


شکل ۵-۷۴



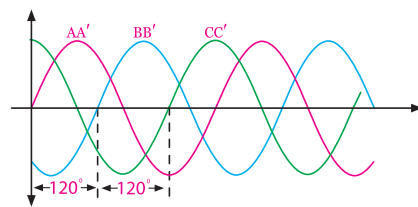
## ۲-۸-۵ جریان متناوب سه فازه

در صورتی که سه دسته سیم پیچی را در داخل میدان مغناطیسی آهنربا حرکت دهیم، شکل موج جریان متناوب سه فاز ایجاد می شود. در شکل ۵-۷۷ سیم پیچ ها در داخل میدان مغناطیسی نشان داده شده است.



شکل ۵-۷۷ موقعیت سیم پیچ ها در یک نمونه مولد جریان متناوب ۳ فاز

در شکل ۵-۷۷ با چرخش سیم پیچ ها در خلاف جهت عقربه های ساعت، در هر یک از سیم پیچ های  $AA'$ ،  $BB'$  و  $CC'$  ولتاژ سینوسی ایجاد می شود. سیم پیچ های  $AA'$ ،  $BB'$  و  $CC'$  با زاویه ی مکانی  $120^\circ$  درجه نسبت به هم قرار دارند. با توجه به موقعیت مکانی سیم پیچ ها، ولتاژ القایی در سیم پیچ  $BB'$  به اندازه ی  $120^\circ$  درجه از ولتاژ القایی در سیم پیچ  $AA'$  پس فاز است. هم چنین ولتاژ القا شده در سیم پیچ  $CC'$  به اندازه ی  $240^\circ$  درجه نسبت به ولتاژ القا شده در سیم پیچ  $AA'$  پس فاز است. در شکل ۵-۷۸ موج های تولید شده توسط سیم پیچ های  $AA'$ ،  $BB'$  و  $CC'$  نشان داده شده است.



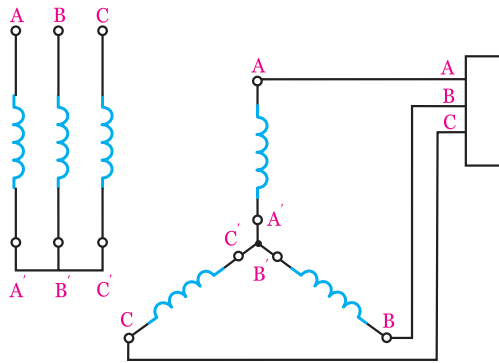
شکل ۵-۷۸ جریان های متناوب سه فازه

همان طور که در شکل ۵-۷۸ مشاهده می کنید شکل موج های  $V_{AA'}$ ،  $V_{BB'}$  و  $V_{CC'}$  نسبت به یکدیگر  $120^\circ$  اختلاف فاز دارند.

## ۳-۸-۵ اتصال سیم پیچ های مدار سه فاز

سیم پیچ های  $AA'$ ،  $BB'$  و  $CC'$  به دو صورت به هم اتصال داده می شوند.

**اتصال ستاره:** اگر انتهای سیم پیچ های  $AA'$ ،  $BB'$  و  $CC'$  به یکدیگر اتصال یابند و از ابتدای سیم پیچ ها جریان دریافت شود، این نوع اتصال را «اتصال ستاره» می گویند و با (Y) نشان می دهند. در شکل ۵-۷۹ نحوه ی اتصال ستاره نشان داده شده است.



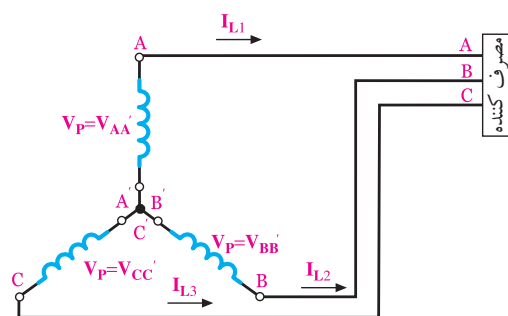
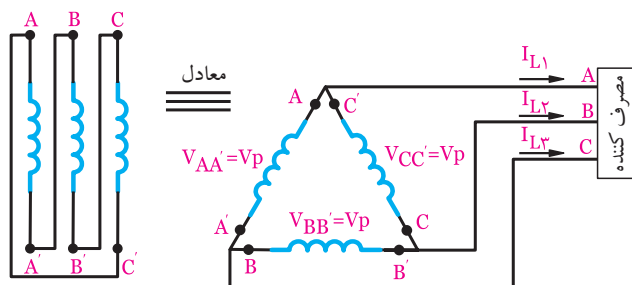
شکل ۵-۷۹ اتصال ستاره

در اتصال ستاره انرژی توسط سیم پیچ های  $AA'$ ،  $BB'$  و  $CC'$  از مولد به مصرف کننده انتقال می یابد. سیم های  $AA'$ ،  $BB'$  و  $CC'$  را به ترتیب S، R یا T یا  $L_1$ ،  $L_2$  و  $L_3$  نام گذاری می کنند و به آنها سیم های فاز A، B و C می گویند.

در شکل ۵-۸۰ ولتاژها و جریان های اتصال ستاره نشان داده شده است.



مثلث می گویند و آن را با علامت ( $\Delta$ ) نشان می دهند. این نوع اتصال در شکل ۸۱-۵ نشان داده شده است.



شکل ۸۰-۵ مشخصات جریان و ولتاژ در اتصال ستاره

### اتصال مثلث

شکل ۸۱-۵ اتصال مثلث

در اتصال مثلث ولتاژ دو سر سیم پیچ های  $AA'$ ،  $BB'$  و  $CC'$  را ولتاژ فاز می نامند و آن را با  $V_p$  نشان می دهند.

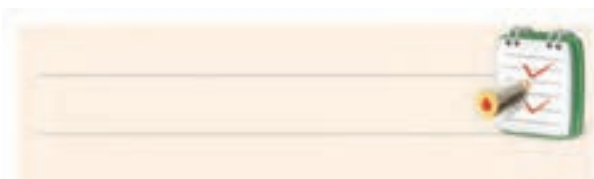
اگر انتهای سیم پیچ اول به ابتدای سیم پیچ دوم، انتهای سیم پیچ دوم به ابتدای سیم پیچ سوم و انتهای سیم پیچ سوم به ابتدای سیم پیچ اول متصل شود این نوع اتصال را اتصال

در زمان اوج مصرف به دلیل نوسانات برق امکان آسیب دیدن وسیله ی برقی شما بیشتر است. در زمان اوج مصرف، از وسایل برقی پرمصرف استفاده نکنید.

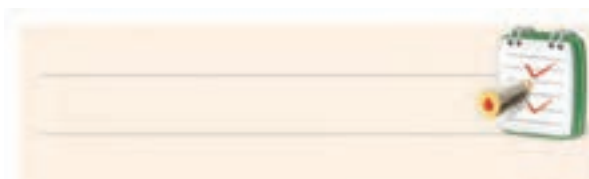


## آزمون پایانی فصل (۸)

۶- زمان تناوب را تعریف کنید.



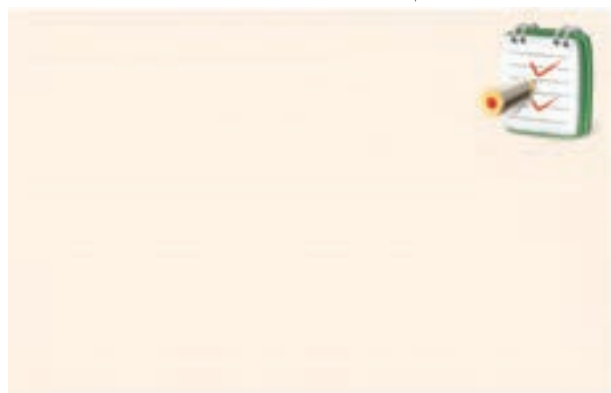
۱- شکل موج ولتاژ متناوب را با رسم شکل شرح دهید.



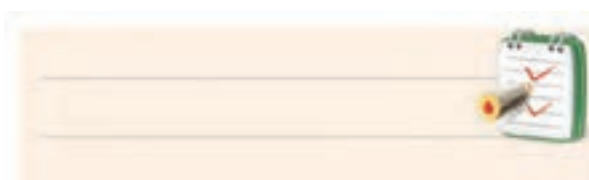
۷- به تعداد سیکل در یک ثانیه ..... می گویند.

۸- مقدار پیک شکل موج سینوسی را تعریف کنید. در

صورتی که مقدار مؤثر موج را داشته باشیم مقدار پیک را چگونه محاسبه کنیم؟

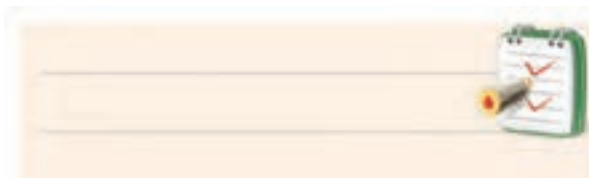


۲- مشخصات یک شکل موج سینوسی را نام ببرید.



۳- مقدار مؤثر و متوسط یک شکل موج سینوسی چگونه

به دست می آید؟ به طور کامل شرح دهید.

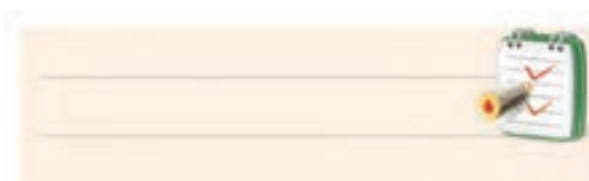


۹- دو موج با ۹۰ درجه اختلاف فاز را رسم کنید.



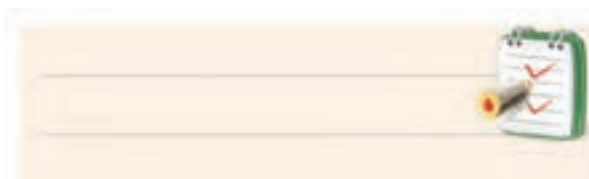
۴- فاز و اختلاف فاز در شکل موج های سینوسی را

توضیح دهید.



۵- چهار نمونه موج متناوب را نام ببرید و شکل موج

آن ها را رسم کنید.



۱۰- در یک موج سینوسی کامل مقدار متوسط ولتاژ .....

است.

الف) صفر ب)  $V_m$

۱۱- مقدار متوسط موج سینوسی یک سو شده ی نیم موج

از کدام رابطه به دست می‌آید؟

الف)  $\frac{V_m}{\pi}$  ب)  $V_m$

ج)  $\frac{2V_m}{\pi}$  د) صفر

۱۲- مقدار موثر موجی سینوسی با دامنه‌ی ۲۰ ولت را

محاسبه کنید.

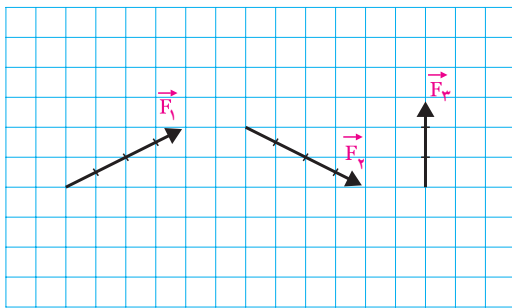
۱۵- هم‌سنگ بردار را چگونه رسم می‌کنند؟ با رسم

شکل توضیح دهید.



۱۶- برآیند بردارهای زیر را به صورت رنگی رسم کنید

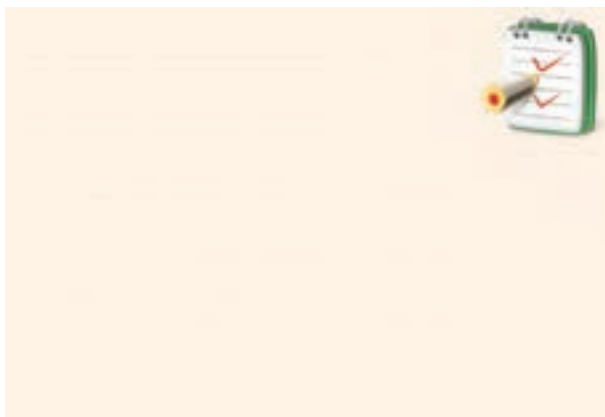
و اندازه‌ی آن را به دست آورید.



شکل ۵-۸۲

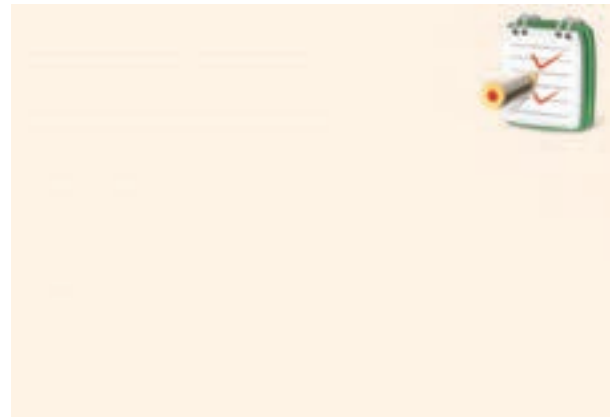
۱۷- چگونگی تعیین تفاضل بردارهای  $F_1$  و  $F_2$  را شرح

دهید.



۱۸- دیاگرام برداری هریک از امواج نشان داده شده در شکل

۵-۸۳ را ترسیم کنید و اختلاف فاز بین آن‌ها را به دست آورید.



۱۳- کدام رابطه توان تلف شده در مقاومت را نشان

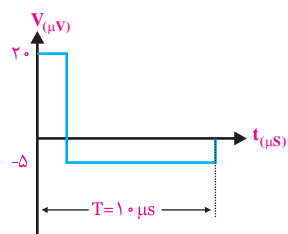
می‌دهد؟

الف-  $P = V_{eff} \cdot I_{eff}$  ب-  $P = RI_{eff}^2$

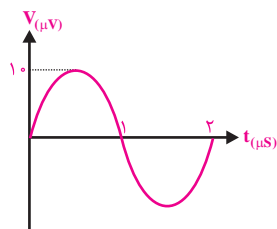
ج-  $P = \frac{V_{eff}^2}{R}$  د- همه‌ی موارد

۱۴- بردار را تعریف کنید.



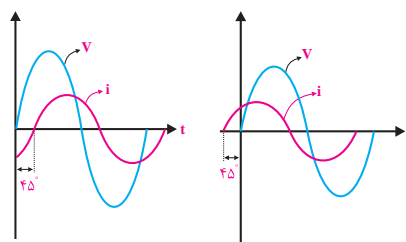


(الف)



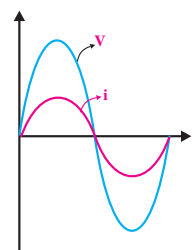
(ب)

شکل ۵-۸۴



(ب)

(الف)

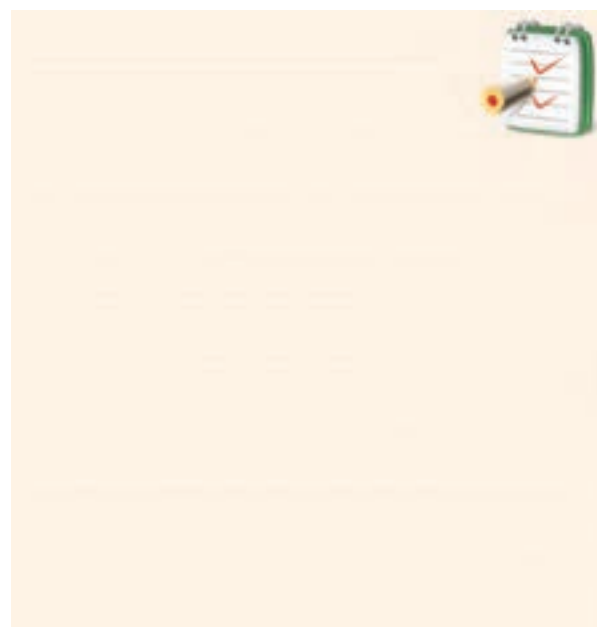
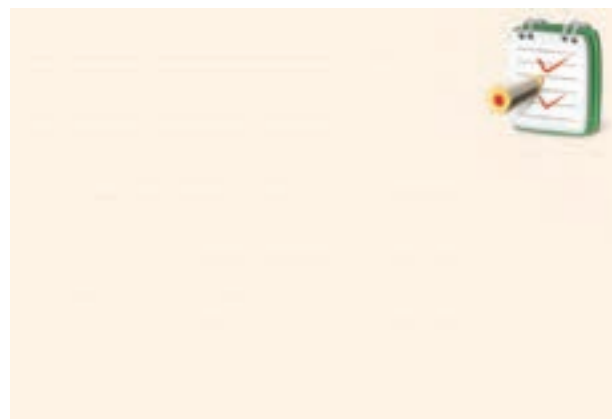


(ج)

شکل ۵-۸۳

۲۰- زوایای  $30^\circ$ ،  $180^\circ$  و  $360^\circ$  را بر حسب رادیان

بنویسید.



۱۹- مقدار پیک تو پیک و فرکانس هر یک از امواج

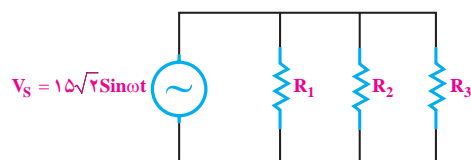
نشان داده شده در شکل ۵-۸۴ را محاسبه کنید.

۲۱- سه مقاومت اهمی  $R_1 = 6K\Omega$ ،  $R_2 = 10K\Omega$  و

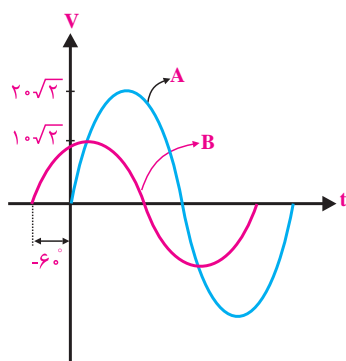
$R_3 = 15K\Omega$  به صورت موازی به یک منبع ولتاژ سینوسی

مطابق شکل ۵-۸۵ وصل شده است. توان تلف شده در هر

مقاومت را حساب کنید.



شکل ۵-۸۵



شکل ۵-۸۷

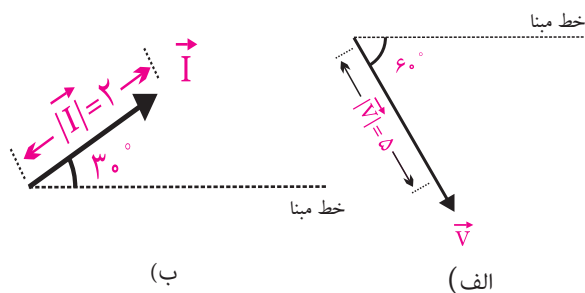
۲۲- معادله‌ی ولتاژ سینوسی مربوط به بردارهای شکل

۵-۸۶ را بنویسید.

۲۴- اندازه‌ی برآیند دو بردار هم‌جهت  $F_1$  و  $F_2$  را محاسبه

کنید.

$$\begin{aligned} |\vec{F}_1| &= 6 \\ |\vec{F}_2| &= 8 \end{aligned}$$



شکل ۵-۸۶

۲۵- اندازه‌ی برآیند دو بردار غیر هم‌جهت (خلاف

جهت)  $F_1$  و  $F_2$  را محاسبه کنید.

$$\begin{aligned} |\vec{F}_1| &= 10 \\ |\vec{F}_2| &= 10 \end{aligned}$$

۲۳- در شکل ۵-۸۷ دو موج A و B نشان داده شده است.

الف- امواج A و B را به صورت برداری نمایش دهید.

ب- روابط مربوط به معادله‌ی امواج سینوسی A و B را

بنویسید.

## فصل ششم

### دستگاه اسیلوسکوپ و انواع منابع تغذیه آزمایشگاهی

**هدف کلی:** کار با چند نمونه دستگاه‌های آزمایشگاهی الکترونیکی

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



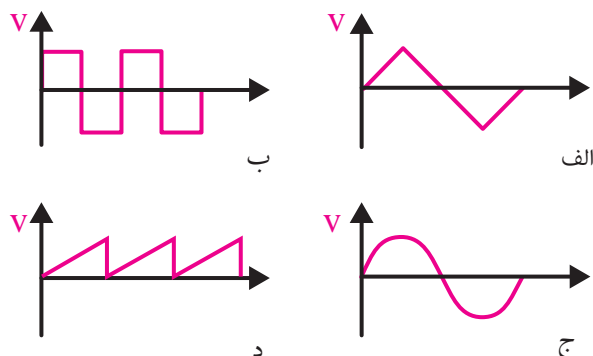
- ۱- ساختمان اسیلوسکوپ را شرح دهد.
- ۲- کلیدهای روی صفحه جلوی اسیلوسکوپ را از یکدیگر تمیز دهد.
- ۳- وظیفه‌ی هر یک از کلیدها را شرح دهد.
- ۴- پروب و اجزای آن را شرح دهد.
- ۵- نحوه‌ی عملکرد ترمینال تنظیم (کالیبراسیون) تنظیم کند.
- ۶- دستگاه اسیلوسکوپ را تنظیم کند.
- ۷- پروب اسیلوسکوپ را تنظیم کند.
- ۸- با استفاده از اسیلوسکوپ ولتاژ DC را اندازه بگیرد.
- ۹- انواع مولد سیگنال را نام ببرد.
- ۱۰- مشخصات سیگنال ژنراتور صوتی را شرح دهد.
- ۱۱- مشخصات سیگنال ژنراتور رادیویی را بیان کند.
- ۱۲- مشخصات فانکشن ژنراتور و نحوه‌ی کار را با آن را بیان کند.
- ۱۳- نحوه‌ی استفاده از منبع تغذیه DC را شرح دهد.
- ۱۴- ولتاژ و جریان خروجی یک منبع تغذیه DC را تنظیم کند.
- ۱۵- مشخصات شکل موج‌های خروجی فانکشن ژنراتور را توسط اسیلوسکوپ مشاهده کند.
- ۱۶- مقدار ماکزیمم شکل موج سینوسی را توسط اسیلوسکوپ اندازه‌گیری کند.
- ۱۷- کلیه‌ی هدف‌های رفتاری در حیطه‌ی عاطفی که در فصل اول آمده است را در این فصل نیز اجرا کند.

ساعت آموزش			توانایی شماره
جمع	عملی	نظری	
۱۴	۸	۶	

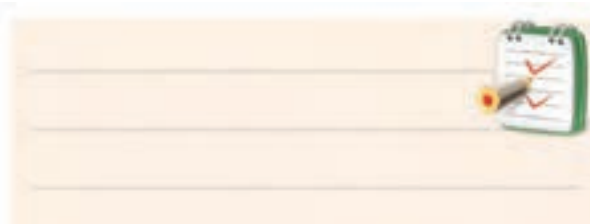


## پیش آزمون فصل (۶)

۵- کدامیک از امواج زیر dc است؟



۱- تفاوت بین سیگنال ژنراتور صوتی و فانکشن ژنراتور را به طور خلاصه بیان کنید.



۶- مقدار مؤثر یک موج سینوسی با ماکزیمم دامنه

$$V_m = 20V \text{ برابر با چند ولت است؟}$$

الف) ۱۲/۷۴ ب) ۷/۰۷ ج) ۱۴/۱۴ د) ۰/۶۳۶

۷- فرکانس موجی با زمان تناوب ۵ میلی ثانیه چند هرتز

است؟

الف) ۱۰۰ ب) ۲۰۰ ج) ۲۰ د) ۰/۰۰۵

۸- در اسیلوسکوپ دو کاناله، حالت chop برای نمایش

..... است.

الف) دو موج به طور همزمان در فرکانس پایین

ب) دو موج به طور همزمان در فرکانس بالا

ج) یک موج با فرکانس پایین

د) یک موج با فرکانس بالا

۹- کدام گزینه ولتاژ معادل حرارتی DC موج سینوسی

را مشخص می کند؟

الف) مؤثر ب) پیک تو پیک ج) پیک د) متوسط

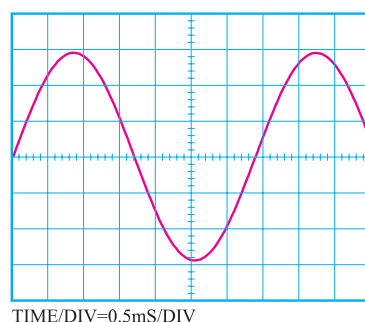
۱۰- تعداد نوسانات یک موج متناوب در مدت یک ثانیه

را ..... می گویند.

الف) زمان تناوب ب) فرکانس

۲- در شکل زیر فرکانس سیگنال ظاهر شده روی

صفحه‌ی حساس اسیلوسکوپ چند هرتز است.



الف) ۲۹۴

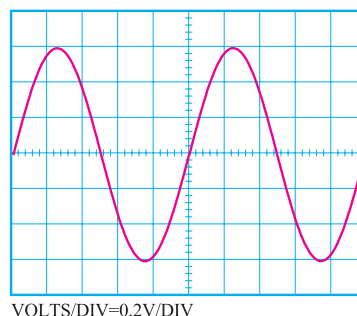
ب) ۲۶۴

ج) ۲۳۴

د) ۲۱۴

۳- در شکل زیر مقدار مؤثر سیگنال ظاهر شده روی

صفحه‌ی حساس اسیلوسکوپ چند میلی ولت است؟



الف) ۲۲۴

ب) ۳۲۴

ج) ۴۲۴

د) ۵۲۴

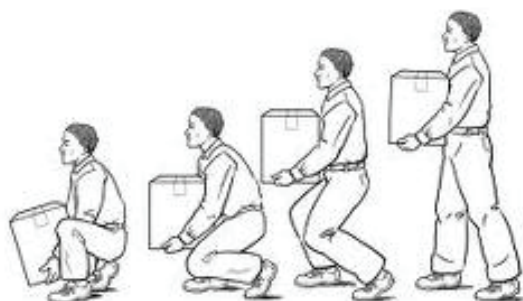
۴- زمان تناوب یک شکل موج سینوسی با فرکانس

۱۰ KHz چند میکرو ثانیه است؟

الف) ۱۰ ب) ۱۰۰ ج) ۱۰۰۰ د) ۱۰۰۰۰

۵- هنگام برداشتن بار سنگین از روی زمین، بار را به طور

صحیح بردارید.



حفاظت از وسایل، مهارت ارزش گذاری بر ثروت  
عمومی، مسئولیت پذیری و توجه به هزینه هایی را که برای  
تحصیل هر فرد صرف می شود، ایجاد می کند.

## نکات ایمنی فصل ( ۶ )

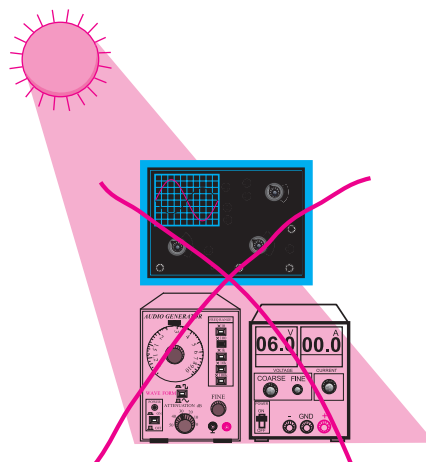


۱- هنگام حمل و جابه جایی دستگاه های اندازه گیری  
مانند اسیلوسکوپ، منبع تغذیه، مولتی متر و سیگنال ژنراتور،  
مواظب باشید دستگاه به زمین نیفتد. این دستگاهها بسیار  
حساس هستند و ممکن است بر اثر ضربه طوری معیوب شوند  
که دیگر قابل تعمیر نباشند.

۲- با دکمه ها، کلیدها، ولوم ها و سلکتورهای دستگاه ها  
بازی نکنید.

۳- کلید ولوم و سلکتورهای روی دستگاه های الکترونیکی  
مانند اسیلوسکوپ و سیگنال ژنراتور بسیار ظریف هستند. در  
صورت نیاز به تغییر رنج، خیلی آهسته و با احتیاط کامل عمل  
کنید.

۴- دستگاه های الکترونیکی را زیر نور آفتاب و یا در  
مجاورت گرما قرار ندهید. حرارت سبب معیوب شدن دستگاه  
و کاهش عمر مفید آن می شود.





## ۱-۶ اسیلوسکوپ

اسیلوسکوپ دستگاهی است که برای مشاهده‌ی شکل موج و اندازه‌گیری دامنه و زمان تناوب سیگنالهای متناوب به کار می‌رود. در شکل ۱-۶ یک نمونه اسیلوسکوپ نشان داده شده است.



شکل ۱-۶ یک نمونه اسیلوسکوپ

ساختمان اسیلوسکوپ از دو قسمت اصلی تشکیل

می‌شود:

- لامپ اشعه‌ی کاتدیک

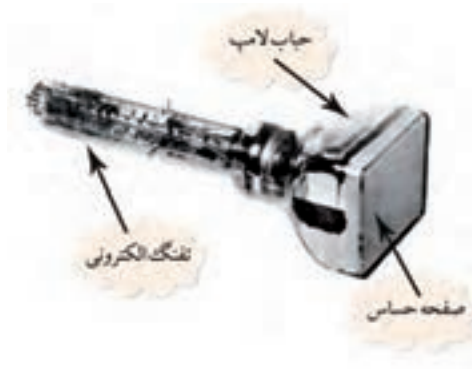
- مدارهای آماده سازی لامپ و سیگنال

### ۱-۱-۶ لامپ اشعه‌ی کاتدیک (CRT)

در شکل ۲-۶ شکل ظاهری یک لامپ اشعه‌ی کاتدیک نشان داده شده است. این لامپ از سه قسمت کلی شامل تفنگ الکترونی، حباب لامپ و صفحه‌ی حساس تشکیل شده است.

تفنگ الکترونی اشعه‌ی الکترونی را تولید و آن را به سمت صفحه‌ی حساس پرتاب می‌کند.

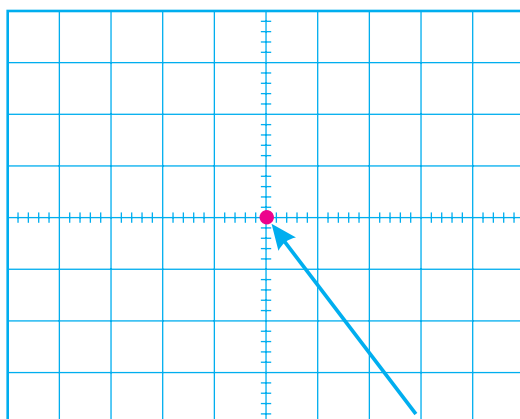
حباب لامپ، صفحه‌ی حساس را به تفنگ الکترونی متصل می‌کند و مسیر مناسبی را برای عبور اشعه و شتاب دادن به آن فراهم می‌کند.



شکل ۲-۶ شکل ظاهری یک لامپ اشعه کاتدیک

همانطور که اشاره شد، اشعه‌ی الکترونی توسط یک تفنگ الکترونی تولید می‌شود. اگر این اشعه به سمت پوشش فسفر سانس صفحه‌ی حساس تابانده شود، طبق شکل ۳-۶ روی صفحه‌ی حساس یک نقطه‌ی نورانی تولید می‌شود.

با قطع شدن اشعه، نقطه‌ی نورانی نیز محو می‌شود. به کمک ولوم INTEN که در صفحه‌ی جلویی اسیلوسکوپ قرار دارد می‌توان مقدار نور ایجاد شده توسط اشعه را کم یا زیاد کرد. همچنین توسط ولوم FOCUS که معمولاً در کنار ولوم INTEN قرار دارد، می‌توان قطر اشعه را تغییر داد.



نقطه نورانی حاصل از اشعه

شکل ۳-۶ صفحه‌ی حساس

در داخل حباب لامپ اشعه‌ی کاتدیک صفحات انحراف افقی و انحراف قائم قرار دارد. به این صفحات ولتاژیایی

جهت انحراف اشعه متصل می نمایند.

## ۲-۱-۶ مدارهای آماده سازی لامپ و سیگنال

### پروب

برای اعمال سیگنال الکتریکی به اسیلوسکوپ از پروب استفاده می شود. در شکل ۵-۶ یک نمونه پروب رایج نشان داده شده است. سیم رابط پروب از جنس کابل کواکسیال است لذا می تواند میزان نویز (پارازیت) را به حداقل برساند. نوک پروب به صورت گیره ای فتری است که می توان آن را به یک نقطه از مدار اتصال داد. اگر پوشش پلاستیکی نوک پروب را برداریم، نوک سوزنی آن ظاهر می شود که با توجه به نیاز از آن استفاده می شود.

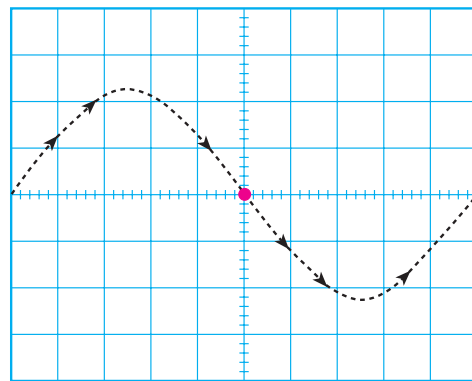


شکل ۵-۶ پروب و اجزای آن

### نحوه ی اتصال پروب BNC به اسیلوسکوپ

BNC یک شیار مورب دارد که وقتی آن را به ورودی اسیلوسکوپ وصل کنیم و تقریباً به اندازه ی ۹۰° بچرخانیم BNC کاملاً به اسیلوسکوپ متصل می شود، شکل ۶-۶.

همان طور که اشاره شد هنگامی که اشعه ی الکترونی به صفحه ی حساس برخورد می کند یک نقطه ی نورانی به وجود می آید. این نقطه توسط میدان های صفحات انحراف افقی و عمودی، در دو جهت عمودی و افقی به حرکت در می آید و شکل موج را به وجود می آورد. به عنوان مثال وقتی شکل موج سینوسی را روی صفحه ی حساس می بینیم باید مانند شکل ۴-۶ حرکت اشعه روی صفحه ی حساس نیز به صورت سینوسی باشد.



شکل ۴-۶ حرکت اشعه روی صفحه ی حساس

وقتی یک شکل موج سینوسی به اسیلوسکوپ اعمال کنیم، مسیر حرکت اشعه (نقطه ی نورانی) به صورت سینوسی است. اما چون حرکت اشعه سریع صورت می گیرد چشم انسان شکل موج را سینوسی پیوسته و کامل احساس می کند.

توجه داشته باشید که اسیلوسکوپ فقط ولتاژ DC و شکل موج های متناوب یعنی سیگنال هایی که سیکل های آن در فواصل منظم زمانی تکرار می شود را به صورت ثابت و پایدار نشان می دهد.

شکل ۸-۶ نحوه‌ی تنظیم پروب را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۶ نحوه‌ی تنظیم پروب



شکل ۶-۶ نحوه‌ی اتصال BNC به اسیلوسکوپ

### نکته‌ی مهم:



با استفاده از اسیلوسکوپ، علاوه بر مشاهده‌ی شکل موج، می‌توانیم مقدار دامنه‌ی سیگنال، فرکانس و اختلاف فاز را اندازه بگیریم.

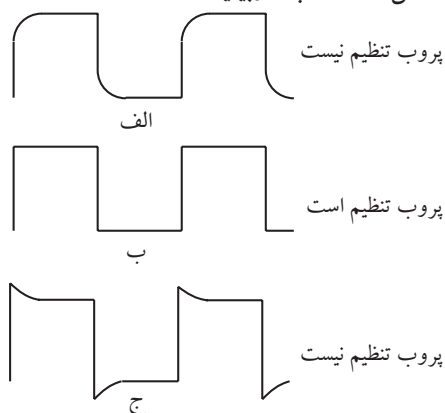
### نکته‌ی ایمنی: پیچ تنظیم پروب



را زیاد نچرخانید، زیرا آسیب می‌بیند و پروب را غیر قابل استفاده می‌کند.

لازم به یادآوری است که موج مربعی مورد نیاز برای تنظیم پروب، توسط اسیلوسکوپ نیز تولید می‌شود. این سیگنال در صفحه‌ی جلویی اسیلوسکوپ (پانل اسیلوسکوپ) قابل دسترسی است. موج مربعی تولید شده توسط اسیلوسکوپ معمولاً دارای فرکانسی برابر با ۱ KHz و دامنه‌ی ۰/۵ یا ۱ ولت است. در شکل ۹-۶ پایه‌ی خروجی مولد شکل موج مربعی را روی دستگاه اسیلوسکوپ مشاهده می‌کنید.

در نزدیکی BNC، یک پیچ تنظیم وجود دارد که توسط آن می‌توان پروب را برای مشاهده‌ی دقیق شکل موج مربعی تنظیم کرد. برای تنظیم پروب، یک نمونه شکل موج مربعی را به اسیلوسکوپ وصل می‌کنیم. شکل موج ظاهر شده روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ باید مانند شکل ۷-۶ - ب دقیقاً مربعی باشد. در غیر این صورت باید با یک پیچ گوشتی، خازن متغیر (تریمر) روی پروب را تغییر دهیم تا شکل موج به صورت شکل ۷-۶ - ب دربیاید.



شکل ۷-۶ تنظیم پروب

اگر کلید تبدیل  $\times 10$  و  $\times 1$  پروب، در حالت  $\times 10$  باشد، سیگنال ورودی به اندازه ده برابر تضعیف می شود و به مدار اسیلوسکوپ می رسد.

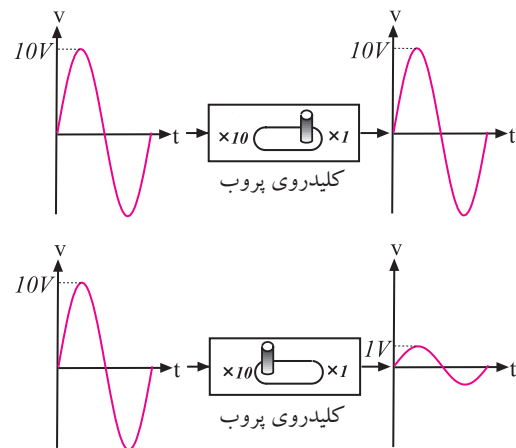


خروجی موج مربعی با فرکانس ۱ KHz و ۰/۵ ولت

شکل ۶-۹ پایه ی خروجی مولد شکل مربعی

### نحوه ی استفاده از کلید دو حائته ی $\times 10$ و $\times 1$ :

در روی پروب معمولاً یک کلید تبدیل  $\times 10$  و  $\times 1$  وجود دارد، شکل ۱۰-۶. اگر این کلید در حالت  $\times 1$  قرار گیرد، سیگنال مستقیماً و بدون تضعیف وارد اسیلوسکوپ می شود. در صورتی که کلید روی حالت  $\times 10$  گذاشته شود، سیگنال ورودی به میزان ۱۰ برابر در مسیر پروب تضعیف می شود و سپس به مدار اسیلوسکوپ می رسد. به عبارتی دیگر، عملاً  $\frac{1}{10}$  سیگنال مورد آزمایش وارد مدار اسیلوسکوپ می شود.



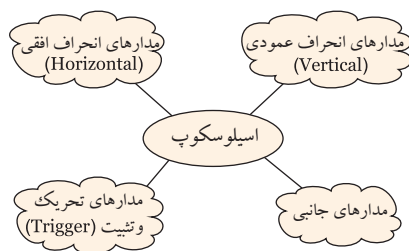
شکل ۱۰-۶ کلید  $\times 10$  و  $\times 1$  پروب اسیلوسکوپ

### ۳-۱-۶ کلیدها، ولوم ها و سلکتورهای اسیلوسکوپ

برای این که بتوان امواج را روی صفحه ی اسیلوسکوپ به نمایش درآورد، لازم است در داخل اسیلوسکوپ مدارهای خاصی در نظر گرفته شود. به طور کلی مدارهای داخلی دستگاه اسیلوسکوپ را می توان به چهار دسته ی زیر تقسیم کرد:

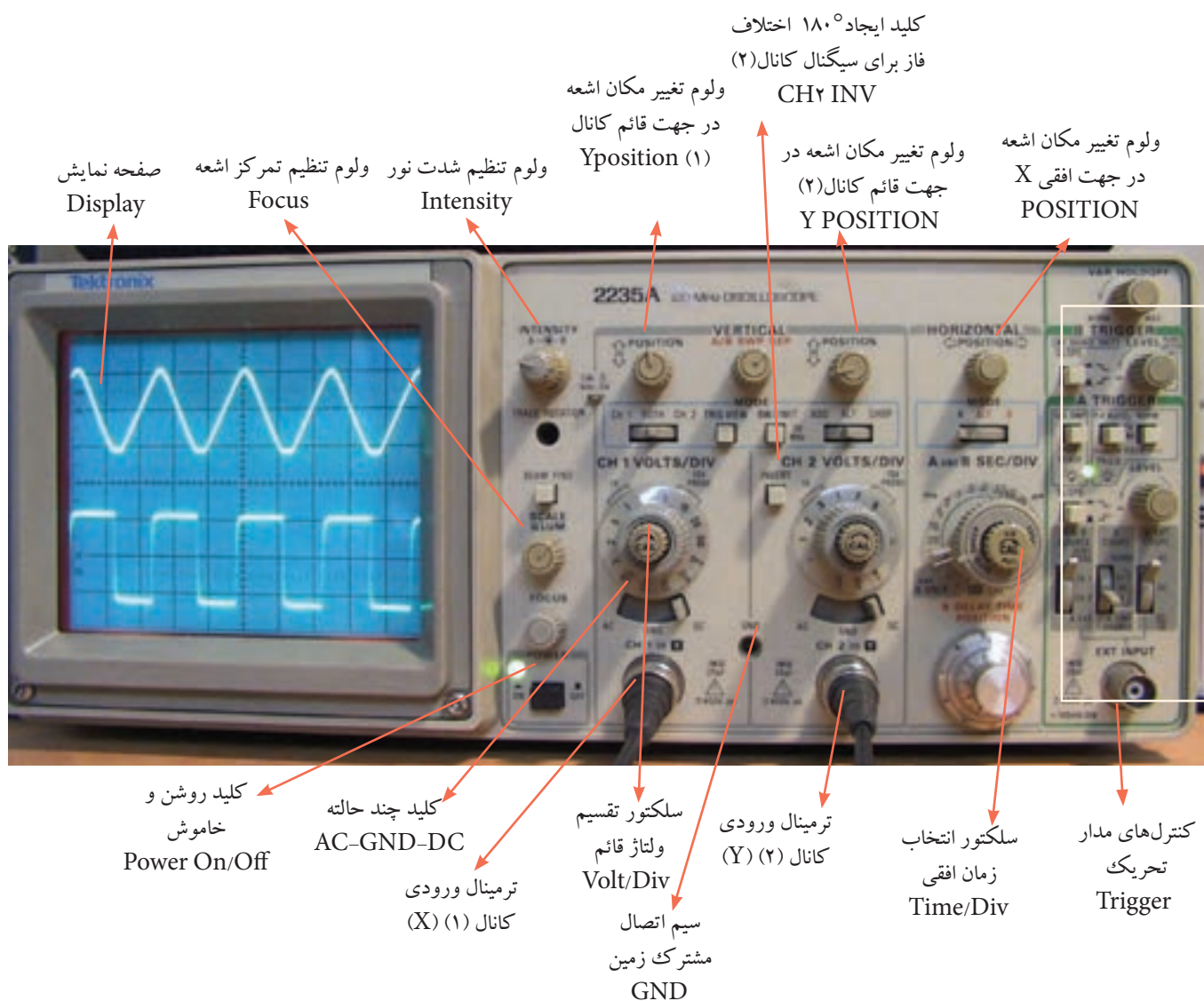
- مدارهای انحراف عمودی (vertical)
- مدارهای انحراف افقی (Horizontal)
- مدارهای تحریک یا Trigger
- مدارهای جانبی

برای هر یک از سامانه های ذکر شده روی صفحه ی جلویی اسیلوسکوپ کنترل هایی وجود دارد. کاربر توسط این کنترل ها می تواند تنظیم های مورد نیاز را برای به دست آوردن شکل موج مناسب و دلخواه انجام دهد، شکل ۱۱-۶.



شکل ۱۱-۶ مدارهای موجود در اسیلوسکوپ

در شکل ۱۲-۶ کلیدها، ولوم‌ها و سلکتورهای یک اسیلوسکوپ دو کاناله را ملاحظه می‌کنید.



شکل ۱۲-۶ سلکتورها و کلیدها و ولوم‌های یک نمونه اسیلوسکوپ دو کاناله

### کلید AC-GND-DC

روی اسیلوسکوپ، کلید دیگری نیز مانند شکل ۱۳-۶ وجود دارد که دارای سه حالت AC، DC و GND است. اگر کلید در حالت AC باشد، فقط سیگنال متناوب (AC) وارد مدار اسیلوسکوپ می‌شود و از ورود مؤلفه DC ولتاژ جلوگیری می‌کند. در صورتی که کلید

**نکته:** متناسب با طراحی و سلیقه‌ی کارخانه‌ی



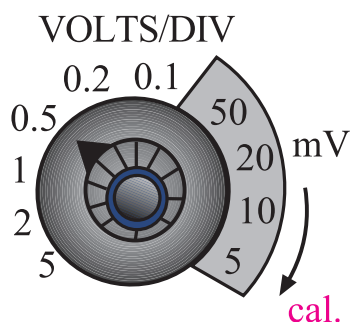
سازنده، محل سلکتورها و کلیدها و ولوم‌ها جابه‌جا می‌شود. مثلاً ولوم intensity ممکن است در بالا سمت چپ، بالا سمت راست، پایین سمت چپ، پایین سمت راست یا در وسط قرار گیرد. اما عملکرد آن برای تمام اسیلوسکوپ‌ها یکسان است.



## خواندن مقادیر ولتاژ و نحوه‌ی استفاده از کلید

### سلکتور ولتاژ بر قسمت یا Volts/Div:

در صفحه‌ی جلوی اسیلوسکوپ (پانل اسیلوسکوپ) کلید سلکتوری به نام Volts/Div وجود دارد، شکل ۱۵-۶. نقش این کلید سلکتور مانند نقش کلید حوزه‌ی کار (رنج) ولت‌متر یا مولتی‌متر است. عددی که نشانک این کلید سلکتور به آن اشاره می‌کند، مقدار ولتاژ را برای انحراف اشعه به اندازه‌ی یک خانه مشخص می‌کند.

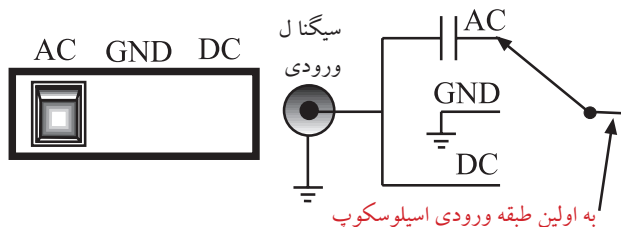


شکل ۱۵-۶ کلید سلکتور Volt/Div و نشانک آن

نشانک، پیکان یا علامتی است که روی کلیدها و کلید سلکتورها قرار دارد و کمیت مورد نظر را نشان می‌دهد.

در صورتی که مانند شکل ۱۶-۶-الف نشانک کلید سلکتور به عدد ۲ اشاره کند یعنی در مقابل عدد ۲ قرار گیرد، به ازای اعمال ۲ ولت ولتاژ ورودی (DC یا AC)، اشعه به اندازه‌ی یک خانه در جهت عمودی منحرف می‌شود. متناسب با مثبت یا منفی بودن ولتاژ ورودی، اشعه از مرکز یا نقطه تنظیم شده به سمت بالا یا پایین حرکت می‌کند. چنانچه مطابق شکل ۱۶-۶-ب، مقدار ولتاژ ورودی ۴ ولت باشد و نشانک کلید سلکتور Volts/Div روی عدد ۲ قرار گیرد،

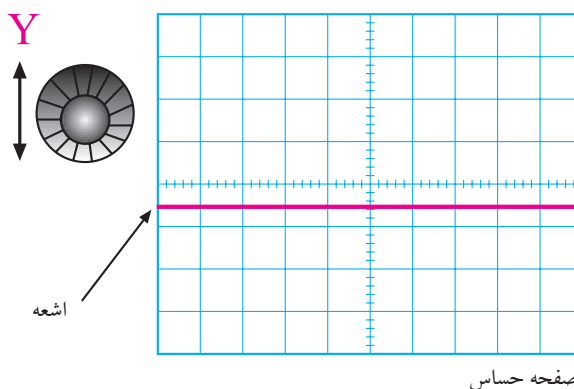
AC-GND-DC در حالت GND قرار گیرد، ارتباط ترمینال ورودی با مدار ورودی اسیلوسکوپ قطع می‌شود. یعنی ورودی اولین طبقه اسیلوسکوپ را به زمین اتصال می‌دهد. چنانچه کلید در حالت DC باشد ترکیب‌های مختلف سیگنال ورودی شامل ولتاژهای AC، DC یا ترکیبی از این دو، وارد مدار اسیلوسکوپ می‌شود.



شکل ۱۳-۶ کلید AC-GND-DC

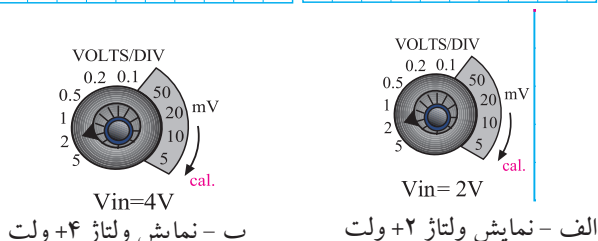
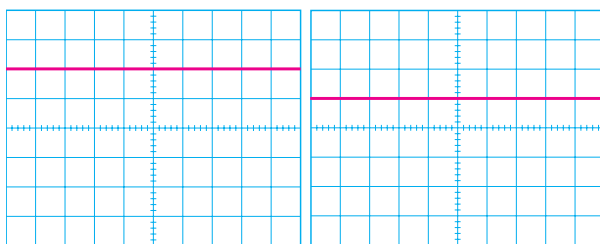
### کاربرد کلید (AC-GND-DC) در حالت GND

قبل از اعمال سیگنال به ورودی اسیلوسکوپ، باید کلید (AC-GND-DC) در حالت GND (زمین) قرار گیرد و مکان صفر اشعه تنظیم شود. در این حالت اشعه معمولاً به صورت خط افقی دیده می‌شود. به کمک ولوم جابه‌جا کننده اشعه در جهت عمودی (Y) می‌توان طبق شکل ۱۴-۶ محل اشعه را تنظیم کرد. بهتر است مکان صفر درست در وسط صفحه حساس قرار گیرد.



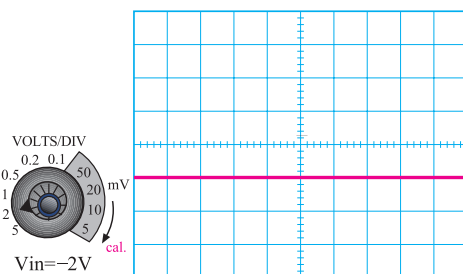
شکل ۱۴-۶ تنظیم محل اشعه

اشعه به اندازه دو خانه منحرف می شود.

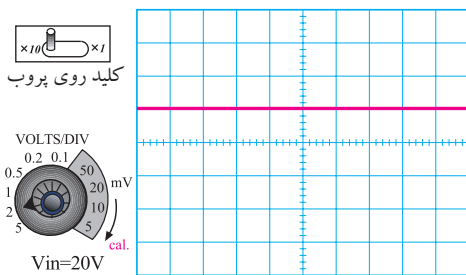


شکل ۱۶-۶ کلید سلکتور Volts/Div

چنانچه ولتاژ ورودی منفی باشد یعنی قطب مثبت منبع به زمین (مشترک) اسیلوسکوپ اتصال یابد و قطب منفی منبع به ورودی اسیلوسکوپ وصل شود، اشعه از نقطه تنظیم شده به سمت پایین حرکت می کند، شکل ۱۷-۶ الف. در صورتی که کلید ( $\times 10$ ) و پروب در حالت  $\times 10$  باشد و نشانک کلید Volts/Div به عدد دو ولت اشاره کند، به ازای ۲۰ ولت ولتاژ ورودی، اشعه به اندازه یک خانه منحرف می شود، شکل ۱۷-۶ ب.



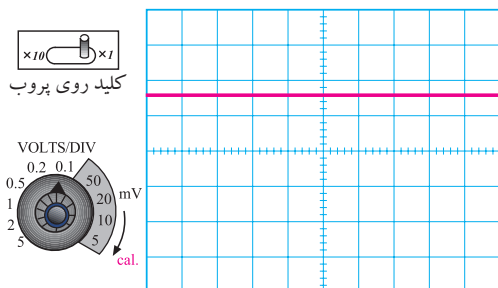
الف - نمایش ولتاژ -۲ ولت



ب - نمایش ولتاژ ۲۰ ولت

شکل ۱۷-۶ عملکرد سلکتور Volts/Div

با اندازه گیری میزان انحراف اشعه و عددی که نشانک کلید سلکتور Volts/Div به آن اشاره می کند، می توان مقدار ولتاژ داده شده به ورودی اسیلوسکوپ را اندازه گرفت. به عنوان مثال در شکل ۱۸-۶ اشعه به اندازه  $1/6$  خانه منحرف شده است و نشانک کلید سلکتور Volts/Div روی عدد  $100\text{ mV}$  قرار دارد. بنابراین ولتاژ داده شده به ورودی اسیلوسکوپ برابر با  $160\text{ mV}$  یا  $160\text{ mV} = 100\text{ mV} \times 1/6$  است.

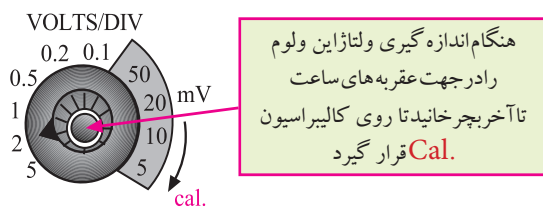


شکل ۱۸-۶ نحوه اندازه گیری ولتاژ DC

مقدار ولتاژ مجهول = عددی که نشانک کلید  $\times$  تعداد خانه های انحراف اشعه Volt /Div نشان می دهد

$$1/6 \times 100\text{ mV} = 160\text{ mV}$$

مطابق شکل ۱۹-۶ در روی پانل اسیلوسکوپ ولومی به نام Volt Variable وجود دارد که هنگام اندازه گیری ولتاژ باید در جهت عقربه های ساعت تا آخر چرخانده شود تا نشانک آن مقابل Cal (Calibratory) قرار گیرد. چنانچه ولوم از این حالت خارج شود مقدار اندازه گیری شده دقیق نخواهد بود.

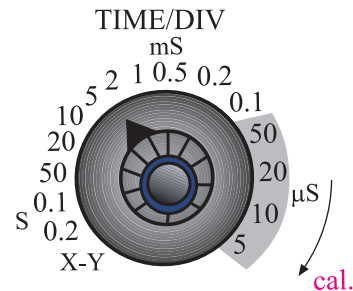


شکل ۱۹-۶ ولوم Volt Variable

## خواندن مقادیر زمان تناوب

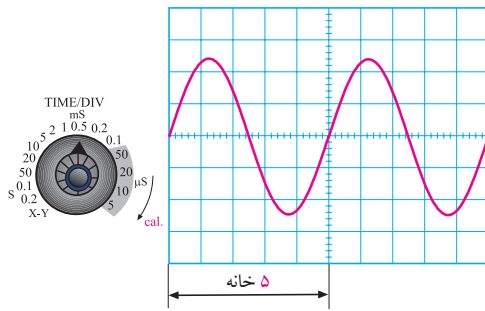
### نحوه‌ی استفاده از سلکتور زمان بر قسمت Time/Div:

کلید سلکتور دیگری به نام Time/Div نیز روی اسیلوسکوپ وجود دارد. عددی که نشانک این کلید به آن اشاره می‌کند، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا اشعه در جهت افقی مسیر یک خانه را طی کند. این کلید سلکتور برای اندازه‌گیری زمان تناوب شکل موج‌های متناوب به کار می‌رود. در شکل ۶-۲۰ این کلید سلکتور نشان داده شده است.



شکل ۶-۲۰ کلید سلکتور Time/Div

برای اندازه‌گیری زمان تناوب، تعداد خانه‌های یک سیکل کامل روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ را در عددی که نشانک کلید سلکتور Time/Div به آن اشاره می‌کند ضرب می‌کنیم. برای مثال در شکل ۶-۲۱ نشانک کلید سلکتور Time/Div روی عدد  $0.5 \text{ ms}$  قرار دارد. چون بر روی صفحه‌ی حساس، یک سیکل کامل، ۵ خانه را می‌پوشاند بنابراین زمان تناوب موج ظاهر شده روی صفحه‌ی حساس برابر با  $T = 5 \times 0.5 = 2.5 \text{ ms}$  است.



شکل ۶-۲۱ نحوه‌ی اندازه‌گیری زمان تناوب

$$T = \text{حوزه ی کار (رنج) کلید} \times \text{تعداد خانه های پوشش داده شده برای یک سیکل}$$

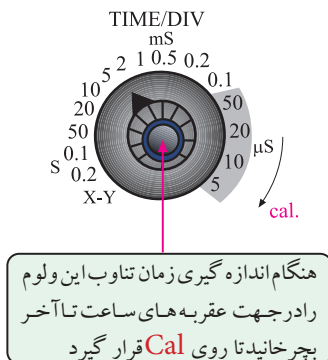
$$T = 5 \times 0.5 \text{ ms} = 2.5 \text{ ms}$$

برای به دست آوردن فرکانس کافی است که از رابطه‌ی زیر استفاده کنیم:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{2.5 \text{ ms}} = 400 \text{ Hz}$$

بنابراین با اسیلوسکوپ نمی‌توان به طور مستقیم فرکانس را اندازه گرفت. روی پانل اسیلوسکوپ ولوم دیگری به نام Time Variable وجود دارد. هنگام اندازه‌گیری زمان تناوب باید این ولوم را در جهت فلش تا آخر بچرخانید تا نشانک آن در مقابل Cal قرار گیرد، شکل ۶-۲۲. در غیر این صورت نمی‌توان زمان تناوب را با دقت اندازه گرفت.



شکل ۶-۲۲ نحوه‌ی تنظیم ولوم Time Variable



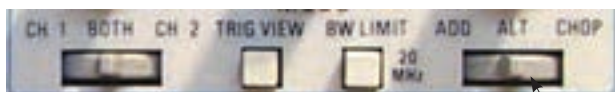


**توجه:** اسیلوسکوپ‌های دیجیتالی می‌توانند

به طور مستقیم فرکانس را نشان دهند.

#### د- Chop: برای نمایش همزمان سیگنال‌هایی که

فرکانس آنها کمتر از 1 KHz است و با استفاده از کلید Alt مشاهده‌ی آنها امکان پذیر نیست از کلید Chop استفاده می‌شود. در این حالت سیگنال کانال ۱ و سیگنال کانال ۲ به طور همزمان و به صورت شکل موج‌های بریده شده یا Chopping روی صفحه‌ی حساس نمایش داده می‌شوند، شکل ۶-۲۶.



شکل ۶-۲۶ استفاده از کلید Chop

Chop

#### ه- Dual: در بعضی از اسیلوسکوپ‌ها به جای کلید Alt

و Chop، کلید Dual وجود دارد که هر دو سیگنال اعمالی به کانال ۱ و ۲ را به طور همزمان نشان می‌دهد، شکل ۶-۲۷.

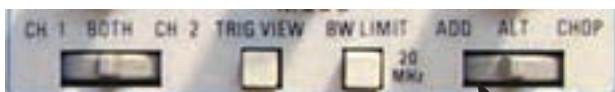


Both=Dual

شکل ۶-۲۷ کلید Dual

#### و- ADD: با قرار دادن کلید در حالت ADD، دو

سیگنال کانال ۱ و ۲ که روی صفحه‌ی حساس ظاهر شده‌اند با یکدیگر جمع لحظه‌ای می‌شوند، شکل ۶-۲۸.



ADD

شکل ۶-۲۸ کلید ADD

#### ز- DIFF: این کلید فقط در بعضی از اسیلوسکوپ‌های

دو کاناله وجود دارد. در این حالت دو سیگنال کانال ۱ و کانال ۲ که روی صفحه‌ی حساس ظاهر شده‌اند از یکدیگر به طور لحظه‌ای تفریق می‌شوند.

در روی پانل اسیلوسکوپ کلید و ولوم‌های دیگری نیز وجود دارند که در ادامه به آنها اشاره می‌کنیم:

#### الف- CH1: اگر کلید MODE در این حالت باشد،

فقط سیگنال داده شده به کانال (CH1) روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌شود و کانال دوم (CH2) در حالت قطع قرار می‌گیرد. این کلید در شکل ۶-۲۳ نشان داده شده است.



CH1

شکل ۶-۲۳ کلید CH1

#### ب- CH2: در صورتی که کلید MODE در حالت

کانال ۲ (CH2) قرار گیرد، در این شرایط فقط سیگنال اعمال شده به کانال ۲ روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌شود و کانال ۱ از مدار خارج می‌گردد، شکل ۶-۲۴.



CH2

شکل ۶-۲۴ کلید CH2

#### ج- Alt: چنانچه فرکانس سیگنال‌های دو کانال بیشتر

از 1 KHz باشد می‌توانیم از کلید Alt برای نمایش همزمان سیگنال‌های کانال ۱ و ۲ استفاده کنیم، شکل ۶-۲۵.

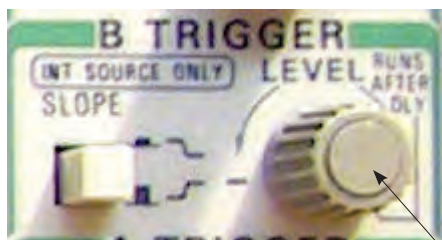


ALT

شکل ۶-۲۵ کلید Alt برای نمایش همزمان دو سیگنال

## ولوم Level

با تغییر این ولوم می توان لحظه‌ی شروع موج از سمت چپ صفحه‌ی حساس را تعیین کرد. این ولوم می تواند حول نقطه‌ی صفر، به سمت چپ یا راست تغییر کند، شکل ۶-۳۰.



شکل ۶-۳۰ ولوم Level

## ولوم slope +/-

این کلید اگر از حالت مثبت (+) به حالت منفی (-) درآید شروع سیگنال ظاهر شده روی صفحه‌ی حساس معکوس می‌شود. این کلید معمولاً همراه با ولوم Level کار می‌کند. بنابراین با کمک این کلید، می‌توانیم هر نقطه از شکل موج را از سمت چپ صفحه‌ی حساس شروع کنیم. تغییر slope از حالت مثبت به منفی، شروع نیم سیکل را از مثبت به منفی انتقال می‌دهد، شکل ۶-۳۱.



شکل ۶-۳۱ ولوم -/+ slope

## کلید source Trig

این کلید معمولاً دو حالت Ext.Trig و Line.Trig را به خود اختصاص می‌دهد.

## توجه

چنانچه در اسیلوسکوپ حالت DIFF وجود ندارد، ابتدا کانال ۲ (CH۲) را INVERT کنید سپس با استفاده از کلید ADD تفاضل شکل موج‌های داده شده به کانالهای ۱ و ۲ را مشاهده نمایید.



ح - CH۲INV: این کلید، سیگنال مربوط به کانال ۲

را ۱۸۰ درجه تغییر فاز می‌دهد، شکل ۶-۲۹.



شکل ۶-۲۹ کلید CH۲INV

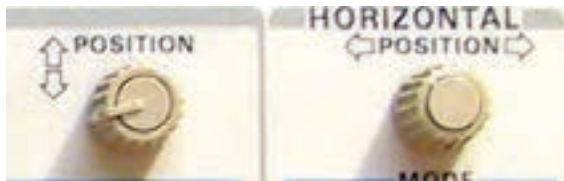
## کلیدهای منابع Trigger یا تحریک

توجه داشته باشید که زمانی سیگنال روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ به صورت ثابت ظاهر می‌شود که مدار همزمانی یا Trigger فعال شود. عمل Trigger با استفاده از کلیدهای Level، slope +/-، source Trig، Auto/NORM

انجام می‌شود.

### قسمت افقی و عمودی (Position)

با کمک این ولوم‌ها می‌توانید اشعه را در جهت عمودی یا افقی تغییر مکان دهید، شکل ۶-۳۴.



شکل ۶-۳۴ X Position و Y Position

اسیلوسکوپ‌ها معمولاً به صورت یک کاناله و دو کاناله ساخته می‌شوند البته اسیلوسکوپ‌های ۴، ۶ و ۸ کاناله نیز وجود دارند که در کارهای خاص مورد استفاده قرار می‌گیرند. در اسیلوسکوپ‌های دو کاناله به طور همزمان می‌توانید دو شکل موج را مشاهده کنید. در شکل ۶-۳۵ یک اسیلوسکوپ دو کاناله را مشاهده می‌کنید که به طور همزمان دو شکل موج را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۳۵ نمایش همزمان دو شکل موج توسط اسیلوسکوپ

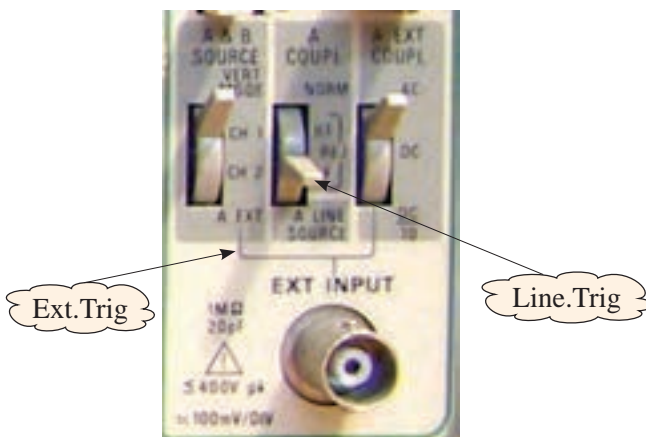
### توجه

در عصر حاضر معمولاً اسیلوسکوپ‌های یک کاناله ساخته نمی‌شود و اسیلوسکوپ‌ها حداقل دو کانال دارند.



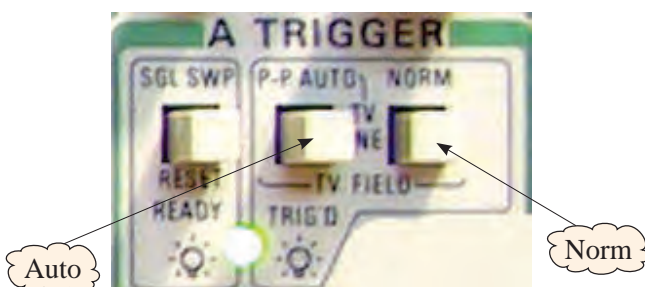
**Ext.Trig:** با استفاده از این حالت کلید، می‌توانید همزمانی موج ورودی و سیگنال داخلی اسیلوسکوپ را با منبع خارجی انجام دهید، شکل ۶-۳۲.

**Line.Trig:** با استفاده از این حالت کلید، می‌توانید از برق شهر برای همزمانی استفاده کنید.



شکل ۶-۳۲ کلیدهای Line.Trig و Ext.Trig

**Auto/NORM:** در مدارهای الکتریکی اسیلوسکوپ، قسمتی وجود دارد که می‌تواند وجود و یا عدم وجود سیگنال ورودی را تشخیص دهد. اگر این کلید در حالت Auto باشد، همواره محور افقی روی صفحه ظاهر می‌شود. اگر کلید در حالت NORM قرار گیرد، زمانی سیگنال روی صفحه حساس ظاهر می‌شود که اولاً سیگنال ورودی وجود داشته باشد، ثانیاً موج جاروب سنکرون باشد. در غیر این صورت هیچ شکل موجی روی صفحه حساس ظاهر نخواهد شد و در حالت عادی محور افقی نیز دیده نمی‌شود، شکل ۶-۳۳.



شکل ۶-۳۳ Auto/NORM

## ۲-۶ آزمایش شماره (۱)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

### ۲-۶-۱ هدف آزمایش:

تنظیم اسیلوسکوپ و اندازه گیری ولتاژ DC با اسیلوسکوپ

### ۲-۶-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	اسیلوسکوپ دو کاناله	یک دستگاه
۲	منبع تغذیه ۱۵V / ۱A	یک دستگاه
۳	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۴	سیم های رابط یک سر گیره سوسماری	دو عدد
۵	سیم های رابط دو سر فیش دار	چهار عدد
۶	پروب اسیلوسکوپ	یک عدد

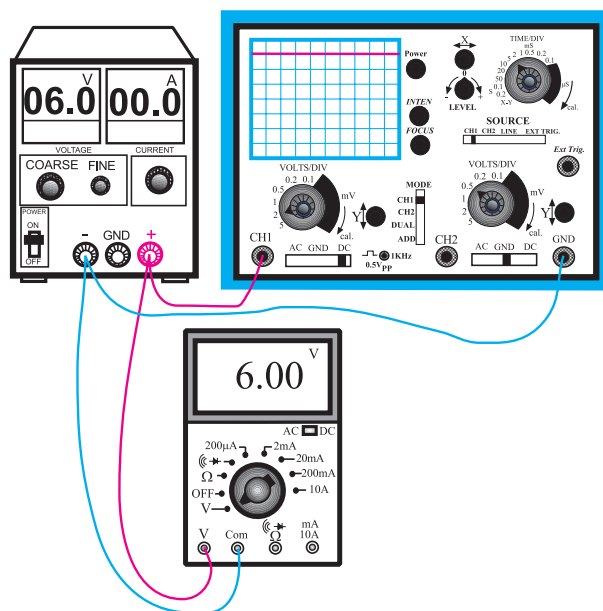
اسیلوسکوپ های چند کاناله می توانند چند موج را به طور همزمان نشان دهند. اسیلوسکوپ های مدرن امروزی به صورت دیجیتالی ساخته می شوند و سلکتورهای آنها نیز دیجیتالی هستند. در شکل ۳۶-۶ یک نمونه از اسیلوسکوپ دیجیتالی که روی صفحه ی آن شکل موج نشان داده شده است را ملاحظه می کنید.



شکل ۳۶-۶ اسیلوسکوپ دیجیتالی

### ۲-۶-۳ مراحل اجرای آزمایش:

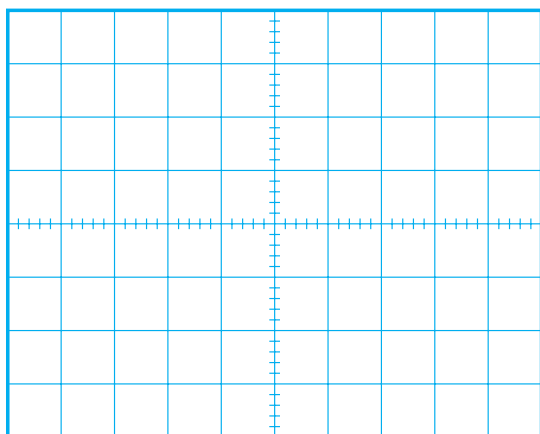
با استفاده از وسایل مورد نیاز مدار شکل ۳۷-۶ را ببندید.



شکل ۳۷-۶ مدار آزمایش

### تحقیق کنید:

با جستجو در اینترنت و منابع دیگر کوچک ترین اسیلوسکوپ ساخته شده را بیابید و مشخصات آن را بنویسید.



شکل ۳۸-۶ شکل ولتاژ مشاهده شده روی صفحه‌ی حساس

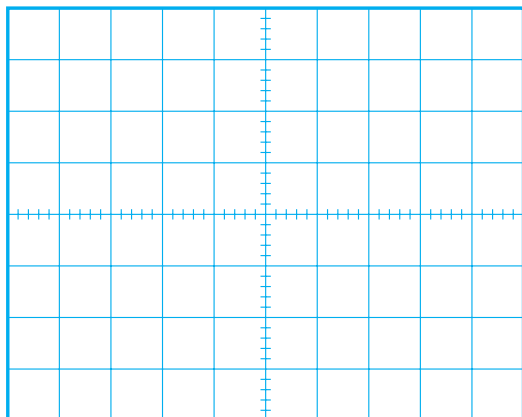
■ با توجه به موقعیت کلید Volt/Div ولتاژ DC را از روی نمودار شکل ۳۸-۶ محاسبه کنید و آن را با مقداری که ولت متر DC نشان می‌دهد، مقایسه کنید.

رنج کلید Volt/Div  $\times$  تعداد خانه های جابه جا شده  
= مقدار ولتاژ DC  
اشعه در جهت عمودی

$$V = \text{Volt/Div} \times 2 = \dots\dots\dots \text{ مقدار ولتاژ DC}$$

$$V = \dots\dots\dots \text{ مقدار ولتاژی که ولت متر نشان می دهد.}$$

■ در شرایطی که منبع تغذیه به اسیلوسکوپ وصل است کلید AC- GND -DC را در حالت AC قرار دهید و شکل موج مشاهده شده روی صفحه‌ی حساس را در نمودار شکل ۳۹-۶ رسم کنید.



شکل ۳۹-۶ نمایش ولتاژ مشاهده شده روی صفحه‌ی حساس اسیلوسکوپ

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید، حدود یک دقیقه صبر کنید تا اسیلوسکوپ کاملاً گرم شود.

■ به کمک ولوم INTEN، نور اشعه را طوری تنظیم کنید که به راحتی قابل مشاهده باشد.

■ به کمک ولوم FOCUS اشعه را تا حد ممکن کانونی کنید (اشعه باید فوق‌العاده باریک باشد).

■ بعد از تنظیم اشعه از نظر نور و ضخامت، تنظیم‌های زیر را روی اسیلوسکوپ و کانال CH۱ انجام دهید.

الف) کلید Mode را در حالت CH۱ قرار دهید.  
ب) کلید AC- GND -DC را در حالت GND قرار دهید.

ج) به کمک کلید جابه‌جا کننده‌ی عمودی، اشعه را در مرکز صفحه حساس تنظیم کنید. در این حالت اشعه به صورت یک خط دیده می‌شود.

د) کلید Volt/Div را روی عدد ۲ ولت قرار دهید.  
ه) ولوم Volt Variable را در جهت عقربه‌های ساعت تا آخر بچرخانید به طوری که نشانک آن مقابل Cal قرار گیرد.

و) کلید Time/Div را روی ۰/۵ ms قرار دهید.  
ز) کلید AC- GND -DC را در حالت DC بگذارید.  
■ ولتاژ منبع تغذیه را از صفر به آرامی زیاد کنید. هنگام زیاد کردن ولتاژ منبع تغذیه به حرکت اشعه در جهت عمودی روی صفحه‌ی حساس نیز توجه داشته باشید.  
■ ولتاژ تغذیه را به ۶ ولت تغییر دهید.  
■ شکل موج ولتاژ مشاهده شده روی صفحه‌ی حساس را در نمودار شکل ۳۸-۶ رسم کنید.



د) کلید AC- GND -DC را در حالت GND بگذارید.

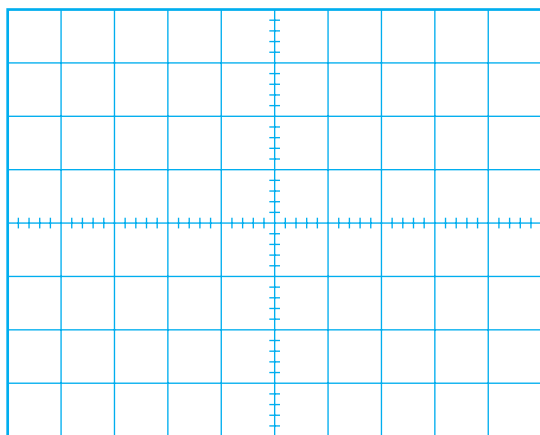
■ به کمک کلید جابه‌جا کننده اشعه در جهت عمودی، مکان صفر اشعه را در مرکز صفحه حساس تنظیم کنید.

■ کلید Volt Variable کانال CH<sub>2</sub> را در جهت عقربه‌های ساعت تا آخر بچرخانید تا نشانک این ولوم مقابل Cal قرار گیرد.

■ منبع تغذیه را روی صفر ولت قرار دهید و کلید AC- GND -DC را در حالت DC بگذارید.

■ ولتاژ منبع تغذیه را تا سقف ۶ ولت به آرامی زیاد کنید و حرکت اشعه را روی صفحه‌ی حساس مشاهده کنید.

■ شکل موج ولتاژ را در نمودار شکل ۴۱-۶ رسم کنید.



شکل ۴۱-۶ شکل ولتاژ مشاهده شده روی صفحه‌ی حساس اسیلوسکوپ

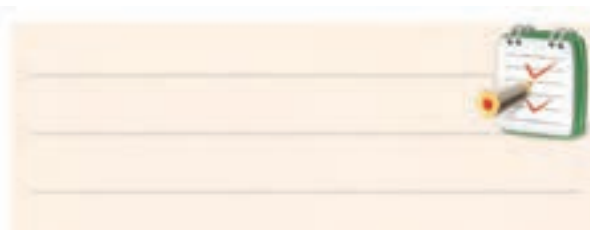
■ با استفاده از شکل ۴۱-۶ و روابط داده شده مقدار ولتاژ را محاسبه و با مقداری که ولت‌متر DC نشان می‌دهد مقایسه کنید.

$$\text{مقدار ولتاژ DC} = \text{تعداد خانه‌های جابه‌جا شده} \times \text{رنج کلید Volt/Div}$$

$$\text{مقدار ولتاژ DC} = \dots \times 2 \text{ Volt/Div} = \dots \text{ V}$$

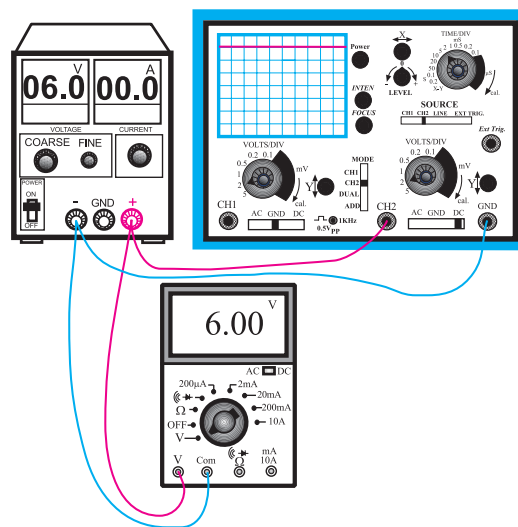
$$\text{مقدار ولتاژی که ولت‌متر نشان می‌دهد} = \dots \text{ V}$$

**سوال ۱:** چرا هنگامی که کلید AC- GND -DC در حالت AC قرار دارد، اشعه در جهت عمودی جابه‌جا نمی‌شود؟ توضیح دهید.



در صورتی که نتوانستید به سوال فوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت‌های توضیح داده شده درباره‌ی اسیلوسکوپ مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

■ این بار ولتاژ منبع تغذیه را به ورودی کانال CH<sub>2</sub> اسیلوسکوپ مطابق شکل ۴۰-۶ وصل کنید و تنظیمات زیر را انجام دهید.



شکل ۴۰-۶ مدار آزمایش

الف) کلید Mode را در حالت CH<sub>2</sub> بگذارید.

ب) کلید Time/Div را روی عدد ۰/۵ms قرار دهید.

ج) Volt/Div کانال ۲ را روی عدد ۲ ولت قرار دهید.

#### ۴-۲-۶ نتایج آزمایش :

آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به اختصار شرح

دهید.



#### ۱-۳-۶ سیگنال ژنراتور صوتی

این دستگاه شکل موجی سینوسی و مربعی تولید می‌کند و محدوده‌ی فرکانس تولیدی آن معمولاً از حدود یک هرتز تا یک مگاهرتز است. بعضی از سیگنال ژنراتورها، سیگنال‌هایی با فرکانس تا دو مگاهرتز نیز تولید می‌کنند. دامنه‌ی سیگنال تولیدی در سیگنال ژنراتورهای AF، تقریباً به ۱۰ ولت می‌رسد. در شکل ۴۲-۶ دو نمونه سیگنال ژنراتور AF نشان داده شده است.



شکل ۴۲-۶ دو نمونه سیگنال ژنراتور صوتی

برای تنظیم فرکانس، باید عددی که عقربه یا نشانک نشان می‌دهد را در حوزه‌ی کار (رنج) کلید سلکتور که می‌تواند ضرایبی مانند ۱ یا ۱۰ یا ۱۰۰ یا ۱K یا ۱۰K داشته باشد ضرب کنیم و فرکانس خروجی را به دست آوریم. برای مثال در شکل ۴۳-۶ سیگنال ژنراتور، فرکانس  $290\text{ Hz} = 10 \times 29$  را تولید می‌کند.

در محیط‌های مختلف به خصوص محیط‌های کارگاهی تا حد امکان از نور طبیعی استفاده کنید و همیشه حباب لامپ‌ها و سطوح انعکاس‌دهنده‌ی نور را تمیز نگه دارید.

#### ۳-۶ مولدهای سیگنال (signal Generators)

دستگاه‌های مولد سیگنال، دستگاه‌هایی هستند که می‌توانند ولتاژهای متناوب مانند سینوسی و مربعی را با فرکانس و دامنه‌ی قابل تنظیم تولید کنند. دستگاه‌های مولد سیگنال به سه دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند:

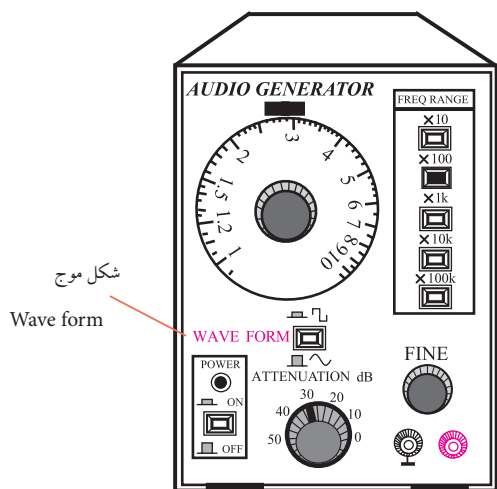
سیگنال ژنراتور صوتی (Audio Frequency) - مولد

(سیگنال صوتی)

سیگنال ژنراتور رادیویی (Radio Frequency) - مولد

(سیگنال رادیویی)

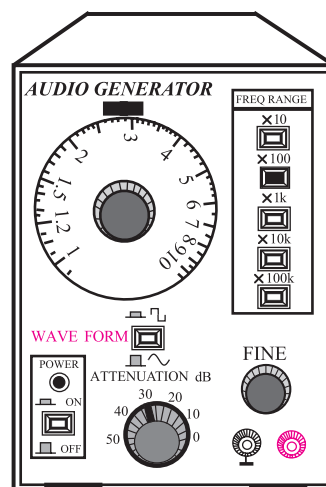
هم چنین کلید دو حالتی دیگری به نام Wave Form (شکل موج) روی سیگنال ژنراتورهای صوتی وجود دارد که با تنظیم آن می توان موج مربعی یا سینوسی را از ترمینال خروجی دستگاه دریافت کرد. این کلید دو حالت در شکل ۴۵-۶ نشان داده شده است.



شکل ۴۵-۶ کلید دو حالتی Wave form

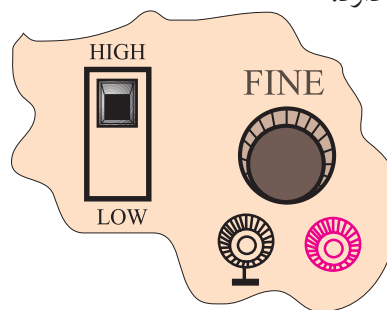
## ۲-۳-۶ سیگنال ژنراتور رادیویی

این سیگنال ژنراتور فقط شکل موج سینوسی تولید می کند. دامنه ی سیگنال تولیدی این دستگاه معمولاً حداکثر تا ۵ ولت است. در دستگاه های معمولی محدوده ی فرکانس سیگنال تولیدی تقریباً بین ۱۰۰ KHz تا ۱۵۰ MHz است. در شکل ۴۶-۶ یک نمونه ی سیگنال ژنراتور رادیویی نشان داده شده است. نحوه ی تنظیم دامنه و فرکانس خروجی این سیگنال ژنراتور شبیه سیگنال ژنراتور صوتی است.



شکل ۴۳-۶ سیگنال ژنراتور با سیگنال ۲۹۰ هرتز

برای تنظیم دامنه، ولومی با نام Fine روی صفحه ی جلویی سیگنال ژنراتور وجود دارد. با تغییر این ولوم می توان دامنه ی شکل موج خروجی را از صفر تا ماکزیمم تغییر داد. علاوه بر ولوم، یک عدد کلید با حالت های High و Low نیز روی دستگاه سیگنال ژنراتور قرار دارد. در حالت High حداکثر دامنه ی خروجی شکل موج را می توانید از دستگاه دریافت کنید. در حالت Low معمولاً دامنه ۱۰ تا ۱۰۰ برابر تضعیف می شود. در شکل ۴۴-۶ کلید High-Low و ولوم Fine نشان داده شده است. در بعضی از سیگنال ژنراتورها به جای کلید High-Low یک کلید دو یا چند حالتی مانند  $\times 1$  و  $\times 10$  وجود دارد.



شکل ۴۴-۶ قسمتی از پانل سیگنال ژنراتور



### نحوه‌ی کار با فانکشن ژنراتور

همان‌طور که اشاره شد روی فانکشن ژنراتور کلیدها، سلکتورها و ولوم‌های فراوانی وجود دارد، که تعدادی از آن‌ها کاربرد عمومی دارند و در کلیه‌ی فانکشن ژنراتورها مشترک هستند. کلیدها، سلکتورها و ولوم‌ها در موارد زیر به کار می‌روند:

۱- تنظیم دامنه

۲- تنظیم فرکانس

۳- انتخاب شکل موج

۴- ترمینال‌های ورودی و خروجی

در شکل ۶-۴۸ یک نمونه دستگاه فانکشن ژنراتور به همراه مشخصات کلیدها، ولوم‌ها و سلکتورهای آن آورده شده است.

#### توجه



روی برخی از فانکشن ژنراتورها مانند نمونه‌ی نشان داده شده در شکل ۶-۴۸، دستگاه فرکانس متر نیز نصب شده است. فرکانس متر می‌تواند فرکانس‌های خروجی دستگاه را نشان دهد. همچنین از طریق ترمینال ورودی INPUT می‌توانید، فرکانس‌های مربوط به مدار مورد آزمایش را اندازه بگیرید.



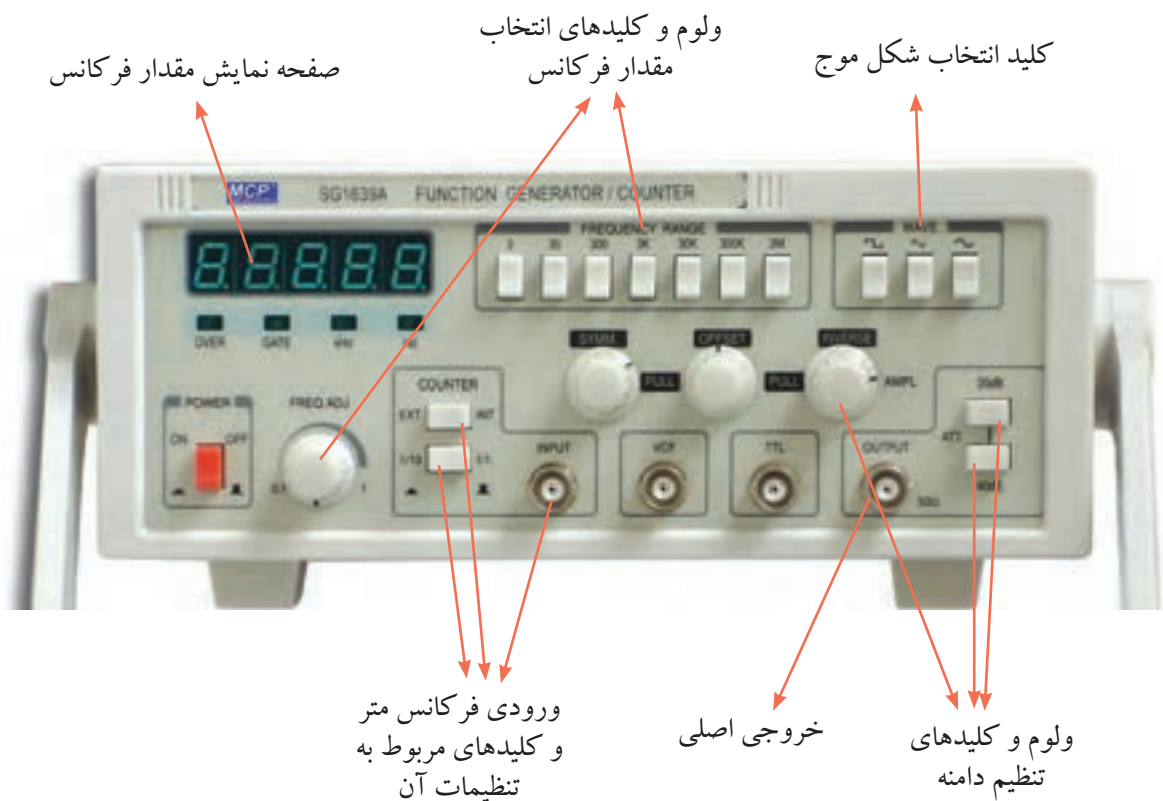
شکل ۶-۴۶ یک نمونه سیگنال ژنراتور رادیویی

### ۳-۳-۶ فانکشن ژنراتور

این دستگاه شکل موج‌های سینوسی، مربعی، مثلثی و پالس تولید می‌کند. محدوده‌ی فرکانس تولیدی این نوع سیگنال ژنراتورها معمولاً بین ۰/۱ هرتز تا ۱ مگاهرتز است. بعضی از فانکشن ژنراتورها تا فرکانس ۲ MHz نیز تولید می‌کنند. دامنه‌ی سیگنال‌های تولیدی خروجی فانکشن ژنراتورها معمولاً به ۱۰ ولت می‌رسد. در شکل ۶-۴۷ یک نمونه‌ی فانکشن ژنراتور نشان داده شده است. نحوه‌ی تنظیم فرکانس و دامنه‌ی فانکشن ژنراتورها مانند سیگنال ژنراتور صوتی است. برای تعیین نوع شکل موج خروجی، معمولاً روی صفحه‌ی دستگاه کلیدهای فشاری تعبیه می‌شود. روی هر کلید فشاری نماد و شکل موج، ترسیم شده است. با فشار دادن هر کلید شکل موج، ولتاژ خروجی از ترمینال خروجی دستگاه قابل دریافت است.



شکل ۶-۴۷ یک نمونه دستگاه فانکشن ژنراتور



شکل ۴۸-۶ یک نمونه فانکشن ژنراتور

#### توجه

روی دستگاه فانکشن ژنراتور دکمه‌ها و ترمینال‌های ویژه دیگری نیز وجود دارد که برای کاربردهای خاص است.



#### توجه

کلیدهای ۲۰ dB (۲۰ دسی‌بل) و ۱۰ dB (۱۰ دسی‌بل) میزان تقویت و تضعیف دامنه‌ی سیگنال را بر عهده دارند. با این کلیدها می‌توانید دامنه‌ی سیگنال ورودی را با ضریب ۲۰ dB تقویت و یا با ضریب ۱۰ dB - تضعیف نمایید.



با مراجعه به سایت‌های اینترنتی یا منابع دیگر، راهنمای کاربرد یک نمونه فانکشن ژنراتور را پیدا کنید و مشخصات آن را بنویسید.

به دلیل عدم آشنایی هنرجویان با اسیلوسکوپ در فصل ۵، دو ساعت زمان کار عملی فصل ۵ به این آزمایش اضافه شده است.

## ۴-۶ آزمایش شماره ۲)

زمان اجرا: ۶ ساعت آموزشی

### ۴-۶-۱ هدف آزمایش:

مشاهده و اندازه گیری دامنه و زمان تناوب شکل موج ولتاژ خروجی مربعی و سینوسی در فانکشن ژنراتور

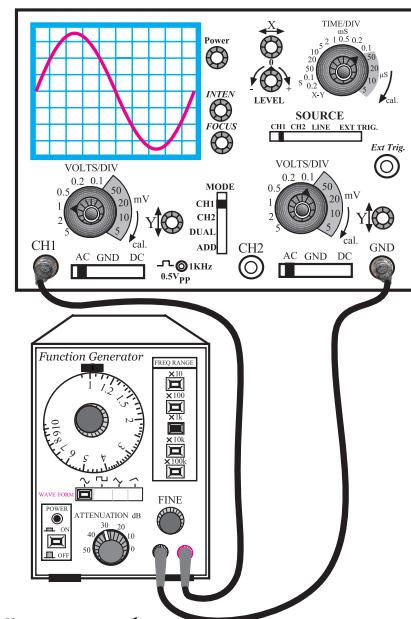
### ۴-۶-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	اسیلوسکوپ دو کاناله	یک دستگاه
۲	فانکشن ژنراتور	یک دستگاه
۳	سیم رابط	به مقدار کافی

### ۴-۶-۳ مراحل اجرای آزمایش:

با استفاده از وسایل و تجهیزات مورد نیاز مدار شکل

۴-۶۹ را ببینید.



شکل ۴-۶۹ مدار آزمایش

■ فرکانس فانکشن ژنراتور را روی ۱ KHz تنظیم کنید.

■ تنظیم های زیر را روی اسیلوسکوپ انجام دهید.

الف) کلید SOURCE را در حالت ۱ CH قرار دهید.

ب) کلید Mode را روی ۱ CH بگذارید.

ج) کلید سلکتور Time/Div را روی عدد ۰/۱ ms قرار دهید.

د) به کمک ولوم های INTEN و FOCUS شدت نور اشعه و ضخامت آن را در حد مطلوب تنظیم کنید.

ه) ولوم Time Variable را در جهت عقربه های ساعت تا آخر بچرخانید.

و) کلید Volt/Div کانال ۱ را روی یک ولت تنظیم کنید.

ز) ولوم Volt Variable کانال یک را در جهت عقربه های ساعت تا آخر بچرخانید.

ح) کلید AC- GND -DC کانال یک را روی حالت GND قرار دهید و مکان صفر اشعه را در مرکز صفحه ی حساس تنظیم کنید.

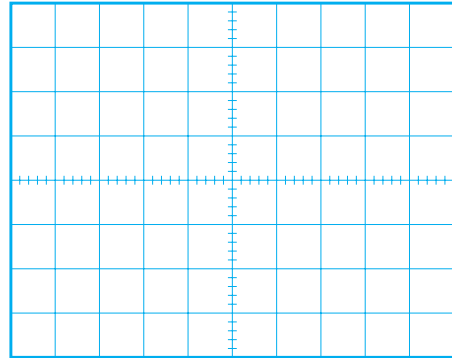
ط) ولوم Level را در حالت ۰ (صفر) تنظیم کنید. (تقریباً حالت وسط).

ی) کلید AC- GND -DC را در حالت AC بگذارید. ■ کلید انتخاب شکل موج روی فانکشن ژنراتور را در حالت سینوسی قرار دهید.

■ ولوم Fine را تغییر دهید تا دامنه ی شکل موج سینوسی روی صفحه ی حساس حدود سه خانه را دربر بگیرد.

■ شکل موج روی صفحه ی حساس را در نمودار شکل

۶-۵۰ رسم کنید. با استفاده از شکل موج ترسیم شده، دامنه و زمان تناوب شکل موج سینوسی را اندازه بگیرید.



شکل ۶-۵۰ شکل موج در حالتی که کلید AC- GND -DC روی حالت DC است.

■ با استفاده از شکل موج ترسیم شده، دامنه‌ی شکل موج سینوسی قابل محاسبه است.

$$\text{رنج کلید} \times \text{تعداد خانه‌هایی که دامنه موج} = \text{دامنه‌ی شکل موج}$$

$$\text{Volt/Div} \times \text{را در بر گرفته‌اند}$$

$$\text{دامنه شکل موج} = \text{Volt/Div} \times \dots\dots\dots$$

$$\text{دامنه شکل موج} = \text{V} \dots\dots\dots$$

■ با استفاده از شکل موج ترسیم شده در شکل ۶-۵۰، زمان تناوب شکل موج سینوسی به روش زیر قابل محاسبه است.

$$\text{رنج کلید} \times \text{تعداد خانه‌هایی که یک سیکل کامل را در بر گرفته‌اند} = \text{زمان تناوب T}$$

$$\text{Time/Div} \times \dots\dots\dots$$

$$T = \dots\dots\dots \times 0.1 \times 10^{-3}$$

$$T = \dots\dots\dots \text{ S}$$

■ فرکانس شکل موج سینوسی را به دست آورید.

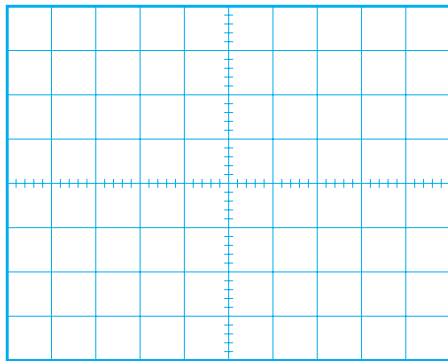
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\dots\dots\dots} \text{ Hz}$$

■ با توجه به مقدار دامنه‌ی شکل موج، مقدار مؤثر موج سینوسی را محاسبه کنید.

$$V_e = \dots\dots\dots \text{ V}$$

■ کلید AC- GND -DC را در حالت DC قرار

دهید و شکل موج نشان داده شده را در نمودار شکل ۶-۵۱ رسم کنید.

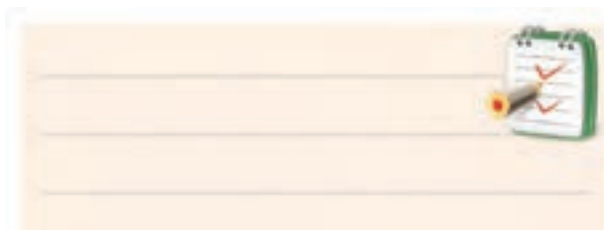


شکل ۶-۵۱ شکل موج در حالتی که کلید AC- GND -DC

در حالت AC است.

**سؤال ۲:** چرا در حالتی که کلید AC- GND -DC

روی حالت AC و یا DC قرار دارد شکل موج‌های سینوسی تفاوتی ندارند؟ توضیح دهید.



■ با استفاده از شکل موج ترسیم شده در شکل ۶-۵۳ زمان تناوب شکل موج را محاسبه کنید.

رنج کلید  $\times$  تعداد خانه‌هایی که یک سیکل کامل را = زمان تناوب T  
 دربر گرفته‌اند

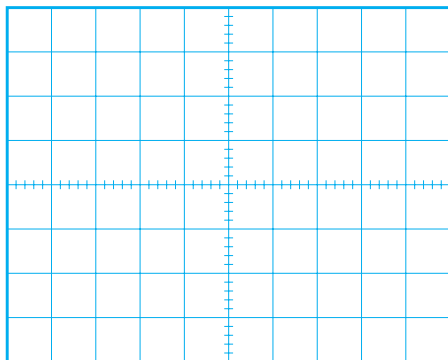
$$T = \dots \times 0.1 \text{ ms}$$

$$T = \dots \text{ ms}$$

■ فرکانس شکل موج مربعی را محاسبه کنید.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\dots} = \dots \text{ Hz}$$

■ با توجه به تنظیم‌های فوق، کلید AC-GND-DC را در حالتی که موج مربعی به اسیلوسکوپ وصل است روی وضعیت DC بگذارید و شکل موج را روی نمودار شکل ۶-۵۳ رسم کنید.



شکل ۶-۵۳ شکل موج ولتاژ در حالتی که کلید AC-GND-DC روی DC است.

**سؤال ۳:** آیا در حالتی که کلید AC-GND-DC روی حالت DC و AC قرار می‌گیرد شکل موج نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس جابه‌جا می‌شود؟ توضیح دهید.

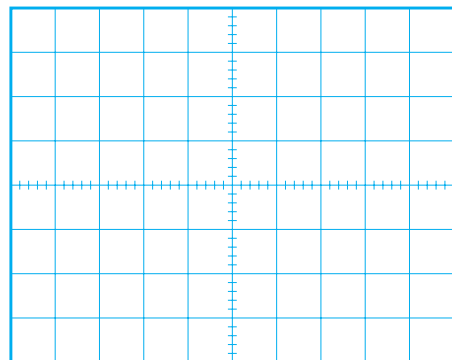
در صورتی که نتوانستید به سوال فوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت‌های توضیح داده شده درباره‌ی اسیلوسکوپ مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

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

■ کلید انتخاب شکل موج فانکشن ژنراتور را در حالت موجی مربعی (PULSE) قرار دهید.

■ شکل موج ظاهر شده روی صفحه‌ی حساس را در نمودار شکل ۶-۵۲ رسم کنید.

■ به کمک اسیلوسکوپ زمان تناوب و دامنه‌ی شکل موج را اندازه بگیرید.



شکل ۶-۵۲ شکل موج ولتاژ در حالتی که کلید AC-GND-DC در حالت AC قرار دارد.

■ با استفاده از شکل موج ترسیم شده، دامنه‌ی شکل موج مربعی را محاسبه کنید.

رنج کلید  $\times$  تعداد خانه‌هایی که دامنه دامنه‌ی شکل موج = Volt/Div  $\times$  را در بر گرفته‌اند

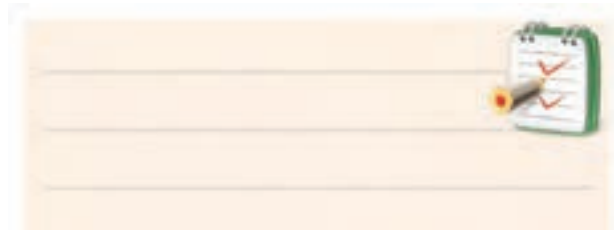
$$\text{مقدار دامنه شکل موج} = \dots \times 1 \text{ Volt/Div}$$

$$V_m = V_p = \dots V$$

#### ۴-۴-۶ نتایج آزمایش :

آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته اید به اختصار شرح

دهید.



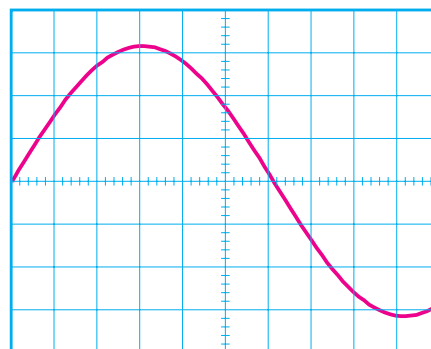
در صورتی که نتوانستید به سوال فوق پاسخ دهید  
یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت های توضیح  
داده شده درباره ی اسیلوسکوپ مراجعه و مطالب را مجددا  
مرور کنید.

## آزمون پایانی فصل (۶)



۱- فرکانس موج سینوسی نشان داده شده در شکل ۶-۵۴

چند هرتز است؟

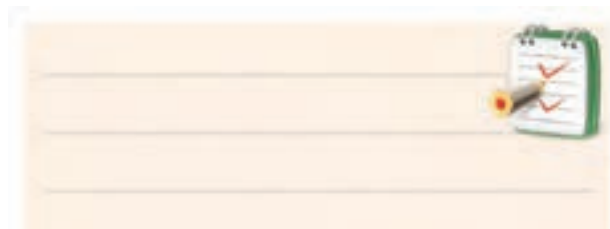


VOLTS/DIV=100mV/DIV  
TIME/DIV=1mS/DIV

شکل ۶-۵۴

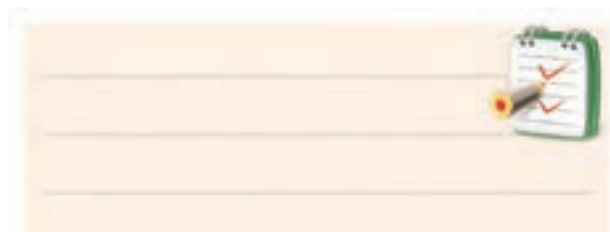
۳- برای مشاهده‌ی شکل موج متناوب مانند شکل ۶-۵۵

روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ دو کاناله، چه تنظیم‌هایی باید انجام شود؟



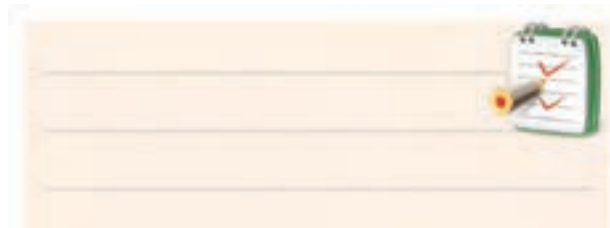
۴- چرا در اسیلوسکوپ باید کنترل‌های مربوط به هر

کانال را به‌طور جداگانه تنظیم کنیم؟



۵- یک لامپ اشعه‌ی کاتدیک از چند قسمت تشکیل

شده است؟ نام ببرید.

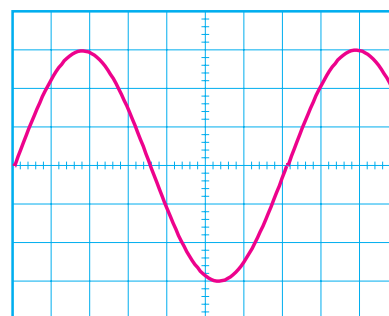


۶- چرا وقتی یک ولتاژ DC را به اسیلوسکوپ وصل

می‌کنیم فقط یک خط مستقیم روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌شود؟ شرح دهید.

۲- در شکل موج نشان داده شده در شکل ۶-۵۵ مقدار

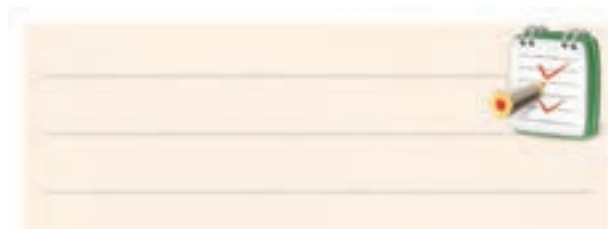
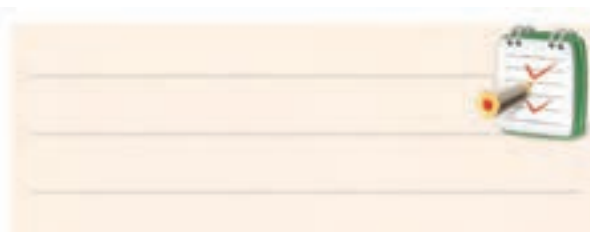
موثر شکل موج نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس چند ولت است؟



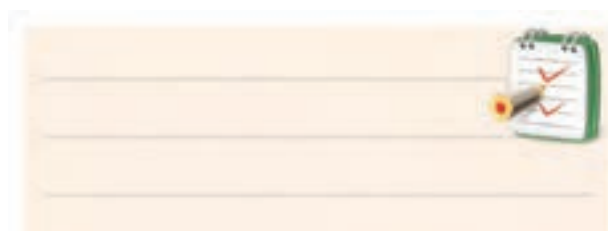
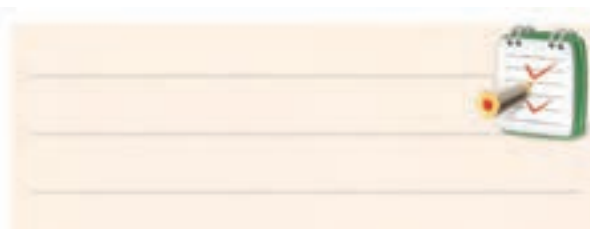
VOLTS/DIV=5V/DIV  
TIME/DIV=10mS

شکل ۶-۵۵

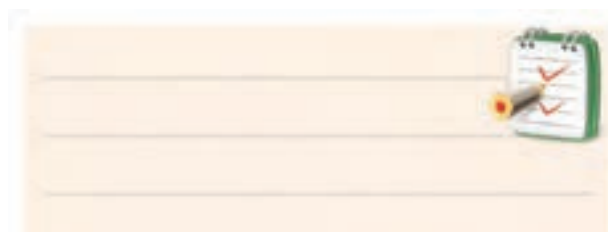
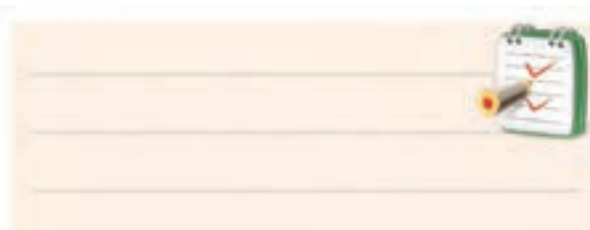
۱۰- انواع مولد سیگنال را نام ببرید، چه سیگنال‌هایی توسط این مولدها تولید می‌شود؟



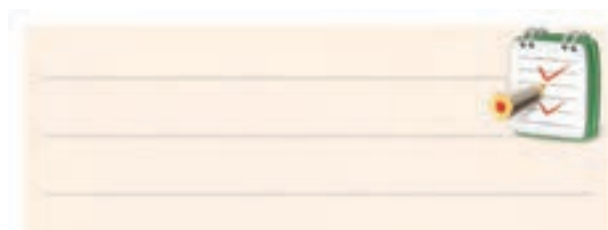
۱۱- تفاوت سیگنال ژنراتور صوتی (AF) و سیگنال ژنراتور رادیویی (RF) را به طور خلاصه بنویسید.



۱۲- فاز و اختلاف فاز در شکل موج‌های سینوسی را توضیح دهید.

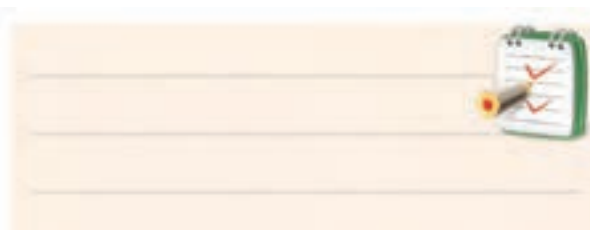


۱۳- وظیفه‌ی پروب را در اسیلوسکوپ شرح دهید.



۱۴- جریانی که در سیم‌های برق شهر جاری است از نوع ..... است؟

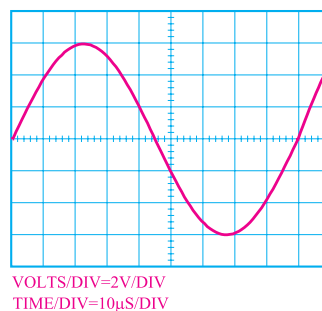
☐ AC (ب) ☐ DC (الف)



۷- کاربرد کلید AC- GND -DC را شرح دهید.

۸- چگونگی اندازه‌گیری مقدار موثر موج سینوسی توسط اسیلوسکوپ را شرح دهید.

۹- در شکل ۵۶-۶ مقدار موثر ولتاژ و فرکانس سیگنال نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس را حساب کنید.

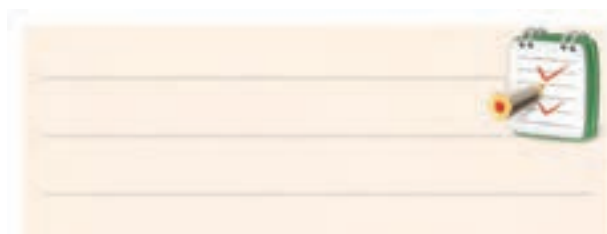


شکل ۵۶-۶



۱۵- کلیدهای ۱۰× و ۱× بر روی پروب چه کاربردی

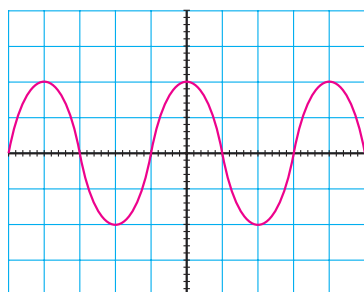
دارند؟



۲۰- در شکل ۵۷-۶ مقدار مؤثر سیگنال روی صفحه

حساس اسیلوسکوپ تقریباً چند میلی‌ولت است؟

الف) ۴۰۰ ب) ۲۸۲ ج) ۸۰۰ د) ۵۷۰

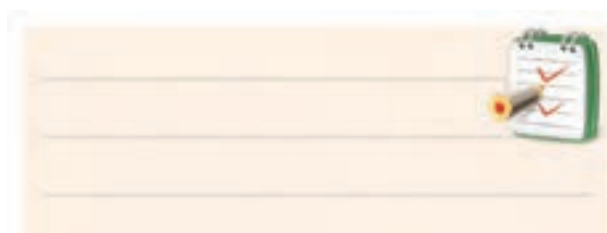


VOLTS/DIV=0.2V/DIV

شکل ۵۷-۶

۲۱- برای مشاهده‌ی همزمان دو شکل موج متناوب بر روی

صفحه‌ی حساس، اسیلوسکوپ چگونه باید تنظیم شود؟



۲۲- پاسخ‌های صحیح ستون چپ را به ستون سمت

راست اتصال دهید.

نمایش دو موج به‌طور همزمان در فرکانس پایین

Level

نمایش دو موج به‌طور همزمان در فرکانس بالا

ADD

جمع لحظه‌ای سیگنال‌های کانال ۱ و کانال ۲

Alt

تفریق لحظه‌ای سیگنال‌های کانال ۱ و کانال ۲

Line Trig

تعیین لحظه‌ی شروع موج از سمت چپ صفحه‌ی حساس

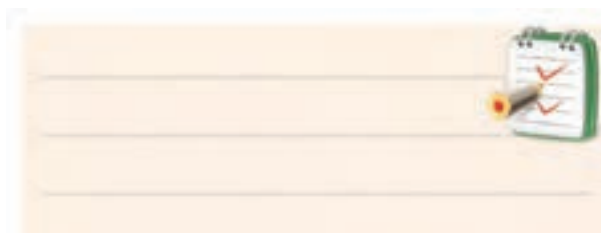
Chop

استفاده از برق شهر برای ایجاد همزمانی

DIFF

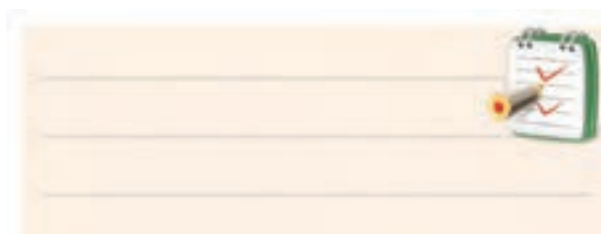
۱۶- وظیفه‌ی کلیدهای Alt، chop، CH۲INV و

Level را بر روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ توضیح دهید.



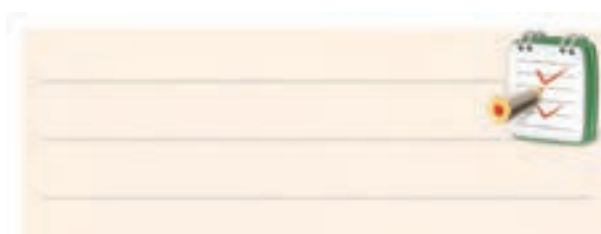
۱۷- تفاوت سیگنال ژنراتور صوتی با فانکشن ژنراتور را

به‌طور خلاصه شرح دهید.



۱۸- برای اندازه‌گیری ولتاژ DC با اسیلوسکوپ چه

تنظیم‌هایی را باید روی اسیلوسکوپ انجام دهید؟



۱۹- آیا کانال‌های CH۱ و CH۲ در اسیلوسکوپ با

یکدیگر تفاوت دارند؟ چرا؟

## فصل هفتم

### خازن در جریان مستقیم و متناوب

**هدف کلی:** بررسی رفتار خازن در جریان‌های مستقیم و متناوب



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

- ۱- ساختمان داخلی خازن را شرح دهد.
- ۲- ظرفیت خازن و عوامل مؤثر در آن را شرح دهد.
- ۳- شارژ و دشارژ خازن در جریان مستقیم را شرح دهد.
- ۴- رابطه‌ی بین بار الکتریکی ذخیره شده و ولتاژ دو سر خازن را شرح دهد.
- ۵- انرژی ذخیره شده در خازن را محاسبه کند.
- ۶- ثابت زمانی را در یک مدار RC شرح دهد.
- ۷- ثابت زمانی را در یک مدار RC اندازه بگیرد.
- ۸- روش آزمایش صحت کار خازن را شرح دهد.
- ۹- صحت کار یک خازن را به کمک اهم‌متر عقربه‌ای آزمایش کند.
- ۱۰- ظرفیت یک خازن را به کمک دستگاه LCR متر توضیح دهد.
- ۱۱- انواع خازن ثابت را نام ببرد.
- ۱۲- فرق خازن ثابت و متغیر را بیان کند.
- ۱۳- خازن متغیر را شرح دهد.
- ۱۴- مقدار ظرفیت خازن را با استفاده از رمز عددی بخواند.
- ۱۵- مشخصات خازن را نام ببرد.
- ۱۶- مشخصات خازن را شرح دهد.
- ۱۷- اتصال سری و موازی خازن‌ها را توضیح دهد.
- ۱۸- آزمایش اتصال سری و موازی خازن‌ها را انجام دهد.
- ۱۹- ظرفیت معادل را در اتصالات سری و موازی خازن‌ها به دست آورد.
- ۲۰- رفتار خازن در جریان متناوب را شرح دهد.
- ۲۱- رآکتانس خازنی را محاسبه کند.
- ۲۲- رآکتانس خازنی را اندازه بگیرد.
- ۲۳- اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در مدار خازنی را اندازه بگیرد.
- ۲۴- اختلاف فاز بین ولتاژ دو سر خازن و جریان عبوری از آن را اندازه بگیرد.
- ۲۵- مدار RC سری و موازی را توضیح دهد.
- ۲۶- روابط مربوط به مدار RC سری و موازی را محاسبه کند.
- ۲۷- امپدانس مدار RC سری و موازی را اندازه بگیرد.

ساعت آموزش			توانایی شماره
جمع	عملی	نظری	
۲۸	۱۶	۱۲	



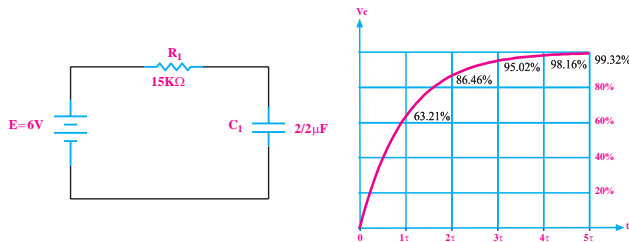
۱- ظرفیت خازن با سطح صفحات خازن نسبت ..... و با فاصله‌ی بین دو صفحه نسبت ..... دارد.

الف) معکوس - مستقیم      ب) مستقیم - مستقیم

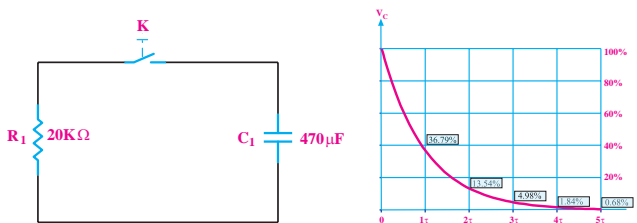
ج) مستقیم - معکوس      د) معکوس - معکوس

۲- چرا در کنار پایه‌ی بعضی از خازن‌ها علامت مثبت و منفی می‌گذارند؟

۴- در شکل زیر با توجه به منحنی شارژ خازن بعد از ۳ ثابت زمانی ولتاژ دو سر خازن چند ولت می‌شود؟



۵- در شکل زیر در شرایطی که کلید K در حالت باز قرار دارد، ولتاژ دو سر خازن ۱۵ ولت است. اگر کلید را وصل کنیم، با توجه به منحنی دشارژ خازن پس از سه ثابت زمانی ولتاژ دو سر خازن چند ولت می‌شود؟



۶- کدام گزینه‌ی زیر صحیح است؟

الف)  $V = \frac{C}{Q}$       ب)  $Q = \frac{V}{C}$

ج)  $v = \frac{Q}{C}$       د)  $Q = \frac{C}{V}$

۷- خازن ..... خازن متغیری است که مقدار ظرفیت آن

را می‌توان با پیچ‌گوشی تغییر داد.

۸- ظرفیت خازن معادل در مدار سری از ظرفیت خازن‌های

موجود در مدار ..... است.

الف) کم‌تر      ب) بیش‌تر

۹- در شکل زیر اگر  $\cos \phi = 0.5$  باشد مقدار Z چند

اهم است؟

ب)  $3300 \text{ nF}$

د)  $33 \text{ Pf}$

الف)  $333 \text{ PF}$

ج)  $33 \text{ nF}$



الف) برای اتصال صحیح پایه‌های خازن به مدار

ب) برای مشخص کردن بار ذخیره شده در خازن

ج) به منظور تعیین میزان بارهای مثبت و منفی

د) برای اندازه‌گیری مقدار ولتاژ

۳- ظرفیت خازن مقابل چه مقدار است؟

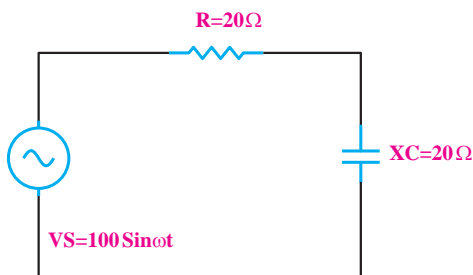
۱۴- در شکل زیر امپدانس مدار تقریباً چند اهم است؟

ب) ۴۰

الف) ۱۴

د) بی نهایت

ج) ۲۸

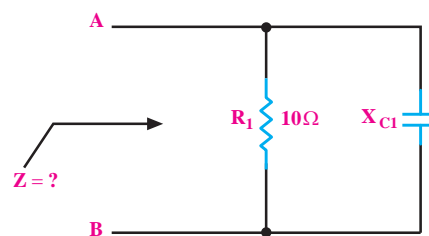


ب)  $\sqrt{10}$

الف) ۱۰

د)  $\sqrt{5}$

ج) ۵



۱۰- به حداکثر میزان تغییر ظرفیت خازن به ازای تغییر

یک درجه حرارت تفرانس می گویند.

☐ غلط

☐ صحیح

۱۱- مقدار ظرفیت خازن معادل n خازن مساوی که به

طور سری قرار گیرند از رابطه ی ..... قابل محاسبه است.

الف)  $C_T = \frac{C}{n}$       ب)  $C_T = nc$

۱۲- در مدار RC موازی جریان موثر کل مدار از ولتاژ

کل مدار ..... است.

☐ عقب تر

☐ جلوتر

۱۳- پاسخ های صحیح ستون سمت چپ را به ستون سمت

راست اتصال دهید.

● عامل مشترک جریان      RC سری

● عامل مشترک ولتاژ

$\cos \phi = \frac{R}{Z}$       ●

$\cos \phi = \frac{Z}{R}$       ●

$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$       ●

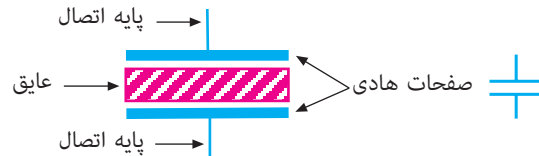
$I = \sqrt{I_R^2 + I_c^2}$       ●

RC موازی

## ۷-۱ ساختمان داخلی خازن

ساختمان داخلی خازن از دو صفحه‌ی هادی که بین آن‌ها عایق قرار دارد تشکیل می‌شود.

به صفحات هادی، جوشن نیز گفته می‌شود. در شکل ۷-۱، علامت قرار دادی و ساختمان داخلی خازن در حالت کلی نشان داده شده است.



الف) علامت قراردادی خازن      ب) ساختمان داخلی خازن

شکل ۷-۱ ساختمان داخلی و علامت قرار دادی خازن

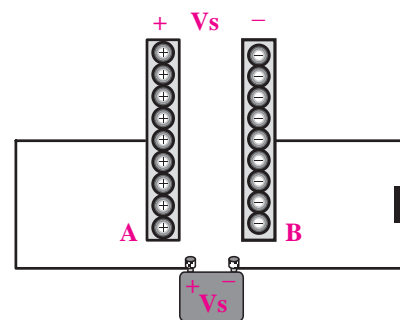
همان‌طور که از شکل ۷-۱ مشاهده می‌شود خازن از دو قسمت اصلی تشکیل شده است.

### الف- صفحات هادی

### ب- ماده‌ی عایق (دی الکتریک)

## ۷-۲ مفهوم ظرفیت

در صورتی که مانند شکل ۷-۲ صفحات یک خازن را به ولتاژ اتصال دهیم، در صفحات خازن بار الکتریکی ذخیره می‌شود. این شرایط تا زمانی که خازن خالی نشود باقی می‌ماند. به همین دلیل در مدارهای الکتریکی از خازن به منظور ذخیره‌ی انرژی الکتریکی استفاده می‌شود.



شکل ۷-۲ ذخیره‌ی بار الکتریکی خازن

با ذخیره شدن بارهای الکتریکی در خازن، اختلاف پتانسیل به وجود می‌آید. نسبت بین بارهای الکتریکی ذخیره شده در خازن به اختلاف پتانسیل ایجاد شده در دو سر آن را **ظرفیت خازن** می‌نامند و آن را با حرف C نشان می‌دهند. واحد اندازه‌گیری ظرفیت **فاراد** است. رابطه‌ی ظرفیت خازن با ولتاژ و مقدار بار به صورت زیر است.

$$C = \frac{Q}{V}$$

در این رابطه مقادیر C، Q و V به شرح زیر است:

C = ظرفیت خازن بر حسب فاراد

Q = بار الکتریکی ذخیره شده در خازن بر حسب کولمب (کولن)

V = ولتاژ دو سر خازن بر حسب ولت

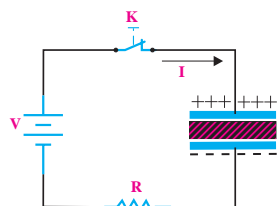
یک فاراد ظرفیت نسبتاً بزرگی است و در عمل معمولاً از واحدهای خیلی کوچک‌تر از فاراد مانند میکرو فاراد، نانو فاراد و پیکو فاراد استفاده می‌شود.

جدول ۷-۱ واحدهای کوچک‌تر خازن و ضرایب آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۷-۱ واحدهای ظرفیت خازن

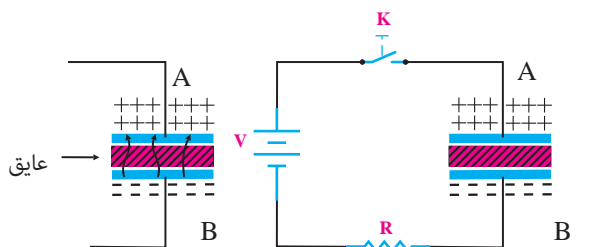
واحد	حرف اختصاری	ضریب	چگونگی تبدیل
فاراد	F	واحد اصلی	برای تبدیل واحد بیشتر به واحد کمتر، عدد در ۱۰۰۰ ضرب می‌شود.
میلی فاراد	mF	$10^{-3} F$	
میکرو فاراد	$\mu F$	$10^{-6} F$	
نانو فاراد	nF	$10^{-9} F$	
پیکوفاراد	pF	$10^{-12} F$	

بستگی به ظرفیت خازن و ولتاژ منبع دارد. همان طور که در شکل ۷-۳ ملاحظه می شود، زمانی که کلید بسته می شود، در اثر عبور جریان، ذخیره ی بارهای الکتریکی در صفحات خازن شروع می شود. با تداوم ذخیره ی بار الکتریکی در خازن ولتاژ بین صفحات خازن شروع به افزایش و جریان مدار شروع به کاهش می کند، این روند ادامه می یابد تا ولتاژ دو سر خازن برابر با ولتاژ منبع و جریان مدار صفر می شود. در این حالت می گویند خازن به طور کامل شارژ شده است.



شکل ۷-۳ نحوه ی شارژ خازن

همان طور که در شکل ۷-۴ می بینید اگر خازن از منبع جدا شود تا مدتی در دو سر آن ولتاژ وجود دارد یعنی انرژی ذخیره شده را در خود نگه می دارد. از طرفی چون مقاومت عایق خازن بی نهایت نیست (عایق مطلق نیست)، به مرور زمان الکترون ها از طریق عایق از صفحه ی B به طرف صفحه ی A حرکت می کنند و خازن را تخلیه می نمایند. بدیهی است اگر خاصیت عایقی خازن، مطلق باشد خازن برای همیشه انرژی ذخیره شده را در خود حفظ می کند.



(ب) عایق غیر مطلق

(الف) شارژ کامل خازن

شکل ۷-۴ شارژ کامل خازن

میزان توانایی یک خازن در ذخیره بار الکتریکی را « ظرفیت خازن » می گویند.

### توجه

در صورتی که بخواهیم واحد کوچکتر را به واحد بزرگتر تبدیل کنیم باید مقدار ظرفیت را بر ضرایب فوق تقسیم کنیم.



**مثال ۱:** ظرفیت خازنی ۱۰۰ نانوفاراد است. مقدار ظرفیت

را بر حسب فاراد به دست آورید.

$$C = 100 \text{ nF}$$

$$C = 100 \div 10^9 = 10^{-7} \text{ F}$$

$$C = 10^{-7} \text{ F}$$

**مثال ۲:** در یک خازن ۳۳ میکرو کولمب بار الکتریکی

ذخیره شده است. اگر ولتاژ دو سر خازن ۱۰V باشد ظرفیت آن چند میکروفاراد است؟

حل :

$$Q = 33 \text{ میکرو کولمب} = 33 \times 10^{-6} = 0.000033$$

$$Q = C.V$$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{0.000033}{10} = 0.0000033 \text{ F}$$

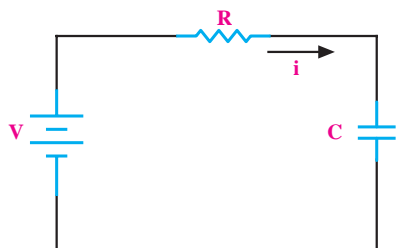
$$C = 0.0000033 \times 1000000 = 3.3 \mu\text{F}$$

$$C = 3.3 \mu\text{F}$$

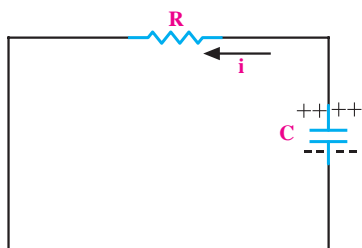
### ۷-۳ شارژ و دشارژ خازن در جریان مستقیم

وقتی یک خازن را به ولتاژ DC وصل کنیم خازن شارژ می شود. در هنگام شارژ، انرژی الکتریکی از منبع به خازن انتقال می یابد و در آن ذخیره می شود. مقدار این انرژی

طول می کشد تا خازن شارژ خود را از دست بدهد. این زمان را اصطلاحاً ثابت زمانی مدار RC می نامند که بستگی به مقدار R و C دارد.



الف) مدار شارژ خازن



ب) مدار د شارژ خازن

شکل ۷-۶ مدار شارژ و دشارژ خازن

مقدار ثابت زمانی از حاصل ضرب R در C به دست می آید و آن را با حرف  $\tau$  (تاو) نشان می دهند یعنی

$$\tau = RC$$

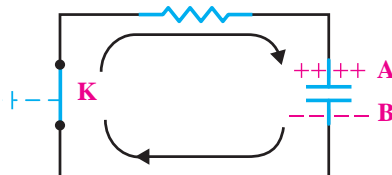
$\tau$  = ثابت زمانی بر حسب ثانیه

$R$  = مقاومت اهمی سری شده با خازن

$C$  = ظرفیت خازن بر حسب فاراد

رابطه ی شارژ خازن در مدار شکل ۷-۶ الف، یک رابطه ی خطی نیست، بلکه به صورت نمایی (جهشی) است. خازن موجود در مدار شکل ۷-۶ الف تقریباً بعد از ۵ ثابت زمانی به طور کامل شارژ می شود. (بیش از ۹۹/۳٪) شکل ۷-۷ الف منحنی شارژ خازن را نشان می دهد. به ازای هر ثابت زمانی، خازن به اندازه ی درصد معینی شارژ می شود که

برای تخلیه ی بار الکتریکی صفحات خازن ابتدا خازن را از منبع تغذیه جدا می کنیم، سپس دو صفحه ی A و B خازن را از طریق یک مقاومت به یکدیگر اتصال می دهیم.



شکل ۷-۵ مسیر تخلیه ی بار الکتریکی (دشارژ) خازن

#### ۷-۴ انرژی ذخیره شده در خازن

وقتی خازن را به طور مستقیم به یک منبع ولتاژ DC (مثلاً باتری) وصل کنیم بلافاصله انرژی الکتریکی از منبع به خازن انتقال می یابد و در آن ذخیره می شود. مقدار این انرژی بستگی به ظرفیت خازن و ولتاژ منبع دارد.

اگر بار الکتریکی ذخیره شده بر روی صفحات خازن معادل Q و اختلاف پتانسیل بین دو صفحه V باشد انرژی ذخیره شده در خازن از روابط زیر به دست می آید:

$$\begin{cases} W = \frac{1}{2} Q \cdot V \\ Q = CV \end{cases} \Rightarrow W = \frac{1}{2} CV^2$$

#### ۷-۵ ثابت زمانی

اگر طبق شکل ۷-۶ مداری شامل یک مقاومت اهمی و یک خازن را که به صورت سری بسته شده اند به یک منبع ولتاژ DC وصل می کنیم، خازن فوراً شارژ (پُر) نمی شود بلکه مدتی طول می کشد تا به شارژ کامل برسد. زمان شارژ بستگی به مقدار R و C دارد. همچنین اگر پایه های یک خازن شارژ شده را به وسیله ی یک مقاومت اهمی به یکدیگر اتصال دهیم خازن به یک باره دشارژ (خالی) نمی شود، بلکه مدت زمانی

## ۶-۷ آزمایش شماری (۱)

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

### ۱-۶-۷ هدف آزمایش

اندازه گیری مقدار ثابت زمانی شارژ و دشارژ خازن در مدار RC سری

### ۲-۶-۷ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	کرونومتر	یک دستگاه
۲	ولت متر DC	یک دستگاه
۳	منبع تغذیه ۰-۱۵ V	یک دستگاه
۴	مقاومت $1M\Omega$ و $10\Omega$	از هر کدام یک عدد
۵	خازن $10\mu F-25V$	یک عدد
۶	سیم دو سر گیره دار ۴۰ cm	چهار رشته
۷	سیم یک سر گیره دار ۴۰ cm	چهار رشته
۸	سیم بدون گیره (معمولی) ۴۰ cm	چهار رشته
۹	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

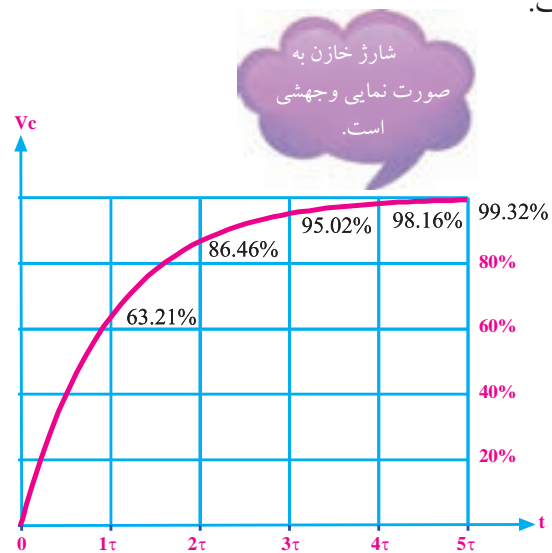
### توجه

خازن مورد استفاده در این آزمایش از نوع الکترولیتی می باشد. هنگام کاربرد این خازن حتما باید قطب مثبت ولتاژ به قطب مثبت خازن و قطب منفی منبع ولتاژ به قطب منفی خازن وصل شود. در غیر این صورت خازن به سرعت آسیب می بیند.

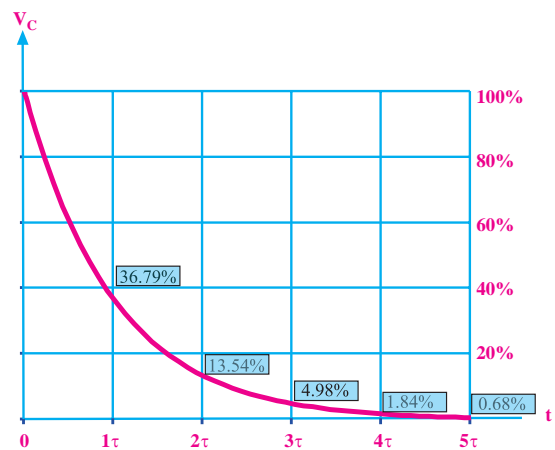


مقدار آن روی منحنی مشخص شده است. شکل ۷-۷-ب-  
منحنی دشارژ خازن را نشان می دهد. در ثابت زمانی اول، ولتاژ دو سر خازن ۶۳/۲۱٪ کم می شود. کاهش ولتاژ در ثابت زمانی دوم به ۸۶/۴۶٪، در ثابت زمانی سوم به ۹۵/۰۲٪ و در ثابت زمانی چهارم به ۹۸/۱۶٪ و بالاخره در ثابت زمانی پنجم به ۹۹/۳۲٪ می رسد.

در این حالت می گوئیم خازن کاملاً تخلیه شده است. درصدهای مربوط به شارژ خازن نیز کاملاً مشابه دشارژ آن است.



الف- منحنی شارژ خازن



ب- منحنی دشارژ خازن

شکل ۷-۷-منحنی های شارژ و دشارژ خازن



### ۳-۶-۷ مراحل اجرای آزمایش

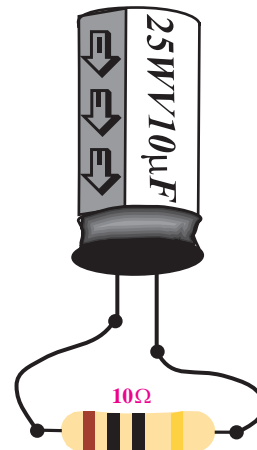
#### الف- اندازه‌گیری ثابت زمانی مدار RC سری (در حالت شارژ)

■ وسایل مورد نیاز را آماده کنید.

■ دو سر خازن را از طریق یک مقاومت کم اهم برای

یک لحظه اتصال کوتاه کنید تا اگر قبلاً در آن ولتاژی وجود

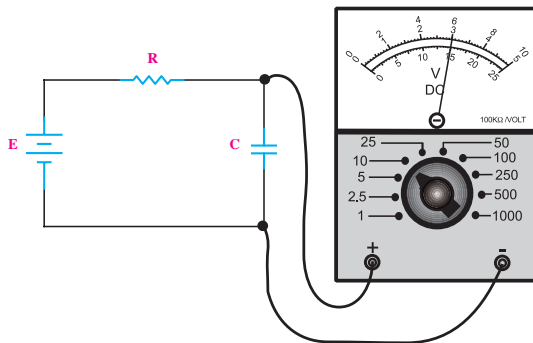
داشته باشد (شارژ شده باشد) کاملاً تخلیه شود، شکل ۷-۸.



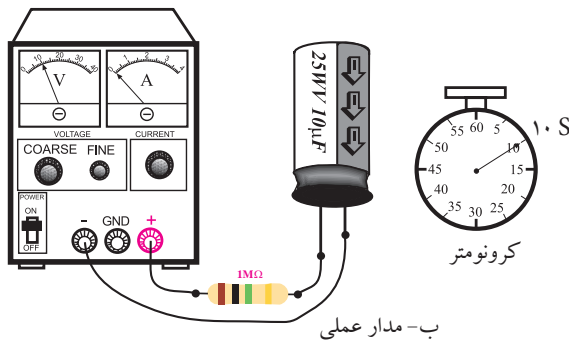
شکل ۷-۸ نحوه‌ی تخلیه‌ی خازن

#### توجه

در شکل ۷-۹ نقشه‌ی فنی مدار را ملاحظه می‌کنید. در این لحظه منبع تغذیه را به مدار متصل نکنید.



الف- نقشه‌ی فنی مدار



ب- مدار عملی

شکل ۷-۹

■ ثابت زمانی شارژ خازن را از رابطه‌ی زیر محاسبه

و مقدار آن را یادداشت کنید.

$$\tau = RC = 1M\Omega \times 10\mu F = 10S$$

■ منبع تغذیه را قبل از اتصال به مدار روی ۱۰ ولت تنظیم

کنید و رنج کلید ولت‌متر را نیز روی ۱۰V قرار دهید.

■ کروномتر را آماده کنید.

■ منبع تغذیه را در حالی که خاموش است به مدار وصل

#### توجه

قبل از استفاده از خازن جهت

تخلیه‌ی آن، چند لحظه

دوپایه‌ی آن را به کمک یک

مقاومت  $10\Omega$  به هم اتصال

کوتاه کنید.



علامت WV نشان دهنده‌ی ولتاژ کار خازن (Working

Voltage) است.

■ مدار شکل ۷-۹ را ببندید.

کنید.

■ منبع تغذیه را دقیقاً روی ۱۰ ولت تنظیم کنید و آن را

خاموش نمایید.

■ کرونومتر را صفر کنید. مدار را به منبع تغذیه وصل

کنید. به طور همزمان منبع تغذیه و کرونومتر را فعال کنید.

■ بعد از ۲۰ ثانیه (دو ثابت زمانی) بلافاصله منبع تغذیه

را خاموش کنید.

■ خازن را از مدار جدا کنید و ولتاژ دو سر آن را با

ولت‌متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$T_p = 20\text{S} \quad V_c = \dots\dots\dots \text{V}$$

■ مراحل فوق را برای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ ثانیه تکرار کنید.

هر بار پس از اندازه‌گیری ولتاژ دو سر خازن، خازن را دشارژ

کنید.

مقادیر اندازه‌گیری شده را یادداشت کنید.

$$T_p = 30\text{S} \quad V_c = \dots\dots\dots \text{V}$$

$$T_p = 40\text{S} \quad V_c = \dots\dots\dots \text{V}$$

$$T_p = 50\text{S} \quad V_c = \dots\dots\dots \text{V}$$

**سؤال ۱:** آیا مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیری که قبلاً

به صورت تئوری خوانده‌اید تطبیق دارد؟ توضیح دهید.



■ هم‌زمان با روشن کردن منبع تغذیه، کرونومتر را فعال

کنید تا زمان شارژ اندازه‌گیری شود.

■ به محض اینکه کرونومتر ۱۰ ثانیه (یک ثابت زمانی)

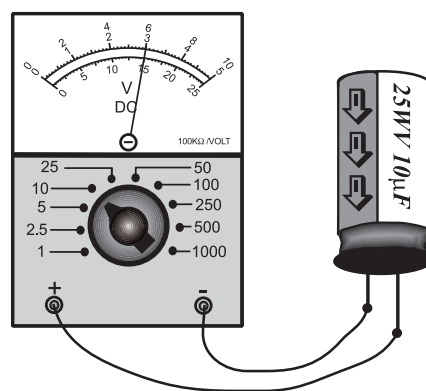
را نشان داد، بلافاصله منبع تغذیه را خاموش کنید و خازن را

از مدار جدا نمایید.

■ مطابق شکل ۷-۱۰ ولتاژ دو سر خازن را با ولت‌متر

اندازه‌گیری و یادداشت کنید.

$$T_p = 10\text{S} \quad V_c = \dots\dots\dots \text{V}$$



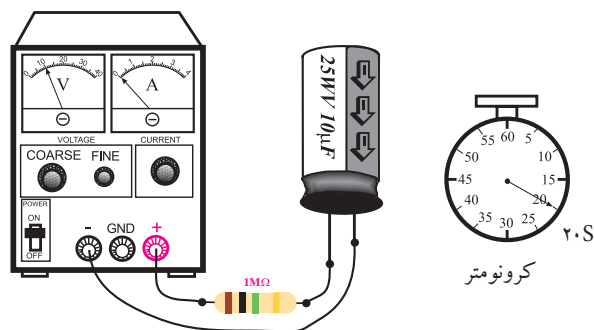
شکل ۷-۱۰ اندازه‌گیری ولتاژ خازن

■ دوباره دو سر خازن را برای یک لحظه به کمک یک

مقاومت  $10\Omega$  اتصال کوتاه کنید تا کاملاً دشارژ شود.

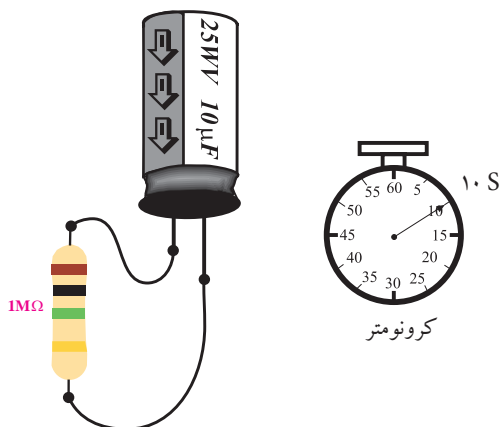
■ مدار شکل ۷-۱۱ را دوباره با خازن کاملاً دشارژ شده

ببندید.



شکل ۷-۱۱ مدار آزمایش

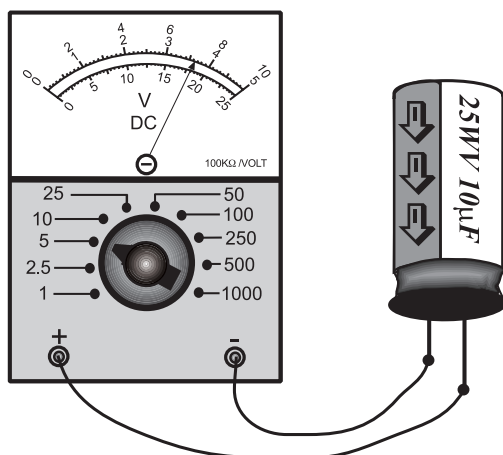
- منبع تغذیه را روشن کنید. کمی صبر نمایید سپس آن را خاموش کنید و خازن را از منبع تغذیه جدا کنید.
- کرونومتر را صفر کنید و آماده نگه دارید.
- با استفاده از خازن شارژ شده در مرحله قبل مدار شکل ۷-۱۳ را ببندید. به محض اتصال، کرونومتر را فعال کنید تا زمان را محاسبه کند.



شکل ۷-۱۳ دشارژ خازن

- پس از ۱۰ ثانیه مقاومت را از خازن جدا کنید.
- ولتاژ دو سر خازن را مطابق شکل ۷-۱۴ با ولت‌متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

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



شکل ۷-۱۴ اندازه‌گیری ولتاژ خازن

### نکته مهم:



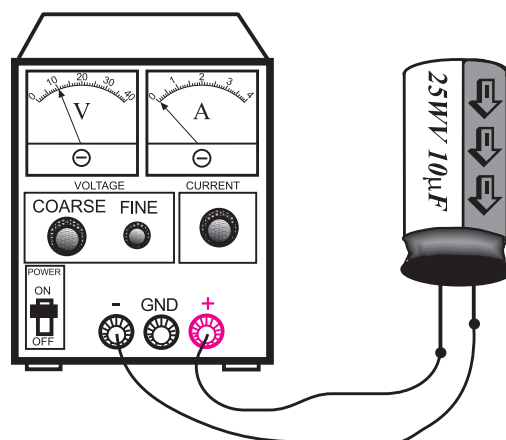
معمولاً مقدار اندازه‌گیری شده با مقدار محاسبه شده قدری تفاوت دارد که مربوط به خطاهای ناشی از اندازه‌گیری است. ولی در هر صورت باید نتایج تقریبی قابل قبولی به دست آید. در صورت نیاز آزمایش را تکرار کنید.

### ب- اندازه‌گیری ثابت زمانی مدار RC سری در حالت دشارژ

- ابتدا وسایل مورد نیاز را آماده کنید.
- منبع تغذیه را روی ۱۰ ولت تنظیم کنید و آن را خاموش نمایید.
- خازن را مطابق شکل ۷-۱۲ به منبع تغذیه وصل کنید.

### توجه

در هنگام وصل خازن به منبع تغذیه حتماً قطب مثبت خازن را به قطب مثبت منبع تغذیه و قطب منفی آن را به قطب منفی منبع تغذیه وصل کنید



شکل ۷-۱۲ شارژ خازن

در صورتی که نتوانستید به پرسش فوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت‌های قبل مراجعه کنید و مطالب را مجدداً مرور نمایید.

### توجه

ممکن است مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر روی منحنی کمی تفاوت داشته باشند. این تفاوت به دلیل خطاهای ناشی از اندازه‌گیری است. در هر صورت باید نتایج تقریبی قابل قبولی به دست آید.



#### ۴-۶-۷ نتایج آزمایش:

نتایج حاصل از آزمایش‌های الف و ب را در چند جمله بیان کنید.

الف

ب

#### ۷-۷ عوامل مؤثر در ظرفیت خازن

ظرفیت خازن به عوامل فیزیکی زیر بستگی دارد.

الف- سطح صفحات خازن (A)

ب- فاصله‌ی بین صفحات خازن (d)

ج- ماده‌ی عایق یا دی‌الکتریک (K)

ظرفیت خازن خاصیتی است که از مشخصات فیزیکی

■ منبع تغذیه را دوباره روی ۱۰ ولت تنظیم کنید.

■ خازن را با رعایت قطب مثبت و منفی مانند شکل

۷-۱۲ به منبع تغذیه وصل کنید و صبر کنید تا به طور کامل (۱۰V) شارژ (پر) شود.

■ خازن را از منبع تغذیه جدا کنید و کرونومتر را صفر و آماده نمایید.

■ مقاومت  $1M\Omega$  را با خازن مانند شکل ۷-۱۳ موازی کنید و به‌طور همزمان کرونومتر را فعال کنید تا زمان را محاسبه کند.

■ پس از ۲۰ ثانیه (دو ثابت زمانی) خازن را از مدار جدا کنید و ولتاژ دو سر آن را مانند شکل ۷-۱۴ اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$T_p = 20S \quad V_C = \dots\dots\dots V$$

■ اندازه‌گیری‌های فوق را برای زمان‌های ۳۰، ۴۰ و ۵۰

ثانیه تکرار کنید و مقادیر را یادداشت نمایید.

$$T_p = 30S \quad V_C = \dots\dots\dots V$$

$$T_p = 40S \quad V_C = \dots\dots\dots V$$

$$T_p = 50S \quad V_C = \dots\dots\dots V$$

سؤال ۲: آیا کاهش مقدار ولتاژ دو سر خازن (دشارژ)

با مقادیر موجود در منحنی دشارژ که قبلاً به صورت تئوری خوانده‌اید انطباق دارد؟ توضیح دهید.



خازن تبعیت می کند. بدین معنی که ظرفیت خازن با سطح صفحات خازن نسبت مستقیم و با فاصله بین دو صفحه نسبت عکس دارد. هم چنین جنس عایق بین صفحات خازن نیز در مقدار ظرفیت آن مؤثر است. رابطه ی زیر اثر عوامل فیزیکی روی ظرفیت خازن را نشان می دهد.

$$C = K \frac{A}{d}$$

سطح صفحات خازن  
فاصله بین دو صفحه  
ضریب مرتبط با جنس عایق بین صفحات



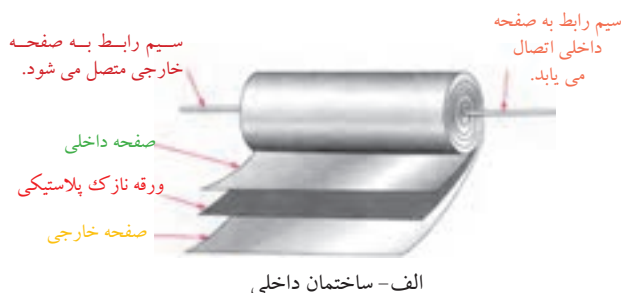
شکل ۷-۱۵ شکل ظاهری چند نمونه خازن

در ادامه به بررسی و تشریح چند نمونه خازن می پردازیم.

### الف- خازن کاغذی

عایق این نوع خازن از کاغذ است. کاغذ به عنوان عایق بین دو هادی که معمولاً از جنس آلومینیوم است قرار می گیرد و مانند شکل ۷-۱۶-الف مجموعه را به صورت لوله می پیچند.

در شکل ۷-۱۶-ب شکل ظاهری خازن کاغذی نشان داده شده است.



ب- شکل ظاهری

شکل ۷-۱۶ خازن کاغذی

با توجه به رابطه ی بالا، هر قدر سطح صفحات بزرگ تر و فاصله ی بین دو صفحه کم تر باشد، ظرفیت خازن بیشتر است و می تواند انرژی بیش تری را در خود ذخیره کند. هم چنین جنس عایق نیز در میزان شارژ خازن دخالت دارد.

### ۷-۸ انواع خازن ها

با توجه به موارد کاربرد، خازن ها را با شکل های فیزیکی متنوع، ظرفیت ها و مشخصات مختلف می سازند که در ادامه به بعضی از آن ها اشاره می کنیم.

به طور کلی خازن ها را به دو دسته ی کلی تقسیم می کنند.

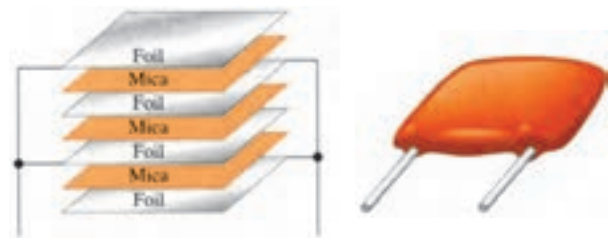
- خازن های ثابت
- خازن های متغیر

#### ۷-۸-۱ خازن های ثابت

ظرفیت این خازن ها ثابت است و نمی توان مقدار آن ها را تغییر داد. این نوع خازن ها بر اساس جنس ماده ی دی الکتریک

## ب- خازن میکا (Mica)

میکا یک نوع ماده‌ی معدنی است که در زمین به مقدار زیاد یافت می‌شود. در خازن با عایق میکا، از ورقه‌های نازک "میکا" به عنوان عایق و از ورقه‌های نازک "روی" به عنوان جوشن استفاده می‌کنند. این خازن بسیار دقیق است و کم‌تر تحت تأثیر حرارت قرار می‌گیرد لذا از آن در ساختن مدارهای دقیق استفاده می‌کنند. شکل ۷-۱۷ ساختمان داخلی و شکل ظاهری خازن میکا را نشان می‌دهد.

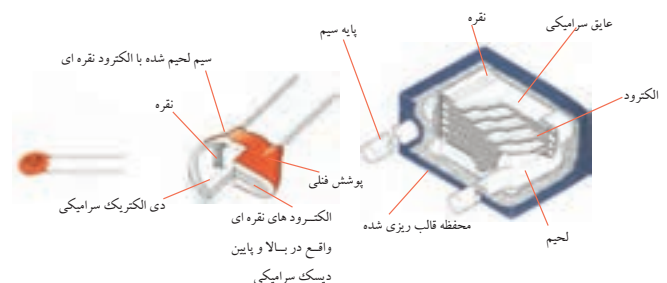


الف) شکل ظاهری خازن میکا ب) ساختمان داخلی خازن میکا

شکل ۷-۱۷ خازن میکا

## ج- خازن سرامیکی

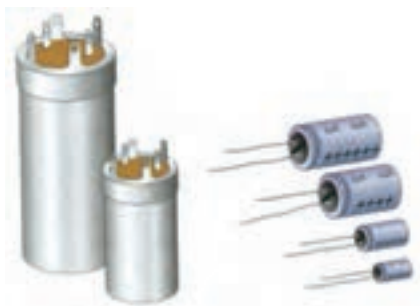
در خازن سرامیکی مطابق شکل ۷-۱۸، از یک قرص سرامیک به عنوان ماده‌ی عایق استفاده شده است. شکل ظاهری این خازن‌ها گرد و کوچک است. به همین جهت به آن خازن عدسی نیز می‌گویند. ظرفیت این خازن‌ها بسیار کم و در حدود  $nF$  (نانو فاراد) است. شکل ۷-۱۸ شکل ظاهری و ساختمان داخلی ۲ نمونه خازن سرامیکی را نشان می‌دهد.



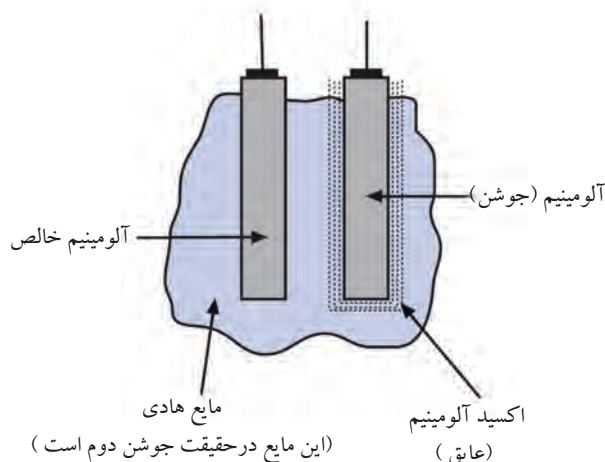
شکل ۷-۱۸ خازن سرامیکی

## د- خازن‌های الکترولیتی

خازن‌های الکترولیتی به خاطر ساختمان مخصوصی که دارند، دارای ظرفیت زیادی هستند. یکی از جوشن‌های این خازن صفحه‌ی نازکی از آلومینیوم است که بر روی آن قشر بسیار نازکی از اکسید آلومینیوم قرار می‌گیرد. جوشن دیگر این خازن یک صفحه‌ی آلومینیوم خالص است که همراه با مایع هادی اطراف دو جوشن، تشکیل جوشن دوم را می‌دهند. شکل ۷-۱۹ شکل ظاهری و ساختمان داخلی این خازن را نشان می‌دهد.



الف) شکل ظاهری خازن الکترولیتی



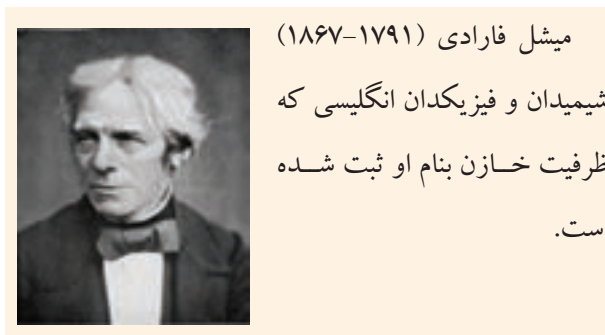
ب) ساختمان داخلی خازن الکتریکی

شکل ۷-۱۹ خازن الکترولیتی

ظرفیت خازن الکترولیتی شدیداً تابع حرارت است و عموماً با زیاد شدن درجه‌ی حرارت ظرفیت آن زیاد می‌شود. عمر این خازن نسبتاً کوتاه است، زیرا پس از گذشت



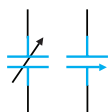
شکل ۷-۲۱ خازن تانتالیوم



## ۷-۸-۲ خازن‌های متغیر

خازن‌های متغیر به خازن‌هایی گفته می‌شود که دارای ظرفیت ثابت نیستند. در این نوع خازن‌ها عایق بین دو هادی هوا است. شکل ۷-۲۲ نمونه‌ای از خازن با عایق هوا را نشان می‌دهد. این خازن از نوع ظرفیت متغیر است. ساختن ظرفیت‌های خیلی بالا از این نوع خازن غیر ممکن است. از این نوع خازن بیشتر به عنوان خازن متغیر در فرکانس‌های بالا و در گیرنده‌های رادیویی استفاده می‌شود. در خازن‌های متغیر با تغییر سطح موثر بین صفحات (A) می‌توان مقدار ظرفیت خازن را تغییر داد.

صفحات متغیر



ب) علامت قرار دادی خازن متغیر

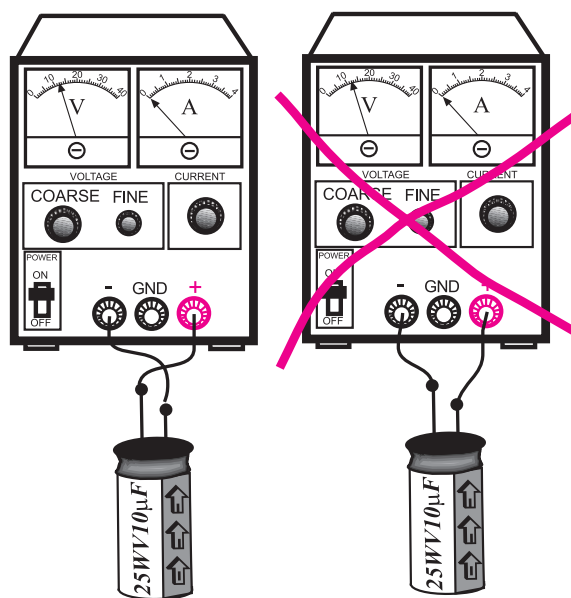


الف) شکل ظاهری خازن متغیر

شکل ۷-۲۲ خازن متغیر

چندین سال، مایع الکترولیت آن خشک شده و ظرفیت آن کاهش می‌یابد. یکی از علل ایجاد عیب در دستگاه الکترونیکی تغییر ظرفیت این خازن در طی زمان می‌باشد.

کاربرد عمده‌ی این خازن در محل‌هایی است که ظرفیت زیاد و حجم کم مطرح باشد. این خازن‌ها را «خازن‌های قطب‌بندی» شده نیز می‌نامند. همانند شکل ۷-۲۰ هنگام کاربرد این خازن حتماً باید قطب مثبت منبع ولتاژ به قطب مثبت خازن و قطب منفی منبع ولتاژ به قطب منفی خازن وصل شود در غیر این صورت خازن به سرعت معیوب می‌شود.



ب- اتصال صحیح خازن

به منبع ولتاژ DC

الف- اتصال غلط خازن

به منبع ولتاژ DC

شکل ۷-۲۰ اتصال خازن به منبع ولتاژ DC

در نوع دیگری از خازن الکترولیتی به جای آلومینیوم از فلز تانتالیوم استفاده می‌شود. زیاد بودن ثابت دی‌الکتریک اکسید تانتالیوم نسبت به اکسید آلومینیوم سبب می‌شود خازن‌های تانتالیومی نسبت به نوع آلومینیومی در حجم مساوی دارای ظرفیت بیش‌تری باشند. شکل ۷-۲۱ ساختمان داخلی خازن

تانتالیوم را نشان می‌دهد.



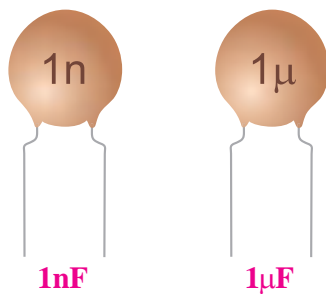
شکل ۷-۲۵ خازن غیر قطبی و ظرفیت آن ۰/۱ میکروفاراد و ولتاژ کار آن ۱۰۰ ولت است.



شکل ۷-۲۵ مشخصات روی خازن

## ۷-۹ تشخیص مقدار ظرفیت از روی رمز عددی

در بعضی موارد مقدار عدد مربوط به ظرفیت خازن و واحد آن عیناً بر روی بدنه‌ی خازن نوشته می‌شود. در این شرایط هیچ ابهامی برای خواندن مقدار ظرفیت وجود ندارد. در شکل ۷-۲۶ دو نمونه خازن نشان داده شده است.



شکل ۷-۲۶ دو نمونه خازن

در بسیاری از موارد، واحد ظرفیت بر روی بدنه‌ی خازن نوشته نمی‌شود. در این صورت چنانچه عدد مزبور کوچک‌تر از یک باشد ظرفیت خازن بر حسب میکروفاراد و چنانچه عدد نوشته شده بر روی خازن بزرگتر از یک باشد، ظرفیت بر حسب پیکوفاراد است.

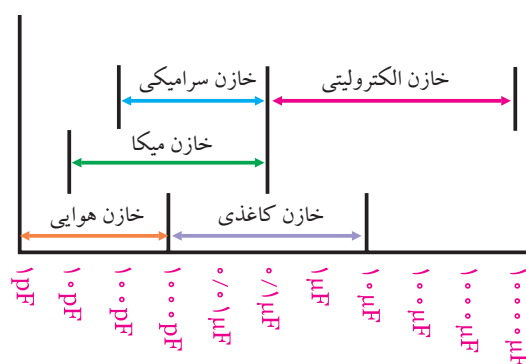
در شکل ۷-۲۷ چند نمونه خازن نشان داده شده است.

این خازن‌ها در دو شکل «خازن واریابل» یا «تریمر» مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل ۷-۲۳ خازن‌های واریابل و تریمر را نشان می‌دهد. ظرفیت خازن واریابل با کمک دست یا با چرخاندن محور تغییر می‌کند، ولی ظرفیت خازن تریمر با چرخاندن پیچ آن به وسیله‌ی پیچ گوشتی تغییر می‌کند.



شکل ۷-۲۳ خازن‌های واریابل و تریمر

نمودار شکل ۷-۲۴ ظرفیت خازن‌های مختلف را به طور تقریبی نشان می‌دهد. برای مثال خازن‌های میکا را از ظرفیت ۱۰ PF الی ۰/۱ میکروفاراد می‌سازند و یا حداقل ظرفیت یک خازن الکتrolیتی ۰/۱ میکروفاراد است.



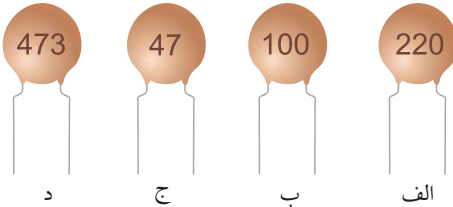
شکل ۷-۲۴ نمودار ظرفیت خازن‌های مختلف

معمولاً ظرفیت هر خازن و همچنین حداکثر ولتاژ مجاز آن را بر روی بدنه‌ی خازن می‌نویسند. اگر خازن قطبی باشد (مانند خازن‌های الکتrolیتی)، روی بدنه‌ی منتهی به پایه‌های خازن، قطب‌های ولتاژ (+ یا-) را نیز مشخص می‌کنند. در

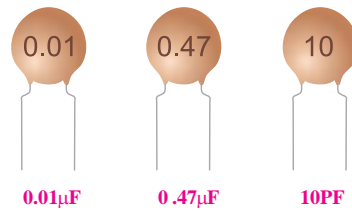


تمرین کلاسی ۱: ظرفیت خازن‌های شکل

۷-۲۹ را محاسبه کنید.



شکل ۷-۲۹



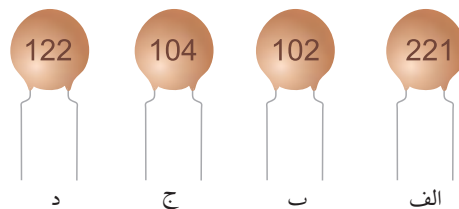
شکل ۷-۲۷ چند نمونه خازن

در حالتی که عدد ظرفیت بزرگتر از یک باشد، معمولاً عدد ظرفیت به صورت یک عدد سه رقمی مشخص می‌شود. این موضوع در مورد خازن‌های سرامیکی عدسی که دارای ظرفیت ۱۰۰PF به بالا هستند صدق می‌کند.

در عدد سه رقمی نوشته شده معمولاً دو عدد اول، نشان‌دهنده‌ی "رقم اول" و "رقم دوم" است و عدد سوم «ضریب» یعنی تعداد صفر را مشخص می‌کند. عدد به دست آمده‌ی نهایی، مقدار ظرفیت را بر حسب پیکوفاراد تعیین می‌کند.

**مثال ۳:** ظرفیت خازن‌های شکل ۷-۲۸ را محاسبه

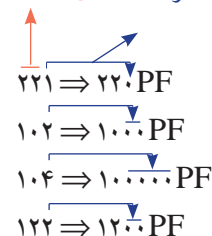
نمایید.



شکل ۷-۲۸

حل:

عدد سوم = تعداد صفرها    نشان دهنده دو عدد اول    دو رقم اول



## ۷-۱۰ مشخصات خازن

قبل از انتخاب یک خازن لازم است به مشخصه‌های مربوط به خازن توجه کنیم. پاره‌ای از مشخصه‌های خازن به شرح زیر است:

### ۷-۱۰-۱ ظرفیت خازن

ظرفیت خازن مقدار گنجایش بار الکتریکی در خازن را نشان می‌دهد. که در مباحث قبلی به آن اشاره شده است.

### ۷-۱۰-۲ تولرانس یا درصد خطا

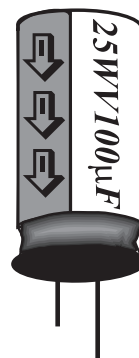
مقدار واقعی ظرفیت یک خازن در عمل با مقداری که توسط کارخانه‌ی سازنده قید می‌شود اختلاف دارد. این اختلاف را **تولرانس** یا درصد خطا می‌نامند و آن را بر حسب

درصد بیان می کنند.

### ۷-۱۰-۳ ولتاژ مجاز خازن

به حداکثر ولتاژی که می توان به یک خازن اعمال کرد به طوری که خازن بتواند آن ولتاژ را تحمل کند، ولتاژ مجاز خازن گفته می شود. ولتاژ مجاز خازن را ولتاژ کار نیز می نامند.

مثال ۴: در شکل ۷-۳۰ ولتاژ مجاز خازن چقدر است؟



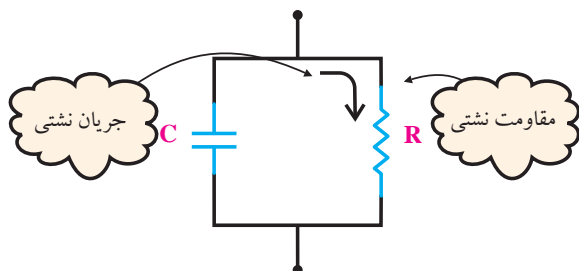
شکل ۷-۳۰ ولتاژ مجاز خازن

حل:

ولت ۲۵ = ولتاژ کار = ولتاژ مجاز

ولت ۲۵ = ولتاژ مجاز

نشستی در خازن می توان مانند شکل ۷-۳۱ مقاومتی را به نام مقاومت نشستی، به صورت موازی با خازن در نظر گرفت. در مورد خازن های کاغذی، میکا و سرامیک مقاومت نشستی خیلی زیاد بوده، در نتیجه جریان نشستی خیلی کم است.



شکل ۷-۳۱ خازن و مقاومت نشستی آن

### توجه

مقاومت نشستی به صورت یک مقاومت مستقل عملاً وجود ندارد. این مقاومت درون عایق خازن نهفته است. در این قسمت فقط برای توجیه پدیده ی نشستی خازن، مقاومت R را قرار داده ایم.



### ۷-۱۰-۶ تلفات در خازن

معمولاً یک خازن در زمان تخلیه، مقدار کل انرژی ذخیره شده در صفحات را پس نمی دهد.

برای توجیه این پدیده، مقاومتی را به صورت سری با خازن در نظر می گیریم. در حقیقت این مقاومت مانند مصرف کننده ای عمل می کند که مقداری از انرژی ذخیره شده در خازن را مصرف می کند. در شکل ۷-۳۲ مقاومت نشستی و مقاومت مربوط به تلفات خازن نشان داده شده است.

### ۷-۱۰-۴ ضریب حرارتی خازن

به حداکثر میزان تغییر ظرفیت خازن به ازای تغییر یک درجه حرارت ضریب حرارتی می گویند.

### ۷-۱۰-۵ نشت خازن

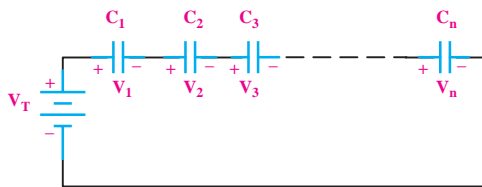
همه ی خازن ها دارای مقداری نشستی هستند. اگر یک خازن ایده آل را شارژ کنیم و از مدار جدا کنیم باید ولتاژ دو سر خازن برای همیشه حفظ شود، ولی در عمل خازن پس از مدتی ولتاژ خود را از دست می دهد. علت این پدیده ایده آل نبودن عایق بین صفحات خازن است. برای توجیه پدیده ی

## ۷-۱۱ به هم بستن خازن‌ها

اگر ظرفیت خازنی مورد نیاز باشد که ظرفیت آن در محدوده‌ی ظرفیت‌های استاندارد نباشد، می‌توان با متصل کردن چند خازن به صورت سری، موازی یا ترکیبی، خازن مورد نظر را به دست آورد.

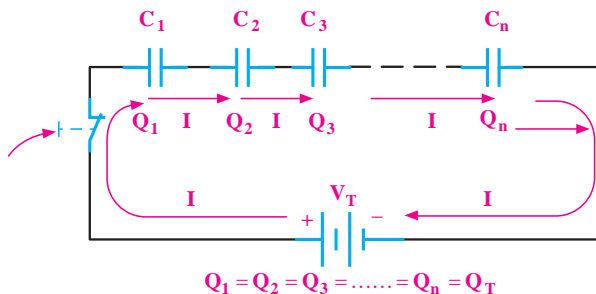
### ۷-۱۱-۱ اتصال سری خازن‌ها

هرگاه دو یا چند خازن به صورت متوالی اتصال یابند، یعنی انتهای اولی به ابتدای دومی و انتهای دومی به ابتدای سومی و این کار تا آخرین خازن ادامه یابد، این نوع اتصال را «سری» می‌گویند در شکل ۷-۳۴ اتصال سری  $n$  خازن به یک‌دیگر نشان داده شده است.

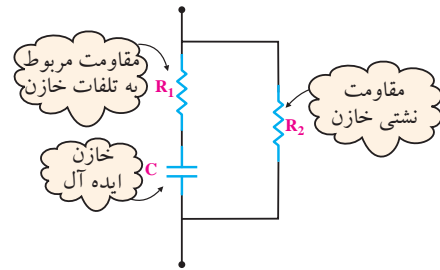


شکل ۷-۳۴ اتصال سری خازن‌ها

با توجه به اینکه مسیر عبور جریان در مدار سری یکسان است. لذا جریان عبوری یا به عبارت دیگر بار الکتریکی ذخیره شده ( $Q$ ) در همه‌ی خازن‌ها یکسان است. در شکل ۷-۳۵ مسیر عبور جریان در مدار سری خازن‌ها نشان داده شده است.



شکل ۷-۳۵ بار الکتریکی یکسان بر روی خازن‌ها در مدار سری

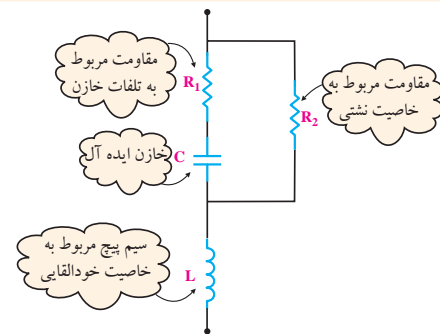


شکل ۷-۳۲ مقاومت‌های ناشی و تلفات خازن

### ۷-۱۰-۷ ضریب خودالقایی خازن

خازن‌های ورقه‌ای دارای مقداری خاصیت خود القایی هستند که در فرکانس‌های بالا می‌تواند مشکل آفرین باشد. برای توجیه این پدیده سیم پیچی با خازن سری می‌کنند، شکل ۷-۳۳.

لازم به توضیح است که سیم‌پیچ مورد نظر به طور مستقل در خازن وجود ندارد و فقط برای توجیه خاصیت خودالقایی در مدار قرار داده شده است.



شکل ۷-۳۳ خاصیت خود القایی در خازن

### توجه

مقاومت ناشی، مقاومت مربوط به تلفات خازن و سیم‌پیچ مربوط به خاصیت خود القایی عملاً به طور مستقل در خازن وجود ندارند و فقط برای توجیه مشخصات ذکر شده در مدار قرار داده شده است.



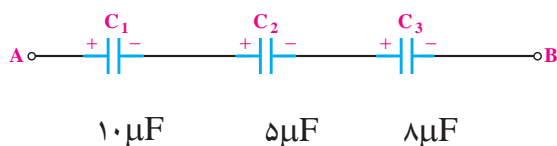
همان‌طور که از رابطه‌ی نهایی مشخص است، محاسبه ظرفیت خازن معادل در مدارهای سری مانند محاسبه رابطه‌ی مربوط به مقاومت‌های موازی است.

تذکر مهم:

مقدار ظرفیت خازن معادل در اتصال سری، از کوچکترین ظرفیت خازن در مدار کوچکتر است.

**مثال ۵:** در شکل ۳۷-۷ ظرفیت خازن معادل از دو نقطه‌ی

A و B چند میکرو فاراد است؟



شکل ۳۷-۷ محاسبه‌ی ظرفیت معادل

**حل:**

برای محاسبه‌ی ظرفیت خازن معادل به صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$\begin{aligned}\frac{1}{C_T} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \\ \frac{1}{C_T} &= \frac{1}{10} + \frac{1}{5} + \frac{1}{8} \Rightarrow \frac{1}{C_T} = \frac{4+8+5}{40} \\ \frac{1}{C_T} &= \frac{17}{40} \Rightarrow C_T = \frac{40}{17} = 2/35 \mu F \\ C_T &= 2/35 \mu F\end{aligned}$$

**۲-۱۱-۷ بررسی حالت‌های خاص در مدارهای سری خازنی**

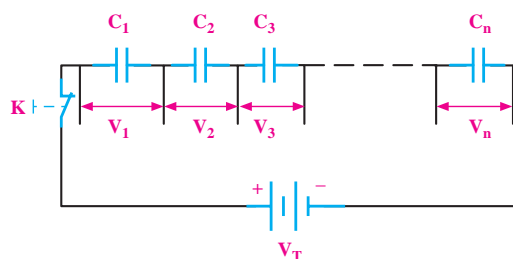
اگر  $n$  خازن مساوی به طور سری قرار گیرند ظرفیت خازن معادل از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

ظرفیت یک خازن

$$C_T = \frac{C}{n}$$

تعداد خازن‌ها

در مدار سری خازنی نیز مانند سری مقاومتی، ولتاژ منبع بین اجزای مدار تقسیم می‌شود. مقدار ولتاژ در دو سر هر خازن در مدار سری نسبت معکوس با مقدار ظرفیت خازن دارد،  $(V = \frac{Q}{C})$ . به عبارت دیگر، ولتاژ به نسبت عکس مقدار ظرفیت هر خازن بین خازن‌ها تقسیم می‌شود. یعنی هر قدر ظرفیت خازنی بیشتر باشد ولتاژ کمتری در دو سر آن افت خواهد کرد. در شکل ۳۶-۷ ولتاژ دو سر هر یک از خازن‌ها نشان داده شده است.



$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

شکل ۳۶-۷ افت ولتاژ دو سر هر یک از خازن‌ها در مدار سری

با استفاده از رابطه‌ی  $V = \frac{Q}{C}$  و در نظر گرفتن رابطه‌ی تقسیم ولتاژ بین خازن‌های سری می‌توانیم بنویسیم:

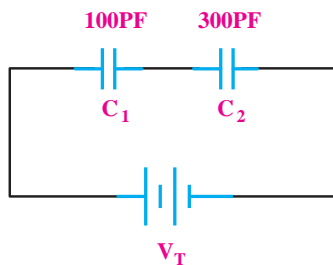
$$\begin{aligned}V_T &= V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \\ \frac{Q_T}{C_T} &= \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3} + \dots + \frac{Q_n}{C_n}\end{aligned}$$

چون در مدار سری  $Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n$  است می‌توان از فاکتور گرفت و آن را از طرفین تساوی حذف کرد. بنابراین در مدار سری ظرفیت خازن معادل بر اساس رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

**مثال ۷:** ظرفیت خازن معادل شکل ۷-۴۰ چند پیکوفاراد

است؟



شکل ۷-۴۰ ظرفیت خازن معادل

راه حل اول:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow \frac{1}{C_T} = \frac{1}{100} + \frac{1}{300} = \frac{3+1}{300} = \frac{4}{300}$$

$$C_T = 75 \text{ PF}$$

راه حل دوم:

با استفاده از رابطه‌ی ساده‌ی زیر می‌توانیم ظرفیت معادل

را محاسبه کنیم:

$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{100 \times 300}{100 + 300}$$

$$C_T = 75 \text{ PF}$$

### ۳-۱۱-۷ تقسیم ولتاژ خازنی

هرگاه دو خازن مانند شکل ۷-۴۱ به صورت سری قرار

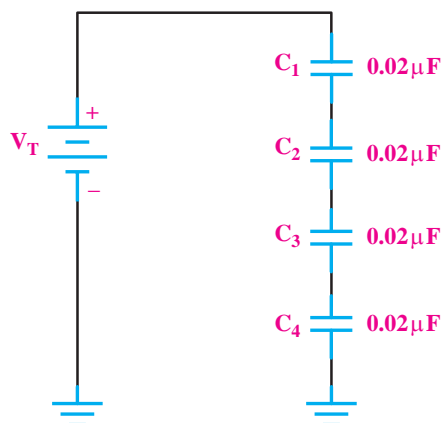
گیرد مقدار ولتاژ دو سر هر یک از خازن‌ها را می‌توانیم از روابط زیر محاسبه کنیم.

$$V_{C_1} = V \frac{C_2}{C_1 + C_2}$$

$$V_{C_2} = V \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

**مثال ۶:** ظرفیت خازن معادل در شکل ۷-۳۸ چند

میکروفاراد است؟



شکل ۷-۳۸ مثال

حل:

چون ظرفیت خازن‌ها مساوی است، می‌توانیم بنویسیم:

$$C_T = \frac{C}{n} = \frac{0.02 \mu F}{4} = 0.005 \mu F = 5 \text{ nF}$$

$$C_T = 5 \text{ nF}$$

اگر دو خازن مطابق شکل ۷-۳۹ به‌طور سری بسته‌شوند

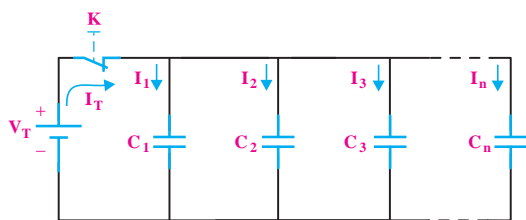
می‌توانیم از رابطه‌ی ساده‌ی زیر استفاده کنیم.



شکل ۷-۳۹ دو خازن سری

$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

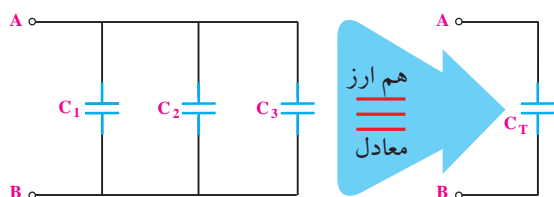
$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$



شکل ۷-۴۴ جریان در مدار موازی

#### ۷-۱۱-۵ ظرفیت خازن معادل مدار

خازنی را که می‌تواند جایگزین تمام خازن‌های موجود در مدار باشد، خازن معادل می‌گویند. در شکل ۷-۴۵ خازن معادل نشان داده شده است.



شکل ۷-۴۵ خازن معادل

مقدار ظرفیت خازن معادل از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

#### تحقیق کنید:

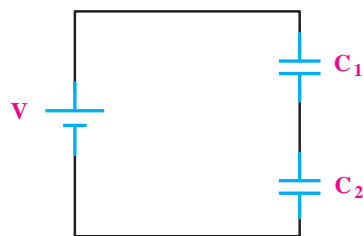
با توجه به روابط مربوط به خازن‌های موازی درستی رابطه‌ی  $C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$  را تحقیق کنید.

#### تذکر مهم: مقدار ظرفیت خازن معادل در مدار

موازی از ظرفیت هر یک از خازن‌های موجود در مدار بیشتر است.

**مثال ۸:** ظرفیت خازن معادل مدار شکل ۷-۴۶ چند

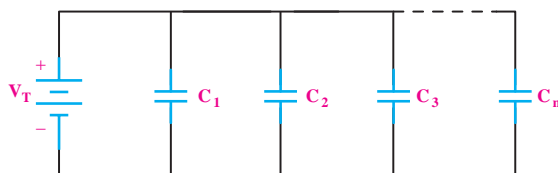
پیکوفاراد است؟



شکل ۷-۴۱ خازن‌های سری

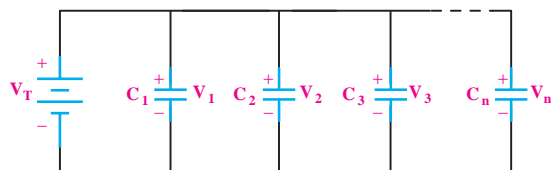
#### ۷-۱۱-۴ اتصال موازی خازن‌ها

هرگاه دو یا  $n$  خازن به صورت شکل ۷-۴۲ به یکدیگر وصل شوند، این اتصال را «موازی» می‌گویند. اتصال موازی خازن‌ها نیز مشابه اتصال موازی مقاومت‌ها است.



شکل ۷-۴۲ اتصال موازی خازن‌ها

همان‌گونه که در مدارهای مقاومتی موازی بیان شد و در شکل ۷-۴۳ نیز مشاهده می‌شود در مدارهای موازی ولتاژ در دو سر تمام عناصر مساوی است. بنابراین برای مدارهای خازنی موازی نیز می‌توانیم بنویسیم:



شکل ۷-۴۳ یکسان بودن ولتاژ در مدارهای موازی

$$V_T = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

در مدار موازی شکل ۷-۴۴ جریان یا به عبارت دیگر بار

الکتریکی  $Q$  به نسبت ظرفیت خازن‌ها در بین شاخه‌ها تقسیم می‌شود بنابراین رابطه‌ی زیر در مدار موازی خازن‌ها صدق خواهد کرد.

**حل:**

چون خازن‌ها موازی شده مساوی هستند از رابطه‌ی

$C_T = nC$  استفاده می‌کنیم:

$$C_T = nC = (6)(0.01 \mu F) = 0.06 \mu F$$

$$C_T = 0.06 \mu F$$

## ۷-۱۲ روش آزمایش سلامت خازن با اهم‌تر

**عقربه‌ای**

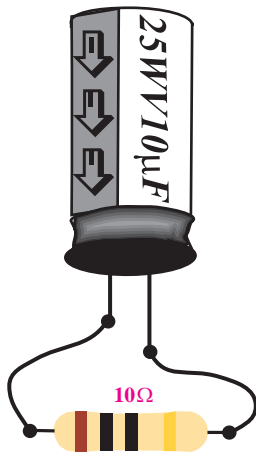
با استفاده از اهم‌تر عقربه‌ای تا حدودی می‌توان به سالم

یا معیوب بودن خازن پی برد. برای این کار مطابق شکل ۷-۴۹

ابتدا پایه‌های خازن را توسط مقاومت ۱۰ اهمی به هم اتصال

کوتاه کنید تا خازن در صورت شارژ احتمالی کاملاً دشارژ

شود.



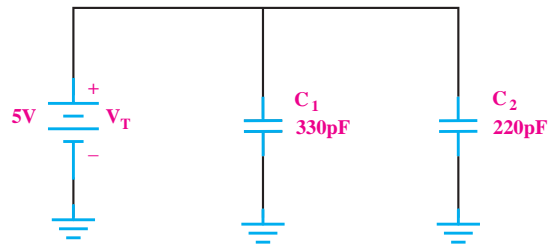
شکل ۷-۴۹ نحوه‌ی تخلیه‌ی خازن

مطابق شکل ۷-۵۰ رنج کلید سلکتور اهم‌تر را در حالت

×۱ قرار دهید و خازن را به آن وصل کنید. اگر خازن سالم

باشد عقربه‌ی اهم‌تر ابتدا مقداری منحرف می‌شود و سپس

برمی‌گردد و در مکان اولیه‌ی خود قرار می‌گیرد.



شکل ۷-۴۶ به دست آوردن ظرفیت معادل در مدار موازی

**حل:**

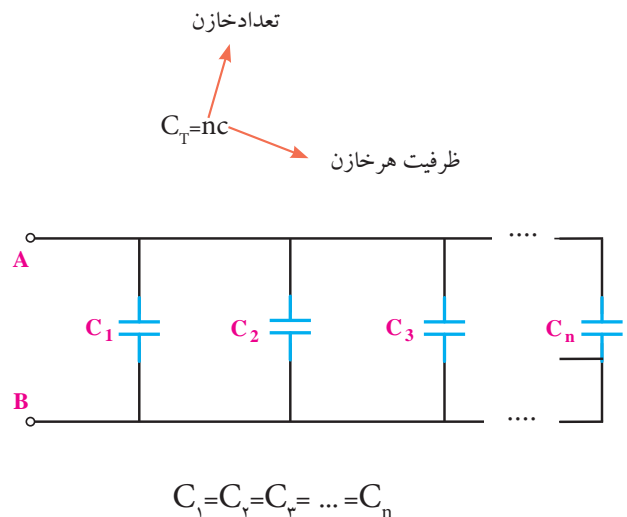
$$C_T = C_1 + C_2 = 330 \text{ pF} + 220 \text{ pF} = 550 \text{ pF}$$

$$C_T = 550 \text{ pF}$$

## ۷-۱۱-۶ بررسی حالت خاص در مدارهای موازی

هرگاه  $n$  خازن مساوی به صورت موازی اتصال یابند، مطابق

شکل ۷-۴۷ ظرفیت خازن معادل از رابطه‌ی زیر به دست آورید.

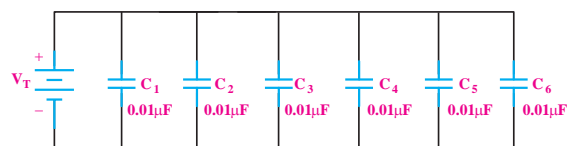


$$C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_n$$

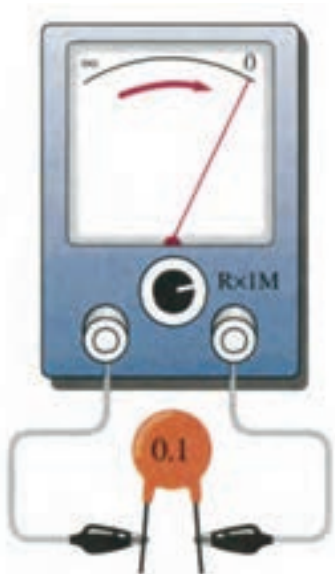
شکل ۷-۴۷

## مثال ۹: ظرفیت خازن معادل در شکل ۷-۴۸ چند

میکروفراد است؟



شکل ۷-۴۸ محاسبه‌ی ظرفیت معادل



شکل ۷-۵۲ خازن اتصال کوتاه

نکته ی مهم:

گاهی ممکن است خازن در تست اهمی سالم نشان دهد. (عقربه ی اهم متر حرکت کند و باز گردد) ولی عملاً نشستی داشته باشد و هنگام کار درست جواب ندهد. در این حالت برای اطمینان از سلامت خازن از روش جایگزینی استفاده کنید.

### ۷-۱۳ نحوه ی اندازه گیری ظرفیت خازن با دستگاه

#### اندازه گیری LCR متر

به طور کلی هنگامی که خازنی ساخته می شود بر روی بدنه ی خازن، ظرفیت و ولتاژ مجاز آن را می نویسند. همچنین ظرفیت خازن را با کدهای رنگی مشخص می کنند. ولتاژ کار مجاز خازن ها (Working Voltage) معمولاً ۱۰، ۱۶، ۲۵، ۳۵، ۵۰، ۶۳ و ۱۰۰ ولت است. حال اگر ظرفیت خازن به هر دلیلی معلوم نباشد یا روی بدنه ی آن پاک شده باشد می توان با استفاده از یک دستگاه LCR متر یا دستگاه اندازه گیر ظرفیت خازن (به آن فاراد متر نیز گفته می شود) ظرفیت خازن مجهول



شکل ۷-۵۰ خازن سالم

مطابق شکل ۷-۵۱ اگر عقربه کوچکترین انحرافی نداشت به احتمال زیاد خازن قطع شده و معیوب است.



شکل ۷-۵۱ خازن قطع است

در صورتی که مانند شکل ۷-۵۲ عقربه حرکت کرد و روی عدد صفر یا یک عدد ثابتی ایستاد در این حالت حتماً خازن اتصال کوتاه شده و معیوب است.



## ۱۴-۷ آزمایش شماره‌ی (۲)

زمان اجرا: ۱ ساعت آموزشی

### ۱-۱۴-۷ هدف آزمایش:

آزمایش سلامت خازن و تعیین ظرفیت آن

### ۲-۱۴-۷ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	مولتی متر عقربه ای	یک دستگاه
۲	خازن در انواع و مقادیر مختلف	از هر کدام یک عدد
۳	مقاومت $10\Omega$	یک عدد
۴	خازن سنج یا مولتی متر با قابلیت اندازه گیری ظرفیت خازن	یک دستگاه
۵	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

### ۳-۱۴-۷ مراحل اجرای آزمایش

الف- بررسی سالم یا معیوب بودن خازن توسط اهم‌متر

#### عقربه‌ای

■ وسایل مورد نیاز را آماده کنید.

■ مانند شکل ۷-۵۴ خازن را توسط یک مقاومت  $10\Omega$

تخلیه کنید.



شکل ۷-۵۴ تخلیه‌ی خازن

را اندازه گرفت. برای این منظور ابتدا دو سر خازنی را که قرار است ظرفیت آن را اندازه بگیریم اتصال کوتاه می‌کنیم تا چنانچه خازن قبلاً شارژ شده باشد دشارژ شود. سپس آن را به دستگاه LCR متر یا خازن سنج وصل می‌کنیم تا دستگاه مقدار ظرفیت را اندازه بگیرد. شکل ۷-۵۳ چند نمونه دستگاه LCR متر را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۵۳ نمونه‌هایی از LCR متر

## ب- اندازه‌گیری و تعیین ظرفیت خازن مجهول

■ تعداد حداقل ۴ نوع خازن از انواع مختلف الکترولیتی، عدسی، سرامیکی و کاغذی را انتخاب و مشخصات آن‌ها را در جدول ۷-۲ یادداشت کنید.


جدول ۷-۲

میزان اختلاف	مقدار اندازه گیری شده	مقدار نوشته شده روی خازن ها	نوع خازن	خازن
			الکترولیتی	$C_1$
			عدسی	$C_2$
			سرامیکی	$C_3$
			کاغذی	$C_4$

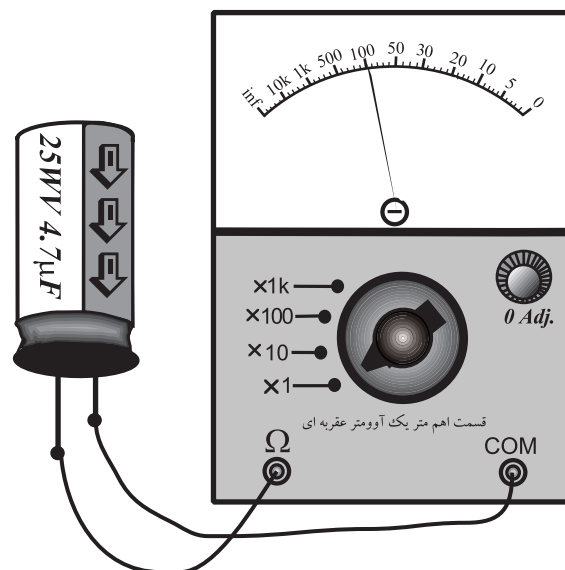
■ تمامی خازن‌ها را دشارژ کنید.

■ با استفاده از دستگاه خازن‌سنج مقدار ظرفیت خازن‌های  $C_1$  تا  $C_4$  را اندازه‌گیری کنید و مقادیر به دست آمده را در جدول ۷-۲ یادداشت نمایید.

**سوال ۴:** در صورتی که بین مقدار اندازه‌گیری شده و مقدار نوشته شده اختلاف وجود دارد علت را توضیح دهید.




حوزه‌ی کار کلید سلکتور اهم‌متر را در حالت  $\times 1$  قرار دهید و خازن را طبق شکل ۷-۵۵ به آن وصل کنید. بهتر است برای این منظور از خازن الکترولیتی استفاده نمایید.




شکل ۷-۵۵ اتصال خازن به اهم‌متر

■ مشاهدات خود را از نحوه‌ی حرکت عقربه‌ی اهم‌متر

بیان کنید.



**سوال ۳:** آیا خازن مورد نظر سالم است؟ توضیح دهید.



در صورتی که نتوانستید به سوال فوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید مطالب مربوط به روش آزمایش سلامت خازن را مجدداً مرور کنید.

نتایج حاصل از آزمایش‌های الف و ب را به طور خلاصه

بیان کنید.

## ۱۵-۷ آزمایش شماره‌ی (۳)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

## ۱-۱۵-۷ هدف‌های آزمایش

بررسی خازن‌ها به صورت سری و موازی در جریان DC

## ۲-۱۵-۷ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	منبع تغذیه	یک دستگاه
۲	مولتی‌متر دیجیتالی	یک دستگاه
۳	بردبرد یا برد آزمایشگاهی	یک عدد
۴	خازن سنج	یک دستگاه
۵	خازن $2\mu F$ با حداقل ولتاژ ۶ ولت	یک عدد
۶	خازن $10\mu F$ با حداقل ولتاژ ۶ ولت	سه عدد
۷	خازن $47\mu F$ با حداقل ولتاژ ۶ ولت	یک عدد
۸	مقاومت اهمی	یک عدد
۹	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

## ۳-۱۵-۷ مراحل اجرای آزمایش:

**الف- بررسی مدار خازن‌ها به صورت سری در جریان مستقیم**

■ هر یک از خازن‌های  $C_1$ ،  $C_2$  و  $C_3$  را با توجه به مقادیری که روی آن‌ها نوشته شده است با دستگاه LCR متر یا خازن سنج اندازه‌گیری کنید و مقادیر به دست آمده را در جدول ۳-۷ بنویسید.



آیا می‌دانید

تمیز کردن سطح چراغ‌ها، لامپ‌ها و سطوح دیوارها

سبب افزایش شدت روشنایی می‌شود؟

$C_{AB} = \dots\dots\dots \mu F$  اندازه گیری

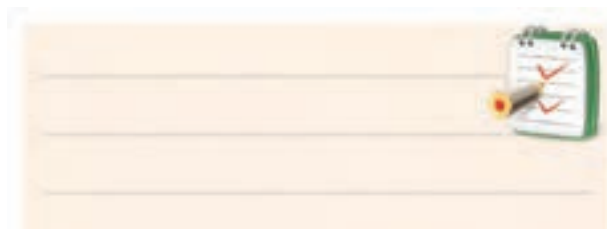
■ مقدار ظرفیت معادل را از رابطه‌ی زیر محاسبه کنید.

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$C_{AB} = \dots\dots\dots \mu F$  محاسبه

**سوال ۶:** آیا مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده با هم

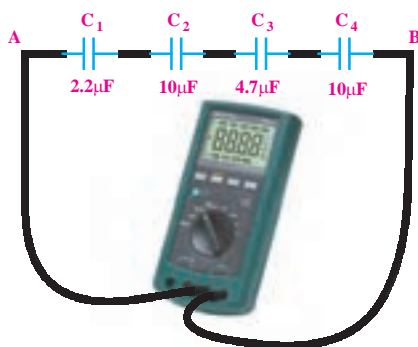
مطابقت دارند؟ چرا؟ شرح دهید.



■ خازن  $C_F = 10 \mu F$  را مطابق شکل ۷-۵۷ به مدار قبلی

اضافه کنید. ظرفیت خازن معادل را با استفاده از دستگاه

LCR متر یا خازن سنج اندازه بگیرید.



شکل ۷-۵۷ مدار آزمایش

$C_{AB} = \dots\dots\dots \mu F$  اندازه گیری

■ مقدار ظرفیت معادل را از رابطه‌ی زیر محاسبه کنید:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}$$

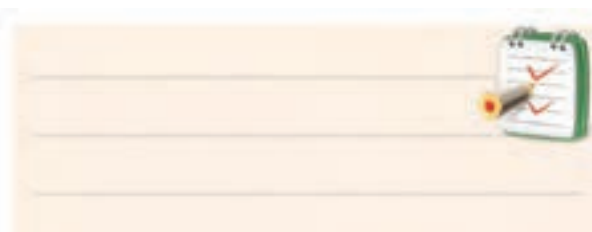
جدول ۷-۳

میزان اختلاف	مقدار اندازه گیری شده	مقدار نوشته شده	خازن
			$C_1$
			$C_2$
			$C_3$

**سوال ۵:** در صورتی که بین مقدار اندازه گیری شده و

مقدار نوشته شده روی خازن اختلاف وجود دارد علت را

توضیح دهید.

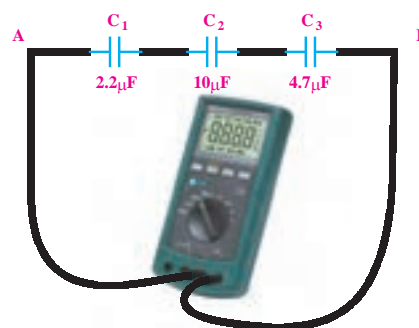


■ سه خازن  $C_1$ ،  $C_2$  و  $C_3$  را مطابق شکل ۷-۵۶ روی

بردبرد به صورت سری اتصال دهید و با استفاده از یک

دستگاه LCR متر یا خازن سنج ظرفیت خازن معادل مدار

را از دو نقطه‌ی A و B اندازه بگیرید.



شکل ۷-۵۶ خازن‌های سری

■ مقدار ظرفیت معادل را از رابطه‌ی  $C_T = \frac{C}{n}$  محاسبه کنید.

$C_{AB} = \dots \mu F$  محاسبه

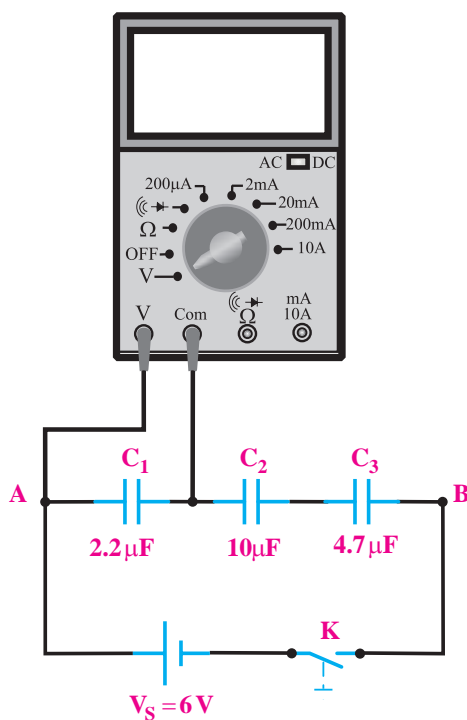
**سوال ۹:** آیا مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر محاسبه شده، مطابقت دارد؟ شرح دهید.

$C_{AB} = \dots$  محاسبه

**سوال ۷:** ظرفیت خازن معادل نسبت به مرحله‌ی قبل چه تغییری کرده است؟ شرح دهید.

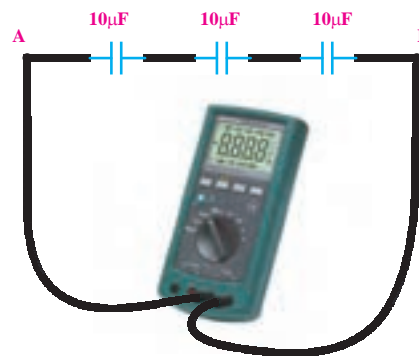
**سوال ۸:** آیا ظرفیت خازن معادل اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با هم مطابقت دارد؟ در صورتی که جواب منفی است علت را شرح دهید.

■ مدار شکل ۵۹-۷ را روی بردبرد ببندید.



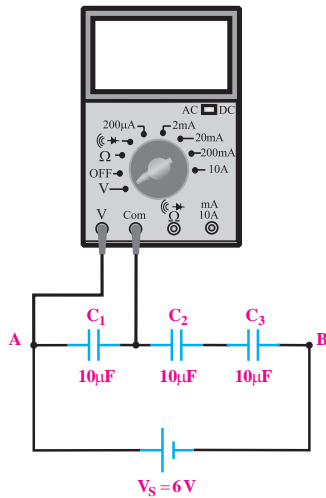
شکل ۵۹-۷ مدار آزمایش

■ سه خازن  $10 \mu F$  مطابق شکل ۵۸-۷ به صورت سری اتصال دهید و ظرفیت خازن معادل را با دستگاه LCR متر یا خازن سنج اندازه بگیرید.



شکل ۵۸-۷ مدار آزمایش

$C_{AB} = \dots \mu F$  اندازه‌گیری

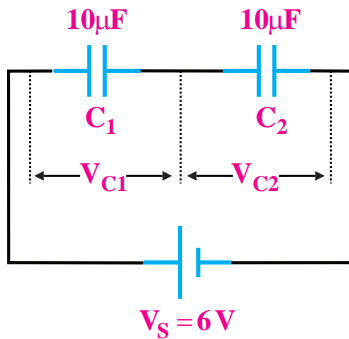


شکل ۶۰-۷ مدار آزمایش

■ دو خازن  $10\mu F$  را مطابق شکل ۶۱-۷ به صورت سری ببندید و درستی رابطه‌ی تقسیم ولتاژ خازنی را تحقیق کنید.

$$V_{C_1} = V \frac{C_2}{C_1 + C_2}$$

$$V_{C_2} = V \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$



شکل ۶۱-۷

#### ب- بررسی مدارهای خازنی موازی در جریان مستقیم

■ سه خازن را مطابق شکل ۶۲-۷ روی بردبرد به صورت موازی اتصال دهید و با استفاده از یک دستگاه LCR متر یا

■ کلید منبع تغذیه را وصل کنید و پس از سپری شدن مدت زمان حدود ده ثانیه ولتاژ دو سر خازن  $C_1$  را اندازه بگیرید.

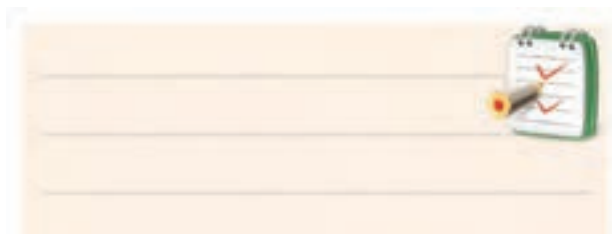
$$V_{C_1} = \dots\dots\dots V$$

■ منبع تغذیه را خاموش کنید و سپس ولت متر را یک بار در دو سر خازن  $C_2$  و بار دیگر در دو سر خازن  $C_3$  اتصال دهید. ولتاژ دو سر هر یک از خازن‌های  $C_2$  و  $C_3$  را اندازه گیری کنید.

$$V_{C_2} = \dots\dots\dots V$$

$$V_{C_3} = \dots\dots\dots V$$

**سوال ۱۰:** از مقایسه‌ی مقادیر به دست آمده با ولتاژ منبع چه نتیجه‌ای می گیرید؟ شرح دهید.



■ سه خازن  $10\mu F$  را مطابق شکل ۶۰-۷ به صورت سری اتصال دهید و ولتاژ دو سر هر یک را به طور جداگانه اندازه بگیرید.

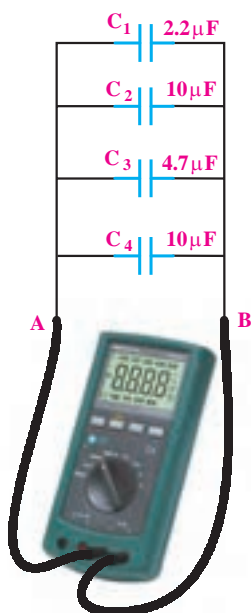
$$V_{C_1} = \dots\dots\dots V$$

$$V_{C_2} = \dots\dots\dots V$$

$$V_{C_3} = \dots\dots\dots V$$

خازن سنج ظرفیت خازن معادل مدار را از دو نقطه‌ی A و B LCR متر (خازن سنج) اندازه بگیرید.

اندازه بگیرید.



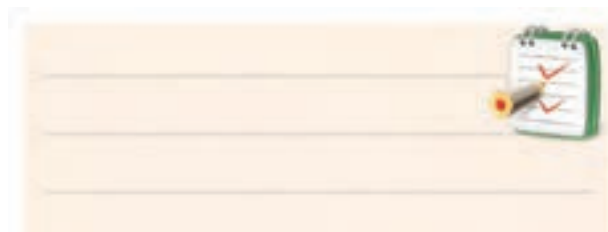
شکل ۶۳-۷ خازن‌های موازی

$C_{AB} = \dots \mu F$  اندازه گیری

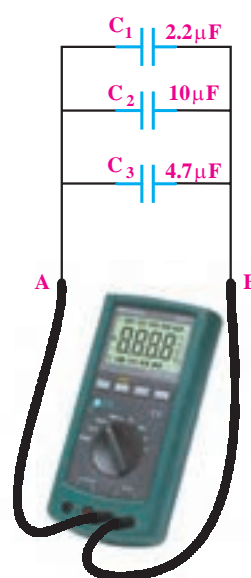
مقدار ظرفیت معادل را از رابطه‌ی  $C_T = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$  محاسبه کنید.

$C_{AB} = \dots \mu F$  محاسبه

**سوال ۱۲:** ظرفیت خازن معادل نسبت به مرحله‌ی قبل چه تغییری کرده است؟ توضیح دهید.



**سوال ۱۳:** آیا ظرفیت خازن معادل اندازه گیری شده و محاسبه شده با هم مطابقت دارد؟ در صورتی که جواب منفی است، علت را شرح دهید.



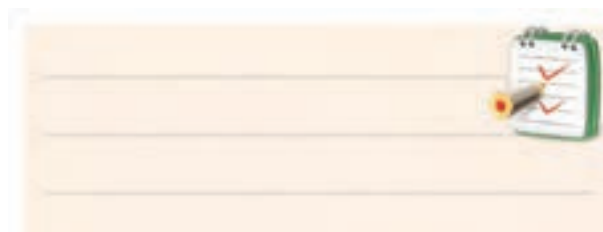
شکل ۶۲-۷ خازن‌های موازی

$C_{AB} = \dots \mu F$  اندازه گیری

■ مقدار ظرفیت خازن را از رابطه‌ی  $C_T = C_1 + C_2 + C_3$  محاسبه کنید.

$C_{AB} = \dots \mu F$  محاسبه

**سوال ۱۱:** آیا مقدار اندازه گیری شده و محاسبه شده با هم مطابقت دارد؟ شرح دهید.



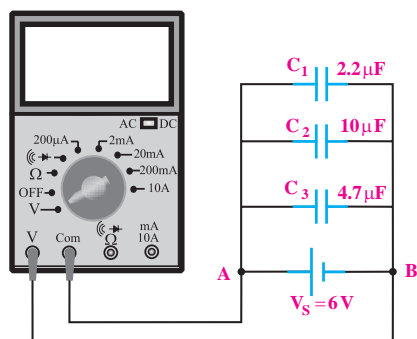
■ خازن  $C_4 = 10 \mu F$  را مطابق شکل ۶۳-۷ به مدار اضافه کنید و سپس ظرفیت خازن معادل را با استفاده از دستگاه

$$C_{AB} = \dots \mu F \text{ محاسبه}$$

**سوال ۱۴:** آیا مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر محاسبه شده مطابقت دارد؟ شرح دهید.



مدار شکل ۷-۶۵ را روی بردبرد ببندید.



شکل ۷-۶۵

کلید منبع تغذیه را وصل کنید و پس از سپری شدن مدت زمان حدود ۱۰ ثانیه ولتاژ دو سر خازن  $C_1$  را اندازه گیری کنید.

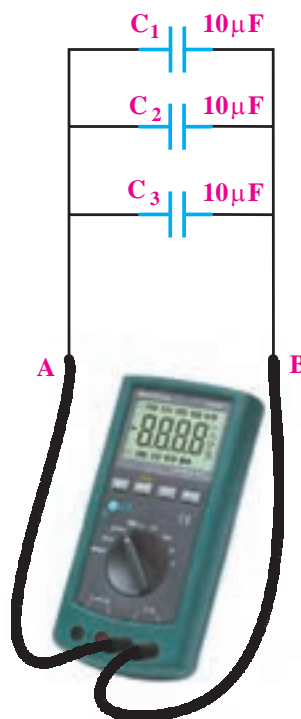
$$V_{C_1} = \dots V \text{ اندازه گیری}$$

منبع تغذیه را خاموش کنید و سپس ولت متر را به دو سر خازن های  $C_1$  و  $C_2$  اتصال دهید و ولتاژ دو سر هر یک را اندازه گیری کنید.



■ سه خازن  $10 \mu F$  را مطابق شکل ۷-۶۴ به صورت موازی اتصال دهید و ظرفیت خازن معادل را با دستگاه LCR متر (خازن سنج) اندازه گیری کنید.

$$C_{AB} = \dots \mu F \text{ اندازه گیری}$$



شکل ۷-۶۴

مقدار ظرفیت معادل را از رابطه ی  $C_T = C_1 + C_2 + C_3$  محاسبه کنید.



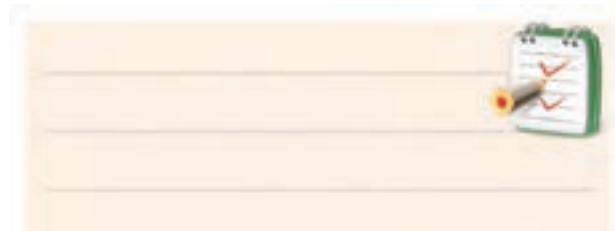
الف -

$V_{C_1} = \dots\dots\dots V$  اندازه گیری

$V_{C_2} = \dots\dots\dots V$  اندازه گیری

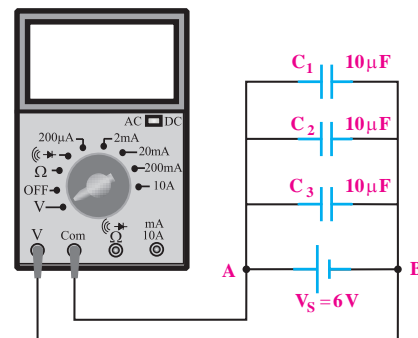
**سوال ۱۵:** از مقایسه‌ی مقادیر به دست آمده با ولتاژ منبع

تغذیه چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.



■ سه خازن  $10\ \mu F$  را مطابق شکل ۶۶-۷ به صورت

موازی اتصال دهید و ولتاژ دو سر هر یک را به طور جداگانه اندازه بگیرید.



شکل ۶۶-۷

$V_{C_1} = \dots\dots\dots V$

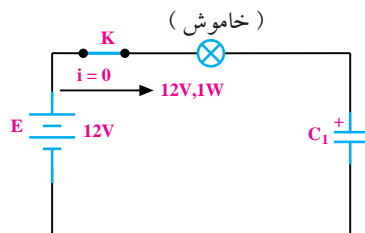
$V_{C_2} = \dots\dots\dots V$

$V_{C_3} = \dots\dots\dots V$

## ۱۶-۷ خازن در جریان متناوب

### ۱-۱۶-۷ عملکرد خازن در جریان متناوب (AC)

اگر یک خازن را به ولتاژ DC وصل کنیم خازن بلافاصله شارژ می‌شود و جریان گذرنده از آن به صفر می‌رسد. همان‌طور که در شکل ۶۷-۷ ملاحظه می‌شود اگر در مسیر خازن مصرف کننده‌ای مانند لامپ قرار گیرد، با وصل کلید (K) جریان عبوری از مدار صفر می‌شود و لامپ به حالت خاموش می‌رود.



شکل ۶۷-۷ خازن در ولتاژ DC

اگر یک منبع ولتاژ متناوب سینوسی را به دو سر خازن وصل کنیم، جریان متناوب سینوسی از خازن عبور می‌کند.

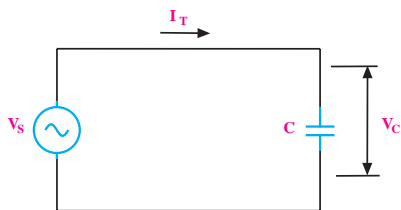
## ۴-۱۵-۷ نتایج آزمایش

نتایج حاصل از آزمایش‌های الف و ب را بنویسید.

$$X_C = \frac{V_S}{I_T} = \frac{1}{\omega C}$$

ظرفیت بر حسب فاراد  $X_C = \frac{1}{\omega C}$   
 راکتانس خازنی بر حسب اهم  $X_C = \frac{1}{\omega C}$   
 فرکانس بر حسب هرتز

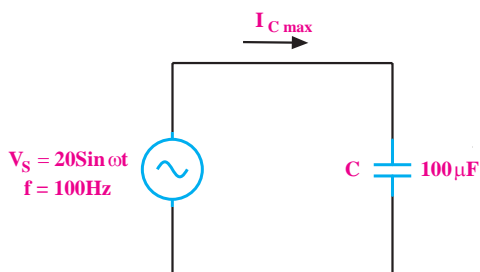
در شکل ۷-۶۹ ولتاژ دو سر خازن و جریان عبوری از آن نشان داده شده است.



شکل ۷-۶۹ محاسبه مقدار مقاومت خازنی ( $X_C$ )

**مثال ۱۰:** در شکل ۷-۷۰ جریان ماکزیمم عبوری از

خازن ( $I_{C \max}$ ) چند میلی آمپر است؟



شکل ۷-۷۰

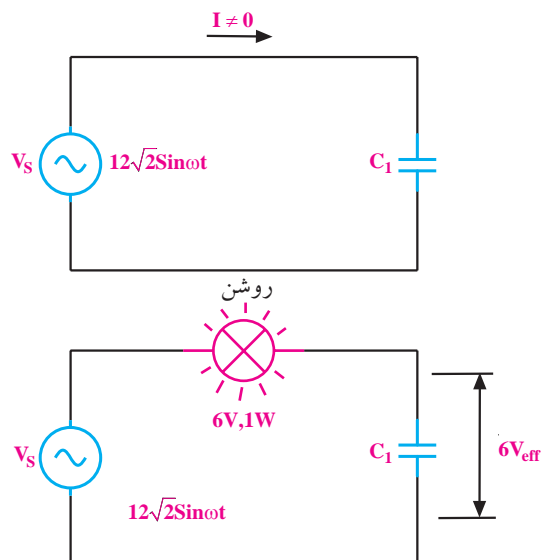
حل:

ابتدا راکتانس خازنی را محاسبه می کنیم:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \times 100 \times 100 \times 10^{-6}} = \frac{10^6}{20000\pi} = \frac{50}{\pi}$$

سپس جریان عبوری از مدار را محاسبه می کنیم:

عبور جریان از مدار به دلیل شارژ و دشارژ خازن در نیم سیکل های مثبت و منفی ولتاژ متناوب سینوسی است. به همین دلیل خازن در مدارهای جریان متناوب نوعی مقاومت از خود نشان می دهد که باعث محدود شدن جریان در مدار می شود. همان طور که در شکل ۷-۶۸ مشاهده می شود، با اتصال خازن به ولتاژ متناوب، جریان عبوری صفر نیست و لامپ در حالت روشن باقی می ماند.



شکل ۷-۶۸ عبور جریان متناوب از خازن

نکته ی مهم:

لامپ زمانی روشن می ماند که جریان عبوری از خازن بتواند توان مورد نیاز برای روشن شدن لامپ را تامین کنید.

## ۲-۱۶-۷ راکتانس خازنی

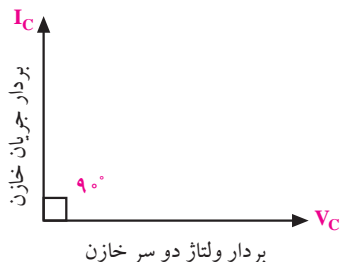
مقاومتی را که خازن در جریان متناوب از خود نشان

می دهد، راکتانس خازنی می گویند.

راکتانس خازنی را با  $X_C$  نشان می دهد. مقدار  $X_C$  از

رابطه ی زیر به دست می آید:

ولتاژ و جریان دو سر خازن را می‌توان به صورت دو بردار که با یکدیگر ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند نشان داد. در شکل ۷-۷۲ نمایش برداری جریان و ولتاژ دو سر خازن نشان داده شده است.



شکل ۷-۷۲ نمایش برداری جریان و ولتاژ دو سر خازن

## ۷-۱۷ اندازه‌گیری زاویه اختلاف فاز توسط

### اسیلوسکوپ

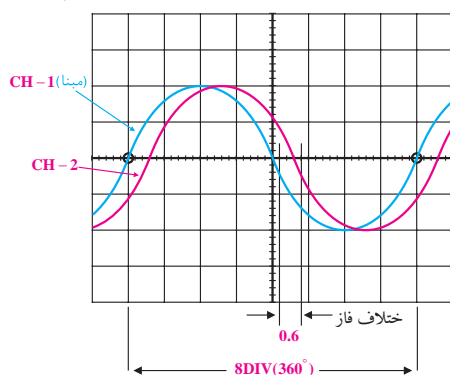
یکی از کاربردهای جالب اسیلوسکوپ اندازه‌گیری اختلاف فاز است. در این مورد دو روش متداول است.

الف- روش مستقیم

ب- استفاده از منحنی‌های لیسازور

### ۷-۱۷-۱ روش مستقیم

چنانچه دو موج هم‌فرکانس باشند، با داشتن اسیلوسکوپ دو کاناله به آسانی می‌توانیم هر یک از دو موج را به دو کانال اسیلوسکوپ بدهیم و با مشاهده هم‌زمان دو موج بر روی صفحه‌ی نمایش اختلاف فاز را اندازه‌گیری کنیم، شکل ۷-۷۳.



شکل ۷-۷۳ اندازه‌گیری اختلاف فاز دو موج با روش مستقیم

$$I_{c \max} = \frac{V_m}{X_C} = \frac{20}{\frac{50}{\pi}} = \frac{20 \cdot \pi}{50} = 0.4 \pi$$

$$I_{c \max} = 1.256 \text{ A}$$

### نکته مهم:

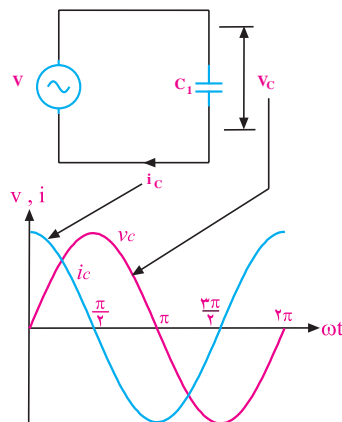


چون در مدار خازنی توان به صورت حرارت تلف نمی‌شود لذا عملاً ولتاژ و جریان موثر وجود ندارد. به جریان عبوری از خازن و ولتاژ دو سر آن، جریان و ولتاژ راکتیو یا غیر مفید می‌گویند. نام راکتانس خازنی نیز به همین دلیل انتخاب شده است.

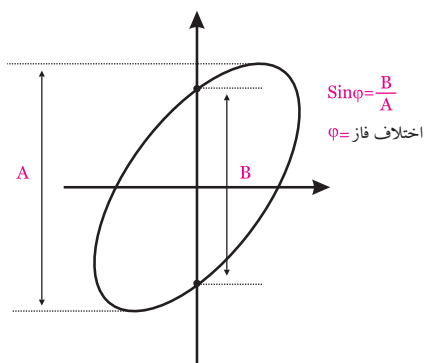
## ۷-۱۶-۳ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در مدار خازنی

اگر در یک مدار الکتریکی با منبع جریان متناوب، فقط یک خازن وجود داشته باشد، جریان عبوری از مدار به اندازه‌ی ۹۰ درجه با ولتاژ دو سر آن اختلاف فاز پیدا می‌کند.

در شکل ۷-۷۱، شکل جریان گذرنده از خازن و شکل ولتاژ دو سر خازن رسم شده است. همان‌طور که در شکل ۷-۷۱ مشاهده می‌شود جریان به اندازه‌ی ۹۰ درجه از ولتاژ جلوتر است.



شکل ۷-۷۱ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در مدار خازنی



هنگام اندازه‌گیری بهتر است کلید سلکتور Time/Div و پتانسیومتر متغیر (Variable) را به نحوی تنظیم کنیم که یکی از موج‌ها درست در وسط صفحه‌ی اسیلوسکوپ قرار بگیرد و یک پریود آن برابر با ۸ تقسیم‌بندی صفحه‌ی اسیلوسکوپ در جهت افق شود. در این صورت هر تقسیم‌بندی افقی معادل ۴۵ درجه خواهد بود. زیرا زاویه‌ی یک پریود کامل برابر با ۳۶۰ درجه است.

بنابراین:

$$\text{درجه} \quad \frac{360}{8} = 45 \quad \text{هر تقسیم افقی}$$

می‌آید.

برای مثال اگر در شکل موج نشان داده شده اختلاف فاز

بین دو موج به ازای ۰/۶ تقسیم‌بندی باشد، میزان اختلاف فاز برابر با ۲۷ درجه خواهد شد. زیرا:

$$\text{درجه} \quad 0.6 \times 45 = 27 \quad \text{اختلاف فاز}$$

$\varphi = 0$ بدون اعوجاج و بدون اختلاف فاز	$\varphi = 0$ دارای اعوجاج و بدون اختلاف فاز	$\varphi = 180^\circ$ ۱۸۰ درجه اختلاف فاز
$0 < \varphi < 90^\circ$ بدون اعوجاج و دارای اختلاف فاز	$0 < \varphi < 90^\circ$ دارای اعوجاج و دارای اختلاف فاز	$\varphi = 90^\circ$ ۹۰ درجه اختلاف فاز

شکل ۷-۷۵ حالت‌های خاص منحنی لیسازور

## ۷-۱۷-۲ با استفاده از منحنی‌های لیسازور

با استفاده از اسیلوسکوپ در حالت X-Y می‌توانیم اختلاف فاز بین دو شکل موج را اندازه بگیریم. برای این منظور ابتدا اسیلوسکوپ را در حالت X-Y قرار می‌دهیم سپس موج مبنا را به ورودی X و موج دیگر را به ورودی Y وصل می‌کنیم. در نهایت سلکتورهای Volts/DIV و پتانسیومترهای متغیر را برای ایجاد تصویر مناسب تنظیم می‌نماییم. میزان اختلاف فاز با استفاده از روش لیسازور بر اساس شکل ۷-۷۴ به شرح زیر قابل محاسبه است.

## ۱۸-۷ آزمایش شماره ۴ (۴)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

### توجه

خازن‌هایی را در جریان متناوب به کار ببرید که برای جریان متناوب ساخته شده باشند. روی بدنه این خازن‌ها علامت‌های «+» و «-» وجود ندارد. معمولاً ظرفیت خازن‌هایی که در جریان متناوب به کار می‌روند خیلی کم است. این خازن‌ها را قطبی نشده می‌نامند.



### ۱-۱۸-۷ هدف آزمایش:

بررسی تأثیر ظرفیت خازن روی رآکتانس خازنی و اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان در مدار خازنی.

### توجه

چون مولتی‌مترها در اندازه‌گیری جریان متناوب (AC) دقت کاملی ندارند، از مولتی‌متر مرغوب استفاده کنید.

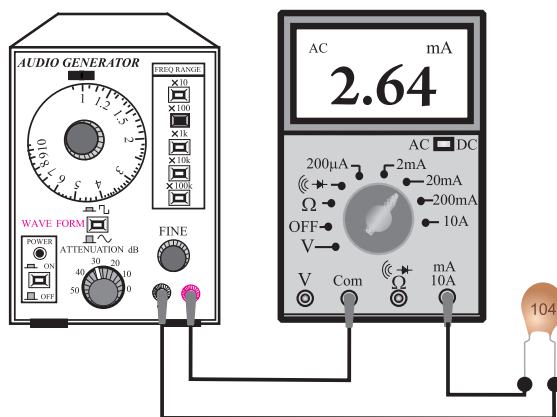


### ۳-۱۸-۷ مراحل اجرای آزمایش

الف- بررسی تأثیر ظرفیت خازن در رآکتانس خازنی.

■ وسایل مورد نیاز را آماده کنید.

■ مدار شکل ۷۶-۷ را ببندید.



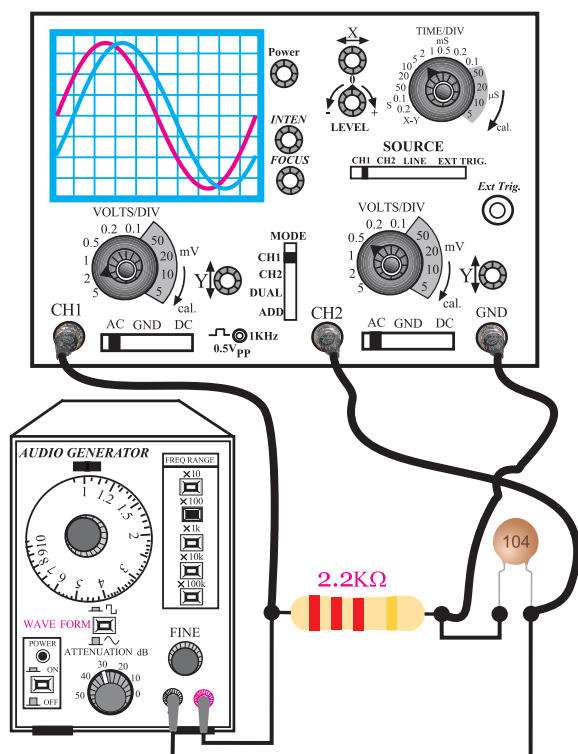
شکل ۷۶-۷ مدار آزمایش

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و فرکانس آن را روی ۱KHz بگذارید.

■ شکل موج خروجی سیگنال ژنراتور را روی سینوسی قرار دهید و ولوم تنظیم دامنه را روی ۶ ولت تنظیم کنید.

### ۲-۱۸-۷ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۲	مولتی‌متر دیجیتالی	یک دستگاه
۳	سیم رابط دو سرگیره دار ۵۰ سانتی‌متری	به مقدار کافی
۴	سیم رابط یک سرگیره دار ۵۰ سانتی‌متری	به مقدار کافی
۵	خازن ۰/۱ میکروفاراد ۳۵ ولت از نوع کاغذی	یک عدد
۶	خازن ۰/۰۱ میکروفاراد ۳۵ ولت از نوع کاغذی	یک عدد
۷	اسیلوسکوپ دو کاناله	یک دستگاه
۸	مقاومت اهمی ۲/۲ KΩ	یک عدد
۹	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری



شکل ۷-۷۷ مدار آزمایش

### نکته‌ی مهم:



زمین سیگنال ژنراتور و اسیلوسکوپ نباید با هم مشترک

باشند.

■ سیگنال ژنراتور را روی فرکانس ۱KHz و دامنه‌ی ۶ ولت تنظیم کنید.

■ اسیلوسکوپ را روشن و تنظیم‌های لازم را روی آن انجام دهید.

■ شکل موج‌های نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس را در شکل ۷-۷۸ رسم کنید.

■ حوزه‌ی کار میلی آمپر متر را روی ۲۰ mA قرار دهید.

■ جریانی را که میلی آمپر متر نشان می‌دهد یادداشت

کنید.

$$I = \dots\dots\dots \text{mA}$$

■ خازن  $0.1\mu\text{F}$  را با خازن  $10\text{ nF}$  تعویض کنید و

مجدداً مدار آزمایش ۷۶-۷ را ببندید.

■ حوزه‌ی کار میلی آمپر متر را روی ۲mA قرار دهید.

■ جریانی را که میلی آمپر متر نشان می‌دهد یادداشت کنید.

$$I = \dots\dots\dots$$

**سوال ۱۶:** چرا با کاهش ظرفیت خازن، میلی آمپر متر

AC جریان کم‌تری را نشان می‌دهد؟ توضیح دهید.



**ب- بررسی اختلاف فاز بین ولتاژ دو سر خازن و جریان**

**گذرنده از آن.**

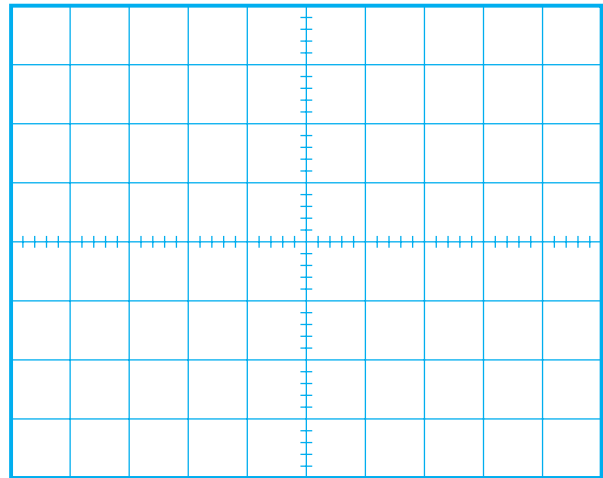
■ مدار شکل ۷-۷۷ را ببندید.

#### ۴-۱۸-۷ نتایج آزمایش:

نتایج حاصل از آزمایش‌های الف و ب را به طور خلاصه بیان کنید.

الف

ب



شکل ۷-۷۸ شکل موج‌های نشان داده شده روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ

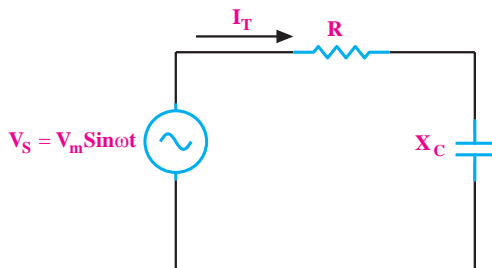
#### ۴-۱۹ مدار RC سری

اگر یک خازن و یک مقاومت اهمی را مطابق شکل ۷-۷۹ به صورت سری ببندیم و به منبع ولتاژ متناوب سینوسی وصل کنیم، جریانی از مدار عبور می‌کند که مقدار موثر آن از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$I_T = I_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{eff}}}{Z}$$

توجه

در مدار RC سری چون جریان عبوری از خازن و مقاومت برابر است، جریان کل با جریان موثر برابر می‌شود.



شکل ۷-۷۹ مدار RC سری

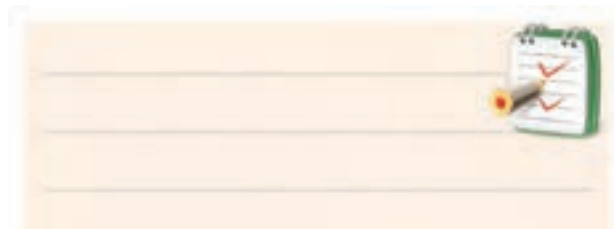
توجه

شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت اهمی در حقیقت همان شکل موج جریان گذرنده از خازن است.



**سوال ۱۷:** شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت اهمی که در

کانال CH۱ ظاهر می‌شود با شکل موج ولتاژ دو سر خازن که در کانال CH۲ ظاهر می‌شود، چند درجه اختلاف فاز دارد؟ نحوه‌ی محاسبه‌ی اختلاف فاز را شرح دهید.



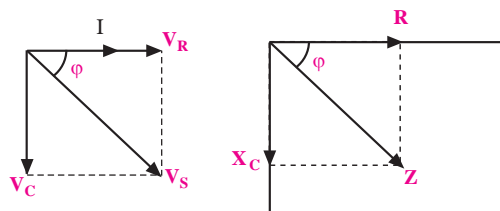
در صورتی که نتوانستید به سوال فوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت‌های قبل مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

دقیق اختلاف فاز بستگی به مقدار  $R$  و  $X_C$  دارد.

## ۷-۱۹-۲ دیاگرام برداری در مدار RC سری

در یک مدار RC سری، مقادیر  $R$  و  $X_C$  و  $Z$  را مانند

شکل ۷-۸۱-الف می‌توان به صورت برداری نشان داد.



الف- دیاگرام برداری امپدانس ب- دیاگرام برداری ولتاژها

شکل ۷-۸۱ دیاگرام‌های برداری

در این شکل زاویه  $\phi$  (فی) اختلاف فاز بین جریان ( $I$ ) و

ولتاژ مدار ( $V_S$ ) را نشان می‌دهد.

$\phi$  از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$\cos \phi = \frac{R}{Z}$$

از روی دیاگرام برداری ولتاژها و امپدانس می‌توان

اختلاف فاز ( $\phi$ ) را به صورت‌های زیر نوشت.

$$\cos \phi = \frac{R}{Z}$$

مقاومت اهمی (R) →  
امپدانس (Z) →  
زاویه فاز ( $\phi$ ) →

$$\cos \phi = \frac{V_R}{V_S}$$

ولتاژ مقاومت اهمی ( $V_R$ ) →  
ولتاژ مدار ( $V_S$ ) →  
زاویه فاز ( $\phi$ ) →

در مدارهای RC سری، ولتاژ دو سر هر یک از عناصر

مدار از روابط زیر به دست می‌آید:

$$V_R = I_{\text{eff}} \cdot R \quad \text{ولتاژ دو سر مقاومت اهمی}$$

$$V_C = I_{\text{eff}} \cdot X_C \quad \text{ولتاژ دو سر خازن}$$

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2} \quad \text{ولتاژ کل مدار}$$

## توجه

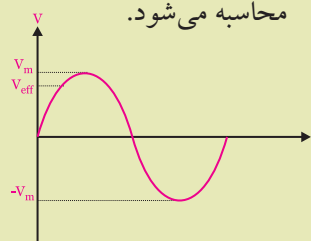
در مدارهای جریان متناوب

سینوسی منظور از  $I_{\text{eff}}$  و  $V_{\text{eff}}$

مقدار جریان و ولتاژ موثری

است که از روابط  $\frac{I_m}{\sqrt{2}}$  و  $\frac{V_m}{\sqrt{2}}$

محاسبه می‌شود.



## ۷-۱۹-۱ امپدانس مدار RC سری (z)

اگر یک مدار الکتریکی شامل مقاومت اهمی ( $R$ ) و

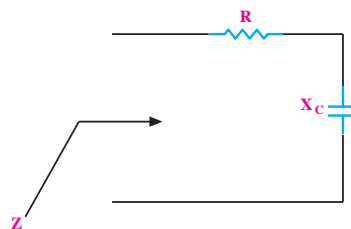
خازن ( $C$ ) را مطابق شکل ۷-۸۰ با ولتاژ متناوب سینوسی

تغذیه کنیم، مقاومتی را که این مدار از خود نشان می‌دهد،

امپدانس یا مقاومت ظاهری می‌گویند و با حرف  $Z$  مشخص

می‌کنند. واحد امپدانس اهم است. امپدانس مدار RC هر دو

خاصیت اهمی و خازنی را در بر می‌گیرد.



شکل ۷-۸۰ امپدانس مدار RC سری

در یک مدار RC سری، مقدار  $Z$  از رابطه‌ی زیر محاسبه

می‌شود:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} (\Omega)$$

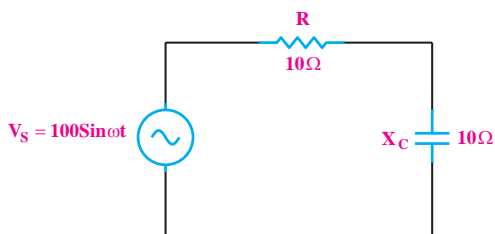
در این مدار متناسب با مقادیر  $R$  و  $C$ ، اختلاف فاز بین

جریان و ولتاژ می‌تواند بین صفر تا ۹۰ درجه تغییر کند. مقدار



## مثال ۱۱: در شکل ۷-۸۲ جریان موثر مدار و اختلاف

فاز بین جریان و ولتاژ را به دست آورید.



شکل ۷-۸۲

**حل:**

چون جریان مدار با ولتاژ دو سر مقاومت هم فاز است

می توانیم آن را جریان موثر در نظر بگیریم.

$$\text{مقدار موثر } I_T = \frac{V_s}{Z}$$

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{100}{1/\sqrt{2}} = 70.7 \text{ V}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{10^2 + 10^2} = \sqrt{200} = 14.14 \Omega$$

$$\text{مقدار موثر } I_T = \frac{70.7}{14.14} = 5 \text{ A}$$

$$\cos \phi = \frac{R}{Z} = \frac{10}{14.14} \approx 0.7$$

با استفاده از جدول مثلثاتی  $\phi = 45^\circ$

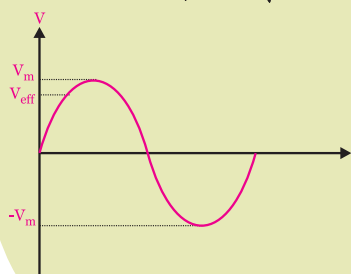
**توجه**

در مدارهای جریان متناوب

سینوسی منظور از  $I_{\text{eff}}$  و  $V_{\text{eff}}$  مقدار

جریان و ولتاژ مؤثری است که از

روابط  $\frac{V_m}{\sqrt{2}}$  و  $\frac{I_m}{\sqrt{2}}$  محاسبه می شود.



**نکته مهم:**

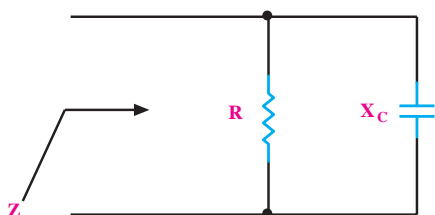
همان طور که مشاهده می شود، عملاً در مدار دو نوع ولتاژ وجود دارد. ۱- ولتاژ دو سر مقاومت که با جریان هم فاز است و توان مؤثر مدار را مصرف می کند. ۲- ولتاژ دو سر خازن که از جریان مدار ۹۰ درجه عقب است. این ولتاژ را ولتاژ راکتیو می نامند که توان راکتیو را در مدار به وجود می آورد.

## ۲۰-۷ مدار RC موازی

در مدار RC موازی مقاومت و خازن، به صورت موازی

قرار می گیرند. عامل مشترک در این مدار و سایر مدارهای

موازی ولتاژ است، شکل ۷-۸۳.



شکل ۷-۸۳ مدار RC موازی

**توجه**

تمامی مقادیر ولتاژ و جریانی که

در مثال ها و مسائل نوشته شده است،

بر حسب مقدار موثر می باشد. به جز

مواردی که معادله موج مورد نظر

نوشته شده باشد.

به عنوان مثال  $V_s = 120 \text{ V}$  یعنی

مقدار ولتاژ  $V_s$ ، ۱۲۰ ولت موثر است.

### ۱-۲۰-۷ امپدانس مدار RC موازی

امپدانس مدار RC موازی از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_c^2}$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R} \text{ و } \cos \varphi = \frac{I_R}{I_T}$$

جریان موثر کل مدار نیز از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه

است:

$$I_T = I_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{eff}}}{Z} \text{ (مقدار موثر)}$$

**مثال ۱۲:** خازنی به ظرفیت ۱۰۰۰ میکروفاراد با یک

مقاومت ۴ اهمی به طور موازی به ولتاژ متناوب ۱۲۰ ولتی با

فرکانس ۵۰ هرتز اتصال داده شده است. مطلوب است:

الف- جریان هر یک از عناصر

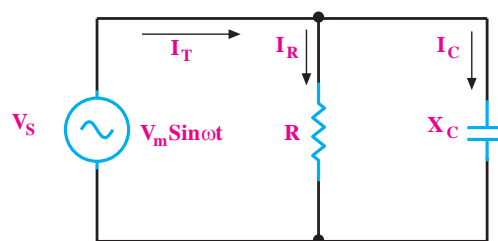
ب- جریان کل مدار

ج- امپدانس مدار

د- اختلاف فاز  $\varphi$

در شکل ۷-۸۴ جریان‌های مدار RC موازی نشان داده

شده است.

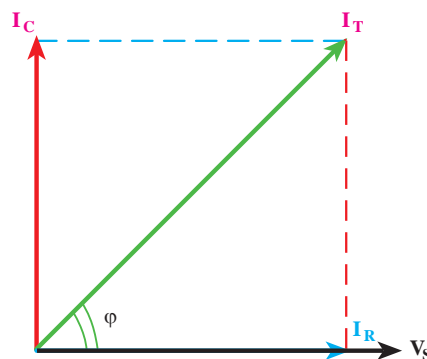


شکل ۷-۸۴ جریان‌های مدار RC موازی

### ۲-۲۰-۷ دیاگرام برداری مدار RC موازی

دیاگرام برداری جریان‌های مدار مطابق شکل ۷-۸۵ رسم

می‌شوند.



شکل ۷-۸۵ دیاگرام برداری ولتاژ و جریان‌های مدار RC موازی

با توجه به دیاگرام برداری در یک مدار RC موازی، برای

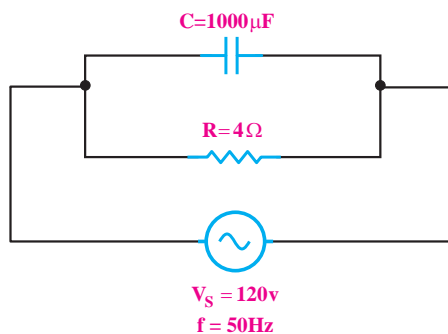
جریان‌های مدار روابط زیر نیز برقرار است.

$$I_R = \frac{V_s}{R} \text{ و } I_C = \frac{V_s}{X_C}$$

**حل:**

با توجه به توضیحات مطرح شده شکل مدار را مطابق

شکل ۷-۸۶ می‌توان رسم کرد.



شکل ۷-۸۶ مدار RC موازی

## ۲۰-۷ آزمایش شماره‌ی (۵)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

### ۲۱-۷ هدف آزمایش:

بررسی امپدانس در مدارهای RC سری و موازی و

$$V_s = \sqrt{V_R^2 + V_C^2} \quad \text{تحقیق رابطه‌ی}$$

### ۲۱-۷ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	مولتی متر دیجیتالی	دو دستگاه
۲	خازن $10\text{ nF}$ و $0.1\text{ }\mu\text{F}$	از هر کدام یک عدد
۳	مقاومت $1\text{ K}\Omega$ و $15\text{ K}\Omega$	از هر کدام یک عدد
۴	فانکشن ژنراتور	یک دستگاه
۵	سیم رابط دو سرگیره سوسماری $50$ سانتی متری	شش رشته
۶	سیم رابط یک سرگیره سوسماری $50$ سانتی متری	چهار رشته
۷	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

### ۲۱-۷ مراحل اجرای آزمایش:

الف: به‌دست آوردن امپدانس یک مدار RC

$$V_s = \sqrt{V_R^2 + V_C^2} \quad \text{سری و تحقیق رابطه‌ی}$$

■ وسایل مورد نیاز را آماده کنید.

■ مدار شکل ۸۷-۷ را ببندید.

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 10^{-6} \times 10^{-6}}$$

$$X_C = 3\Omega$$

$$I_R = \frac{V_s}{R} = \frac{120}{4} = 30\text{ A} \quad I_R = 30\text{ A}$$

$$I_C = \frac{V_s}{X_C} = \frac{120}{3} = 40\text{ A} \quad I_C = 40\text{ A}$$

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50\text{ A} \quad I_T = 50\text{ A}$$

$$Z = \frac{V_s}{I_T} = \frac{120}{50} = 2.4\Omega \quad Z = 2.4\Omega$$

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R} = \frac{2.4}{4} = 0.6 \Rightarrow \varphi = 53^\circ$$

AC به کار برده‌اید روی ۲۰ mA قرار دهید و کلید AC-DC را در حالت AC بگذارید.

■ مقدار ولتاژی را که ولت‌متر و جریانی را که میلی‌آمپر متر نشان می‌دهد در جدول زیر یادداشت کنید:

V ..... = مقدار ولتاژی را که ولت‌متر نشان می‌دهد.

mA ..... = مقدار جریانی که میلی‌آمپر متر نشان می‌دهد.

■ با استفاده از مقادیر ولتاژ و جریان، امپدانس را محاسبه کنید.

$$Z = \frac{V \text{ (ولت)}}{I \text{ (آمپر)}} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots \Omega$$

$$Z = \dots\dots\dots \Omega \text{ اندازه گیری}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times C} = \frac{1}{314C}$$

$$X_C = \dots\dots\dots \Omega$$

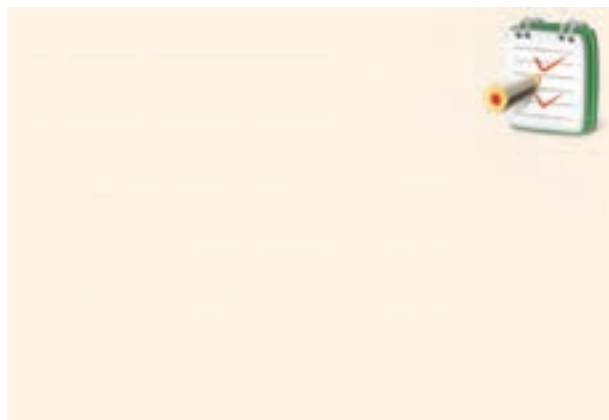
$$R = \dots\dots\dots \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{(\dots)^2 + (\dots)^2} = \sqrt{\dots} \Omega$$

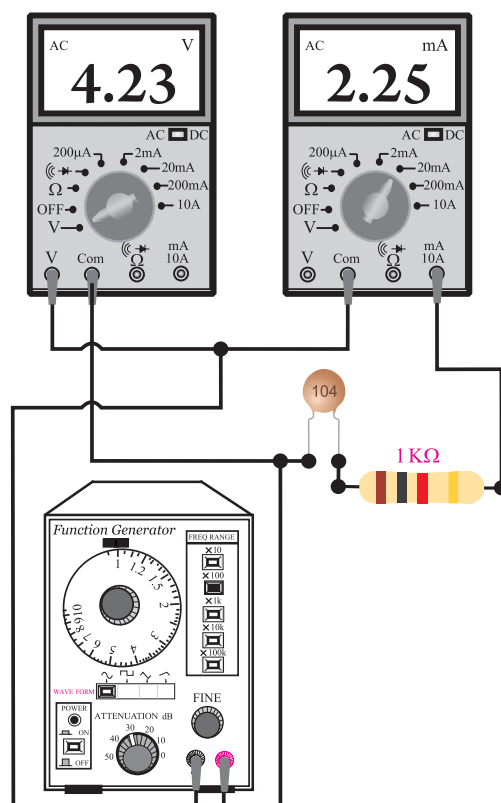
$$Z = \dots\dots\dots \Omega \text{ محاسبه}$$

**سوال ۱۸:** آیا مقدار Z اندازه گیری شده با مقدار Z که

از طریق محاسبه‌ی ریاضی به دست آمده است تقریباً با هم برابرند؟ توضیح دهید.



مدار شکل ۷-۸۸ را ببینید.



شکل ۷-۸۷ مدار آزمایش

**توجه**

در صورتی که دو یا ۳ مولتی متر در اختیار ندارید از یک مولتی متر استفاده کنید.



■ فانکشن ژنراتور را روی فرکانس ۱ KHz و دامنه‌ی ولتاژ ۶ ولت سینوسی تنظیم کنید.

■ کلید سلکتور مولتی‌متری را که به عنوان ولت‌متر به کار برده‌اید، در حالت AUTO و یا رنج ۲۰ ولت قرار دهید. کلید AC-DC را در حالت AC بگذارید.

■ کلید سلکتور مولتی‌متر را که به عنوان میلی‌آمپر متر

■ مقدار ولتاژی را که ولت‌مترهای AC نشان می‌دهند یادداشت کنید.

هر دو مولتی‌متر را در حالت ولت‌متر AC بگذارید.

توجه

چنانچه سه مولتی‌متر در اختیار ندارید از یک مولتی‌متر استفاده کنید.



$V_R = \dots\dots\dots$  ولتاژ دوسر مقاومت اهمی

$V_C = \dots\dots\dots$  ولتاژ دوسر خازن

■ یکی از ولت‌مترها را از مدار جدا کنید و با آن ولتاژ خروجی فانکشن ژنراتور را اندازه بگیرید.

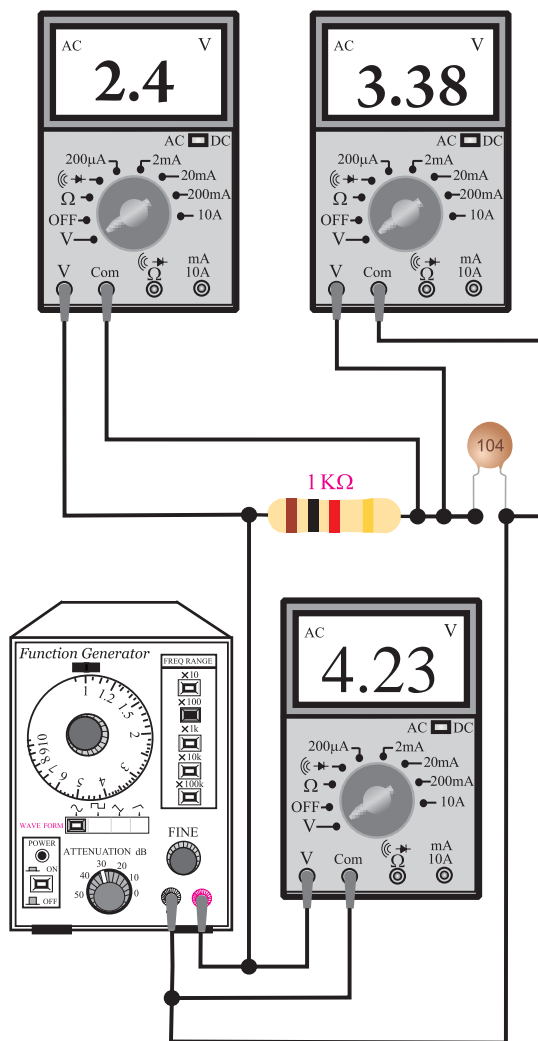
$V_S = \dots\dots\dots$  ولتاژ خروجی فانکشن ژنراتور

■ مقادیر  $V_C$  و  $V_R$  را در رابطه‌ی زیر قرار دهید و مقدار  $V_S$  را محاسبه کنید.

$$V_S = \sqrt{V_R^2 + V_C^2} = \sqrt{(\dots)^2 + (\dots)^2} = \sqrt{\dots}$$

ولتاژ ورودی  $V_S = \dots\dots\dots V$  محاسبه

**سوال ۱۹:** آیا مقدار  $V_S$  محاسبه شده با مقدار  $V_S$  اندازه‌گیری شده در خروجی فانکشن ژنراتور تقریباً برابر است؟ توضیح دهید.



**ب: امپدانس یک مدار RC موازی**

مدار شکل ۷-۸۹ را ببندید.

شکل ۷-۸۸ مدار آزمایش

■ فانکشن ژنراتور را روی فرکانس ۱ KHz و دامنه‌ی

ولتاژ ۶ ولت سینوسی تنظیم کنید.

محاسبه کنید.

$$Z = \frac{V(\text{ولت})}{I(\text{آمپر})} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots \Omega$$

$$Z = \dots\dots\dots \Omega \text{ اندازه گیری}$$

مقدار Z را محاسبه کنید.

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_C^2}$$

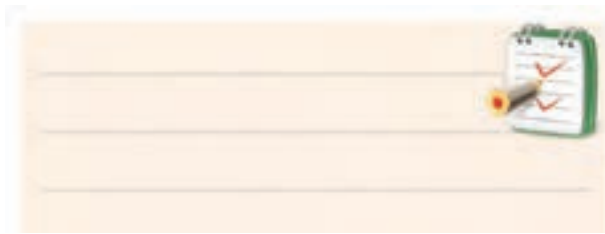
$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{(\dots)^2} + \frac{1}{(\dots)^2}$$

$$Z = \dots\dots\dots \Omega \text{ محاسبه}$$

**سوال ۲۰:** آیا مقدار Z اندازه گیری شده با مقدار Z که

از طریق محاسبه ریاضی به دست آمده است تقریباً با هم

برابرند؟ توضیح دهید.



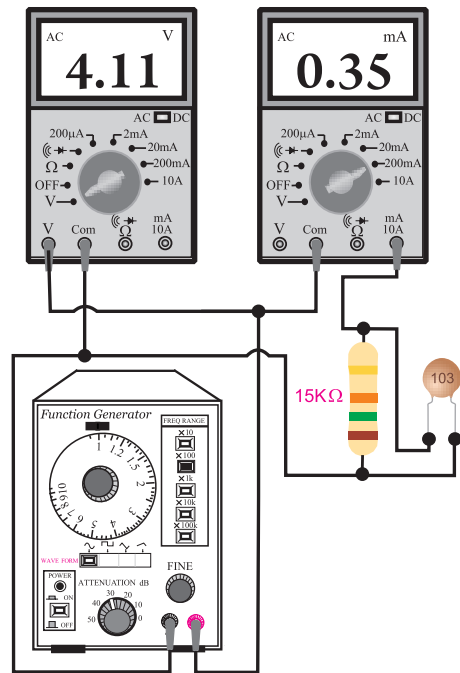
#### ۴-۲۰-۷ نتایج آزمایش

نتایج حاصل از آزمایش های الف و ب را به طور خلاصه

بیان کنید.

الف

ب



شکل ۸۹-۷ مدار عملی آزمایش

■ کلید سلکتور مولتی متر را که به عنوان ولت متر به کار برده اید در حالت AUTO یا رنج ۲۰ ولت و کلید AC-DC را در حالت AC قرار دهید.

■ کلید سلکتور مولتی متر را که به عنوان آمپر متر AC به کار برده اید روی رنج مناسب بگذارید و کلید AC-DC را در حالت AC قرار دهید.

■ فانکشن ژنراتور را روی فرکانس ۱ KHz و دامنه ی ولتاژ ۶ ولت سینوسی تنظیم کنید.

■ مقدار ولتاژی را که ولت متر و مقدار جریانی را که میلی آمپر متر نشان می دهد یادداشت کنید.

$$I = \dots\dots\dots \text{mA} \text{ جریان مدار}$$

$$V = \dots\dots\dots \text{V} \text{ ولتاژ خروجی فانکشن ژنراتور}$$

■ با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده، امپدانس مدار را



## آزمون پایانی ۷


۴- در یک خازن،  $0.01$  میلی کولمب بار الکتریکی ذخیره شده است. اگر ظرفیت خازن  $10 \mu F$  باشد ولتاژ دو سر خازن چند ولت است؟



۱- ظرفیت خازن و واحد آن را تعریف کنید.



۵- ساختمان داخلی یک خازن کاغذی را شرح دهید.



۲- ظرفیت خازن به کدام عوامل بستگی دارد؟ نام ببرید.



۶- روش آزمایش سلامت خازن با اهم متر عقربه‌ای را شرح دهید.



۳- ساختمان خازن را به طور کامل با رسم شکل شرح

دهید.

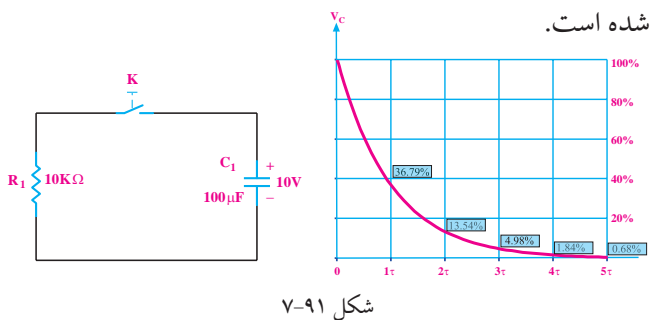


۷- اگر یک خازن را به یک ولتاژ DC وصل کنیم چه

اتفاقی می افتد؟ شرح دهید.



۱۰- در شکل ۷-۹۱ با توجه به منحنی دشارژ خازن بعد از بسته شدن کلید K پس از چند ثانیه ولتاژ دو سر خازن کمتر از ۰/۱ ولت می شود؟ خازن قبلاً به اندازه ی ۱۰ ولت شارژ شده است.

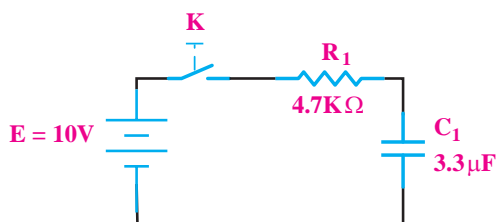


۸- چگونه می توان ظرفیت یک خازن را اندازه گرفت؟ مراحل اندازه گیری را شرح دهید.

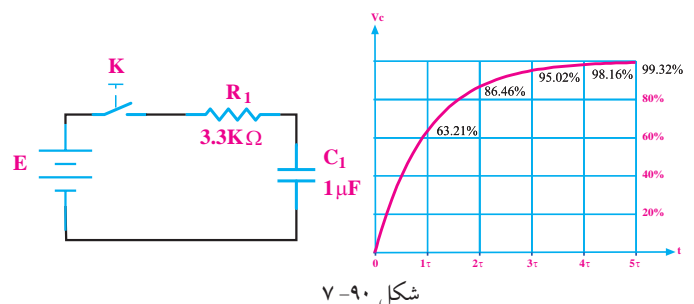


۹- با توجه به منحنی داده شده در شکل ۷-۹۰ و مدار مربوطه پس از بسته شدن کلید K ، چند میلی ثانیه طول می کشد تا ولتاژ دو سر خازن به ۰/۸۶ ولتاژ منبع (E) برسد.

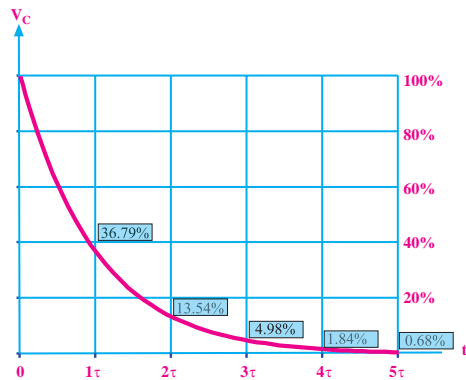
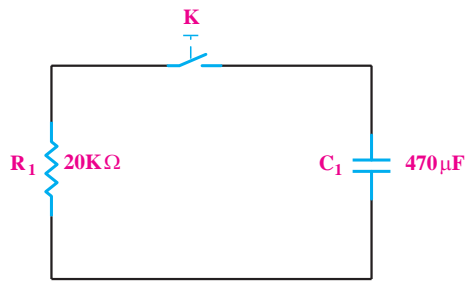
۱۱- در شکل ۷-۹۲ بعد از بسته شدن کلید، شکل تقریبی جریان شارژ خازن را رسم کنید.



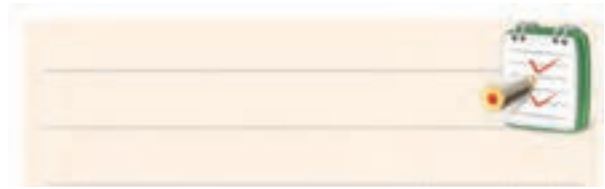
شکل ۷-۹۲





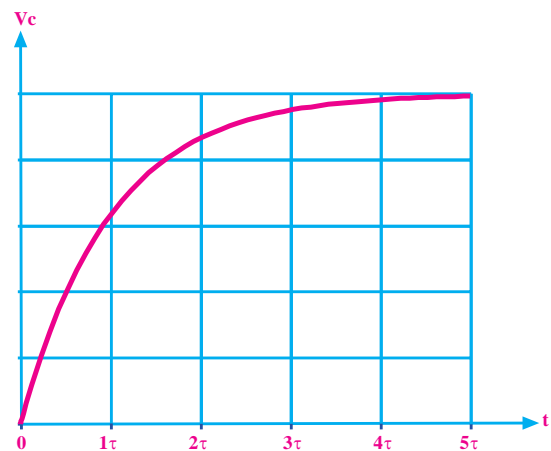
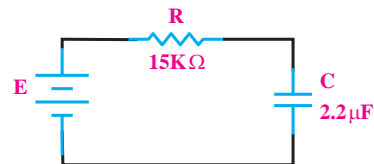


شکل ۷-۹۴



۱۲- در شکل ۷-۹۳ با توجه به منحنی شارژ خازن بعد از

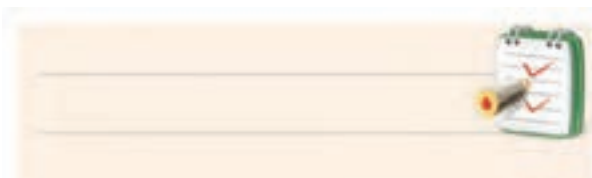
سه ثابت زمانی ولتاژ دو سر خازن چند ولت می شود؟



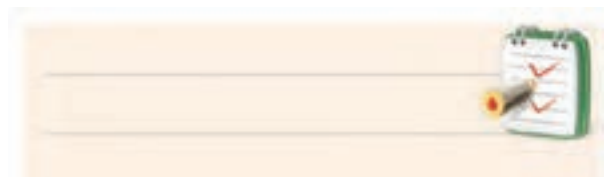
شکل ۷-۹۳

۱۴- مقدار انرژی ذخیره شده در صفحات خازن به چه

عواملی بستگی دارد؟ با ذکر روابط شرح دهید.



۱۵- چهار مشخصه از مشخصات خازن را نام ببرید.



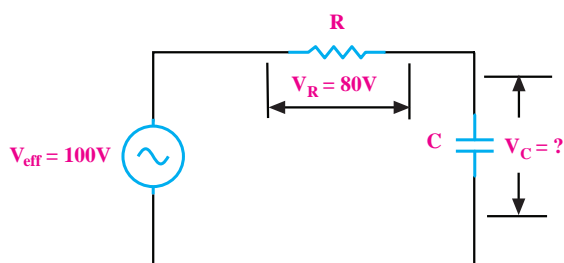
۱۳- در شکل ۷-۹۴ ولتاژ دو سر خازن به اندازه‌ی ۱۵

ولت است. اگر کلید K را وصل کنیم، با توجه به منحنی

دشارژ خازن، پس از سه ثابت زمانی ولتاژ دو سر خازن چند

ولت می شود؟

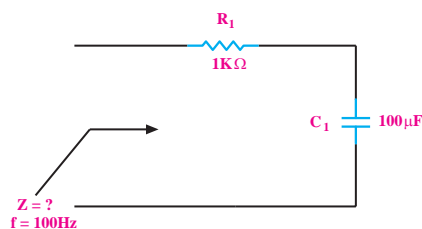
۱۹- در شکل ۷-۹۶ ولتاژ دو سر خازن چند ولت است؟



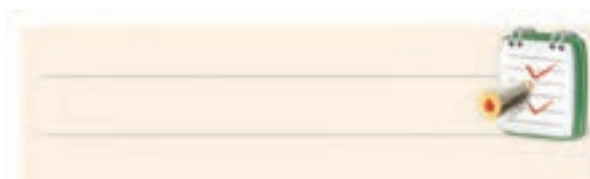
شکل ۷-۹۶



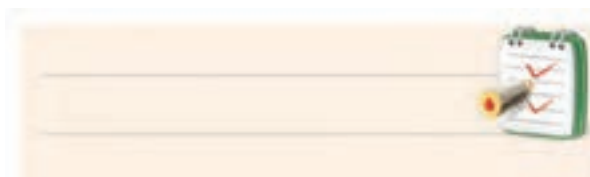
۱۶- در شکل ۷-۹۵ امپدانس مدار را محاسبه کنید.



شکل ۷-۹۵

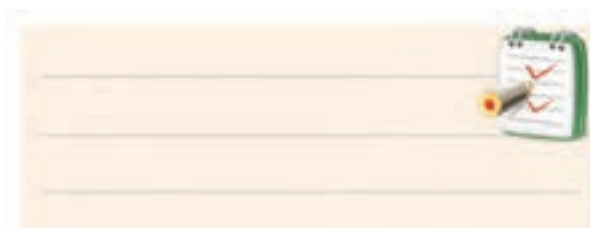


۱۷- راکتانس خازنی را تعریف کنید.



۱۸- در یک خازن با افزایش فرکانس، راکتانس خازنی

چه تغییری می کند.



۲۰- خازن ۱۰۰PF معادل چند میکرو فاراد است؟

(الف)  $10^{-8}$  (ب)  $10^{-5}$  (ج)  $10^{-10}$  (د)  $10^{-4}$

۲۱- برای دشارژ کردن خازن کدامیک از موارد زیر

صحیح است؟

(الف) قطع و وصل کلید موجود در مدار

(ب) اتصال کوتاه کردن دو پایه‌ی خازن

(ج) اعمال ولتاژ به دو سر خازن

(د) تخلیه‌ی میدان مغناطیسی صفحات خازن

۲۲- هر چه ضریب دی الکتریک ماده‌ی عایق به کار رفته

در خازن زیادتر باشد، ظرفیت خازن .....

(الف) کمتر می شود (ب) زیادتر می شود

(ج) تغییر نمی کند (د) با توان دو تغییر می کند.

۲۳- ظرفیت خازن معادل ۲ خازن مساوی که به صورت

موازی بسته شده اند ..... برابر ظرفیت هر یک از

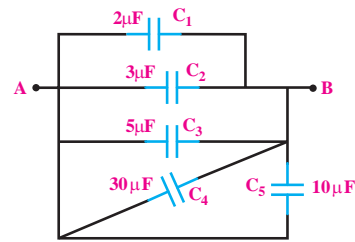
خازن های مدار است.

(الف)  $\frac{1}{2}$  (ب) ۲ (ج)  $\sqrt{2}$  (د)  $\frac{1}{\sqrt{2}}$

۲۴- ظرفیت خازن معادل بین دو نقطه‌ی A و B در شکل

۷-۹۷ چند میکرو فاراد است.

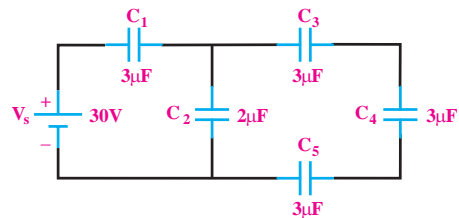
الف) ۱۵۰ (ب) ۵۰ (ج) ۸۰ (د) ۲۰



شکل ۷-۹۷

۲۵- ولتاژ دو سر خازن  $C_p$  در شکل ۷-۹۸ چند ولت

است؟



شکل ۷-۹۸

الف) ۱۴/۵ (ب) ۱۵ (ج) ۱۲ (د) ۱۷

۲۶- از خازن در مدارهای الکتریکی برای ذخیره‌ی انرژی

الکتریکی استفاده می‌شود.

الف) صحیح (ب) غلط

۲۷- ظرفیت یک خازن با فاصله‌ی بین صفحات آن

رابطه‌ی مستقیم دارد.

الف) صحیح (ب) غلط

۲۸- حداکثر ولتاژی که می‌توان به طور دائم به خازن

اعمال کرد را ولتاژ ذخیره شده گویند.

الف) صحیح (ب) غلط

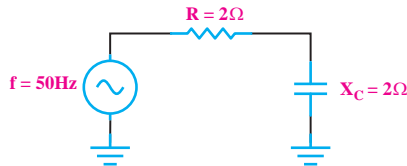
۲۹- راکتانس خازنی یک خازن ۷۹۰۰ اهم است. اگر

ظرفیت خازن  $0.1 \mu F$  باشد. فرکانس مدار تقریباً چند هرتز

است؟

الف) ۵۰ (ب) ۶۰ (ج) ۱۰۰ (د) ۲۰۰

۳۰- امپدانس مدار شکل ۷-۹۹ چند اهم است؟



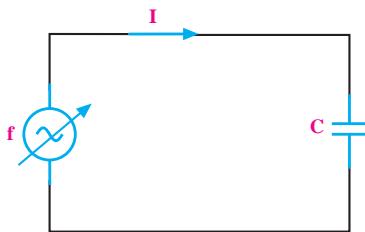
شکل ۷-۹۹

الف) ۲/۸۲ (ب) ۸ (ج) ۴ (د) صفر

۳۱- در شکل ۷-۱۰۰ هر قدر فرکانس افزایش یابد، مقدار

$I$  ..... می‌شود.

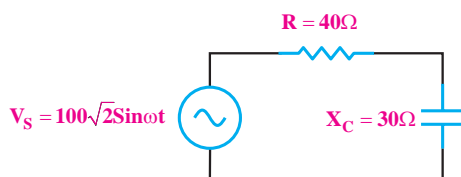
الف) کم (ب) زیاد



شکل ۷-۱۰۰

۳۲- در شکل ۷-۱۰۱ جریان موثر مدار و اختلاف فاز بین

جریان و ولتاژ را به دست آورید.



شکل ۷-۱۰۱

## فصل هشتم


### عملکرد سلف در جریان مستقیم و متناوب

**هدف کلی:** بررسی اثرات سلف در مدارهای RL سری و موازی



پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می رود که:

- ۱- میدان مغناطیسی را تعریف کند. دهد.
- ۲- میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان را شرح دهد.
- ۳- میدان الکترومغناطیسی را شرح دهد.
- ۴- جهت میدان الکترومغناطیسی را تعیین کند.
- ۵- ساختمان سلف و میدان مغناطیسی اطراف آن را توضیح دهد.
- ۶- جریان القایی و ضریب خود القایی سلف را تعریف توضیح دهد.
- ۷- ولتاژ القایی و نحوه تولید آن را توضیح دهد.
- ۸- نحوه محاسبه ولتاژ القایی را بیان کند.
- ۹- شارژ و دشارژ سیم پیچ را توضیح دهد.
- ۱۰- ثابت زمانی در یک مدار RL سری را محاسبه کند.
- ۱۱- روش آزمایش سلف به کمک اهم متر را بیان کند.
- ۱۲- عملکرد سلف در جریان متناوب را توضیح دهد.
- ۱۳- راکتانس سلفی را تعریف و مقدار آن را محاسبه کند.
- ۱۴- اختلاف فاز بین جریان گذرنده از سلف و ولتاژ دو سر آن را توضیح دهد و مقدار آن را اندازه بگیرد.
- ۱۵- ضریب خود القایی متغیر را توضیح دهد.
- ۱۶- انواع سیم پیچ متغیر را نام ببرد.
- ۱۷- خود القایی متقابل را توضیح دهد.
- ۱۸- ضریب خود القایی در مدار سری و موازی را توضیح دهد.
- ۱۹- عملکرد مدار RL سری در ولتاژ DC و AC را توضیح دهد.
- ۲۰- امپدانس، ولتاژ و اختلاف فاز در مدار RL سری را محاسبه کند.
- ۲۱- عملکرد مدار RL موازی در ولتاژ DC و AC را توضیح دهد.
- ۲۲- امپدانس، اختلاف فاز و جریان های مدار RL موازی را محاسبه کند.
- ۲۳- امپدانس مدار RL سری و موازی را اندازه گیری کند.
- ۲۴- اصول کار ترانسفورماتور را توضیح دهد.
- ۲۵- روابط توان و جریان در ترانس را محاسبه کند.
- ۲۶- تطبیق امپدانس در ترانسفورماتور را توضیح دهد.
- ۲۷- تلفات ترانس را توضیح دهد.
- ۲۸- عملکرد اتوترانس را شرح دهد.
- ۲۹- نحوه تشخیص خرابی های ترانس را شرح دهد.
- ۳۰- اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ را در مدار RL توسط اسیلوسکوپ اندازه گیری کند.
- ۳۱- اهداف رفتاری در حیطه عاطفی که در فصل اول آمده است را اجرا کند.

ساعت آموزش: 			توانایی
جمع	عملی	نظری	
۲۱	۹	۱۲	شماره ۸



## پیش آزمون فصل (۸)

۱- با کدام وسیله می توان به وجود میدان مغناطیسی پی

برد؟

الف) آمپر متر      ب) براده های آهن

ج) از طریق مشاهده ی دقیق      د) ولت متر

۲- فلوی مغناطیسی و واحد آن را تعریف کنید.

۳- چگونگی تشخیص جهت میدان الکترومغناطیسی در

اطراف سیم حامل جریان را شرح دهید.

۴- اجزای یک سلف کدام است؟

الف) سیم پیچ      ب) هسته

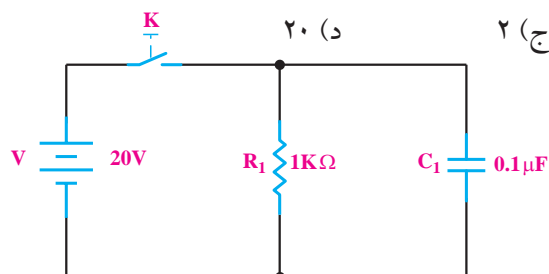
ج) قرقره      د) همه موارد

۵- در شکل زیر جریان نهایی در مدار بعد از بسته شدن

کلید، چند میلی آمپر است؟

الف) صفر      ب) ۰/۲

ج) ۲      د) ۲۰



۶- ۶۴۵۸/۵ میکرو هانری، چند میلی هانری است؟

الف) ۶۴/۵۸۵      ب) ۶/۴۵۸۵

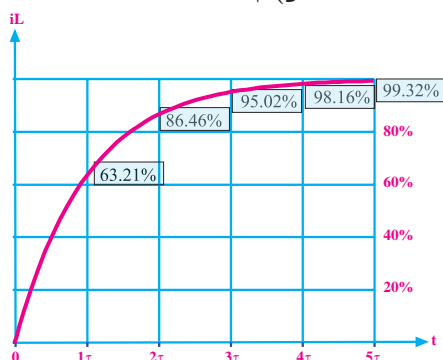
ج) ۶۴۵/۸۵      د) ۶۴۵۸۵۰۰

۷- در یک مدار RL سری، بعد از چند ثابت زمانی، جریان

مدار تقریباً به ۹۵٪ جریان ماکزیمم می رسد؟

الف) ۱      ب) ۲

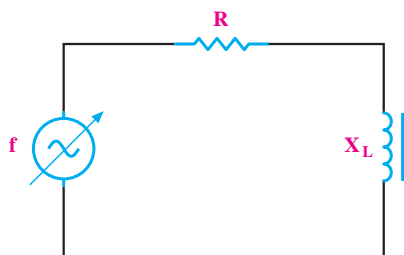
ج) ۳      د) ۴



۸- در شکل زیر هر قدر فرکانس افزایش یابد توان تلف

شده در مقاومت R ..... می شود.

الف) کم تر      ب) بیش تر



۹- به میدان ایجاد شده در فضای اطراف یک سیم حامل

جریان، میدان ..... گویند.

الف) الکتریکی      ب) مغناطیسی

ج) الکترومغناطیسی      د) استاتیکی

۱۰- با تبدیل سیم راست به صورت حلقه، میدان مغناطیسی

..... می شود.

الف) زیاد      ب) کم

۱۱- در قانون دست راست برای سیم حامل جریان انگشت

شست جهت .....، و خم شدن چهار انگشت دیگر جهت

..... رانشان می دهد.

۱۲- از یک سلف با  $L=3H$ ، جریان  $2A$  عبور می کند،

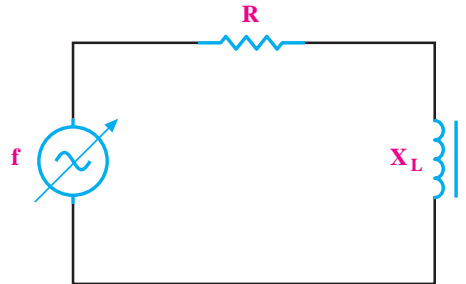
انرژی ذخیره شده در آن چند ژول است؟

الف) ۹۰      ب) ۶۰

ج) ۹      د) ۶

۱۳- برای محاسبه‌ی امپدانس مدار زیر از کدام رابطه

استفاده می شود؟



الف)  $Z=R+X_L$       ب)  $Z=\sqrt{R^2+X_L^2}$

ج)  $Z=\frac{R.X_L}{\sqrt{R^2+X_L^2}}$       د)  $Z=R.X_L$

۱۴- اگر در ترانسفورماتوری نسبت دور اولیه به ثانویه

برابر با ۵ و تعداد دور سیم پیچ ثانویه ۲۰۰ دور باشد، تعداد

دور اولیه را محاسبه کنید.



۱۵- پاسخ های صحیح ستون سمت چپ را به ستون سمت

راست با ترسیم خطوط رنگی جداگانه ارتباط دهید.

عامل مشترک جریان

عامل مشترک ولتاژ

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$Z = \frac{R.X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

$$V_T = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

• RL سری

• RL موازی

## ۸-۱ خطوط نیروی مغناطیس و میدان مغناطیسی

### ۸-۱-۱ میدان مغناطیسی آهن ربا

جسمی که خاصیت مغناطیسی داشته باشد را آهن ربا

می گویند. همانطور که می دانید، یک آهن ربا می تواند بدون

اینکه با یک قطعه آهن تماس داشته باشد، آن را جذب کند

یا از یک فاصله‌ی معین بر روی آهن ربای دیگر اثر بگذارد.

دلیل اینکه یک آهن ربا به آهن ربای دیگر نیرو وارد می کند،

وجود «میدان مغناطیسی» در اطراف آن است. پس می توان

میدان مغناطیسی را به صورت زیر تعریف کرد:

فضای اطراف یک جسم مغناطیسی (آهن ربا) که

می تواند روی اجسام مغناطیسی دیگر اثر بگذارد را «میدان

مغناطیسی» می گویند. آهن ربای مغناطیسی دارای دو قطب

شمال (N) و جنوب (S) است. میدان مغناطیسی را می توان

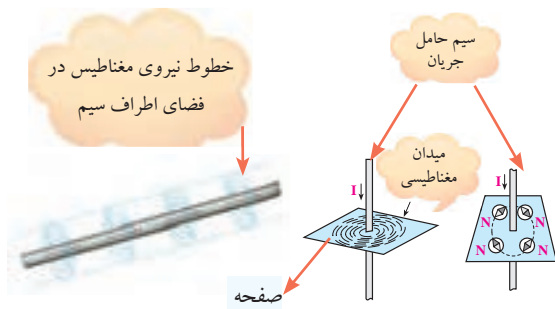
با خطوط بردار گونه نشان داد. این خطوط را «خطوط

شار مغناطیسی»، «خطوط نیروی میدان مغناطیسی»، «فلوی

مغناطیسی» یا «فوران مغناطیسی» می نامند، شکل ۸-۱.

## ۲-۱-۸ میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان

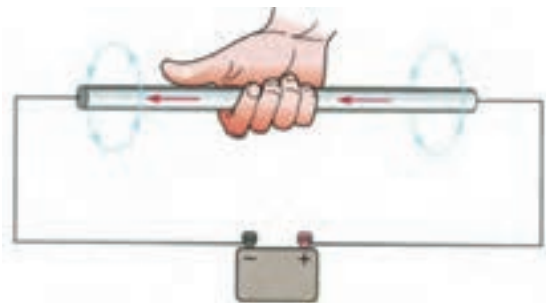
اگر از یک سیم یا یک هادی، جریانی عبور کند، اطراف این سیم یک میدان مغناطیسی ایجاد می شود. اگر روی صفحه‌ای در فضای اطراف سیم با نمک پاش براده‌ی آهن بریزیم، مشاهده می کنیم که براده‌های آهن دور سیم حامل جریان حلقه می زنند. شکل ۴-۸ میدان مغناطیسی را در اطراف سیم حامل جریان نشان می دهد.



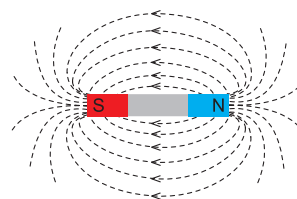
شکل ۴-۸ میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان

هر قدر مقدار جریان عبوری از سیم حامل جریان بیش تر باشد، میدان مغناطیسی اطراف سیم قوی تر می شود. به عبارت دیگر فلوی مغناطیسی افزایش می یابد. جهت میدان مغناطیسی را به کمک قانون دست راست می توان تعیین کرد.

همانند شکل ۵-۸ هر گاه سیم حامل جریان را طوری در دست راست بگیریم که انگشت شست جهت جریان را نشان دهد، جهت خم شدن چهار انگشت دیگر جهت میدان مغناطیسی را نشان می دهد.

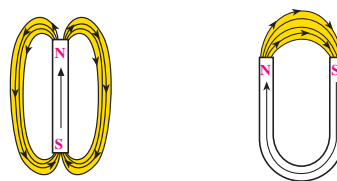


شکل ۵-۸ میدان مغناطیسی و قانون دست راست



شکل ۱-۸ میدان مغناطیسی اطراف آهن ربا

فلوی مغناطیسی عبارت از کلیه‌ی خطوط میدان مغناطیسی است که از قطب شمال آهن ربا خارج می شود و به قطب جنوب آهن ربا می رسد. فلوی مغناطیسی را با حرف « $\Phi$ » فی نمایش می دهند و واحد آن بر حسب وبر «Wb» است. در شکل ۲-۸ جهت خطوط میدان را در بیرون و درون دو نمونه آهن ربا مشاهده می کنید. همانطور که مشاهده می شود خطوط میدان از قطب شمال خارج می شود و پس از وارد شدن به قطب جنوب از طریق داخل آهن ربا به قطب شمال می رسد.



شکل ۲-۸ جهت خطوط میدان مغناطیس

میدان مغناطیسی با چشم مشاهده نمی شود ولی اثر آن را با یک قطب‌نمای ساده می توان مشاهده نمود. شکل ۳-۸ اثرات این میدان را روی حرکت عقربه‌ی قطب‌نما و چگونگی تراکم براده‌های آهن در اطراف آهن ربا نشان می دهد.

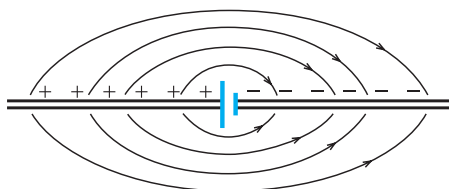


شکل ۳-۸ اثر میدان مغناطیسی روی قطب نما و براده‌های آهن

است. همانند شکل ۸-۶-ج چنانچه جهت جریان عبوری از سیم عوض شود، جهت میدان مغناطیسی نیز عوض خواهد شد.

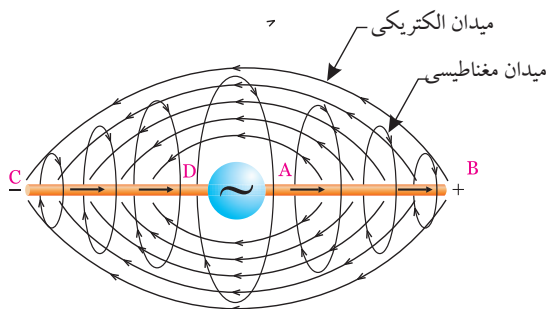
### ۳-۱-۸ میدان الکترومغناطیسی

یادآوری می شود اگر از یک سیم هادی، جریانی عبور کند در آن میدان الکتریکی ایجاد می شود. در شکل ۸-۷ میدان الکتریکی اطراف سیم هادی که به قطب های مثبت و منفی یک منبع ولتاژ DC اتصال دارد را مشاهده می کنید. خطوط میدان الکتریکی از قطب مثبت به سمت قطب منفی رسم شده است.



شکل ۸-۷ میدان الکتریکی

با توجه به مطالب بیان شده پی می بریم با عبور جریان از سیم هادی در اطراف آن میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی ایجاد می شود. ترکیب این دو میدان را میدان الکترومغناطیسی می نامند، شکل ۸-۸.



شکل ۸-۸ میدان الکترومغناطیسی

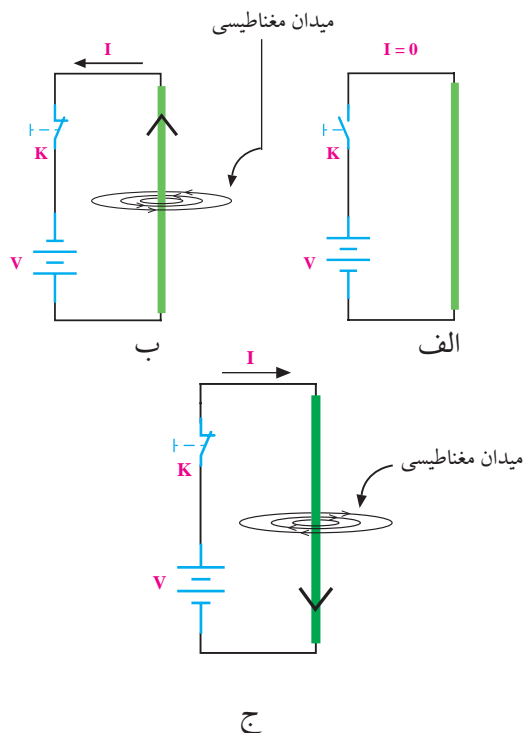
میدان الکترومغناطیسی سه بعدی است و در آن میدان الکتریکی، میدان مغناطیسی و حرکت وجود دارد.

### توجه

قانون دست راست برای جهت قراردادی جریان (از قطب + به سمت قطب -) صادق است.



اگر از سیم، جریانی عبور نکند، میدان مغناطیسی اطراف سیم وجود ندارد و اگر از سیم جریانی عبور کند، چنانچه جهت جریان عوض شود، جهت میدان نیز عوض خواهد شد. در شکل ۸-۶ جهت میدان مغناطیسی و جهت جریان در سیم نشان داده شده است



شکل ۸-۶ میدان مغناطیسی در اطراف سیم

همانطور که مشاهده می کنید در شکل ۸-۶-الف به علت صفر بودن جریان در مدار، میدان نیز در اطراف سیم وجود ندارد. در شکل ۸-۶-ب جهت میدان مغناطیسی نشان داده شده



## ۸-۲ سلف

### ۸-۲-۱ ساختمان سلف یا سیم پیچ

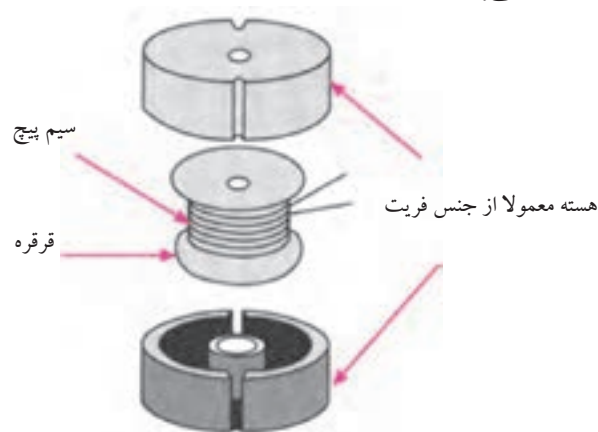
سلف یا سیم پیچ عنصری است که انرژی الکتریکی را به صورت میدان مغناطیسی در خود ذخیره می‌کند. یک سلف معمولاً از سه قسمت تشکیل می‌شود:

قرقره

سیم پیچ

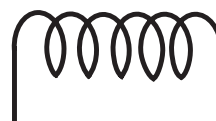
هسته

در شکل (۸-۹) اجزای یک سلف معمولی نشان داده شده است.



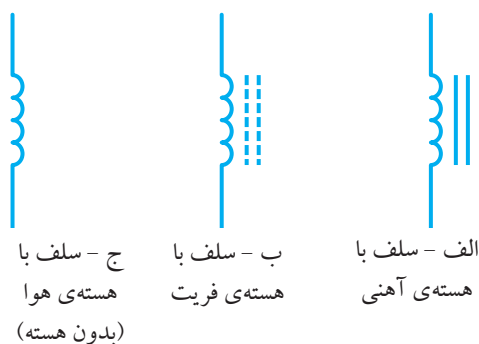
شکل ۸-۹ اجزای یک نمونه سلف معمولی

لازم به یادآوری است که یک سلف می‌تواند قرقره‌ی سیم پیچی و هسته نداشته باشد و فقط از چند دور سیم تشکیل شده باشد، شکل ۸-۱۰.



شکل ۸-۱۰ سلف معمولی

بنابراین یک سلف می‌تواند با هسته یا بدون هسته باشد. در شکل ۸-۱۱ علامت قرار دادی انواع سلف (با هسته و بدون هسته) نشان داده شده است.



شکل ۸-۱۱ علامت قرار دادی انواع سلف

سلف‌ها در عمل با ابعاد و مشخصات الکتریکی متنوعی ساخته می‌شوند و در مدارهای الکتریکی و الکترونیکی کاربرد وسیعی دارند.

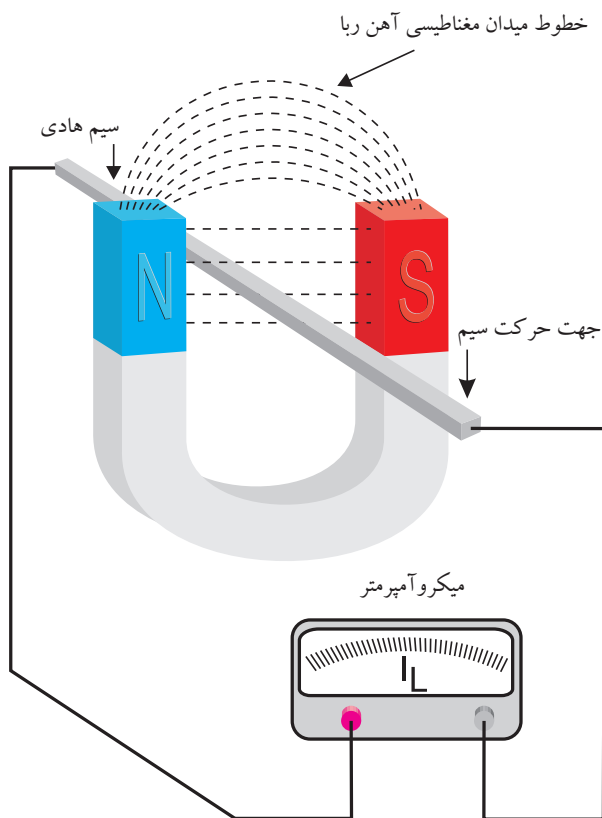
در شکل ۸-۱۲ چند نمونه از سلف‌های کوچک که در الکترونیک کاربرد دارند نشان داده شده است.



شکل ۸-۱۲ چند نمونه سلف کوچک

### ۸-۲-۲ میدان مغناطیسی اطراف سلف

اگر سیم حامل جریان را به صورت یک حلقه یا چند حلقه درآوریم، میدان مغناطیسی اطراف هر حلقه با هم جمع می‌شود و تراکم میدان مغناطیسی را افزایش می‌دهد. در شکل ۸-۱۳ چگونگی ترکیب میدان‌های مربوط به حلقه‌های سیم پیچ یا سلف را مشاهده می‌کنید.



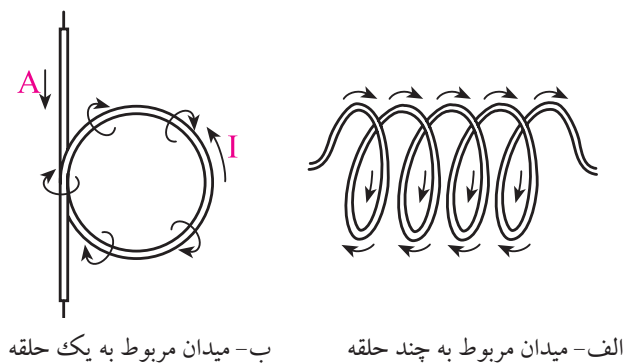
شکل ۸-۱۵ تولید جریان القایی

#### ۸-۴ ضرب خود القایی سلف

همانطور که قبلاً اشاره شد اگر از یک سیم یا یک هادی، جریانی عبور کند، اطراف این سیم یک میدان مغناطیسی ایجاد می شود.

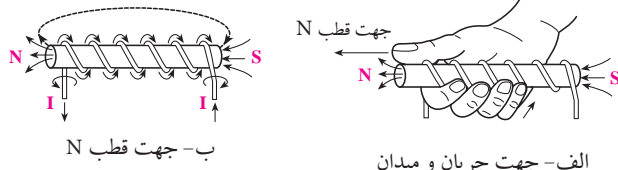
اگر سیم حامل جریان را به صورت یک حلقه در آوریم، مقدار فلوی مغناطیسی نسبت به یک سیم راست (با همان جریان قبلی) در داخل حلقه بیش تر می شود.

اگر به جای یک حلقه، سیم را به صورت دو حلقه در آوریم و همان جریان قبلی را از آن عبور دهیم مقدار فلوی مغناطیسی باز هم بیش تر می شود، در شکل ۸-۱۶ فلوی (شار) مغناطیسی را مشاهده می کنید.



شکل ۸-۱۳ میدان مغناطیسی اطراف سیم پیچ

جهت میدان مغناطیسی اطراف یک سیم پیچ نیز با «قانون دست راست» قابل تعیین است. چنانچه طبق شکل ۸-۱۴ سیم پیچ حامل جریانی را طوری در دست راست بگیریم که جهت خم شدن چهار انگشت، در جهت قرار دادی جریان قرار گیرد، انگشت شست، جهت قطب N میدان مغناطیسی اطراف سیم را نشان خواهد داد.



شکل ۸-۱۴ تعیین قطب های N و S در سیم پیچ

#### ۸-۳ جریان القایی

چنانچه یک سیم هادی را در یک میدان مغناطیسی به نحوی حرکت دهیم که خطوط نیروی مغناطیسی را قطع کند در سیم متحرک جریان الکتریکی به وجود می آید. این نوع جریان را جریان القایی می گویند. در شکل ۸-۱۵ چگونگی تولید جریان القایی را مشاهده می کنید.

القایی در سیم پیچ بروز می کند. اصولاً این خاصیت سیم پیچ را خاصیت خود القایی سیم پیچ می نامند.

از خاصیت خود القایی سیم پیچ در صنعت برق جهت ایجاد ولتاژهای زیاد استفاده می کنند.

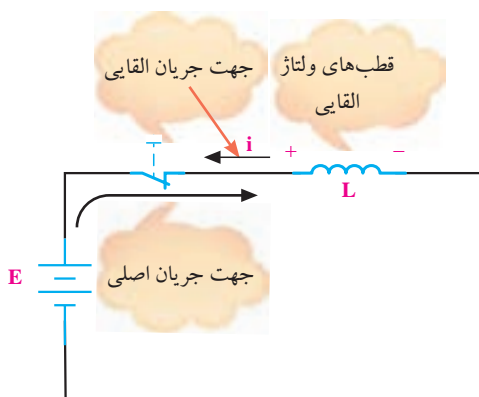
مقدار ولتاژ ایجاد شده در دو سر سیم پیچ بستگی به مقدار ضریب خود القایی ( $L$ ) و نسبت تغییرات جریان به تغییرات

زمان دارد.  

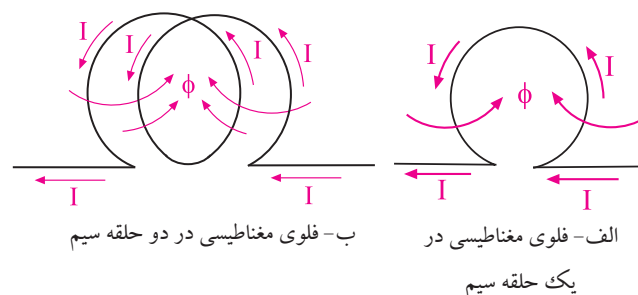
$$V = -L \frac{\text{تغییرات جریان گذرنده از سیم پیچ}}{\text{تغییرات زمان}}$$
 ولتاژ به وجود آمده در دو سر سیم پیچ

علامت منفی به مفهوم مخالفت با عامل به وجود آورندهی جریان است.

قطب‌های ولتاژ به وجود آمده طوری است که اگر این ولتاژ جریانی را در مدار ایجاد کند، این جریان خلاف جهت جریانی خواهد بود که این ولتاژ را به وجود آورده است. به عبارت دیگر جریان به وجود آمده با جریان به وجود آورندهی آن مخالفت می کند، (در حقیقت جریان اصلی را تضعیف می کند). از این رو می توان گفت که یک سلف در مدار با تغییرات جریان مخالفت می کند، شکل ۱۷-۸



شکل ۱۷-۸ ولتاژ القایی



شکل ۱۶-۸ فلوی مغناطیسی

در یک سیم پیچ، نسبت فلوی مغناطیسی ایجاد شده به جریان گذرنده از سیم پیچ ( $I$ ) را ضریب خود القایی سلف (اندوکتانس) می گویند و با حرف  $L$  نشان می دهند:

$$L = \frac{\Phi \text{ (کل فلوی مغناطیسی ایجاد شده)}}{I \text{ (جریان گذرنده از سیم پیچ)}}$$

$L$  = ضریب خود القایی سلف بر حسب هانری ( $H$ )  
 $\Phi$  = فلوی مغناطیسی ایجاد شده بر حسب وبر ( $Wb$ )  
 $I$  = جریان گذرنده از سیم پیچ بر حسب آمپر ( $A$ )  
 واحدهای کوچکتر از هانری را میلی هانری و میکروهانری می نامند. این واحدها نیز در الکترونیک کاربرد دارد.  
 میلی هانری را با  $mH$  و میکروهانری را  $\mu H$  نشان می دهند.

$$1 \text{ میلی هانری} = \frac{1}{1000} H = 10^{-3} H = 1 mH$$

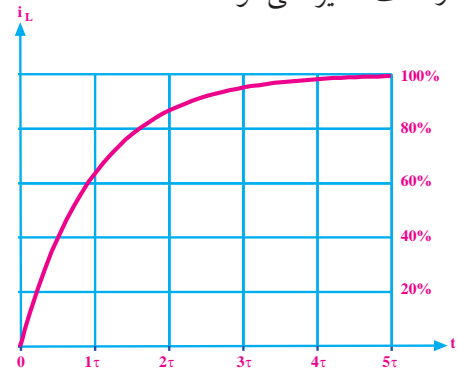
$$1 \text{ میکروهانری} = \frac{1}{1000000} H = 10^{-6} H = 1 \mu H$$

## ۵-۸ ولتاژ القایی

اگر از یک سیم یا یک هادی، جریانی عبور کند، اطراف این سیم یک میدان مغناطیسی ایجاد می شود. چنانچه جریان عبوری تمایل به تغییر پیدا کند، سیم پیچ با تغییر جریان مخالفت می نماید و این مخالفت به صورت ایجاد ولتاژی به نام ولتاژ

## ۶-۸ شارژ و دشارژ سلف

وقتی یک سلف را به ولتاژ DC وصل می‌کنیم، جریان در مدار به آرامی و به صورت تابع نمایی (جهشی) زیاد می‌شود. شکل ۱۸-۸ نحوه‌ی افزایش جریان در سلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، پس از مدتی جریان در مدار تقریباً به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در این حالت حداکثر انرژی در سلف ذخیره می‌شود.



شکل ۱۸-۸ شارژ سلف

به عبارت دیگر سلف کاملاً شارژ می‌شود و انرژی ذخیره شده در مدار از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

کمیت‌های رابطه‌ی فوق عبارتند از:

$W$  = انرژی ذخیره شده بر حسب ژول

$L$  = ضریب خود القایی سلف بر حسب هانری

$I$  = جریان گذرنده از سلف بر حسب آمپر

توجه داشته باشید که به محض قطع مدار الکتریکی سلف، انرژی ذخیره شده در آن نیز تخلیه می‌شود، به عبارت دیگر رفتار سلف بر خلاف رفتار خازن است. قبلاً اشاره کردیم که اگر خازن را از مدار جدا می‌کردیم انرژی ذخیره شده در آن باقی می‌ماند.

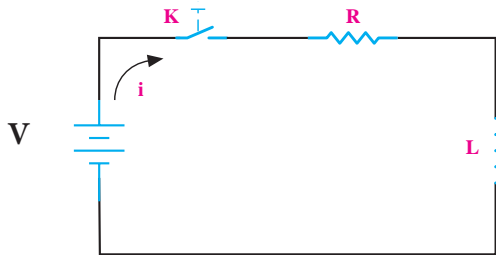
هنگام تخلیه‌ی انرژی سلف، ممکن است یک جرقه، حتی جرقه‌ی شدید در نقطه‌ای که مدار قطع می‌شود، مانند کلید قطع و وصل به وجود آید. تخلیه‌ی انرژی سلف را دشارژ سلف نیز می‌گویند.

## ۷-۸ ثابت زمانی در مدار RL سری

در شکل ۱۹-۸ اگر کلید بسته شود، جریان در مدار به آرامی زیاد می‌شود. تقریباً بعد از ۵ ثابت زمانی جریان به حداکثر مقدار خود می‌رسد. ثابت زمانی مدار RL سری از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\tau = \frac{L}{R}$$

اگر  $L$  بر حسب هانری و  $R$  بر حسب اهم باشد  $\tau$  بر حسب ثانیه خواهد بود.



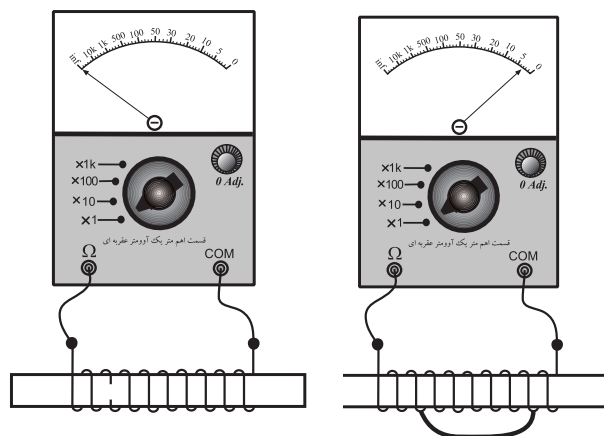
شکل ۱۹-۸ مدار شارژ سلف

جدول ۱-۸ جریان مدار در هر ثابت زمانی را بر حسب درصدی از جریان ماکزیمم نشان می‌دهد.

جدول ۱-۸

ثابت زمانی	درصد ماکزیمم جریان مدار
$\tau$	۶۳/۲۱٪
$2\tau$	۸۶/۴۶٪
$3\tau$	۹۵/۰۲٪
$4\tau$	۹۸/۱۶٪
$5\tau$	۹۹/۳۲٪

اگر اهم متر، مقاومت اهمی سلف را صفر اهم یا بی نهایت نشان دهد سلف قطعاً معیوب شده است. چنانچه اهم متر، مقدار مقاومت اهمی را صفر نشان دهد سلف سوخته و اتصال کوتاه است. در صورتی که اهم متر مقدار مقاومت اهمی سلف را بی نهایت نشان دهد سیم پیچ سلف در یک یا چند نقطه قطع شده است. در شکل ۸-۲۲ الف سلف اتصال کوتاه است و مقاومت اهمی بسیار کمی دارد. در شکل ۸-۲۲ ب سیم پیچ سلف قطع شده است و اهم متر مقاومت اهمی سلف را بی نهایت نشان می دهد.



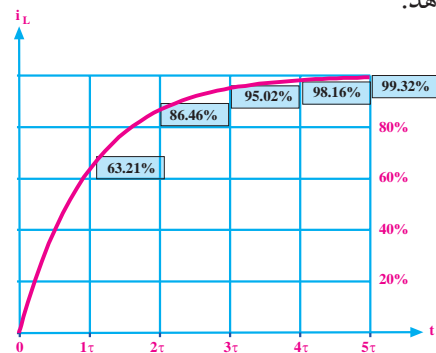
الف- قسمتی از سلف اتصال کوتاه شده است. ب- سلف قطع شده است.  
شکل ۸-۲۲ سلف معیوب

## ۸-۹ سلف (سیم پیچ) در جریان متناوب

### ۸-۹-۱ عملکرد سلف در جریان متناوب

اگر یک سلف را به ولتاژ DC وصل کنیم، از آن جریان عبور می کند و فقط مقاومت اهمی سیم پیچ جریان را محدود می نماید. اگر سلف را ایده آل در نظر بگیریم یعنی مقاومت آن را صفر فرض کنیم، سلف در برابر جریان مستقیم هیچ مقاومتی از خود نشان نمی دهد، شکل ۸-۲۳.

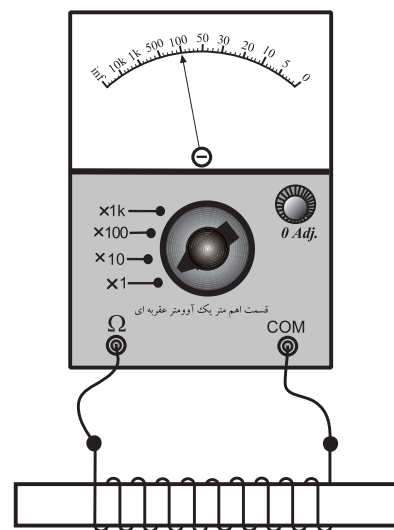
ماکزیمم جریان در مدار برابر  $\frac{E}{R}$  است. شکل ۸-۲۰ منحنی افزایش جریان (شارژ سلف) در مدار RL سری را نشان می دهد.



شکل ۸-۲۰ منحنی افزایش جریان در مدار RL

## ۸-۸ روش آزمایش (تست) سلف به کمک اهم متر

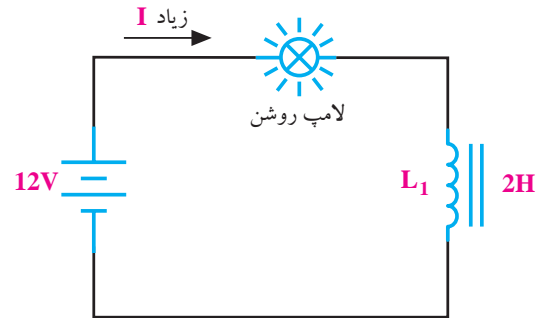
هر سلف یا سیم پیچ سالم علاوه بر داشتن ضریب خود القایی (L اندوکتانس) یک مقاومت اهمی نیز دارد. برای آزمایش صحت کار یک سلف می توان به کمک اهم متر، مقاومت اهمی آن را اندازه گرفت. اگر مقاومت اهمی اندازه گیری شده، برابر با مقاومت اهمی در حالت عادی باشد، سلف سالم است. در غیر این صورت ممکن است سلف معیوب شده باشد، شکل ۸-۲۱.



شکل ۸-۲۱ آزمایش اهمی سلف



ژوزف هانری (۱۸۷۸-۱۷۹۷)  
دانشمند آمریکایی، واحد ضریب  
خود القایی ( $L$ ) به نام او ثبت شده  
است.



شکل ۸-۲۳ سلف ایده آل در جریان مستقیم

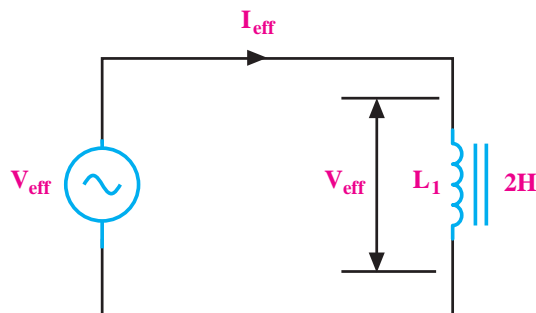
سلف ایده آل در مقابل عبور جریان مستقیم، هیچ  
مقاومتی از خود نشان نمی دهد.

## ۲-۹-۸ راکتانس سلفی

به مقاومتی که سلف در جریان متناوب از خود نشان  
می دهد راکتانس یا عکس العمل سلفی می گویند.  
راکتانس سلفی را با  $X_L$  نشان می دهند و مقدار آن از  
رابطه ی زیر به دست می آید.

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

در این رابطه  $X_L$  راکتانس سلفی بر حسب اهم،  $f$  فرکانس  
منبع ولتاژ یا جریان متناوب سینوسی بر حسب هرتز و  $L$   
ضریب خودالقایی سلف بر حسب هانری است. در شکل  
۸-۲۵ روابط مربوط به سلف آمده است.

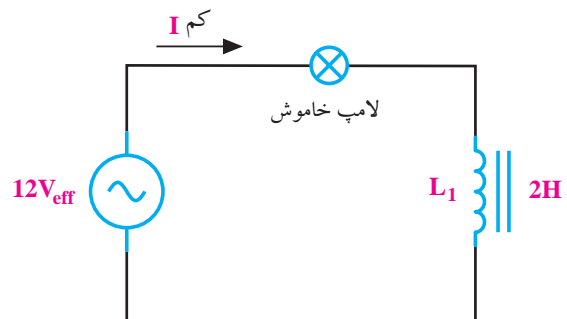


$$X_L = \frac{V_{eff}}{I_{eff}} = 2\pi f L = L\omega$$

راکتانس سلفی

اندوکتانس یا ضریب  
خود القایی سلف

شکل ۸-۲۵ سلف در جریان متناوب



شکل ۸-۲۴ سلف ایده آل در جریان متناوب

سلف در جریان متناوب از خود یک نوع مقاومت نشان  
می دهد. بنابراین جریان در مدار کم می شود و لامپ را  
روشن نمی کند. روشن شدن، خاموش شدن یا کم نور شدن  
لامپ بستگی به مقدار  $L$  و فرکانس دارد.

### ۳-۹-۸ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در سلف

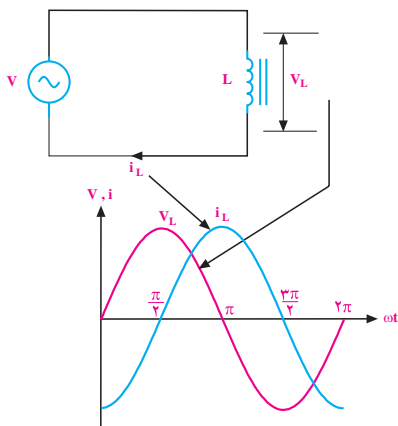
اگر در یک مدار الکتریکی با منبع جریان متناوب سینوسی، فقط یک سلف بدون مقاومت اهمی وجود داشته باشد، جریان در مدار به اندازه ی ۹۰ درجه با ولتاژ دو سر آن اختلاف فاز پیدا می کند.

در شکل ۲۷-۸ شکل موج جریان گذرنده از سلف و شکل موج ولتاژ دو سر آن رسم شده است. همانطور که از شکل ۲۷-۸ مشخص است جریان به اندازه ی ۹۰ درجه از ولتاژ عقب تر است. (پس فاز).

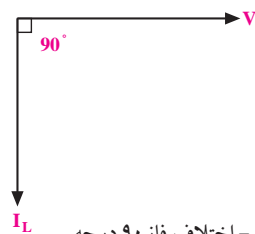
رابطه ی ریاضی ولتاژ و جریان در سلف به صورت زیر نوشته می شود:

$$V_L = V_{Lmax} \sin \omega t$$

$$I_L = I_{Lmax} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$



الف - جریان و ولتاژ سلف



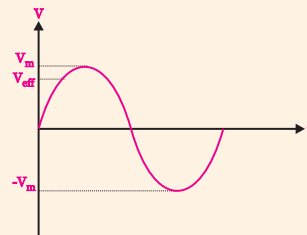
ب - اختلاف فاز ۹۰ درجه

شکل ۲۷-۸ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ سلف

### نکته مهم:

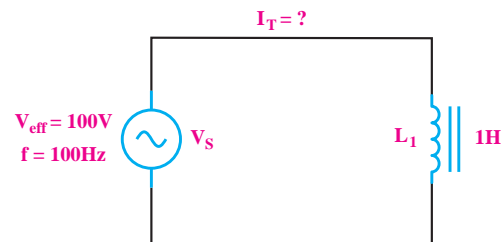


در مدارهای جریان متناوب سینوسی معمولاً منظور از  $V_{eff}$  و  $I_{eff}$  مقدار جریان و ولتاژ موثری است که از روابط  $\frac{V_m}{\sqrt{2}}, \frac{I_m}{\sqrt{2}}$  محاسبه می شود.



**مثال ۱:** در شکل ۲۶-۸ جریان  $I_T$  چند میلی آمپر است؟

از مقاومت اهمی سیم پیچ صرف نظر کنید.



شکل ۲۶-۸ مثال

حل:

جریان  $I_T$  همان جریان عبوری از سیم پیچ ( $I_L$ ) است.

$$I_L = I_T = \frac{V_{eff}}{X_L}$$

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2\pi \times 100 \times 1 = 628 \Omega$$

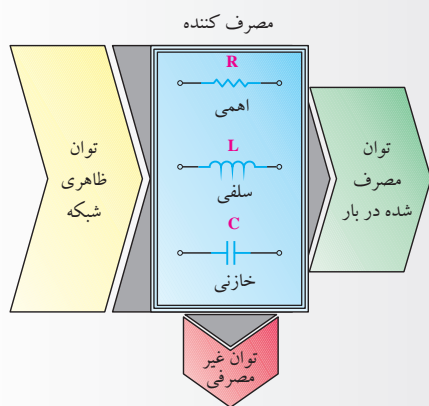
$$I_L = \frac{100}{628} = 0.159 A = 159 mA$$

$$I_L = 159 mA$$

در مدارهای جریان متناوب، جریانهای عبوری از سلف و خازن از نوع غیر موثر یا راکتیو است.

## مخصوص دانش آموزان علاقه‌مند:

در مدارهای جریان متناوب از عناصر اهمی ( $R$ )، سلفی ( $L$ ) و خازنی ( $C$ ) به صورت مستقل یا ترکیبی استفاده می‌شود. این عناصر انرژی الکتریکی دریافتی از منبع ولتاژ را به صورت‌های گوناگون ظاهر می‌کنند. گروهی از عناصر توان الکتریکی را مورد مصرف قرار می‌دهند و آن را به نوع دیگری از انرژی تبدیل می‌کنند. و گروهی دیگر توان الکتریکی را به صورت انرژی ذخیره می‌کنند. به همین خاطر در شبکه‌های متناوب سه نوع توان خواهیم داشت، شکل ۲۸-۸.



شکل ۲۸-۸

### توان ظاهری ( $S$ )

به حاصل ضرب ولتاژ و جریان موثر توان ظاهری گفته می‌شود.

### توان حقیقی، مفید یا اکتیو ( $P$ )

توانی که به وسیله‌ی مصرف کننده‌های اهمی ( $R$ ) مورد استفاده قرار می‌گیرد و کار موثر را انجام می‌دهد، این توان را توان اکتیو یا مفید می‌گویند.

توان غیر حقیقی، غیر مفید یا راکتیو ( $Q$ ):

توانی که در مقاومت‌های سلفی و خازنی ظاهر می‌شود ولی نمی‌تواند به کار مفید تبدیل شود این توان را توان غیر حقیقی یا راکتیو می‌نامند.

چون در مدارهای القایی جریان از ولتاژ عقب می‌ماند، توان به صورت مفید یا موثر مصرف نمی‌شود. در این مدارها توان به صورت غیر موثر یا راکتیو است و انرژی در سلف ذخیره می‌شود ولی عملاً مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. شکل ۲۷-۸ ب بردارهای ولتاژ و جریان در سلف را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌کنید زاویه  $\phi$  بین بردارهای جریان و ولتاژ  $90^\circ$  درجه است و جریان به اندازه‌ی  $90^\circ$  درجه از ولتاژ عقب‌تر است.

در مدارهای القایی چون جریان از ولتاژ عقب می‌ماند لذا در سلف توان مفید یا موثر مصرف نمی‌شود و به صورت غیر موثر، غیر مفید یا راکتیو ( $Reactive$ ) است و در این قطعات ذخیره می‌شود ولی انرژی حاصل از آن مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.



## ۱۰-۸ آزمایش شماره‌ی (۱)

■ فانکشن ژنراتور را روی فرکانس ۱۰ KHz و دامنه‌ی

ولتاژ ۵ ولت سینوسی تنظیم کنید. زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

### ۱-۱۰-۸ هدف آزمایش:

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های لازم را روی

آن انجام دهید.

مشاهده و اندازه‌گیری اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در

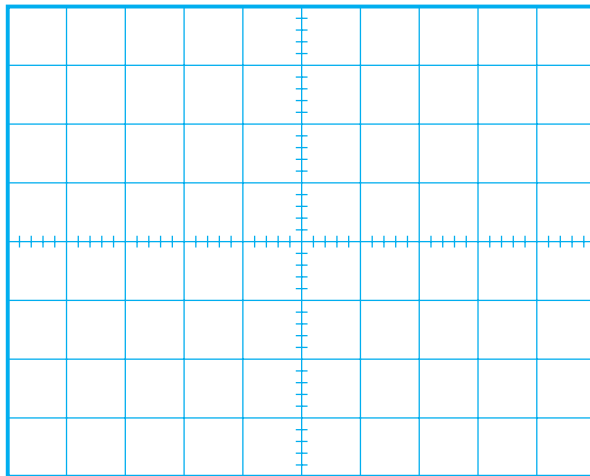
سلف

■ شکل موج‌های نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس

را در نمودار شکل ۳۰-۸ با دو رنگ مختلف رسم کنید.

### ۲-۱۰-۸ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد/ مقدار
۱	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۲	اسیلوسکوپ دو کاناله	یک دستگاه
۳	سیم رابط	به تعداد کافی
۴	سلف $100\mu\text{H}$	یک عدد
۵	مقاومت اهمی $470\Omega$	یک عدد
۶	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری



شکل ۳۰-۸ شکل موج ولتاژ و جریان در سلف

### ۳-۱۰-۸ مراحل اجرای آزمایش:

■ مدار شکل ۲۹-۸ را روی بردبرد ببندید.

**سؤال ۱:** شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت اهمی که همان

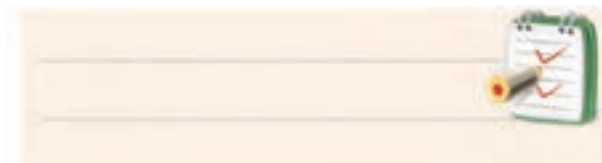
شکل موج جریان گذرنده از سلف است را CH۲ و شکل

موج ولتاژ دو سر سلف را CH۱ نشان می‌دهد. این دو شکل

موج چند درجه با یکدیگر اختلاف فاز دارند؟

درجه  $\phi = \dots\dots\dots$

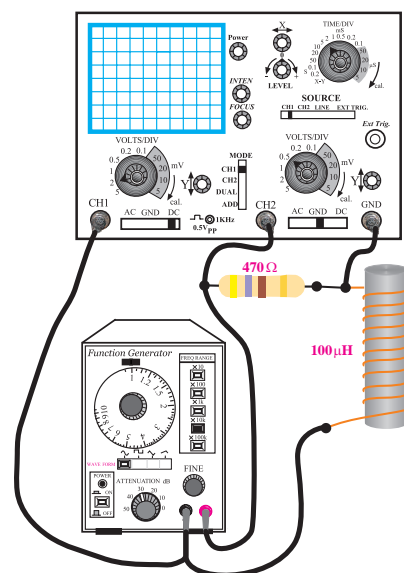
نحوه‌ی محاسبه‌ی اختلاف فاز را توضیح دهید.



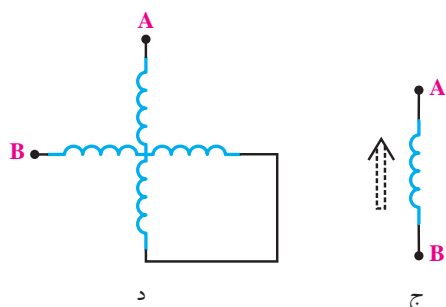
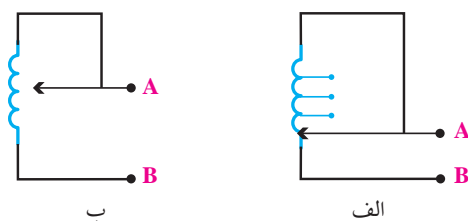
### ۴-۱۰-۸ نتایج آزمایش

آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح

دهید.



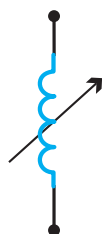
شکل ۲۹-۸ مدار آزمایش



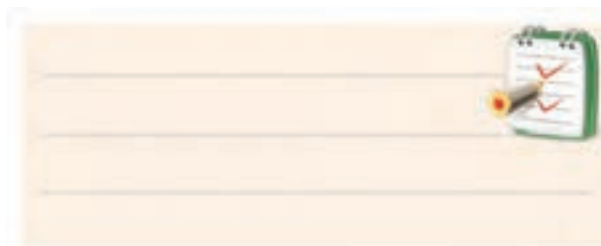
شکل ۸-۳۲ سیم پیچ های متغیر

در شکل ۸-۳۲-الف سیم پیچ چند سر دارد و با انتخاب سر مناسب توسط سلکتور می توان اندوکتانس مناسب را انتخاب کرد. در شکل ۸-۳۲-ب تغییر مقدار اندوکتانس مورد نظر به وسیله ی یک بازوی لغزنده انجام می شود. در شکل ۸-۳۲-ج برای داشتن اندوکتانس متغیر، هسته ی سیم پیچ را می توانیم تغییر دهیم. با جابه جایی هسته، اندوکتانس ( $L$ ) مورد نیاز را انتخاب می کنیم.

در شکل ۸-۳۲-د نیز با تغییر موقعیت مکانی سیم پیچ ها اندوکتانس کل مدار تغییر می کند. در شکل ۸-۳۳ نماد فنی سیم پیچ متغیر نشان داده شده است.



شکل ۸-۳۳ نماد فنی سیم پیچ متغیر



## ۱۱-۸ ضرب خود القایی متغیر

سیم پیچ ها را با توجه به نوع کاربرد در ۲ نوع ثابت و متغیر تولید می کنند. در شکل ۸-۳۱ شکل ظاهری چند نمونه سیم پیچ ثابت و متغیر را مشاهده می کنید.



شکل ۸-۳۱ چند نمونه سلف ثابت و متغیر

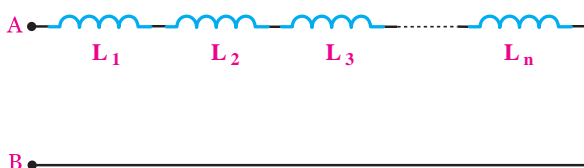
### ۱-۱۱-۸ انواع سیم پیچ متغیر

در شکل ۸-۳۲ نماد فنی چهار نمونه سیم پیچ متغیر نشان داده شده است.

صورت سری، موازی یا ترکیبی ضریب خود القایی مورد نظر را به دست آوریم.

### ۸-۱۲-۱ اتصال سری سیم پیچ ها

هرگاه دو یا چند سیم پیچ را مشابه مقاومت ها به صورت متوالی اتصال دهیم، «اتصال سری» سیم پیچ ها به وجود می آید. در شکل ۸-۳۵ اتصال سری  $n$  سیم پیچ نشان داده شده است.



شکل ۸-۳۵ اتصال سری سیم پیچ ها

بنابراین در اتصال سری سیم پیچ ها، ضریب خود القایی معادل بین دو نقطه  $A$  و  $B$  بر اساس رابطه ی زیر قابل محاسبه است.

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$

### توجه

رابطه بالا به شرطی برقرار است که بین سیم پیچ ها القای متقابل موجود نباشد.



اگر سیم پیچ های سری شده را به منبع ولتاژ متناوب اتصال دهیم هر سیم پیچ را کتانس القایی خاصی را از خود نشان می دهد.

در شکل ۸-۳۶ راکتانس سلفی هر سیم پیچ مشخص شده است.

### تحقیق کنید:

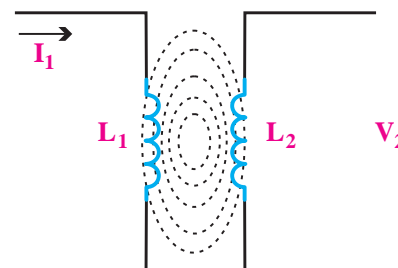


به نظر شما سیم پیچ های متغیر در چه مدارهایی کاربرد دارند؟ سه نمونه را نام ببرید.

### ۸-۱۱-۲ القای متقابل

هرگاه دو سیم پیچ را به گونه ای در مجاورت هم قرار دهیم که در صورت عبور جریان متناوب سینوسی از سیم پیچ اول، ولتاژی در سیم پیچ دوم به وجود آید (القا شود)، می گوئیم بین دو سیم پیچ القای متقابل وجود دارد.

یادآوری می شود که نباید هیچگونه اتصال الکتریکی بین سیم پیچ اول و دوم وجود داشته باشد. القای ولتاژ در سیم پیچ به خاطر تغییرات میدان ایجاد شده در سیم پیچ اول و اثر گذاشتن روی سیم پیچ دوم به وجود آمده است، شکل ۸-۳۴ هر قدر ولتاژ القایی به وجود آمده در سیم پیچ دوم بیشتر باشد، می گوئیم ضریب القایی متقابل بین دو سیم پیچ بیشتر است.



شکل ۸-۳۴ القای متقابل

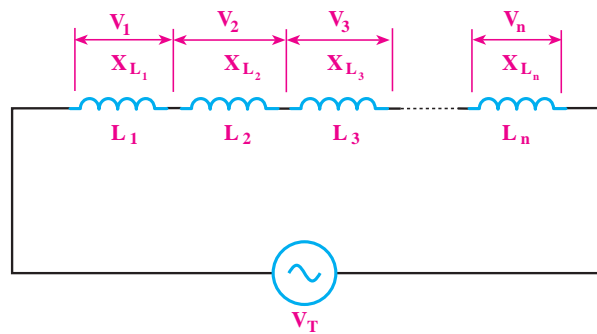
### ۸-۱۲ سلف به صورت سری و موازی

چنانچه سلف مورد نیاز در محدوده ی سلف های استاندارد نباشد، می توانیم با متصل کردن چند سیم پیچ (سلف) به

اگر سیم پیچ‌های موازی شده را به منبع ولتاژ متناوب متصل کنیم، ضریب خود القا و راکتانس معادل آن، مانند مقاومت‌های اهمی با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

$$\frac{1}{X_{L_T}} = \frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}} + \dots + \frac{1}{X_{L_n}}$$



شکل ۳۶-۸ راکتانس معادل

راکتانس سیم پیچ‌ها به صورت سری نیز مانند مقاومت‌های اهمی از روابط زیر به دست می‌آید.

$$X_{L_T} = X_{L_1} + X_{L_2} + X_{L_3} + \dots + X_{L_n}$$

### تحقیق کنید:

درستی روابط مربوط به ضریب خود القا و راکتانس سلفی معادل را در مدار موازی اثبات کنید.

چنانچه n سیم پیچ مساوی به صورت موازی قرار گیرند، ضریب خود القای معادل از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$L_T = \frac{L}{n}$$

ضریب خود القایی یک سیم پیچ
تعداد سیم پیچ‌ها

چنانچه دو سلف (سیم پیچ) نامساوی با یکدیگر به صورت موازی قرار گیرند، ضریب خود القای معادل از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$L_T = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$$

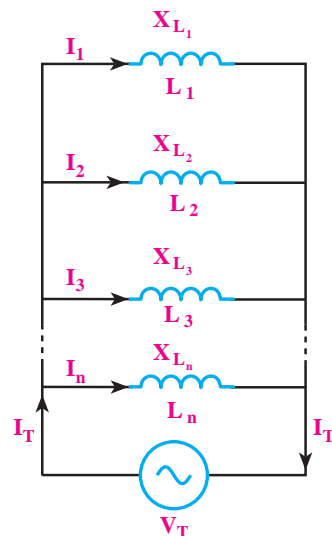
### تحقیق کنید:

با استفاده از روابط مربوط به مدار سری، رابطه‌ی راکتانس معادل سیم پیچ را به دست آورید.

$$X_{L_T} = X_{L_1} + X_{L_2} + X_{L_3} + \dots + X_{L_n}$$

### ۲-۱۲-۸ اتصال موازی سیم پیچ‌ها

اگر دو یا چند سیم پیچ را مطابق شکل ۳۷-۸ به یکدیگر اتصال دهیم، «اتصال موازی» سیم پیچ‌ها به وجود می‌آید.

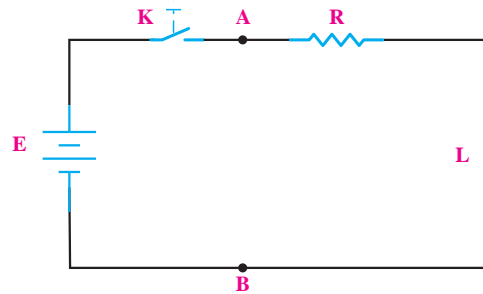


شکل ۳۷-۸ اتصال موازی سیم پیچ‌ها

## ۱۳-۸ مدار RL سری

### ۱-۱۳-۸ مدار RL سری در ولتاژ DC

در مدار شکل ۸-۳۸ سلف (L) و مقاومت (R) به صورت سری به هم اتصال دارند و ولتاژ DC را می توان از طریق یک کلید به آن متصل کرد. در صورتی که کلید K را ببندیم تقریباً بعد از مدتی جریان در مدار به ماکزیمم خود یعنی  $\frac{E}{R_{eq}}$  می رسد.



شکل ۸-۳۸ مدار RL سری

در عمل هر سلفی ضمن داشتن یک ضریب خود القایی (L)، یک مقاومت اهمی (مقاومت اهمی خود سیم پیچ) نیز دارد که می توان آن را به صورت سری با سلف نشان داد. ممکن است این مقاومت کم باشد ولی حتماً وجود دارد. این مقاومت را با  $r$  نشان می دهیم. از این به بعد در محاسبات سلف را ایده آل در نظر می گیریم و از مقاومت اهمی سلف صرف نظر می کنیم.

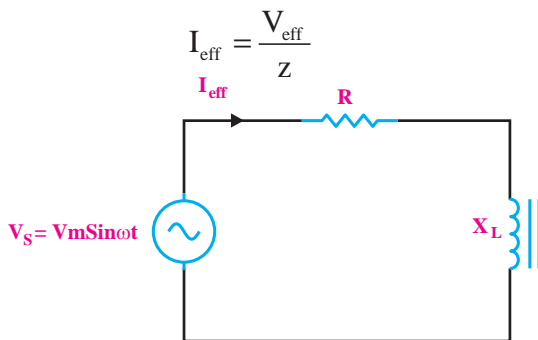
در مدار RL سری مقدار مقاومت اهمی از دو نقطه A و B برابر است با:

$$R_{eq} = R$$

### ۲-۱۳-۸ مدار RL سری در جریان متناوب

اگر یک سلف و یک مقاومت اهمی را مطابق شکل ۸-۳۹ به صورت سری به یکدیگر اتصال دهیم و سپس یک

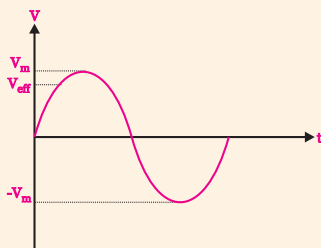
منبع ولتاژ متناوب سینوسی به دو سر آن وصل کنیم، مقدار جریان عبوری از مدار از رابطه ی زیر به دست می آید.



شکل ۸-۳۹ مدار RL سری در جریان متناوب

### یادآوری:

در مدارهای جریان متناوب سینوسی منظور از  $I_{eff}$  و  $V_{eff}$  مقدار جریان و ولتاژ موثری است که از روابط  $\frac{I_m}{\sqrt{2}}$  و  $\frac{V_m}{\sqrt{2}}$  محاسبه می شود.

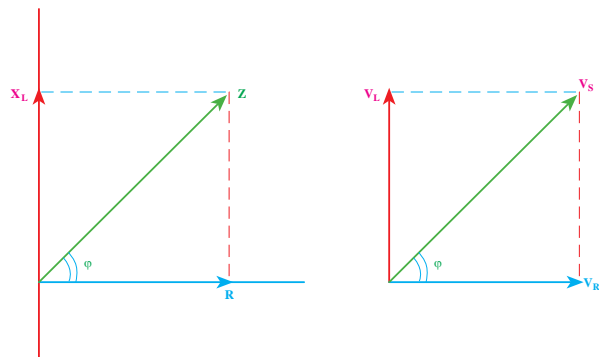


### امپدانس

در یک مدار RL سری، مقدار مقاومت معادل را مقاومت ظاهری یا امپدانس می گویند. مقدار امپدانس مدار از رابطه ی زیر به دست می آید.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} (\Omega)$$

مقاومت ( $V_R$ )، سلف ( $V_L$ ) و ولتاژ کل مدار ( $V_S$ ) و در شکل ۸-۴۲ ب دیاگرام برداری امپدانس مدار نشان داده شده است.



الف- دیاگرام برداری ولتاژهای مدار      ب- دیاگرام برداری امپدانس

شکل ۸-۴۲ دیاگرام برداری

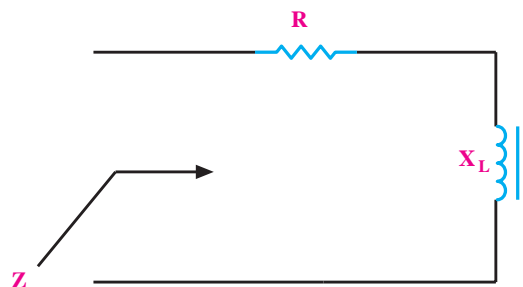
همانطور که از شکل ۸-۴۲ مشاهده می‌شود، در یک مدار RL سری، اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ بین صفر تا ۹۰ درجه است. مقدار دقیق این اختلاف فاز به مقدار  $R$  و  $X_L$  بستگی دارد. با توجه به شکل ۸-۴۲ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ مدار را با  $\phi$  (فی) نشان می‌دهیم. مقدار  $\cos\phi$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\cos\phi = \frac{R}{Z}$$

با محاسبه  $\cos\phi$  می‌توانیم مقدار  $\phi$  را با استفاده از جدول مثلثاتی یا ماشین حساب به دست آوریم.

### ولتاژهای مدار

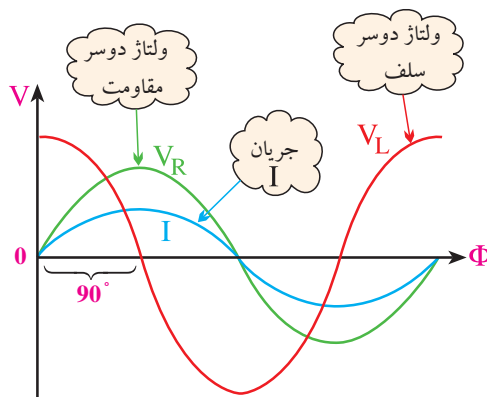
در یک مدار RL سری مطابق شکل ۸-۴۳ ولتاژ دو سر عناصر از روابط زیر به دست می‌آید:



شکل ۸-۴۰ امپدانس در مدار RL سری

### اختلاف فاز

در مدار RL سری ولتاژ دو سر مقاومت ( $V_R$ ) با جریان عبوری از مدار هم‌فاز است. در این مدار ولتاژ دو سر سلف به اندازه‌ی ۹۰ درجه از جریان عبوری از مدار جلوتر است. این اختلاف فاز در شکل موج‌های رسم شده در شکل ۸-۴۱ نشان داده شده است.



شکل ۸-۴۱ اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان در مدار RL سری

همانطور که مشاهده می‌شود جریان عبوری از مدار با ولتاژ دو سر مقاومت، هم‌فاز است.

### دیاگرام برداری

در مدار RL سری، ولتاژ کل مدار از مجموع برداری ولتاژهای دو سر مقاومت ( $R$ ) و سلف ( $L$ ) به دست می‌آید. در شکل ۸-۴۲ الف دیاگرام برداری ولتاژهای دو سر

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{100}{\sqrt{2}} = 70.7$$

مقدار امپدانس را به دست می آوریم:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{10^2 + 10^2} = \sqrt{200}$$

$$Z = 14.14 \, \Omega$$

مقدار جریان موثر  $I_{\text{eff}}$  را محاسبه می کنیم:

$$I_{\text{eff}} = \frac{70.7}{14.14} = 5 \text{ A}$$

$\cos \phi$  مدار را به دست می آوریم:

$$\cos \phi = \frac{R}{Z} = \frac{10}{14.14} \approx 0.7$$

مقدار  $\phi$  را با استفاده از ماشین حساب یا جدول مثلثاتی

محاسبه می کنیم:

$$\phi = 45^\circ$$

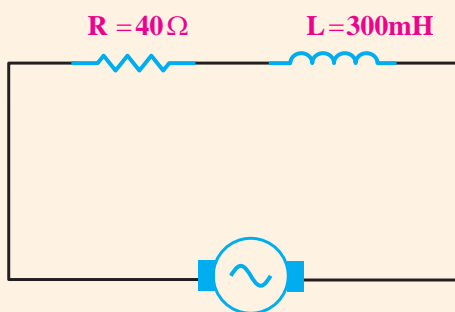
تمرین کلاسی ۱: در مدار شکل ۸-۴۵ مطلوب

است:

الف- محاسبه ی امپدانس مدار

ب- افت ولتاژ دو سر هر قطعه

ج- اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ کل مدار



$$V_S = V_{\text{eff}} = 100 \text{ V}$$

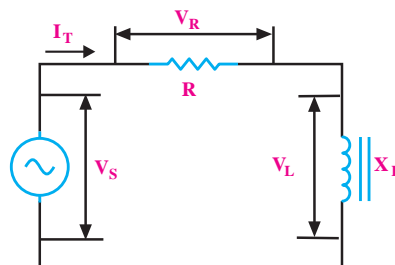
$$\omega = 100 \text{ rad/s}$$

شکل ۸-۴۵

$$V_R = I_T \cdot R$$

$$V_L = I_T \cdot X_L$$

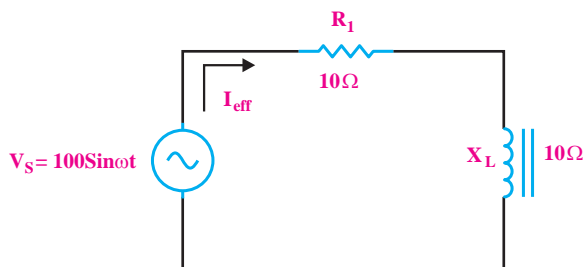
$$V_S = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$



شکل ۸-۴۳ ولتاژهای مدار RL سری

**مثال ۲:** جریان و اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ را در

مدار شکل ۸-۴۴ به دست آورید.



شکل ۸-۴۴ مثال

چون در مدار سری جریان کل با جریان عبوری از مقاومت برابر است بنابراین می توانیم جریان کل مدار ( $I_T$ ) را به عنوان ( $I_{\text{eff}}$ ) یا جریان موثر در نظر بگیریم.

می خواهیم مقدار جریان موثر را با استفاده از رابطه ی زیر

به دست آوریم:

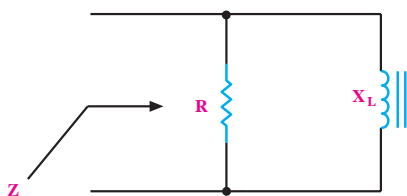
$$I_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{eff}}}{Z}$$

مقدار ولتاژ موثر را محاسبه می کنیم:

## ۲-۱۴-۸ مدار RL موازی در جریان متناوب

در مدار شکل ۸-۴۷ اگر یک مقاومت اهمی و یک سلف را به صورت موازی به یکدیگر وصل کنیم، امپدانس مدار از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2} \quad \text{یا} \quad Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

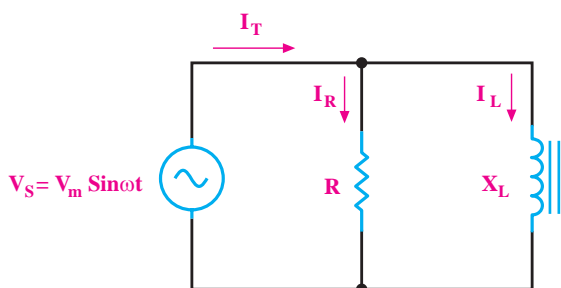


شکل ۸-۴۷ امپدانس مدار RL موازی

### جریان‌های مدار

در مدار شکل ۸-۴۸ جریان کل مدار از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$I_T = \frac{V_{eff}}{Z}$$



شکل ۸-۴۸ مدار RL موازی

در مدار RL موازی، روابط زیر برقرارند.

$$I_R = \frac{V_S}{R} \quad \text{یا} \quad I_L = \frac{V_S}{X_L}$$



## ۱-۱۴-۸ مدار RL موازی

### ۱-۱۴-۸ مدار RL موازی در ولتاژ DC

شکل ۸-۴۶ مدار RL موازی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌کنید ولتاژ یا اختلاف پتانسیل بین دو نقطه A و B برای سلف و مقاومت R یکسان است.

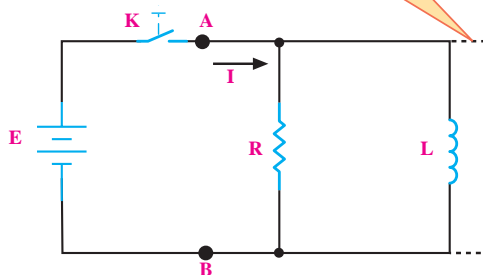
بعد از بسته شدن کلید K به علت موازی بودن مدار، ولتاژ منبع (E) در دو سر سلف قرار می‌گیرد. اگر از مقاومت اهمی سلف (r) صرف نظر نماییم، در ولتاژ DC سلف مانند یک سیم اتصال کوتاه عمل می‌کند.

در این مدار مقاومت معادل از دو نقطه A و B برابر است

با:

$$R_{eq} = R_{AB} = R \parallel 0 \cong 0$$

معادل سلف  
ایده آل در  
ولتاژ DC

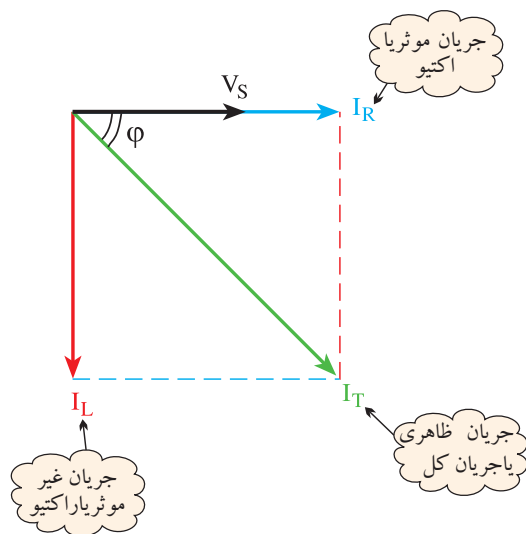


شکل ۸-۴۶ مدار RL موازی



## دیاگرام برداری

در مدار RL موازی جریان کل مدار از جمع برداری جریان‌های سیم پیچ (L) و مقاومت (R) به دست می‌آید. در شکل ۸-۵۰ دیاگرام برداری مربوط به جریان‌های مدار و ولتاژ کل ( $V_S$ ) رسم شده است.



شکل ۸-۵۰ دیاگرام برداری جریان‌های مدار RL موازی

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، جریان عبوری از سیم پیچ به اندازه‌ی ۹۰ درجه از ولتاژ کل مدار عقب‌تر است. همچنین جریان عبوری از مقاومت با ولتاژ کل مدار هم‌فاز است.

با توجه به شکل ۸-۵۰ اختلاف فاز بین جریان کل مدار ( $I_T$ ) و ولتاژ منبع ( $V_S$ ) را با  $\phi$  نشان می‌دهیم و مقدار  $\cos \phi$  از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\cos \phi = \frac{I_R}{I} = \frac{Z}{R}$$

با دانستن مقدار  $\cos \phi$  مقدار  $\phi$  با استفاده از ماشین حساب یا جدول مثلثاتی قابل محاسبه است.



## نکته‌ی مهم:

▲ مقدار جریان عبوری از مقاومت R، جریان موثر ( $I_{eff}$ ) است.

▲ جریان عبوری از سیم پیچ برابر با جریان غیر موثر یا  $I_L$  است.

▲ جریان عبوری از مقاومت ظاهری (Z) را جریان ظاهری ( $I_T$ ) می‌گویند. این جریان از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

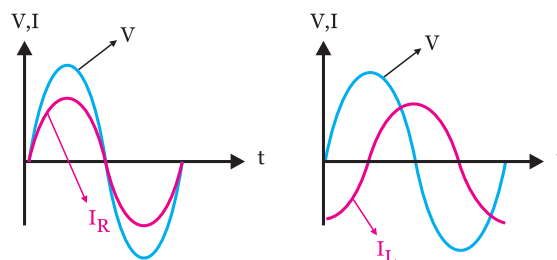
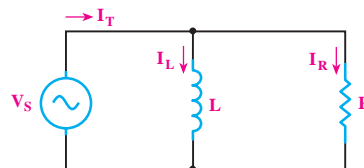
$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

▲ مقدار  $\phi$  را با استفاده از ماشین حساب یا جدول مثلثاتی محاسبه می‌کنیم:

$$\cos \phi = \frac{Z}{R}$$

## اختلاف فاز:

در مدار RL موازی، ولتاژ دو سر سلف و مقاومت یکسان است و جریان کل مدار به نسبت عکس، بین مقاومت‌های R و  $X_L$  تقسیم می‌شود، شکل ۸-۴۹.



شکل ۸-۴۹ مدار RL موازی

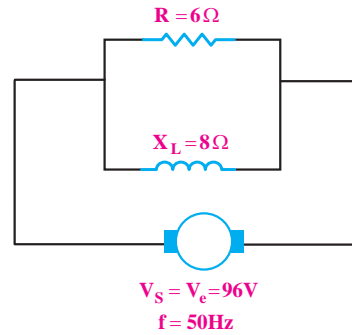
**مثال ۳:** در مدار شکل ۸-۵۱ مطلوبست:

الف- امپدانس مدار

ب- جریان کل مدار

ج- جریان هر شاخه

د- اختلاف فاز



شکل ۸-۵۱ مدار مربوط به مثال

$$I = \frac{V_s}{Z} = \frac{96}{4/8} = 20 \text{ A}$$

جریان عبوری از مقاومت را تعیین می کنیم:

$$I_R = \frac{V_s}{R} = \frac{96}{6} = 16 \text{ A}$$

جریان عبوری از  $X_L$  را به دست می آوریم

$$I_L = \frac{V_s}{X_L} = \frac{96}{8} = 12 \text{ A}$$

مقدار  $\cos \phi$  را محاسبه می کنیم

$$\cos \phi = \frac{Z}{R} = \frac{4/8}{6} = 0.8$$

با استفاده از ماشین حساب یا جدول مثلثاتی مقدار  $\phi$  را به

دست می آوریم.

$$\phi = 37^\circ$$

**تحقیق کنید:**



با استفاده از رابطه ی  $\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2}$  رابطه ی ساده شده ی  $Z$  را به دست آورید.

**حل:**

ابتدا مقاومت ظاهری مدار ( $Z$ ) را با استفاده از رابطه ی

زیر محاسبه می کنیم:

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2}$$

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{6^2} + \frac{1}{8^2} = \frac{1}{36} + \frac{1}{64} \Rightarrow Z = 4/8 \Omega$$

توجه: به جای رابطه ی  $\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2}$  می توان از رابطه ی ساده شده ی زیر استفاده کرد.

$$Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{6 \times 8}{\sqrt{6^2 + 8^2}} = \frac{48}{10} = 4/8 \Omega$$

جریان کل مدار را محاسبه می کنیم:

## ۱۵-۸ آزمایش شماره‌ی (۲)

زمان اجرا: ۶ ساعت آموزشی

### ۱۵-۸-۱ هدف‌های آزمایش

به دست آوردن امپدانس در مدارهای RL سری و موازی و تحقیق روی روابط آنها

### ۱۵-۸-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد/ مقدار
۱	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۲	سلف ۱۰mH	یک عدد
۳	مقاومت اهمی ۱KΩ	یک عدد
۴	فانکشن ژنراتور	یک دستگاه
۵	سیم رابط	به مقدار لازم
۶	بردبرد	یک عدد
۷	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

### ۱۵-۸-۳ مراحل اجرای آزمایش

الف: به دست آوردن امپدانس یک مدار RL سری و تحقیق روی

$$V_S = \sqrt{V_R^2 + V_L^2} \quad \text{رابطه‌ی}$$

#### توجه

در صورتی که دو مولتی‌متر در اختیار ندارید از یک مولتی‌متر استفاده کنید.



تمرین کلاسی ۲: سلفی با اندوکتانس

$L=4\text{mH}$  با یک مقاومت  $R=8\Omega$  به طور موازی به ولتاژ متناوب ۲۴ ولتی با فرکانس ۱/۵ کیلوهرتز اتصال داده شده است.

$$V_S = V_{\text{eff}} = 24$$

مطلوب است:

الف- جریان هر شاخه

ب- جریان کل مدار

ج- امپدانس مدار

د- اختلاف فاز  $\phi$



$I_T = \dots\dots\dots \text{mA}$  جریان مدار

$V_s = \dots\dots\dots \text{V}$  ولتاژ خروجی فانکشن ژنراتور

■ با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده امپدانس مدار را محاسبه کنید.

$$Z = \frac{V(\text{ولت})}{I(\text{آمپر})} = \frac{\dots\dots}{\dots\dots} = \dots\dots \Omega$$

■ مقدار Z را محاسبه کنید.

$$X_L = L \cdot 2\pi f = \dots\dots \Omega$$

$$X_L = \dots\dots \Omega$$

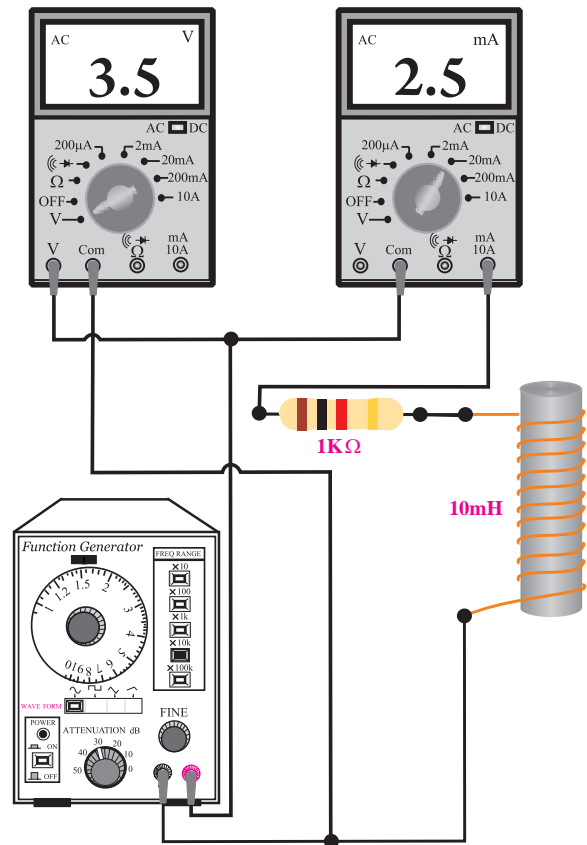
$$R = \dots\dots \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(\dots)^2 + (\dots)^2}$$

$$Z = \sqrt{\dots\dots} = \dots\dots \Omega$$

**سوال ۲:** آیا مقدار Z به دست آمده از طریق اندازه گیری

با مقدار Z محاسبه شده تقریباً برابرند؟ توضیح دهید.



شکل ۵۲-۸ مدار عملی آزمایش

■ فانکشن ژنراتور را روی فرکانس ۱۶KHz و دامنه‌ی

ولتاژ ۱۰ ولت پیک تا پیک سینوسی تنظیم کنید.

■ کلید سلکتور مولتی‌متری که به عنوان ولت‌متر به کار

برده‌اید را در حالت AUTO یا رنج ۲۰ ولت AC قرار دهید.

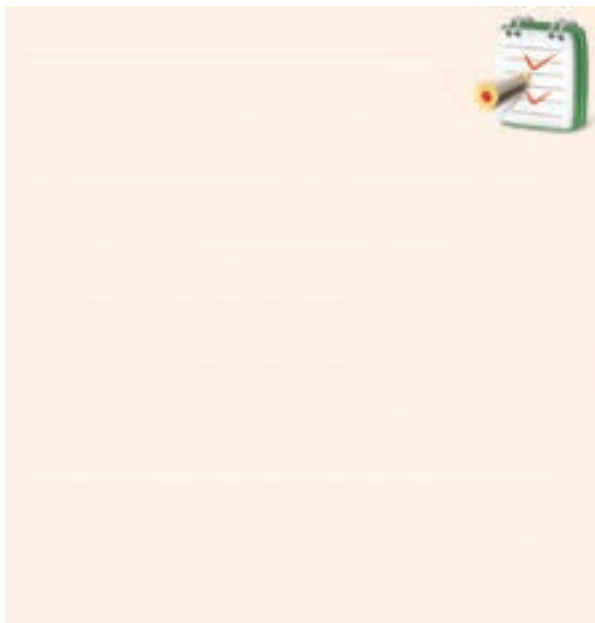
■ کلید سلکتور مولتی‌متری که به عنوان میلی‌آمپر AC

به کار برده‌اید را روی ۱۰ mA بگذارید و در حالت AC

بگذارید.

■ مقدار ولتاژی که ولت‌متر و همچنین مقدار جریانی که

میلی‌آمپر متر نشان می‌دهد را یادداشت کنید



■ مدار شکل ۵۳-۸ را روی بردبرد ببندید.

■ یکی از ولت‌مترها را از مدار جدا کنید و با آن ولتاژ

خروجی فانکشن ژنراتور را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

ولت‌متری که به دو سر مقاومت اهمی وصل است.	$V_R = \dots\dots\dots V$
ولت‌متری که به دو سر سلف وصل است.	$V_L = \dots\dots\dots V$
ولت‌متری که به دو سر خروجی فانکشن ژنراتور وصل است.	$V_S = \dots\dots\dots V$

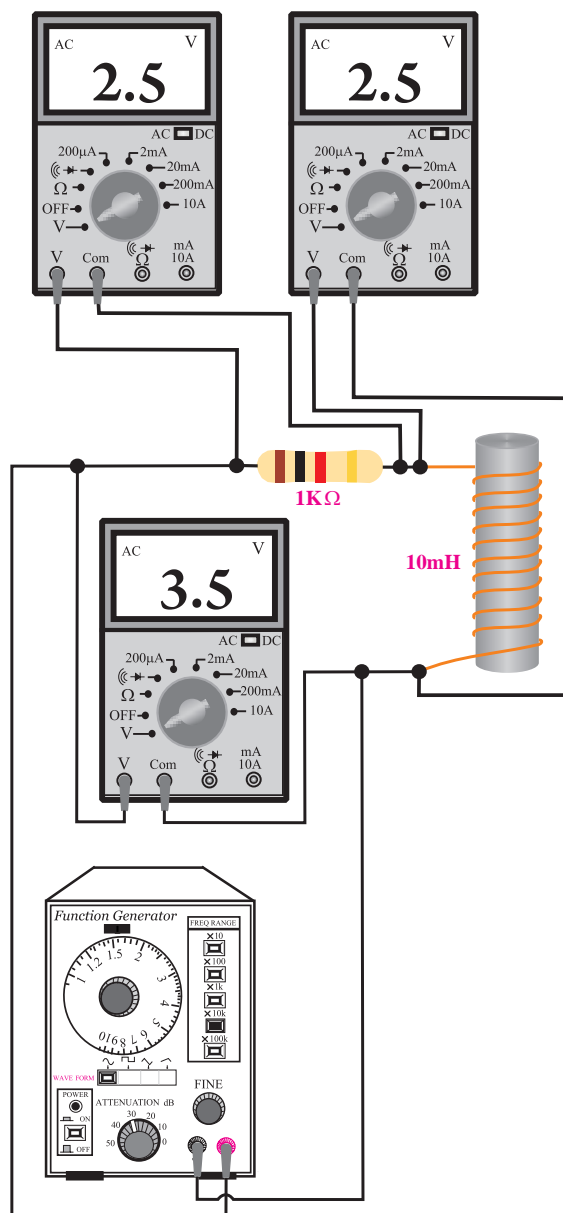
■ مقدار ولتاژ کل را که با استفاده از مقادیر  $V_R$  و  $V_L$   
اندازه‌گیری کرده‌اید محاسبه کنید.

$$V_S = \sqrt{V_R^2 + V_L^2} = \sqrt{(\dots)^2 + (\dots)^2} = \sqrt{\dots} = \dots\dots V$$

$$V_S = \dots\dots\dots V \text{ محاسبه}$$

**سوال ۳:** آیا مقدار ولتاژ کل ( $V_S$ ) به دست آمده از

طریق محاسبه با مقدار  $V_S$  اندازه‌گیری شده تقریباً برابر است؟  
توضیح دهید.



شکل ۵۳-۸ مدار عملی آزمایش

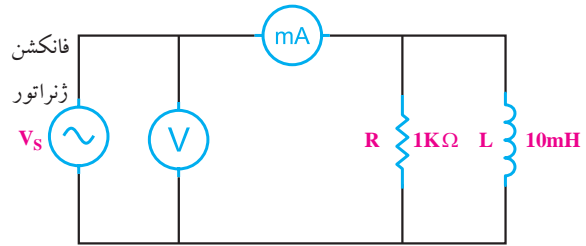
**توجه**

در صورتی که سه مولتی‌متر  
در اختیار ندارید از یک مولتی‌متر  
استفاده کنید.

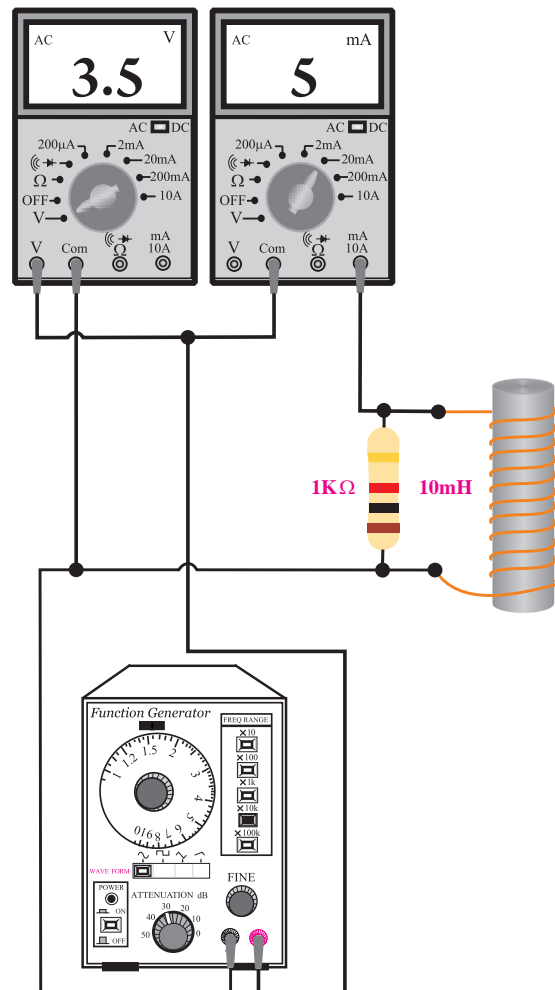


## ب: به دست آوردن امپدانس مدار RL موازی

■ مدار شکل ۵۴-۸ را روی بردبرد ببندید.



الف- نقشه‌ی فنی مدار



ب- مدار عملی

شکل ۵۴-۸ مدار آزمایش

■ فانکشن ژنراتور را روی فرکانس ۱۶KHz و دامنه‌ی

ولتاژ ۱۰ ولت پیک تو پیک سینوسی تنظیم کنید.

■ کلید سلکتور مولتی‌متری که به عنوان ولت‌متر به کار

برده‌اید را در حالت AUTO یا رنج ۱۰ ولت و در حالت AC قرار دهید.

■ کلید سلکتور مولتی‌متری که به عنوان میلی‌آمپر AC

به کار برده‌اید را روی ۲۰mA و در حالت AC قرار دهید.

■ مقدار ولتاژی که ولت‌متر و همچنین مقدار جریانی که

میلی‌آمپر نشان می‌دهد را یادداشت کنید.

$V = \dots\dots\dots$  مقدار ولتاژی را که ولت‌متر نشان می‌دهد.

$mA = \dots\dots\dots$  مقدار جریانی که میلی‌آمپر متر نشان می‌دهد.

■ امپدانس مدار را با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده

محاسبه کنید.

$$Z = \frac{V(\text{ولت})}{I(\text{آمپر})} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots} = \dots\dots \Omega$$

مقدار Z را از طریق محاسبه به دست آورید:

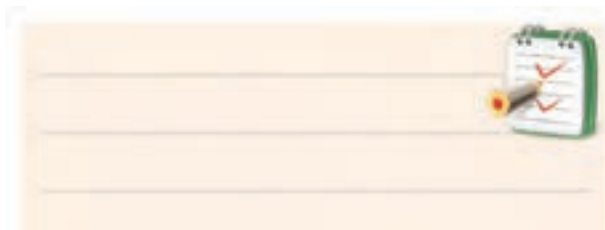
$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2}$$

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{(\dots)^2} + \frac{1}{(\dots)^2} \quad Z = \dots\dots\dots \Omega$$

**سؤال ۴:** آیا مقدار Z را که از طریق ریاضی محاسبه

کرده‌اید با مقدار Z به دست آمده از روش اندازه‌گیری ولتاژ

و جریان تقریباً برابر است؟ توضیح دهید.



#### ۴-۱۵-۸ نتایج آزمایش:

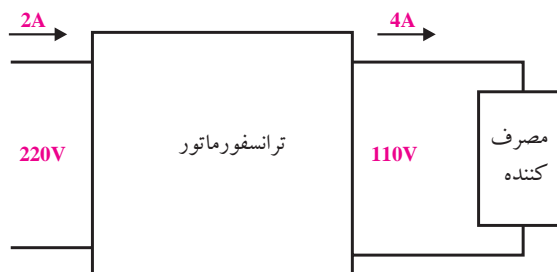
نتایج حاصل از آزمایش‌های الف و ب را به طور خلاصه

بیان کنید.

الف

ب

را متناسب با نیاز تغییر دهد. معمولاً تلفات در ترانسفورماتورها زیاد نیست، لذا می‌توان با تقریب قابل قبول توان ورودی را با توان خروجی برابر گرفت. بنابراین مطابق شکل ۸-۵۶ اگر ولتاژ ورودی یک ترانسفورماتور ۲۲۰ ولت و جریان آن ۲A باشد، ترانسفورماتور می‌تواند این ولتاژ را به ولتاژ خروجی ۱۱۰ ولت و به جریان ۴A تبدیل کند.



شکل ۸-۵۶ ترانسفورماتور کاهنده

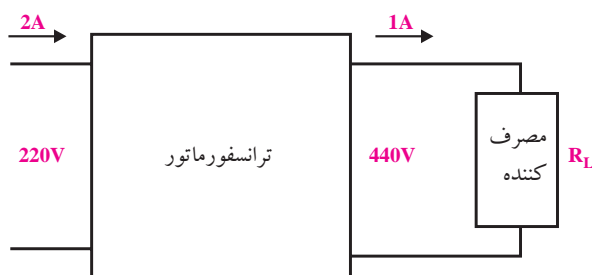
اگر ولتاژ خروجی یک ترانسفورماتور کمتر از ولتاژ ورودی باشد ترانسفورماتور از نوع کاهنده است. اگر ترانسفورماتوری، کاهنده‌ی ولتاژ باشد افزایش‌دهی جریان است.

#### ۱۶-۸ اصول کار ترانسفورماتور

##### ۱-۱۶-۸ تعریف ترانسفورماتور

ترانسفورماتور یک قطعه‌ی الکترومغناطیسی است که می‌تواند ولتاژ متناوب سینوسی مانند ولتاژ ۲۲۰ ولت برق شهر را دریافت و آن را به ولتاژ مورد نیاز مثلاً ۱۲ ولت تبدیل کند. شکل ۸-۵۵ یک نمونه ترانسفورماتور کوچک را نشان می‌دهد.

در شکل ۸-۵۷ اگر ولتاژ خروجی ۴۴۰ ولت شود، جریان خروجی به یک آمپر کاهش می‌یابد.



شکل ۸-۵۷ ترانسفورماتور افزایش‌دهنده

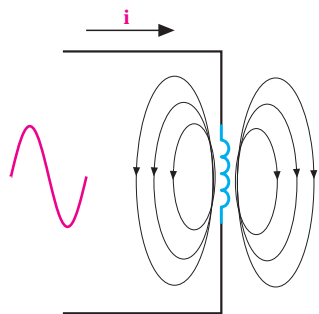


شکل ۸-۵۵ یک نمونه ترانسفورماتور

ترانسفورماتور انرژی الکتریکی را به نوع دیگری از انرژی تبدیل نمی‌کند و فقط قادر است مقدار ولتاژ دریافتی

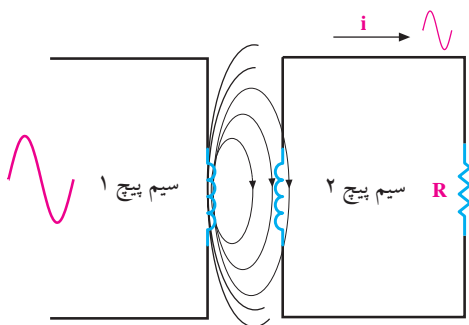
### ۳-۱۶-۸ اساس کار ترانسفورماتور:

اگر به یک سیم پیچ، ولتاژ متناوب اعمال شود در سیم پیچ جریان متناوب جاری می شود و همان طور که در قبل گفته شد در اطراف سیم پیچ میدان مغناطیسی متغیر به وجود می آید،  
شکل ۵۹-۸



شکل ۵۹-۸ میدان مغناطیسی اطراف سیم پیچ

حال اگر سیم پیچ دیگری را در مجاورت چنین سیم پیچی قرار دهیم، میدان مغناطیسی حاصل از عبور جریان متناوب از سیم پیچ اول، سیم پیچ دوم را در بر می گیرد و در سیم پیچ دوم ولتاژی را متناسب با ضریب القای متقابل القا می کند، شکل  
۶۰-۸



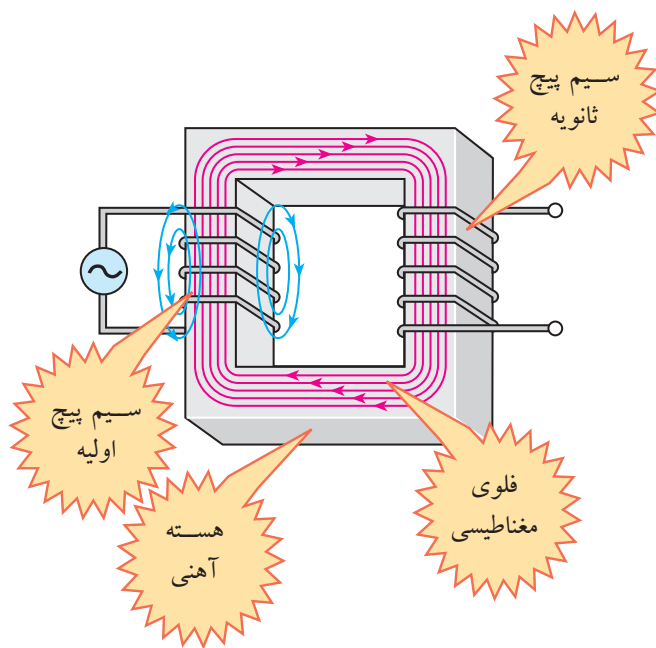
شکل ۶۰-۸ میدان مغناطیسی در ترانس

یک ترانسفورماتور معمولی، حداقل دارای دو سیم پیچ است. به یکی از سیم پیچ های آن ولتاژ متناوب می دهیم تا در سیم پیچ دوم ولتاژی القا شود.

اگر ولتاژ خروجی یک ترانسفورماتور بیشتر از ولتاژ ورودی باشد ترانسفورماتور از نوع افزایش دهنده است. اگر ترانسفورماتوری افزایش دهنده ولتاژ باشد کاهش دهنده جریان است.

### ۲-۱۶-۸ ساختمان ترانسفورماتور

ساختمان ترانسفورماتور معمولی شامل دو سیم پیچ و یک هسته است. چنانچه انرژی الکتریکی با ولتاژ مشخصی را به یکی از سیم پیچ ها بدهیم، می توانیم ولتاژ مورد نظر را از سیم پیچ دیگر دریافت کنیم. سیم پیچی که به آن ولتاژ می دهیم را سیم پیچ اولیه و سیم پیچی که از آن ولتاژ دریافت می کنیم را سیم پیچ ثانویه می نامند. شکل ۵۸-۸ ساختمان ساده ی یک ترانسفورماتور را نشان می دهد.



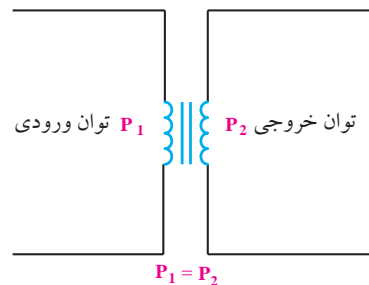
شکل ۵۸-۸ ساختمان داخلی یک ترانسفورماتور



با انتخاب مناسب تعداد دورهای اولیه و تعداد دورهای ثانویه یک ترانسفورماتور، می‌توانیم هر ولتاژی را به ولتاژ دیگر تبدیل کنیم. با انتخاب مناسب ابعاد هسته و ضخامت سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه، توان مورد نیاز توسط ترانسفورماتور تامین می‌شود.

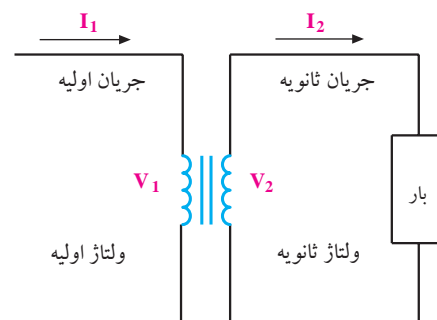
#### ۴-۱۶-۸ نسبت تبدیل ترانسفورماتور

چنانچه توان خروجی با توان ورودی برابر باشد، ترانسفورماتور را ایده‌آل می‌نامند، شکل ۸-۶۱. معمولاً در عمل توان خروجی کمتر از توان ورودی است. زیرا به دلیل عبور جریان از سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه مقدار کمی از توان در داخل ترانسفورماتور تلف می‌شود.



شکل ۸-۶۱ ترانسفورماتور ایده‌آل

با توجه به شکل ۸-۶۲ در یک ترانسفورماتور ایده‌آل روابط زیر برقرار است:



شکل ۸-۶۲ روابط ترانسفورماتور

توان ورودی با توان خروجی برابر است:

$$P_1 = P_2$$

$$P_1 = V_1 \cdot I_1, P_2 = V_2 \cdot I_2$$

با مساوی قرار دادن  $P_1$  و  $P_2$  داریم:

$$V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2$$

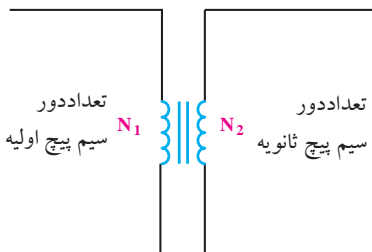
رابطه را ساده می‌کنیم:

$$\frac{V_1}{I_1} = \frac{V_2}{I_2}$$

رابطه‌ی نهایی به صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

مقدار ولتاژ القا شده در ثانویه بستگی به تعداد دور سیم‌پیچ اولیه ( $N_1$ ) و ولتاژ اولیه ( $V_1$ ) دارد. لذا رابطه‌ی زیر برای یک ترانسفورماتور ایده‌آل صدق می‌کند، شکل ۸-۶۳.



شکل ۸-۶۳ تعداد دور سیم‌پیچ‌ها در ترانسفورماتور

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

**مثال ۴:** در یک ترانسفورماتور  $V_1 = 220V$  و  $V_2 = 12V$

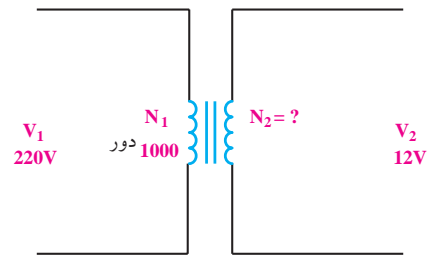
است. اگر  $N_1 = 1000$  دور باشد،  $N_2$  را محاسبه کنید، شکل

۸-۶۴

مقادیر را جایگزین می‌کنیم و جریان  $I_1$  را به دست می‌آوریم

$$I_1 = \frac{110 \times 5}{24} = 22/91 \text{ A}$$

$$I_1 = 22/91 \text{ A}$$



شکل ۶۴-۸ مربوط به مثال ۴

حل: ابتدا رابطه را می‌نویسیم

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

مقادیر را جایگزین می‌کنیم

$$\frac{220}{12} = \frac{1000}{N_2}$$

$N_2$  را محاسبه می‌نماییم:

$$N_2 = \frac{1000 \times 12}{220} = 55 \text{ دور}$$

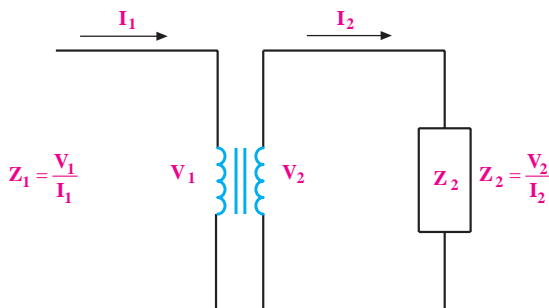
## ۸-۱۷ ترانسفورماتورهای تطبیق امپدانس

### ۸-۱۷-۱ تبدیل امپدانس:

اگر مطابق شکل ۶۶-۸ ولتاژ سیم‌پیچ اولیه یا ثانویه را به جریان عبوری از آن‌ها تقسیم کنیم، امپدانس بار در ثانویه ( $Z_p$ ) و اولیه ( $Z_s$ ) با استفاده از روابط زیر به دست می‌آید.

طبق قانون اهم:

$$Z_s = \frac{V_1}{I_1} \quad \text{و} \quad Z_p = \frac{V_2}{I_2}$$



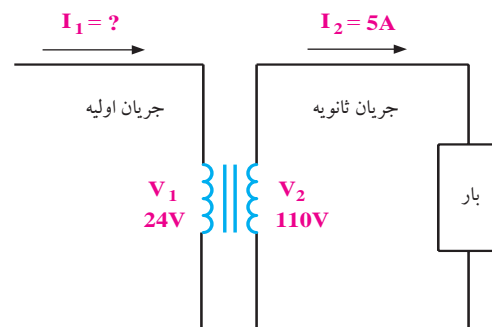
شکل ۶۶-۸ امپدانس اولیه و ثانویه

در روابط فوق  $Z_p$  امپدانس بار و  $Z_s$  امپدانس اولیه است که در اولیه‌ی ترانسفورماتور دیده می‌شود. مقدار این امپدانس از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$Z_s = Z_p \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

## مثال ۵: در یک ترانسفورماتور طبق شکل (۶۵-۸) مقادیر

زیر را داریم:



شکل ۶۵-۸ مربوط به مثال ۵

جریان اولیه ( $I_1$ ) ترانسفورماتور چند آمپر است؟

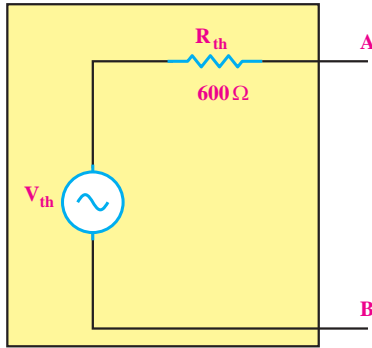
حل:

ابتدا رابطه‌ی مورد نظر را می‌نویسیم و ساده می‌کنیم:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow I_1 = \frac{V_2 \cdot I_2}{V_1}$$

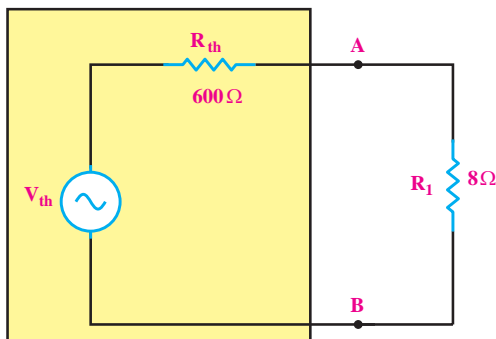
## ۲-۱۷-۸ تطبیق امپدانس به کمک ترانسفورماتور

فرض کنید می‌خواهیم در مدار معادل تونن شکل ۸-۶۸ حداکثر توان را به یک مقاومت  $8\Omega$  انتقال دهیم. شرط انتقال توان حداکثر این است که مقاومت بار با مقاومت معادل تونن ( $R_{th}$ ) برابر باشد.



شکل ۸-۶۸ مدار معادل تونن

با توجه به این که مقاومت معادل تونن برابر با  $600\Omega$  و مقاومت موجود بین دو نقطه‌ی A و B (مقاومت بار) برابر با  $8\Omega$  است، با اتصال مستقیم مقاومت  $8\Omega$  به دو نقطه‌ی A و B، حداکثر توان به مقاومت  $8\Omega$  منتقل نمی‌شود، شکل ۸-۶۹



شکل ۸-۶۹

برای انتقال حداکثر توان به مقاومت بار  $8\Omega$  از ترانسفورماتور استفاده می‌کنیم. به این ترتیب که اولیه‌ی ترانسفورماتور را بین دو نقطه‌ی A و B و بار را به ثانویه‌ی

## تحقیق کنید:



با استفاده از روابط ترانس، رابطه‌ی امپدانس بار در اولیه‌ی ترانس ( $Z_1$ ) را به دست آورید.

$$Z_1 = Z_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

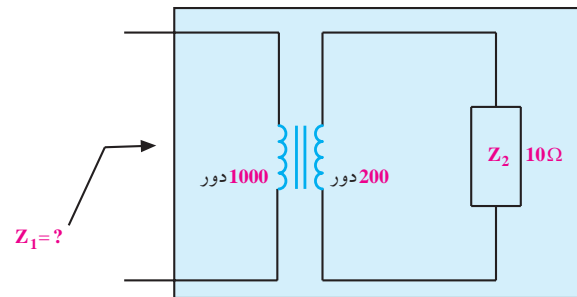
**مثال ۶:** در ترانسفورماتور شکل ۸-۶۷ مقادیر زیر

مفروض است:

$N_1 = 1000$  (تعداد دور سیم پیچ اولیه)

$N_2 = 200$  (تعداد دور سیم پیچ ثانویه)

$$Z_2 = 10\Omega$$



شکل ۸-۶۷ مثال

مقدار امپدانس  $Z_1$  یعنی مقاومت از دید سیم‌پیچ اولیه را

به دست آورید.

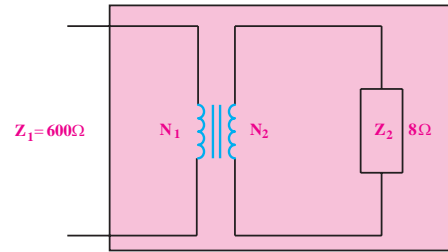
$$Z_1 = Z_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 = 10 \times \left( \frac{1000}{200} \right)^2 = 250\Omega$$

در یک ترانسفورماتور ایده‌آل، نسبت امپدانس

از دیدگاه اولیه به امپدانس ثانویه با مجذور نسبت تعداد

دورهای سیم پیچ اولیه و ثانویه متناسب است.

ترانسفورماتور وصل می کنیم، شکل ۷۰-۸



شکل ۷۰-۸ انتقال توان ماکزیمم

با توجه به رابطه‌ی انتقال امپدانس می‌توانیم نسبت دور اولیه به ثانویه‌ی ترانسفورماتور را به روش زیر محاسبه کنیم.

$$Z_1 = Z_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

$$600 = 8 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

تعداد دورهای ترانسفورماتور را طوری انتخاب می‌کنیم که از دیدگاه اولیه‌ی ترانسفورماتور امپدانس  $600 \Omega$  را داشته باشیم.

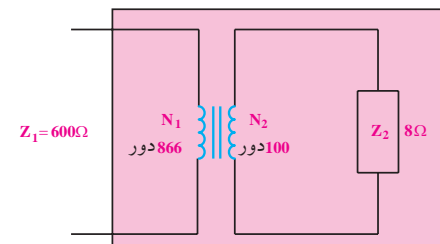
$$\left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 = \frac{600}{8} = 75$$

$$\left( \frac{N_1}{N_2} \right) = \sqrt{75} = 8.66$$

مطابق شکل ۷۱-۸ اگر  $N_2 = 100$  دور انتخاب کنیم،

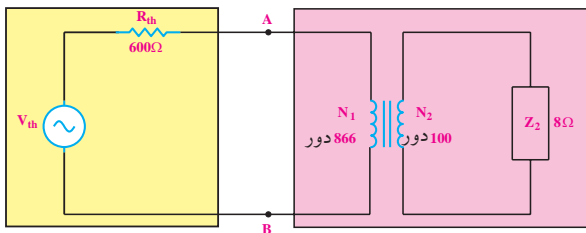
مقدار  $N_1$  برابر است با:

$$N_1 = 8.66 \times N_2 = 8.66 \times 100 = 866 \text{ دور}$$



شکل ۷۱-۸ تطبیق امپدانس

مطابق شکل ۷۲-۸ ترانسفورماتور با بار  $8 \Omega$  را به مدار معادل تونن بین دو نقطه‌ی A و B وصل می‌کنیم. چون بر اساس محاسبات امپدانس از دیدگاه اولیه‌ی ترانسفورماتور  $600 \Omega$  است، پس حداکثر توان به اولیه‌ی ترانسفورماتور منتقل می‌شود. از طرفی در یک ترانسفورماتور، توان اولیه با توان ثانویه تقریباً برابر است. لذا حداکثر توان از اولیه‌ی ترانسفورماتور، به ثانویه‌ی ترانسفورماتور منتقل می‌شود و ثانویه‌ی ترانسفورماتور می‌تواند این توان را به بار برساند.



شکل ۷۲-۸ انتقال حداکثر توان به بار

به کمک ترانسفورماتور می‌توانیم مقدار امپدانس بار (مصرف کننده) را از دیدگاه اولیه کم یا زیاد کنیم. به عبارت دیگر توان انتقالی را به مقداری که نیاز داریم تنظیم نماییم. به این نوع ترانسفورماتورها، ترانسفورماتور تطبیق امپدانس نیز می‌گویند. این ترانسفورماتورها برای انتقال حداکثر توان به بلندگوها به کار می‌روند. زیرا امپدانس بلندگوها معمولاً  $4 \Omega$  یا  $8 \Omega$  است. شکل ۷۳-۸



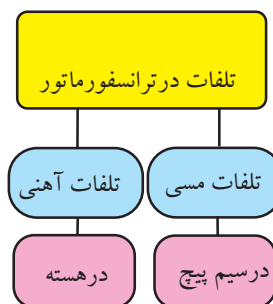
شکل ۷۳-۸ تطبیق امپدانس

## ۱۸- تلفات در ترانسفورماتور

وقتی انرژی الکتریکی را به ترانسفورماتور اعمال می‌کنیم، قسمتی از این انرژی در ترانسفورماتور تلف می‌شود، به این

انرژی تلف شده، تلفات ترانسفورماتور می گویند. مهم ترین تلفات در یک ترانسفورماتور تلفات مسی و آهنی است،

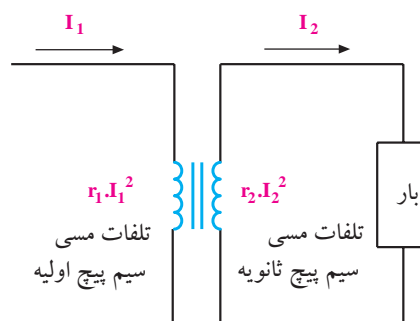
شکل ۸-۷۴.



شکل ۸-۷۴ تلفات در ترانسفورماتور

### ۱-۱۸-۸ تلفات مسی

همانطور که در شکل ۸-۷۵ مشاهده می کنید سیم پیچ اولیه دارای مقاومت  $r_1$  و سیم پیچ ثانویه دارای مقاومت اهمی  $r_2$  است. هنگامی که ترانسفورماتور کار می کند جریان از سیم پیچ اولیه و ثانویه عبور می کند لذا تلفات  $r_1 I_1^2$  در سیم پیچ اولیه و  $r_2 I_2^2$  در سیم پیچ ثانویه به وجود می آید. به این تلفات، **تلفات مسی** می گویند.

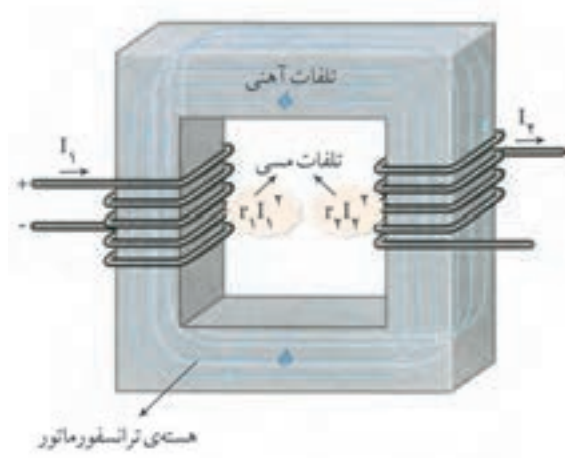


شکل ۸-۷۵ تلفات مسی

### ۲-۱۸-۸ تلفات آهنی

درصد بسیار کمی از انرژی الکتریکی داده شده به ترانسفورماتور در هسته ترانسفورماتور تلف می شود که به آن **تلفات آهنی** می گویند. تلفات کل ترانسفورماتور از

مجموع تلفات مسی و آهنی حاصل می شود، شکل ۸-۷۶.



شکل ۸-۷۶ تلفات آهنی و مسی

## ۱۹-۸ خرابی های ترانس تغذیه

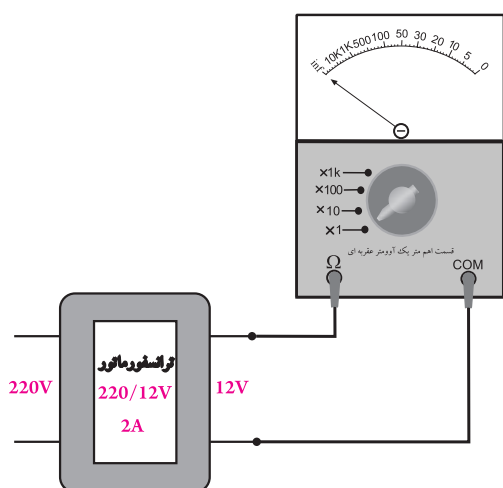
ترانسفورماتور تغذیه، ترانسفورماتوری است که انرژی مورد نیاز دستگاه را تأمین می کند. غالباً هر دستگاه الکترونیکی که با برق شهر کار می کند، یک ترانسفورماتور تغذیه دارد. در صورتی که ترانسفورماتور تغذیه معیوب شود دستگاه از کار می افتد.

**جریان نامی:** به حداکثر جریانی که می توان از

ثانویه ترانسفورماتور دریافت کرد (کشید)، جریان نامی می گویند.

**اضافه بار:** به میزان جریانی که مصرف کننده از

ثانویه ترانسفورماتور می کشد جریان بار می گویند. هر قدر مصرف کننده در اثر ایجاد اتصالی، جریان بیشتری از ثانویه ترانس بکشد اصطلاحاً گفته می شود، در ترانسفورماتور اضافه بار ایجاد شده است.



شکل ۷۷-۸ تشخیص قطع شدن سیم پیچ ها

ترانسفورماتورهای تغذیه از نوع کاهنده معمولی دارای مقاومت اهمی حدود چند ده اهم تا چند صد اهم در اولیه و حدود چند اهم در ثانویه هستند.

### توجه

در ترانس کاهنده مقاومت اولیه بیش تر از مقاومت ثانویه است.



### ۲- نیم سوز شدن (اتصال کوتاه ناقص سیم پیچ ها)

عیب معمول دیگر در ترانس های تغذیه نیم سوز شدن سیم پیچ ها است. در این حالت ولتاژ خروجی ترانسفورماتور کم تر از مقدار نامی است و ترانسفورماتور در حین کار بیش از حد داغ می شود و بوی سوختگی به مشام می رسد. چنانچه این حالت تداوم یابد در اثر گرم شدن بیش از حد امکان آتش سوزی وجود دارد.

در شکل ۷۸-۸ اتصال کوتاه ناقص در سیم پیچ توسط

یک اهم متر بررسی می شود.

ترانسفورماتور تغذیه معمولاً دارای خرابی هایی به شرح

زیر است:

۱- قطع شدن سیم پیچ اولیه یا ثانویه

۲- نیم سوز شدن (اتصال کوتاه ناقص سیم پیچ ها)

۳- اتصال کوتاه کامل

تمامی معایب ترانسفورماتورها معمولاً در اثر اضافه بار به وجود می آید. به این معنی که چنانچه جریان کشیده شده از جریان نامی بیش تر باشد، بر حسب مقدار اضافه بار، یا مدت زمان تداوم اضافه بار، یکی از اشکالات بروز می نماید.

### نکته ی مهم:



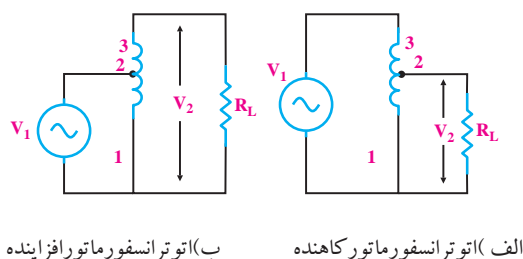
امروزه معمولاً اکثر منابع تغذیه ی دستگاه های مختلف حفاظت شده هستند و قبل از رساندن آسیب جدی به ترانسفورماتور مدار را قطع می کنند.

### ۱- قطع شدن سیم پیچ های اولیه یا ثانویه

قطع شدن سیم پیچ های اولیه یا ثانویه باعث می شود که پس از اتصال دستگاه به برق در ثانویه هیچ ولتاژی ظاهر نشود.

برای پیدا کردن این نوع خرابی ابتدا اولیه را از برق قطع کنید و سیم پیچ اولیه و ثانویه را به کمک اهم متر آزمایش نمایید. مطابق شکل ۷۷-۸ در صورت قطع بودن سیم پیچ، اهم متر مقاومت بی نهایت را نشان می دهد.

در یک ترانسفورماتور هرچه توان بیشتر باشد مقاومت اهمی سیم پیچ ها کمتر است. زیرا برای داشتن توان بیشتر از سیم های ضخیم تر استفاده می کنند.



شکل ۷۹-۸ نماد فنی اتو ترانسفورماتور

### ۱-۲۰-۸ مزایای اتو ترانسفورماتور بر ترانسفورماتور معمولی

اتو ترانسفورماتورها به علت داشتن تنها یک سیم پیچ ابعاد کمتری دارند و قیمت آن‌ها ارزان‌تر است. یک نوع اتو ترانسفورماتور در فعالیت‌های آزمایشگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد که به آن واریاک (Variac) گفته می‌شود. ولتاژ خروجی واریاک قابل تنظیم است.

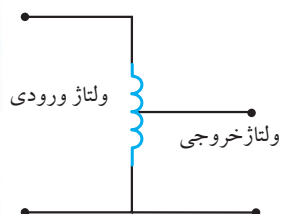
در شکل ۸۰-۸ شکل ظاهری اتو ترانسفورماتور با ولتاژ

خروجی قابل تنظیم و نماد فنی آن را مشاهده می‌کنیم.

در واریاک ولتاژ ورودی به پایه‌ی ثابت سیم‌پیچ که برای ولتاژ اولیه طراحی شده است، داده می‌شود و ولتاژ خروجی بین یک سر ثابت و یک سر متغیر دریافت می‌گردد. ولتاژ خروجی واریاک بین صفر تا یک مقدار حداکثر پیش‌بینی شده، قابل تنظیم است. مقدار حداکثر در اتو ترانسفورماتور می‌تواند از ولتاژ ورودی بیشتر باشد.

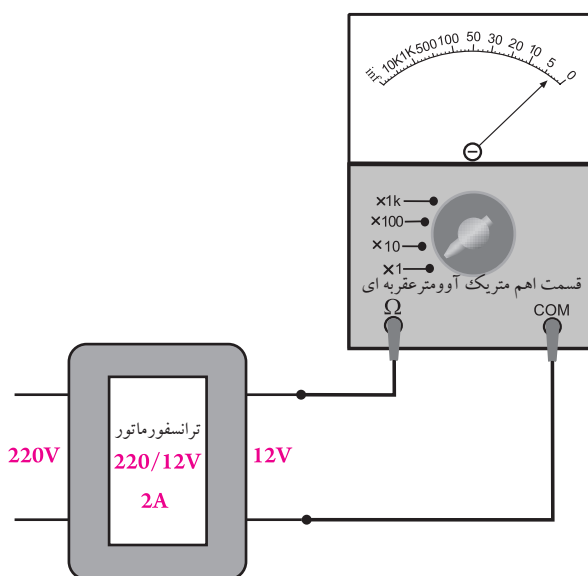


(ب) شکل ظاهری واریاک



(الف) نماد فنی واریاک

شکل ۸۰-۸ واریاک



شکل ۷۸-۸ نیم‌سوز شدن ترانسفورماتور تغذیه

### ۳- اتصال کوتاه کامل

این عیب در اثر اتصال یکی از سیم‌پیچ‌ها به بدنه‌ی ترانسفورماتور یا اتصال اولیه به ثانویه‌ی ترانسفورماتور رخ می‌دهد. بررسی این حالت توسط اهم‌متر به راحتی امکان‌پذیر است.

### ۲۰-۸ اتو ترانسفورماتور

از دیگر انواع ترانسفورماتورها، اتو ترانسفورماتور است. اتو ترانسفورماتورها بر خلاف ترانسفورماتورهای معمولی فقط یک سیم پیچ دارد که سرهای مختلف از آن خارج می‌شود. به این ترتیب ولتاژ ورودی به دو پایه‌ی قسمتی از سیم‌پیچ که برای ولتاژ اولیه طراحی شده است، داده می‌شود و ولتاژ خروجی از سرهای دیگر آن دریافت می‌گردد.

در شکل ۷۹-۸ نماد فنی دو نوع اتو ترانسفورماتور از نوع

کاهنده و افزایشنده نشان داده شده است.

## آزمون پایانی فصل ۸



۱- اجزای تشکیل دهنده ی یک سلف را نام ببرید.



۵- ضریب خود القایی سلف را تعریف کنید.



۲- کدام رابطه مربوط به محاسبه ی  $\cos \varphi$  در مدار RL

موازی است؟

$$\frac{X_L}{Z} \quad \text{ب)}$$

$$\frac{R}{Z} \quad \text{الف)}$$

$$\frac{Z}{R} \quad \text{د)}$$

$$\frac{Z}{X_L} \quad \text{ج)}$$

۳- میدان الکترومغناطیسی را تعریف کنید.



۶- چگونگی تولید جریان القایی را شرح دهید.



۷- از یک سلف با مشخصات  $r=100\Omega$  و  $L=300\text{mH}$

جریانی برابر با  $I=400\text{mA}$  می گذرد. انرژی ذخیره شده در

سیم پیچ چند میکرو ژول است؟

۴- جهت میدان مغناطیسی اطراف یک سیم پیچ را چگونه

تعیین می کنند؟



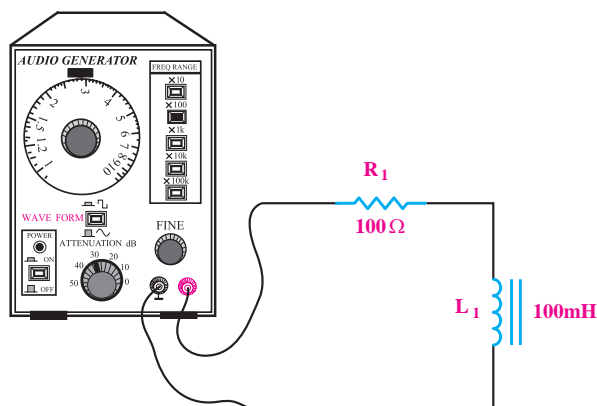
به وجود می آید؟

الف) سیم پیچ ها      ب) هسته

۱۲- در شکل ۸-۸۳ با افزایش فرکانس، ولتاژ دو سر

مقاومت اهمی ..... می شود.

الف) کم      ب) زیاد



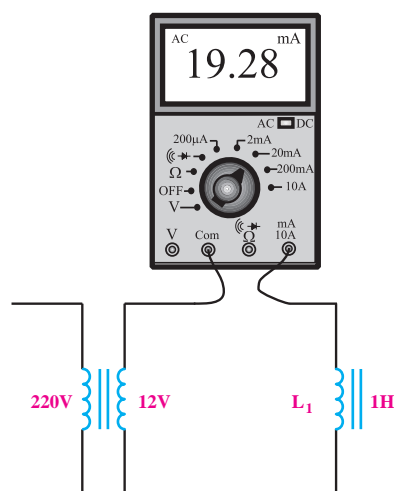
شکل ۸-۸۳

۱۳- در شکل ۸-۸۴ با افزایش ضریب خود القایی سلف

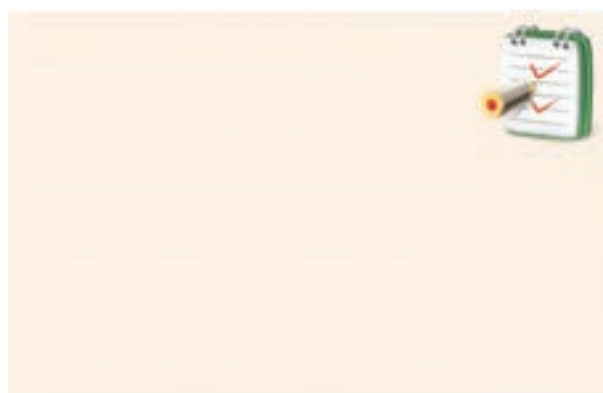
کدام حالت اتفاق می افتد؟

الف) میلی آمپر متر جریان بیشتری را نشان می دهد.

ب) میلی آمپر متر جریان کمتری را نشان می دهد.

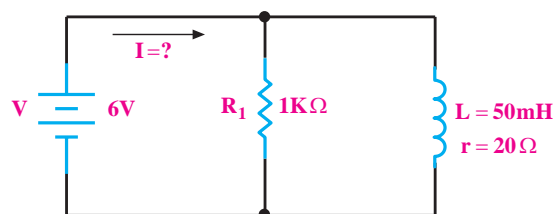


شکل ۸-۸۴



۸- در مدار شکل ۸-۸۱ جریان نهایی در مدار چند

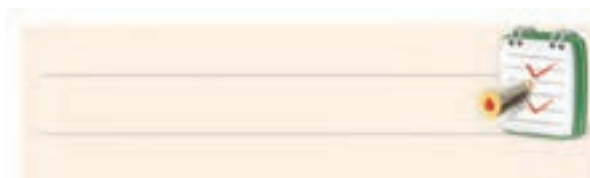
میلی آمپر است؟



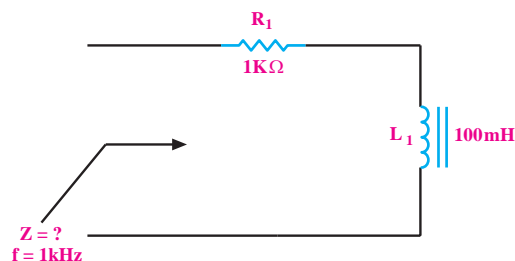
شکل ۸-۸۱

۹- نحوه ی آزمایش یک سلف به وسیله ی اهم متر را شرح

دهید.



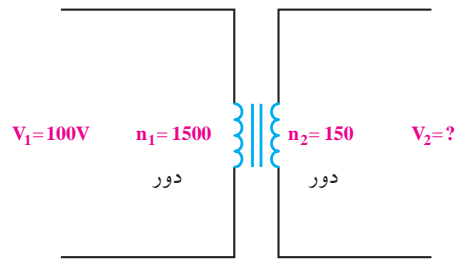
۱۰- در شکل ۸-۸۲ امپدانس مدار را محاسبه کنید.



شکل ۸-۸۲

۱۱- تلفات مسی در یک ترانسفورماتور، در کدام قسمت

۱۴- در شکل ۸-۸۵ مقدار  $V_2$  چند ولت است؟



شکل ۸-۸۵

الف) ۱۰ (ب) ۱۵

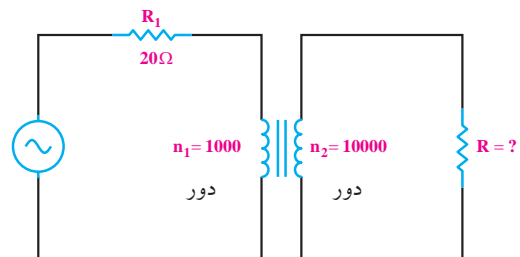
ج) ۱ (د) ۱/۵

۱۵- در شکل ۸-۸۶ مقدار  $R$  چند اهم باشد تا حداکثر

توان به دو سر آن انتقال یابد؟

الف) ۲۰۰۰۰ (ب) ۲۰۰۰

ج) ۲۰۰ (د) ۲



شکل ۸-۸۶

۱۶- اگر یک ترانسفورماتور مقدار ولتاژ را ..... دهد،

مقدار جریان را کاهش خواهد داد.

الف) کاهش (ب) افزایش

۱۷- ترانسفورماتور ایده آل، چه نوع ترانسفورماتوری

است؟

الف) ترانسفورماتوری که تلفات آهنی آن صفر باشد.

ب) ترانسفورماتوری که تلفات مسی آن صفر باشد.

ج) موارد الف و ب

د- ترانسفورماتوری که به صورت فیلتر عمل کند.

۱۸- روابط نسبت دور، نسبت جریان ها و نسبت ولتاژها را

در ترانسفورماتور ایده آل بنویسید.



۱۹- انواع تلفات در ترانسفورماتور را نام ببرید و برای هر

یک توضیح کوتاهی بنویسید.



۲۰- اگر یک هادی را در میدان مغناطیسی ثابت به حرکت

در آوریم، کدام اتفاق رخ می دهد؟

الف) در دو سر آن ولتاژ القا می شود.

ب) نیرویی به هادی وارد می شود.

ج) هیچ اتفاقی نمی افتد.

## فصل نهم

### مدارهای هماهنگ

#### هدف کلی: تحلیل مدارهای RLC و فیلترها



هدف رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می رود که:

- ۱- امپدانس مدار LC سری و موازی را محاسبه کند.
- ۲- دیاگرام برداری ولتاژها و جریان مدار LC سری و موازی را اندازه بگیرد.
- ۳- امپدانس مدار RLC سری و موازی را محاسبه کند.
- ۴- دیاگرام برداری مدار RLC سری و موازی را رسم کند.
- ۵- رزونانس را تعریف کند و تعریف رزونانس مدارهای سری و موازی را محاسبه کند.
- ۶- پهنای باند و ضریب کیفیت مدار RLC سری و مدار RLC موازی را محاسبه کند.
- ۷- توان در مدارهای RLC در جریان متناوب را محاسبه کند.
- ۸- امپدانس و فرکانس رزونانس مدار RLC سری و موازی را اندازه بگیرد.
- ۹- فیلترهای پایین گذر، بالا گذر، میان گذر و میان نگذر را تعریف کند.
- ۱۰- فرکانس قطع فیلترهای پایین گذر و بالا گذر را محاسبه کند.
- ۱۱- منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر RC پایین گذر و RC بالا گذر، میان گذر و میان نگذر را اندازه گیری و رسم کند.
- ۱۲- فرکانس قطع فیلترهای پایین گذر، بالا گذر، میان گذر و میان نگذر را اندازه گیری کند.
- ۱۳- اهداف رفتاری در حیطه‌ی عاطفی که در فصل اول آمده است را اجرا کند.

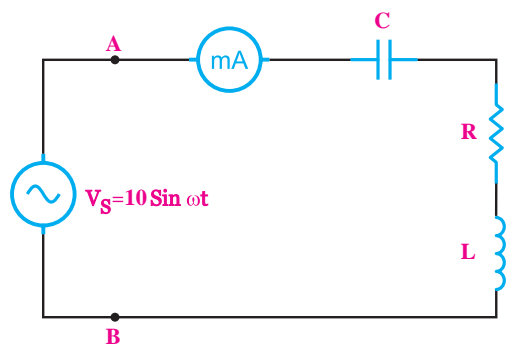
ساعت آموزش			توانایی شماره‌ی ۹
نظری	عملی	جمع	
۶	۱۲	۱۸	



## پیش آزمون فصل (۹)

۱- در شکل زیر میلی آمپر AC ، ده میلی آمپر را نشان

می دهد . امپدانس مدار از دو نقطه A و B چند اهم است ؟



الف ( ۱۰۰۰ )      ب ( ۱۰۰ )

ج ( ۷۰۷/۱ )      د ( ۷۰/۷۱ )

۲- مقدار مؤثر ولتاژ متناوب سینوسی معادل ..... است که

می تواند در زمان معین و بار معین، گرمای یکسانی را ایجاد کند .

الف ( ولتاژ مستقیم DC

ب ( پیک ولتاژ متناوب

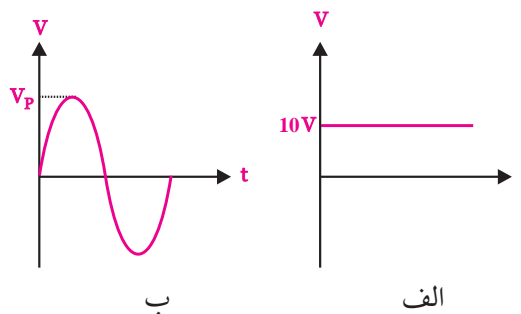
ج ( پیک تو پیک ولتاژ متناوب

د ( متوسط یک ولتاژ متناوب

۳- اگر دو ولتاژ مستقیم (DC) و متناوب (AC) مانند

شکل موج های الف و ب در یک بار معین در زمان معین

حرارت یکسان ایجاد کند کدام گزینه صحیح است ؟



الف ( مقدار مؤثر شکل موج ( ب ) برابر مقدار موج ( الف ) است .

ب ( پیک ولتاژ موج ( ب ) برابر مقدار موج ( الف ) است .

ج ( معدل ولتاژ موج ( ب ) با مقدار موج ( الف ) یکسان است .

د ( پیک تا پیک ولتاژ موج ( ب ) با مقدار موج ( الف ) یکسان است .

۴- جریان در یک مدار سلفی ایده آل نسبت به ولتاژ

مدار از نظر فاز چه وضعیتی دارد ؟

الف ( ۹۰ درجه پس فاز

ب ( ۹۰ درجه پیش فاز

ج ( هم فاز

د ( ۴۵ درجه پس فاز

۵- کدام گزینه درباره ی اختلاف فاز بین جریان نسبت به

ولتاژ در مدار خازن خالص صحیح است ؟

الف ( ۹۰ درجه پس فاز

ب ( ۹۰ درجه پیش فاز

ج ( ۴۵ درجه پس فاز

د ( ۴۵ درجه پیش فاز

۶- در یک مدار RL سری کدام گزینه در مورد محاسبه

جریان مدار صحیح است ؟

$$I_T = \frac{V_S}{R} \quad \text{ب} \quad I_T = \frac{V_S}{R + X_L} \quad \text{الف}$$

د ۱۴

ج ۲/۲۹

۱۱- کدام گزینه در مورد امپدانس مدار RLC سری در

حالت رزونانس صدق می کند ؟

الف ( R ب)  $\frac{1}{R}$  ج)  $X_C$  د)  $X_L$

۱۲- اگر شروع یک موج از موج دیگری زودتر باشد ،

در اصطلاح می گویند آن موج ..... است .

۱۳- در مدارهای RLC چنان چه فرکانس تغییر کند ،

هیچ گاه مقایر  $X_C = X_L$  نمی شود .

☐ غلط

☐ صحیح

۱۴- اگر مدار RLC موازی در حالت رزونانس باشد

جریان کل مدار حداکثر است .

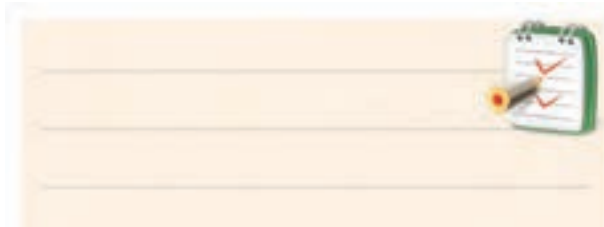
☐ غلط

☐ صحیح

۱۵- مقدار سلف معادل چند سیم پیچ به صورت موازی ،

از مقدار هر یک از سلف های مدار ..... است .

۱۶- ضریب کیفیت را تعریف کنید.



۱۷- پاسخ های صحیح را از ستون سمت چپ به ستون

سمت راست ارتباط دهید . ( از رنگ های مختلف استفاده

کنید.)

$$I_T = \frac{V_s}{Z} \quad \text{د)} \quad I_T = \frac{V_s}{X_L} \quad \text{ج)}$$

۷- کدام گزینه درباره ی امپدانس در مدارهای LC سری

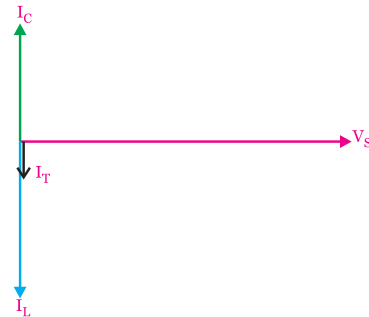
در حالت رزونانس صدق می کند ؟

الف (  $Z=0$  ب)  $Z=Z_{\max}$

ج)  $Z=R$  د)  $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$

۸- کدام گزینه مربوط به دیاگرام برداری مدار شکل

زیر است ؟



الف) LC سری  $X_L > X_C$

ب) LC سری  $X_C > X_L$

ج) LC موازی  $X_L > X_C$

د) LC موازی  $X_C > X_L$

۹- در مدار LC موازی اگر فرکانس مدار بیشتر از

فرکانس رزونانس شود، کدام گزینه درباره ی مدار صدق

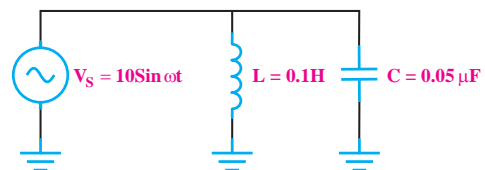
می کند؟

الف) خازنی  $X_C < X_L$  ب) خازنی  $X_C > X_L$

ج) سلفی  $X_C < X_L$  د) سلفی  $X_C > X_L$

۱۰- فرکانس رزونانس در مدار شکل زیر چند کیلوهرتز

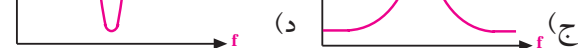
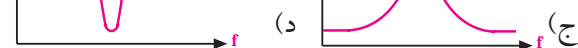
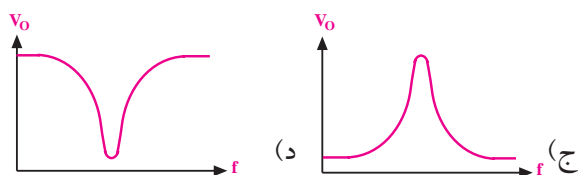
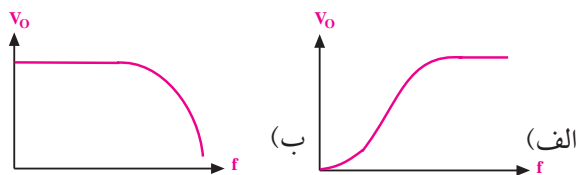
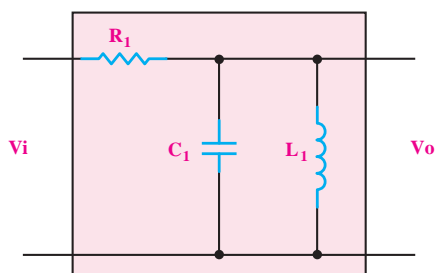
است ؟



ب) ۷/۰۷

الف) ۳/۱

۱۸- منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر زیر کدام است ؟



• LC سری

$$Z = \frac{X_L \cdot X_C}{|X_L - X_C|}$$

$$Z = |X_C - X_L|$$

• LC موازی

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

• RLC سری

$Z = \infty$  رزونانس

$Z = 0$  رزونانس

$Z = \text{حداقل}$  رزونانس

$Z = \text{حداکثر}$  رزونانس

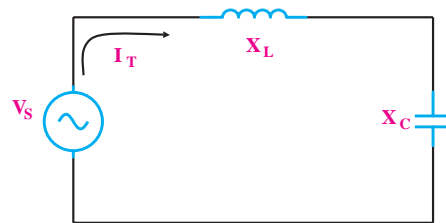
• RLC موازی

## ۹-۱ مدار LC

### ۹-۱-۱ مدار LC سری

اگر یک سلف ایده آل را با یک خازن مطابق شکل ۹-۱ به صورت سری به یک دیگر اتصال دهید و آن را به یک منبع ولتاژ متناوب وصل کنید، جریانی از مدار عبور می کند که مقدار آن از رابطه ی زیر به دست می آید .

$$I_T = \frac{V_S}{Z} = \frac{V_{eff}}{Z}$$

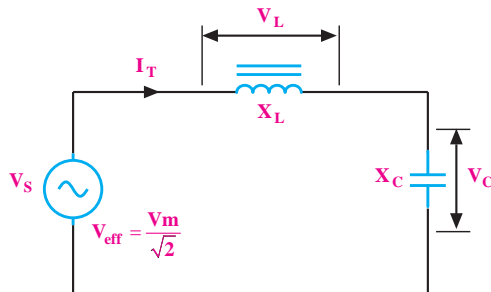


شکل ۹-۱ مدار LC سری

رابطه ی زیر محاسبه می شود ، شکل ۹-۲ .

می خوانیم  $Z$  مساوی قدر مطلق  $X_C - X_L$  است.

$$Z = |X_C - X_L|$$



شکل ۹-۲ امپدانس کل مدار

**نکته :** قدر مطلق به معنی در نظر گرفتن مقدار عددی ، بدون علامت آن است .

در مدار LC سری، جریان سلف و خازن با یک دیگر برابر است ، لذا می توانیم ولتاژ دو سر سلف و خازن را به صورت زیر بنویسیم :

$$V_L = I_{eff} \cdot X_L \text{ ولتاژ معادل ولتاژ مؤثر در دو سر سلف}$$

$$V_C = I_{eff} \cdot X_C \text{ ولتاژ معادل ولتاژ مؤثر در دو سر خازن}$$

$$I_{eff} = \frac{V_{eff}}{|X_L - X_C|}$$

$$V_S = |V_L - V_C|$$

**توجه**

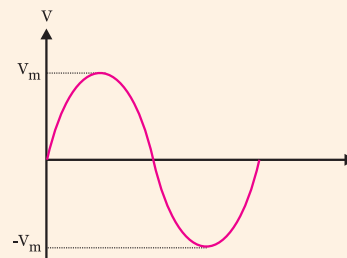
**در مدار LC سری:**

ولتاژ منبع برابر با جمع برداری ولتاژ دو سر سلف و خازن است.



**توجه:**

در مدارهای جریان متناوب سینوسی منظور از  $I_{eff}$  و  $V_{eff}$  مقدار جریان و ولتاژ موثری است که از روابط  $\frac{I_m}{\sqrt{2}}$  و  $\frac{V_m}{\sqrt{2}}$  محاسبه می شود.



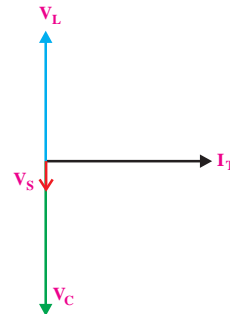
**امپدانس**

در مدار LC سری چنانچه راکتانس سلف برابر با  $X_L$  و راکتانس خازن برابر با  $X_C$  باشد ، امپدانس کل مدار ( $Z$ ) از

## دیاگرام برداری :

دیاگرام برداری ولتاژها را در شکل ۳-۹ مشاهده

می کنید.



شکل ۳-۹ دیاگرام برداری مدار LC سری

در مدار LC سری اگر  $V_L$  با  $V_C$  مساوی باشد ، حالت

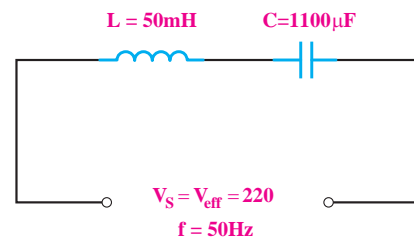
رزونانس ( تشدید ) به وجود می آید، اگر  $V_L$  بزرگتر از  $V_C$

باشد مدار خاصیت سلفی و اگر  $V_C$  بزرگتر از  $V_L$  باشد مدار

خاصیت خازنی دارد .

**مثال ۱ :** جریان مدار شکل ۴-۹ چند آمپر است ؟

$$\pi \cong 3$$



شکل ۴-۹

**حل :** ابتدا مقدار امپدانس های  $X_L$  و  $X_C$  را محاسبه

می کنیم :

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_L = 2 \times 3 \times 50 \times 50 \times 10^{-3}$$

$$X_L = 15\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fc}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \times 3 \times 50 \times 1100 \times 10^{-6}}$$

$$X_C = 3\Omega$$

چون مقدار  $X_L$  بزرگتر از مقدار  $X_C$  است پس مدار

خاصیت سلفی دارد ، رابطه ی امپدانس را به صورت زیر به

$$Z = |X_L - X_C| \quad \text{کار می بریم :}$$

$$Z = |15 - 3| = 12\Omega$$

جریان مدار را محاسبه می کنیم

$$I_T = \frac{V_S}{Z} = \frac{220}{12} = 18.3 \text{ A}$$

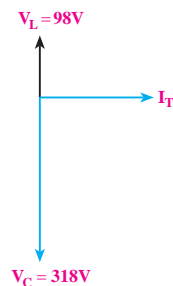
$$I_T = 18.3 \text{ A}$$

**مثال ۲ :** دیاگرام برداری یک مدار LC سری مطابق

شکل ۵-۹ است در صورتی که مقدار راکتانس خازنی ۳۱۸

اهم باشد ، مقدار راکتانس سلف ، ضریب خود القا و ولتاژ

کل مدار را محاسبه کنید . (هرتز  $f = 50$ )



شکل ۵-۹ دیاگرام برداری LC سری

**حل :**

با توجه به مدار LC سری و روابط مربوطه داریم :

$$V_S = |V_L - V_C|$$

$$V_S = |-318 + 98| = 220 \text{ V}$$

$$V_S = 220 \text{ V}$$



با استفاده از ولتاژ دو سر خازن جریان مدار را محاسبه

### امپدانس

امپدانس کل مدار LC موازی از رابطه‌ی زیر محاسبه

می‌شود .

$$Z = \frac{X_L \cdot X_C}{|X_L - X_C|}$$

#### مخصوص دانش آموزان علاقه‌مند :

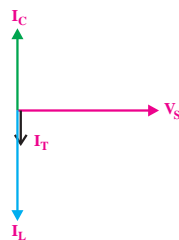
امپدانس کل مدار LC موازی را که از ساده کردن رابطه‌ی زیر به دست می‌آید ، محاسبه کنید .

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}$$

توجه داشته باشید که در عمل، مدار LC (سری یا موازی) خالص وجود ندارد. زیرا هر نوع سلفی حتما دارای یک مقاومت اهمی مربوط به سیم‌پیچ است. لذا مدار خالص LC سری یا موازی صرفاً به صورت نظری و تئوری توجه‌پذیر است و برای تحلیل تقریبی در مدارها به کار می‌رود.

### دیاگرام برداری

دیاگرام برداری جریان‌ها در مدار LC موازی در شکل ۹-۷ رسم شده است .



شکل ۹-۷ دیاگرام برداری مدار LC موازی

$$V_C = X_C \cdot I \Rightarrow I = \frac{V_C}{X_C}$$

$$I = \frac{318}{318} = 1A$$

با استفاده از  $V_L$  و  $I$  مقدار  $X_L$  را به دست می‌آوریم .

$$V_L = X_L \cdot I \Rightarrow X_L = \frac{V_L}{I} \Rightarrow X_L = \frac{98}{1} = 98$$

$$X_L = 98 \text{ اهم}$$

مقدار  $L$  را با استفاده از  $F$  و  $X_L$  محاسبه می‌کنیم .

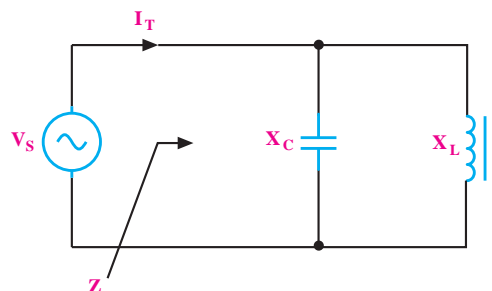
$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{98}{2 \times 3.14 \times 50}$$

$$L = 0.31 \text{ هنری}$$

### ۹-۱-۲ مدار LC موازی

اگر یک سلف و یک خازن را مطابق شکل ۹-۶ به صورت موازی ببندیم و مجموعه را به یک منبع ولتاژ متناوب سینوسی متصل کنیم ، مقدار جریانی که از مدار می‌گذرد از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید .

$$I_T = \frac{V_S}{Z} = \frac{V_{eff}}{Z}$$



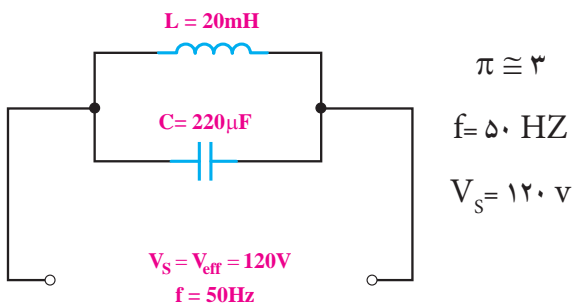
شکل ۹-۶

**مثال ۴:** در مدار شکل ۹-۹ مطلوب است:

الف - امپدانس مدار

ب - جریان کل مدار

ج - خاصیت مدار



شکل ۹-۹

**حل:**

الف - محاسبه‌ی امپدانس مدار:

$$X_L = 2\pi fL = 2 \times 3 \times 50 \times 20 \times 10^{-3}$$

$$X_L = 6\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fc} = \frac{1}{2 \times 3 \times 50 \times 220 \times 10^{-6}} = 15\Omega$$

$$Z = \frac{X_C \cdot X_L}{X_C - X_L} = \frac{15 \times 6}{15 - 6} = \frac{90}{9} = 10\Omega$$

ب- محاسبه‌ی جریان کل مدار

$$I_T = \frac{V_S}{Z} = \frac{120}{10} = 12A$$

$$I_L > I_C \Rightarrow X_C > X_L \Rightarrow \text{مدار خاصیت سلفی دارد}$$

## ۲-۹ مدار RLC سری

### ۱-۲-۹ رفتار مدار RLC سری در ولتاژ DC

اگر یک مقاومت اهمی، یک سلف و یک خازن را مانند

شکل ۹-۱۰ به یکدیگر ببندیم، مدار RLC سری تشکیل

می‌شود.

به سبب مخالفت راکتانس سلف با خازن، اگر  $I_C$  با  $I_L$

مساوی باشد، جریان کل مدار در حالت رزونانس برابر با

صفر می‌شود.

چنانچه جریان سلف ( $I_L$ ) بیشتر از جریان خازن ( $I_C$ )

باشد، مدار خاصیت سلفی و اگر ( $I_C$ ) بزرگتر از ( $I_L$ ) باشد

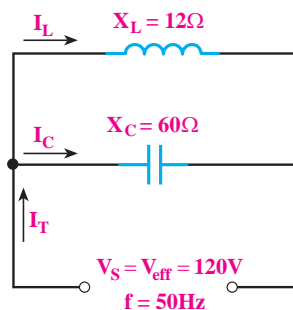
مدار خاصیت خازنی دارد.

$I_L > I_C \Rightarrow$  مدار خاصیت سلفی دارد

$I_C > I_L \Rightarrow$  مدار خاصیت خازنی دارد

**مثال ۳:** جریان کل و جریان هر شاخه را در مدار شکل

۸-۹ به دست آورید.



شکل ۸-۹

**حل:**

چون ولتاژ در مدار ثابت است، جریان هر شاخه با استفاده

از قانون اهم محاسبه می‌شود.

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{120}{12} = 10A$$

مدار خاصیت سلفی دارد

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{120}{60} = 2A$$

$$I_C = 2A$$

مدار خاصیت سلفی دارد.  $I_T = I_L - I_C \Rightarrow$

$$I_T = 10 - 2 = 8A$$

$$I_T = 8A$$

به روش دیگری نیز می توان  $R_{AB}$  را به دست آورد .

$$R_{AB} = R_S + X_L + X_C$$

در ولتاژ DC فرکانس  $f$  برابر صفر است لذا :

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \times (0) \times L = 0 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi (0)C} = \frac{1}{0} = \infty$$

چون مقاومت خازنی در  $f=0$  برابر  $\infty$  می شود پس در

مدار DC مقدار  $R_{AB}$  برابر با بی نهایت ( $\infty$ ) است .

$$R_{AB} = R_S + 0 + \infty = \infty$$

## ۲-۲-۹ رفتار مدار RLC سری در جریان متناوب

اگر یک مقاومت اهمی ، یک سلف و یک خازن را

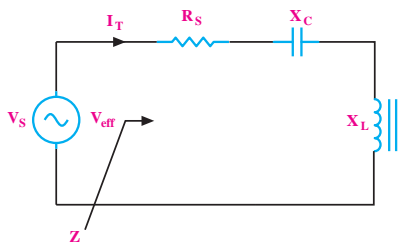
مطابق شکل ۹-۱۲ به صورت سری به یکدیگر وصل کنیم و

سپس این مدار را به یک منبع جریان متناوب سینوسی اتصال

دهیم، مقدار مؤثر جریانی که از مدار می گذرد از رابطه ی زیر

به دست می آید .

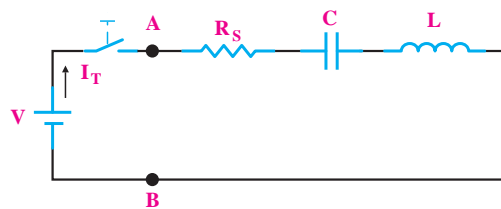
$$I_T = I_{eff} = \frac{V_{eff}}{Z}$$



شکل ۹-۱۲ مدار RLC سری

**تحقیق کنید:** به چه دلیل در مدار RLC

سری مقدار جریان کل با جریان مؤثر برابر است.



شکل ۹-۱۰ مدار RLC سری

چون عکس العمل سلف و خازن در مدار یکسان نیست

اگر مدار RLC سری را به ولتاژ DC وصل کنیم ، بعد از

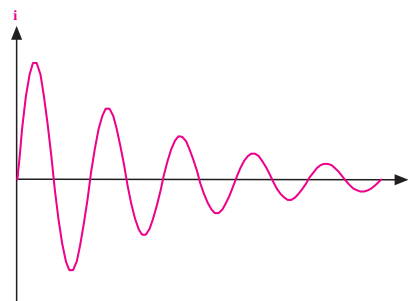
وصل کلید ، تا لحظاتی جریان در مدار تغییر می کند . شکل

جریان در مدار بستگی به مقدار عناصر دارد . ممکن است

برای لحظاتی به صورت شکل ۹-۱۱ باشد ولی صرف نظر از

این شکل موج ، بعد از مدتی جریان در مدار به صفر می رسد.

$I=0$



شکل ۹-۱۱ جریان مدار RLC سری در ولتاژ DC

اگر مقاومت ورودی را از دو نقطه ی A و B در مدار

شکل ۹-۱۰ محاسبه کنیم ، باید ولتاژ بین دو نقطه ی A و

B را بر جریان مدار تقسیم کنیم . چون خازن در مدار کاملاً

شارژ می شود و دیگر از منبع ، جریان نمی کشد بنابراین جریان

مدار صفر خواهد بود . پس مقاومت مدار از دو نقطه A و B

خیلی بزرگ و از نظر تئوری بی نهایت می شود .

$$\left. \begin{aligned} R_{AB} &= \frac{V_{AB}}{I} \\ I &= 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow R_{AB} = \infty$$

## امپدانس

در یک مدار RLC سری، مقدار  $Z$  (امپدانس) از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (\Omega)$$

## اختلاف فاز

در مدار RLC سری، اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ می‌تواند بین صفر تا  $90^\circ$  درجه تغییر کند. مقدار دقیق اختلاف فاز به مقادیر  $R$  و  $X_L$  و  $X_C$  بستگی دارد.

روابط فازی بین ولتاژ و جریان در مدار به شرح زیر

است:

$V_L$  نسبت به  $I_T$ ،  $90^\circ$  درجه پیش فاز است.

$V_C$  نسبت به  $I_T$ ،  $90^\circ$  درجه پس فاز است.

$V_R$  با جریان  $I_T$  هم فاز است.

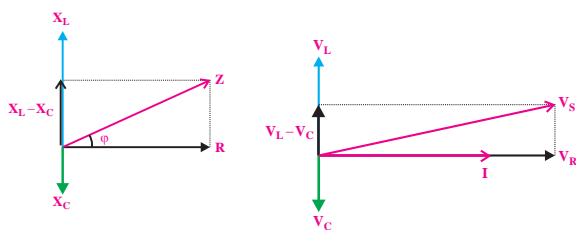
## دیاگرام برداری

مقادیر  $R_S$ ،  $X_L$  و  $X_C$  را به صورت برداری نیز نشان می‌دهند. همیشه بین جریان مدار و ولتاژ کل مدار اختلاف فاز وجود دارد. زاویه‌ی  $\phi$  اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ است و مقدار آن از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$\cos \phi = \frac{R}{Z}$$

مقدار  $\phi$  را می‌توانیم با استفاده از جدول مثلثاتی به دست

آوریم. در شکل ۹-۱۳ دیاگرام برداری امپدانس‌های مدار و دیاگرام برداری ولتاژها و جریان مدار رسم شده است.



ب- امپدانس

الف - ولتاژها و جریان

شکل ۹-۱۳ دیاگرام‌های برداری

## ولتاژهای مدار

در شکل ۹-۱۴ که یک مدار RLC سری است. ولتاژ دو

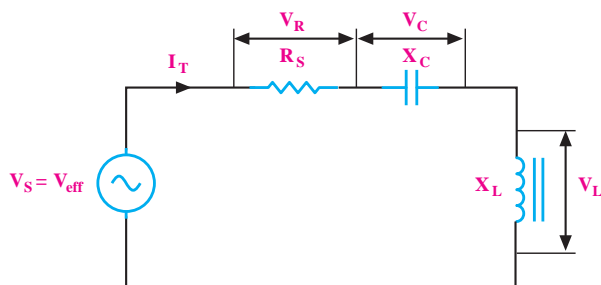
سر عناصر مدار از روابط زیر به دست می‌آید، چون  $I_T = I_{eff}$  است پس می‌توانیم بنویسیم:

$$V_R = I_T \cdot R = I_{eff} \times R$$

$$V_L = I_T \cdot X_L = I_{eff} \times X_L$$

$$V_C = I_T \cdot X_C = I_{eff} \times X_C$$

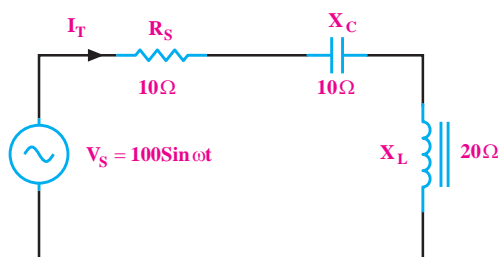
$$\text{ولتاژ کل مدار } V_S = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$



شکل ۹-۱۴ ولتاژهای مدار

**مثال ۵:** در مدار شکل ۹-۱۵ جریان موثر را به دست

آورید:



شکل ۹-۱۵ مثال ۵

برای به دست آوردن جریان مدار از رابطه‌ی زیر استفاده می‌کنیم:

$$I_T = I_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{eff}}}{Z}$$

مقدار  $Z$  را به دست می‌آوریم:

$$Z = \sqrt{(10)^2 + (20 - 10)^2} = \sqrt{200}$$

$$Z = 14.14 \, \Omega$$

مقدار ولتاژ مؤثر را اندازه می‌کنیم:

$$V_{\text{eff}} = \frac{100}{\sqrt{2}} = 70.7 \, \text{V}$$

مقادیر را در رابطه‌ی جریان جایگزین می‌کنیم.

$$I_{\text{eff}} = \frac{70.7}{14.14} = 5 \, \text{A}$$

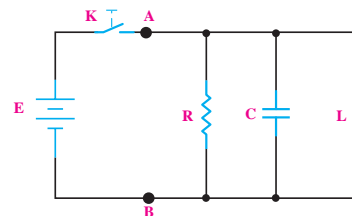
$$I_T = I_{\text{eff}} = 5 \, \text{A}$$

### ۳-۹ مدار RLC موازی

#### ۱-۳-۹ رفتار مدار RLC موازی در ولتاژ DC

اگر یک مقاومت اهمی، یک سلف و یک خازن را

مطابق شکل ۹-۱۶ با یکدیگر موازی ببندیم، مدار RLC موازی شکل می‌گیرد.



شکل ۹-۱۶ مدار RLC موازی

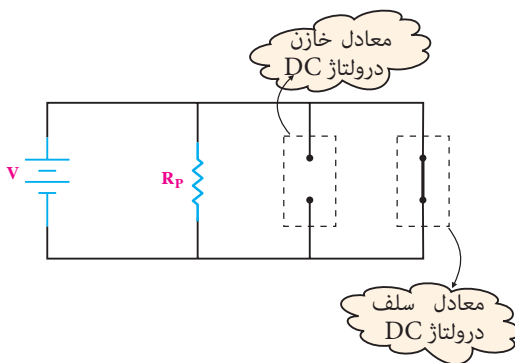
بعد از وصل کلید، خازن بلافاصله شارژ می‌شود و جریان

از مقاومت اهمی و بعد از مدتی جریان  $\frac{E}{r}$  (مقاومت اهمی خود سلف) از سلف عبور می‌کند.

مقاومت از دو نقطه‌ی A و B برابر  $R_{AB} = R \parallel r = \frac{R \cdot r}{R + r}$  است که معمولاً به دلیل کوچک بودن  $r$  بسیار کم است.

در ولتاژ DC فرکانس برابر صفر است. اگر از مقاومت اهمی سلف ( $r$ ) صرف‌نظر نماییم در ولتاژ DC سلف ایده‌آل مانند یک سیم اتصال کوتاه عمل می‌کند. بعد از وصل کلید، در ولتاژ DC خازن بلافاصله شارژ می‌شود و مقاومت آن بسیار زیاد و از نظر تئوری بی‌نهایت است. امپدانس مدار از دو نقطه‌ی A و B برابر با صفر می‌شود، شکل ۹-۱۷.

$$R_{AB} = 0$$

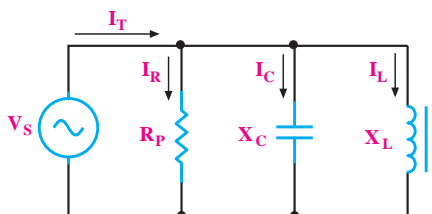


شکل ۹-۱۷

#### ۲-۳-۹ رفتار مدار RLC موازی در جریان متناوب

اگر مقاومت اهمی، سلف و خازن را مطابق شکل ۹-۱۸ به صورت موازی به یکدیگر وصل کنیم و سپس مجموعه را به یک منبع جریان متناوب اتصال دهیم، جریان کل مدار از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$I_T = I_{\text{eff}} = \frac{V_S}{Z}$$



شکل ۹-۱۸ مدار RLC موازی

## جریان‌های مدار

در یک مدار RLC موازی، روابط زیر برقرار است:

جریان عبوری از مقاومت R (جریان مؤثر)

$$I_R = \frac{V_S}{R}$$

جریان عبوری از سیم پیچ (جریان سلفی)

$$I_L = \frac{V_S}{X_L}$$

جریان عبوری از خازن (جریان خازنی)

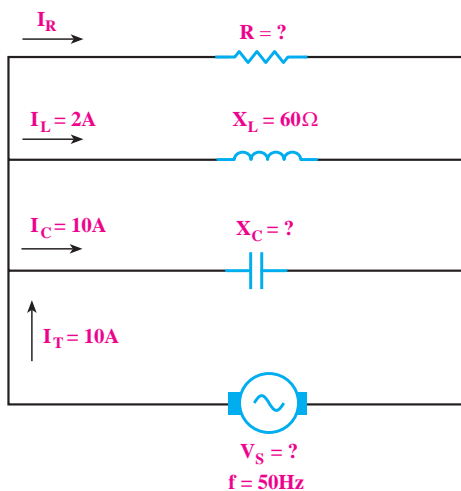
$$I_C = \frac{V_S}{X_C}$$

جریان کل مدار

$$I_T = I_{\text{eff}} = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

**مثال ۶:** در مدار شکل ۲۰-۹ با توجه به مقادیر

جریان‌های  $I_L$  و  $I_C$  و  $I_T$  مطلوبست:



شکل ۲۰-۹

الف - جریان  $I_R$

ب - ولتاژ مدار

ج - امپدانس مدار

د -  $R$  و  $X_C$

مخصوص دانش‌آموزان علاقه‌مند:

## امپدانس

مقدار امپدانس مدار ( $Z$ ) از رابطه‌ی

زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \left( \frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} \right)^2$$

مقدار امپدانس ( $Z$ ) از رابطه‌ی  $Z = \frac{V_S}{I_T}$  نیز محاسبه می‌شود.

می‌شود.

## اختلاف فاز

در مدار RLC موازی، اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ بین

صفر تا ۹۰ درجه می‌تواند تغییر کند.

روابط فازی بین جریان‌ها و ولتاژ کل مدار به شرح زیر

است:

۱ - نسبت  $I_L$  به  $V_S$ ، ۹۰ درجه پس فاز است.

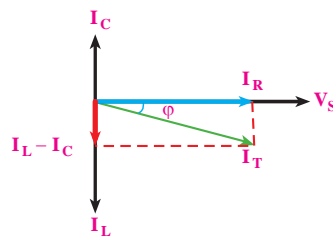
۲ - نسبت  $I_C$  به  $V_S$ ، ۹۰ درجه پیش فاز است.

۳ -  $I_R$  با جریان  $V_S$  هم فاز است.

## دیاگرام برداری

دیاگرام برداری جریان‌ها و ولتاژ مدار در شکل ۱۹-۹

نشان داده شده است.



شکل ۱۹-۹ دیاگرام برداری مدار RLC موازی

حل :

ابتدا مقدار  $I_R$  را محاسبه می کنیم .

$$I_T = I_{\text{eff}} = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

$$10 = \sqrt{I_R^2 + (10 - 2)^2} \Rightarrow I_R = 6 \text{ A}$$

$$I_R = 6 \text{ A}$$

با توجه به مقدار  $X_L$  مقدار  $V_S$  را به دست می آوریم :

$$V_S = X_L \cdot I_L = 60 \times 2 = 120 \text{ V}$$

$$V_S = 120 \text{ V}$$

با استفاده از مقادیر  $V$  و  $I_R$  مقدار  $R$  را محاسبه می کنیم:

$$R = \frac{V_S}{I_R} = \frac{120}{6} = 20 \Omega$$

$$R = 20 \Omega$$

به همین ترتیب مقادیر  $X_C$  و  $Z$  را به دست می آوریم :

$$X_C = \frac{V_S}{I_C} = \frac{120}{10} = 12 \Omega$$

$$X_C = 12 \Omega$$

$$Z = \frac{V_S}{I_T}$$

$$Z = \frac{120}{10} = 12 \Omega$$

توجه

در مدارهای RLC سری و موازی،  $R_S$  مقاومت سری و  $R_P$  مقاومت موازی است .



## تمرین کلاسی ۱ :

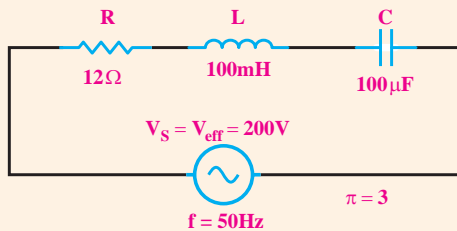
با در نظر گرفتن مدار شکل ۲۱-۹ مطلوب است :

الف \_ امپدانس مدار

ب - جریان مدار

ج - ولتاژ دو سر هر یک از قطعات

د - اختلاف فاز  $\phi$

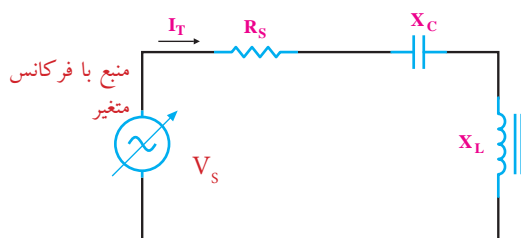


شکل ۲۱-۹

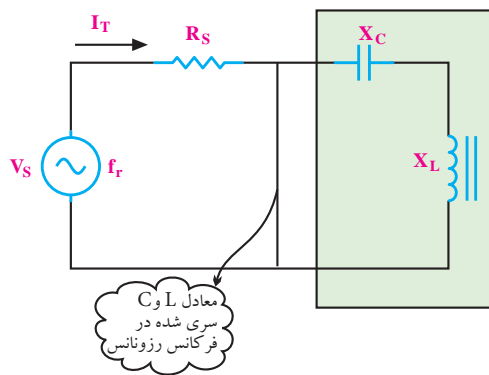
## ۴-۹ رزونانس در مدار RLC سری

### ۱-۴-۹ تعریف رزونانس

در یک مدار RLC سری، اگر فرکانس منبع تغذیه مدار قابل تغییر باشد، با تغییر فرکانس منبع در یکی از فرکانس‌ها (فقط و فقط به ازای یک فرکانس)،  $X_L = X_C$  می شود، شکل ۲۲-۹. این فرکانس را **فرکانس رزونانس** می نامند.



شکل ۲۲-۹ مدار RLC سری



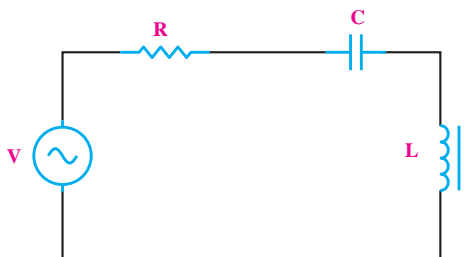
شکل ۹-۲۴ جریان مدار در حالت رزونانس سری

## ۲- ۴- ۹ فرکانس رزونانس در مدار RLC سری

در یک مدار RLC سری، هرگاه  $X_L = X_C$  شود، مدار به حال رزونانس یا تشدید در می آید، شکل ۹-۲۵. در این حالت مقدار  $X_C$  و  $X_L$  از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$X_L = 2\pi f L$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f c}$$



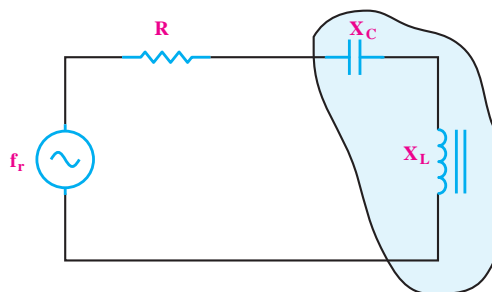
شکل ۹-۲۵ رزونانس در مدار RLC

در یک مدار RLC سری چنانچه  $X_L$  را مساوی  $X_C$  قرار دهیم، فرکانسی که در آن  $X_C$  و  $X_L$  با هم برابر می‌شوند را می‌توانیم به دست آوریم، مقدار این فرکانس برابر است با:

$$X_L = X_C = 2\pi f L = \frac{1}{2\pi f c}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

در فرکانس رزونانس، سلف و خازن اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند. در این شرایط امپدانس مدار، می‌نیم و برابر با مقاومت اهمی مدار یعنی  $Z=R$  می‌شود. در این حالت می‌گوییم مدار در حال رزونانس یا تشدید است. فرکانسی که سبب این حالت خاص ( $X_L = X_C$ ) می‌شود را فرکانس رزونانس می‌نامند، شکل ۹-۲۳.



شکل ۹-۲۳ مدار RLC سری در حالت رزونانس

در مدار RLC سری در حالت رزونانس، امپدانس مدار حداقل است و جریان حداکثر از مدار می‌گذرد. جریان مدار همان جریان عبوری از مقاومت R است، شکل ۹-۲۴.



در مدار سری در فرکانس رزونانس روابط زیر برقرار است:

$$X_L = X_C$$

$$I_T = \frac{V_s}{R_s}$$

$$Z = R_s$$

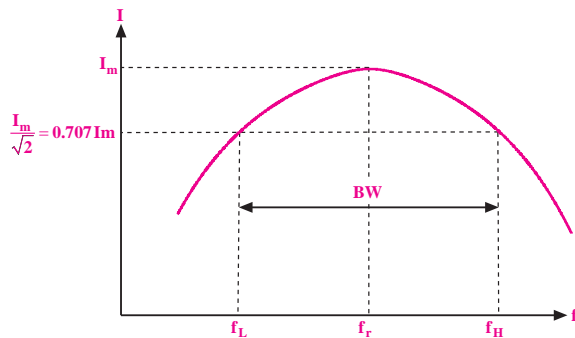
امپدانس مدار حداقل و برابر با  $R_s$

است.



### ۳-۴-۹ پهنای باند

جریان در مدار RLC سری برحسب تغییرات فرکانس در شکل ۲۷-۹ ترسیم شده است.



شکل ۲۷-۹ منحنی جریان مدار RLC سری

مطابق شکل ۲۷-۹ طبق تعریف، محدوده‌ای از فرکانس‌ها که در آن جریان مدار بیش‌تر یا مساوی با  $0.707 I_m$  ( $\frac{I_m}{\sqrt{2}}$ ) یعنی تقریباً هفتاد درصد جریان در حالت رزونانس می‌شود را پهنای باند می‌گویند. پهنای باند را با BW نشان می‌دهند. در شکل ۲۷-۹ پهنای باند نشان داده شده است.

$$BW = f_H - f_L = \text{پهنای باند}$$

**مثال ۲:** اگر در یک مدار RLC سری در حالت رزونانس  $f_L = 580$  KHZ و  $f_H = 610$  KHZ باشد، پهنای باند را به دست آورید.

**حل:**

$$\begin{aligned} BW &= f_H - f_L \\ BW &= 610 - 580 \\ BW &= 30 \text{ KHZ} \end{aligned}$$

### ۴-۴-۹ ضریب کیفیت در مدار رزونانس سری

طبق تعریف ضریب کیفیت (Quality factor) در یک مدار RLC سری، در حالت رزونانس به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Q = \frac{2\pi \times (\text{ماکزیمم انرژی ذخیره شده})}{\text{انرژی تلف شده در یک سیکل}}$$

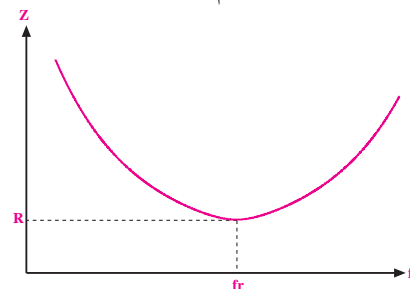
در یک مدار RLC سری، اگر مقدار فرکانس را از صفر به تدریج زیاد کنیم، در فرکانس‌های خیلی کم، راکتانس خازنی مدار با فرض ثابت بودن ظرفیت آن خیلی زیاد می‌شود. در این حالت با توجه به رابطه‌ی راکتانس خازن  $(X_C = \frac{1}{2\pi f C})$  چون  $f$  در مخرج کسر قرار دارد، هر قدر  $f$  کوچک‌تر باشد مقدار  $X_C$  بزرگ‌تر می‌شود. در صورتی که در این مدار فرکانس را به تدریج زیاد کنیم مقدار  $X_C$  کم خواهد شد.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

مقدار راکتانس سلفی مدار در فرکانس‌های کم بسیار کم است، زیرا مقدار راکتانس سلفی، رابطه‌ی مستقیم با فرکانس دارد. بنابراین هر قدر فرکانس را افزایش دهیم مقدار  $X_L$  نیز زیاد می‌شود.

$$X_L = 2\pi f L$$

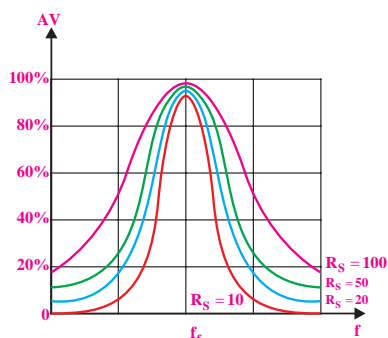
با توجه به سری کردن عناصر  $R$ ،  $L$  و  $C$ ، در یکی از فرکانس‌ها که آن را فرکانس رزونانس ( $f_r$ ) می‌نامند، مقدار  $X_L = X_C$  می‌شود و امپدانس مدار را به حد می‌نیم می‌رساند. در شکل ۲۶-۹ منحنی تغییرات امپدانس مدار RLC سری برحسب تغییرات فرکانس رسم شده است.



شکل ۲۶-۹ منحنی امپدانس مدار RLC سری

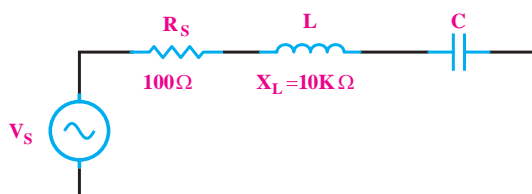
در این حالت در فرکانس رزونانس، جریان در مدار RLC به حداکثر مقدار خود افزایش می‌یابد. منحنی تغییرات

اگر رابطه‌ی  $Q$  را مورد توجه قرار دهیم می‌بینیم که با زیاد شدن مقاومت اهمی، مقدار  $Q$  کم و مقدار پهنای باند زیاد می‌شود. شکل ۲۹-۹ مقدار  $Q$  را در مدار رزونانس سری با مقادیر متفاوت  $R$  نشان می‌دهد.



شکل ۲۹-۹ اثر مقاومت روی  $Q$

**مثال ۸:** در صورتی که در مدار شکل ۳۰-۹ مقدار  $X_L = 10\text{K}\Omega$  و  $R = 100\Omega$  باشد مقدار  $Q$  را به دست آورید.



شکل ۳۰-۹

**حل:**

مقدار  $Q$  را با استفاده از  $X_L$  و  $R$  محاسبه می‌کنیم.

$$Q = \frac{X_L}{R_S}$$

$$Q = \frac{10\text{K}\Omega}{100\Omega}$$

$$Q = 100$$

این ضریب میزان تیزی منحنی تغییرات جریان و پهنای باند را تعیین می‌کند. بین مقدار  $Q$  و پهنای باند و فرکانس رزونانس ( $f_r$ ) رابطه‌ی زیر برقرار است:

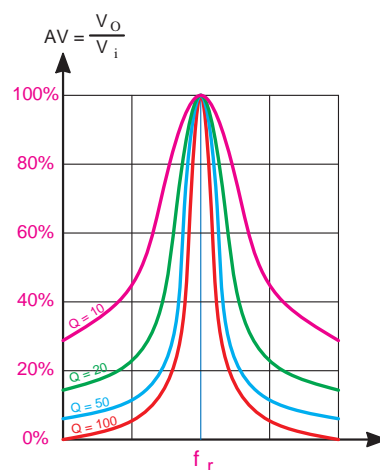
$$Q = \frac{f_r}{BW}$$

ضریب کیفیت  $Q =$

فرکانس رزونانس  $f_r =$

پهنای باند  $BW =$

هر قدر ضریب کیفیت ( $Q$ ) بیش‌تر باشد، منحنی مشخصه‌ی فرکانس تیزتر است. در شکل ۲۸-۹ منحنی مشخصه‌ی مدار RLC سری بر حسب تغییرات فرکانس رسم شده است. اگر شکل را مورد توجه قرار دهیم می‌بینیم که با افزایش مقدار  $Q$ ، پهنای باند کم‌تر می‌شود.



شکل ۲۸-۹ منحنی مشخصه‌ی فرکانس با  $Q$  های مختلف

مقدار  $Q$  مدار رزونانس بستگی به مقدار مقاومت اهمی مدار دارد و از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است.

$$Q = \frac{X_L}{R_S} \quad \text{یا} \quad Q = \frac{X_C}{R_S}$$

که در آن: ضریب کیفیت  $Q =$

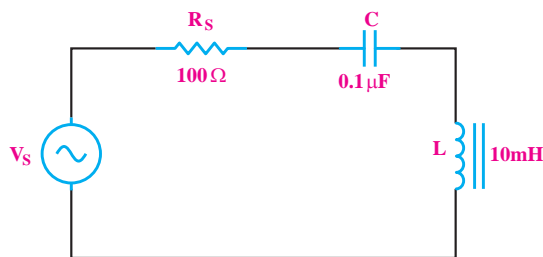
راکتانس سلفی  $X_L =$

مقاومت اهمی مدار  $R_S =$

مثال ۹: در مدار شکل ۳۱-۹ فرکانس رزونانس، ضریب کیفیت و پهنای باند مدار را در فرکانس رزونانس به دست آورید.

در این صورت می گویند، مدار RLC موازی در حالت رزونانس یا تشدید قرار دارد.

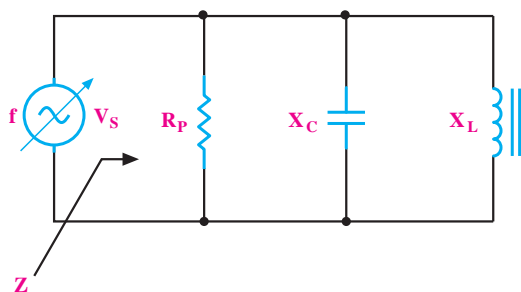
فرکانسی که به ازای آن  $X_L = X_C$  می شود را فرکانس رزونانس می نامند و آن را با  $f_r$  نشان می دهند. در مدار RLC موازی در حالت رزونانس، امپدانس مدار حداکثر و جریان حداقل است.



شکل ۳۱-۹ مربوط به مثال ۸

حل:

محاسبه ی فرکانس رزونانس:



شکل ۳۲-۹ مدار RLC موازی

در فرکانس رزونانس روابط زیر برقرار است:

$$X_L = X_C$$

حداکثر مقدار امپدانس  $Z = R$

$$I = \frac{V_s}{R}$$

**بیشتر بدانیم:** همانطور که می دانید در مدار RLC

موازی در فرکانس رزونانس جریان عبوری از  $X_L$  (یعنی  $I_L$ ) و جریان عبوری از  $X_C$  (یعنی  $I_C$ ) باهم برابر می شوند. پس می توانیم بنویسیم:

$$I_L = \frac{V_s}{X_L} \text{ و } I_C = \frac{V_s}{X_C} \Rightarrow \frac{V_s}{X_L} = \frac{V_s}{X_C} \\ \Rightarrow \frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_C} \Rightarrow X_L = X_C$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10 \times 10^{-3} \times 0.1 \times 10^{-6}}} \\ f_r = 50.35 \text{ Hz}$$

محاسبه ی ضریب کیفیت:

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{2\pi \times 50.35 \times 10 \times 10^{-3}}{100} = 3.16 \\ Q = 3.16$$

محاسبه ی پهنای باند:

$$BW = \frac{f_r}{Q} = \frac{50.35}{3.16} = 15.93 \text{ Hz} \\ BW = 15.93 \text{ Hz}$$

**۵-۹ رزونانس در مدار RLC موازی**

**۱-۵-۹ فرکانس رزونانس در مدار RLC موازی**

در مدار RLC موازی شکل ۳۲-۹، اگر فرکانس منبع متغیر باشد، در یک فرکانس خاص  $X_L = X_C$  می شود

$$Q = \frac{f_r}{BW}$$

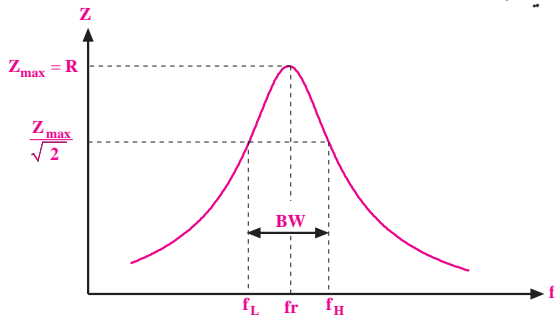
$$Q = \frac{R_p}{X_L} \quad \text{یا} \quad Q = \frac{R_p}{X_C}$$

اگر رابطه‌ی  $Q$  را مورد توجه قرار دهیم، می‌بینیم که در مدار RLC موازی با زیاد شدن مقاومت اهمی، مقدار  $Q$  زیاد و مقدار پهنای باند مدار کم می‌شود.

### ۳-۵-۹ پهنای باند در مدار RLC موازی

پهنای باند در مدار RLC موازی، به محدوده‌ای از فرکانس‌ها گفته می‌شود که امپدانس مدار برابر یا بزرگتر از  $\frac{R}{\sqrt{2}}$  یا  $0.707R$  باشد.

پهنای باند از رابطه‌ی  $BW = \frac{f_r}{Q_r}$  به دست می‌آید. در شکل ۳۴-۹ پهنای باند در مدار رزونانس موازی را مشاهده می‌کنید.



شکل ۳۴-۹ پهنای باند در مدار رزونانس موازی

### ۶-۹ مقایسه مدارهای رزونانس سری و موازی

**الف - فرکانس رزونانس در مدارهای RLC موازی و سری**  
از رابطه  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  به دست می‌آید، شکل ۳۵-۹.

در این مدار برای محاسبه‌ی فرکانس رزونانس کافی است که مقدار  $X_L$  را برابر با  $X_C$  قرار دهیم. بعد از جایگزینی، رابطه‌ی نهایی  $f_r$  به دست می‌آید:

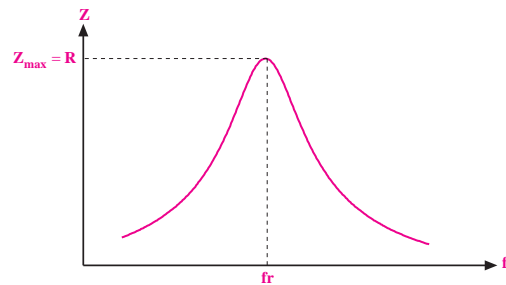
$$X_L = X_C \Rightarrow f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

### تحقیق کنید:

درستی رابطه  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  را در مدار RLC سری و مدار RLC موازی تحقیق کنید.



منحنی تغییرات امپدانس مدار RLC موازی را بر حسب تغییرات فرکانس در شکل ۳۳-۹ مشاهده می‌کنید.



شکل ۳۳-۹ منحنی تغییرات امپدانس مدار RLC موازی بر حسب تغییرات فرکانس

### ۲-۵-۹ ضریب کیفیت در مدار RLC موازی

ضریب کیفیت در مدارهای RLC موازی نیز مانند مدارهای RLC سری تعریف می‌شود:

$$Q = \frac{\text{ماکزیمم انرژی ذخیره شده}}{2\pi \times \text{انرژی تلف شده در یک سیکل}}$$

مقدار  $Q$  در فرکانس رزونانس از روابط زیر به دست

می‌آید:

ت - پهنای باند در مدارهای RLC سری و موازی از

رابطه‌ی زیر به دست می‌آید .

$$BW = \frac{f_r}{Q_r}$$

ث - ضریب کیفیت در مدارهای RLC سری از رابطه‌ی زیر

محاسبه می‌شود .

$$Q = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{\sqrt{\pi f_r C R}} \quad \text{یا} \quad Q = \frac{X_L}{R}$$

در مدارهای RLC موازی ضریب کیفیت از رابطه‌ی زیر

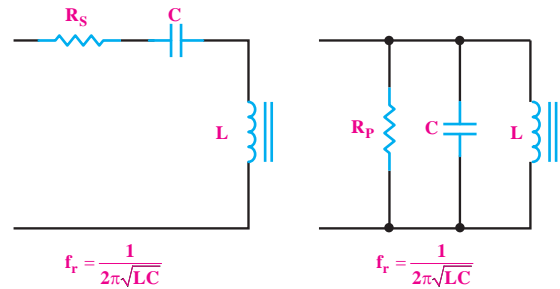
تعیین می‌شود.

$$Q_r = \frac{R}{X_C} = \sqrt{\pi f_r C R} \quad \text{یا} \quad Q = \frac{R}{X_L}$$

ج - امپدانس کل در مدار RLC سری در حالت تشدید

برابر با  $Z=R_s$  است و در مدار RLC موازی در حالت تشدید

مقدار امپدانس کل برابر با  $Z=R_p$  است .

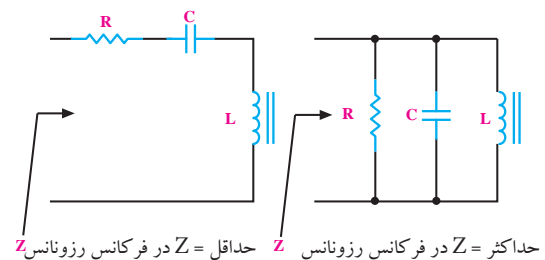


شکل ۹-۳۵

ب - امپدانس در مدار RLC سری در حال رزونانس

حداقل و در مدار RLC موازی در حال رزونانس حداکثر

است، شکل ۹-۳۶.



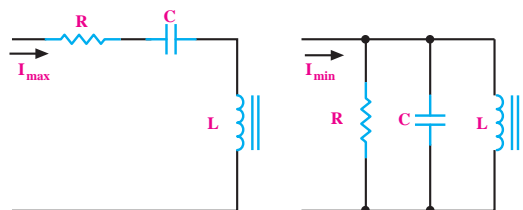
شکل ۹-۳۶ - مقایسه‌ی امپدانس مدار RLC سری و

موازی در حالت رزونانس

پ - جریان کل در مدار RLC سری در حالت رزونانس

حداکثر است ، در صورتی که جریان در مدار RLC موازی

در حال رزونانس به حداقل می‌رسد ، شکل ۹-۳۷ .



شکل ۹-۳۷ - مقایسه‌ی جریان مدار RLC سری و موازی در حالت رزونانس

### توجه

در الکترونیک مدارهایی که  
سیم پیچ و خازن داشته باشند را  
مدار هماهنگ می‌نامند .



## ۷-۹ آزمایش شماره (۱)

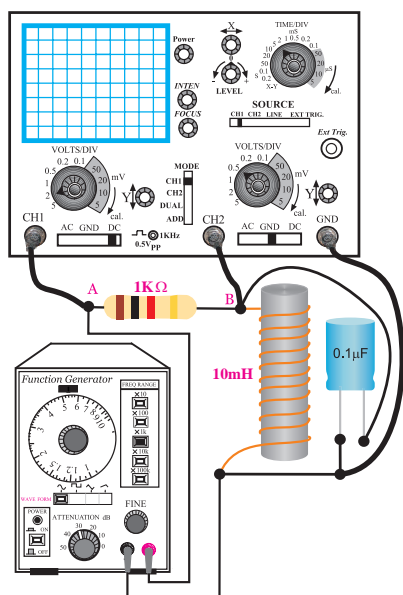
زمان اجرا: ۲ ساعت آموزشی

### ۷-۹-۱ هدف‌های آزمایش:

تعیین فرکانس و امپدانس در مدار هماهنگ موازی به

صورت عملی

### ۷-۹-۲ تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش



ب- مدار عملی

شکل ۹-۳۸ مدار عملی آزمایش

■ با استفاده از رابطه‌ی  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  فرکانس رزونانس مدار را محاسبه و یادداشت کنید.

$f_r = \dots\dots\dots$

■ کلید انتخاب موج را روی حالت سینوسی قرار دهید.

■ سیگنال ژنراتور را روی فرکانس رزونانس محاسبه شده و دامنه‌ی ولتاژ ۱۰ ولت پیک تو پیک سینوسی تنظیم کنید.

■ پروب کانال ۱ (CH ۱) را به نقطه‌ی A و پروب کانال ۲ (CH ۲) را به نقطه‌ی B وصل کنید و اسیلوسکوپ را روشن کنید.

■ شکل موج نمودار خروجی مدار را از روی صفحه اسیلوسکوپ بر روی شکل ۹-۳۹ رسم کنید و دامنه‌پیک تو پیک سیگنال خروجی و فرکانس را یادداشت کنید.

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	اسیلوسکوپ دو کانال	یک دستگاه
۲	سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۳	مولتی متر دیجیتالی	دو دستگاه
۴	برد برد	یک قطعه
۵	مقاومت اهمی $1K\Omega$	یک عدد
۶	خازن $0.1\mu f$	یک عدد
۷	سلف $10\text{ mH}$	یک عدد
۸	سیم رابط دو سر گیره سوسماری	چهار رشته
۹	سیم رابط یک سر گیره سوسماری	چهار رشته

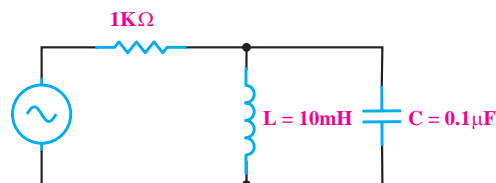
### ۷-۹-۳ مراحل اجرای آزمایش

الف - به دست آوردن فرکانس رزونانس در مدار هماهنگ

موازی

■ وسایل مورد نیاز را آماده کنید.

■ مدار شکل ۹-۳۸ را روی برد ببندید.



الف- نقشه‌ی فنی مدار

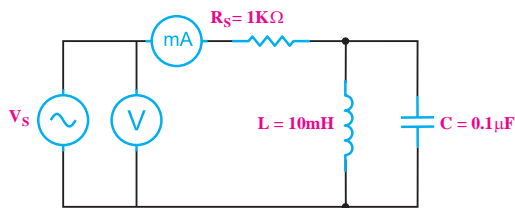
جدول ۹-۱

دامنه پیک تو پیک سیگنال خروجی	
$f_r - 300$	
$f_r - 200$	
$f_r - 100$	
$f_r$	
$f_r + 100$	
$f_r + 200$	
$f_r + 300$	

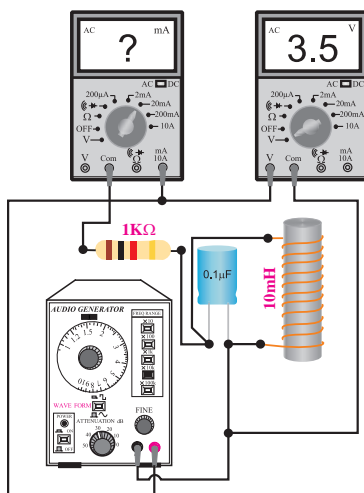
در صورت نیاز با توجه به تجهیزات و امکانات موجود در کارگاه مقادیر را تغییر دهید.

#### ب - تعیین امپدانس مدار هماهنگ موازی LC

■ مدار شکل ۴۰ - ۹ را روی برد برد ببندید.

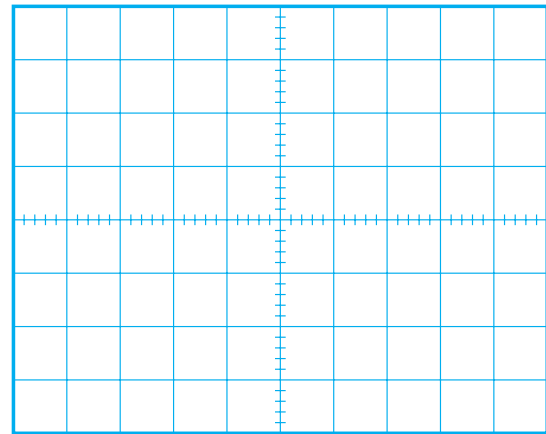


الف - نقشه ی فنی مدار



ب - مدار عملی

شکل ۴۰ - ۹ مدار آزمایش



شکل ۳۹ - ۹ شکل موج خروجی

$$V_{p-p} = \dots\dots\dots V$$

$$f = \dots\dots\dots Hz$$

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را نزدیک عدد مربوط به فرکانس رزونانس که در مرحله ی قبل محاسبه شد، تغییر دهید و شکل موج خروجی مدار را مشاهده کنید.

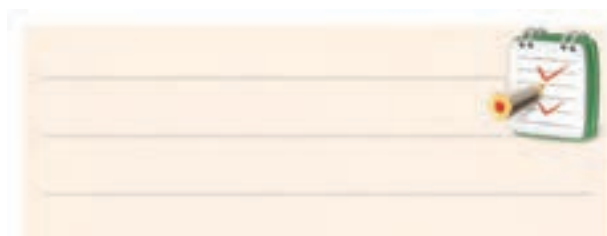
چون در مدار هماهنگ موازی در فرکانس رزونانس امپدانس مدار حداکثر است پس جریان در مدار به حداقل مقدار یعنی  $I_T = \frac{V_s}{R}$  می رسد.

■ در یک فرکانس خاص دامنه ی ولتاژ خروجی سیگنال (CH۲) دارای بیش ترین مقدار است. این فرکانس را یادداشت کنید.

$$f_r = \dots\dots\dots$$

**توضیح:** این فرکانس همان فرکانس رزونانس مدار است که از راه عملی به دست می آید.

■ مقدار فرکانس سیگنال ژنراتور را طبق جدول ۹ - ۱ تغییر دهید و دامنه ی پیک تو پیک سیگنال خروجی را یادداشت کنید.



#### ۴-۷-۹ نتایج آزمایش:

نتایج حاصل از آزمایش‌های الف و ب را به طور خلاصه

بیان کنید.

الف-

ب-

ج-

■ کلید سلکتور ولت متر را در حالت AUTO یا رنج ۲۰ V و کلید AC/DC را در حالت AC قرار دهید.

■ کلید سلکتور مولتی متری که به عنوان میلی آمپر متر، به کار برده‌اید را روی ۲۰ mA قرار دهید و کلید AC/DC را در حالت AC بگذارید.

■ ولتاژ خروجی سیگنال ژنراتور را روی  $10 V_{p-p}$  تنظیم کنید.

■ کلید انشعاب موج را روی حالت سینوسی قرار دهید.  
■ فرکانس سیگنال ژنراتور را روی ۱۶ KHz قرار دهید.

■ مقدار ولتاژی را که ولت متر و مقدار جریانی را که میلی آمپر متر نشان می‌دهد در جدول زیر بنویسید.

مقدار ولتاژ توسط ولت متر	V .....
مقدار جریان توسط میلی آمپر متر	mA .....

■ با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده مقدار امپدانس  $Z$  را محاسبه کنید.

$$Z = \frac{V(\text{ولت})}{I(\text{آمپر})} = \frac{V}{I} = \dots\dots\dots \Omega$$

■ مقدار  $Z$  را با استفاده از روابط ریاضی به دست آورید.

$$X = \frac{X_L \cdot X_C}{|X_L - X_C|}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

**سؤال ۱:** آیا مقدار  $Z$  به دست آمده از طریق محاسبه با مقدار  $Z$  اندازه گیری شده تقریباً برابرند؟ توضیح دهید.

#### ۸-۹- آزمایش شماره ۲

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

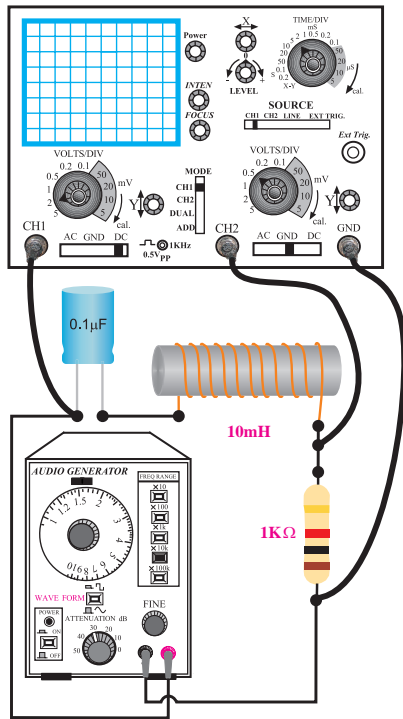
##### ۱-۸-۹ هدف های آزمایش:

به دست آوردن فرکانس رزونانس در مدار RLC سری و موازی



## ۲- ۸- ۹ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز :

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۲	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۳	برد برد	یک قطعه
۴	مقاومت اهمی	از هر کدام یک عدد
	$1K\Omega$ و $10K\Omega$	
۵	خازن $0.1\mu F$ میکرو فاراد	یک عدد
۶	سلف $10mH$	یک عدد
۷	سیم رابط دو سرگیره سوسماری $50$ سانتی متری	چهار رشته
۸	سیم رابط یک سرگیره سوسماری $50$ سانتی متری	چهار رشته



ب- مدار عملی

شکل ۴۱-۹ مدار عملی آزمایش

■ با استفاده از رابطه  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  فرکانس

رزونانس مدار را محاسبه و یادداشت کنید .

$$f_r = \dots\dots\dots$$

■ کلید انتخاب موج را روی حالت سینوسی قرار دهید .

■ فانکشن ژنراتور را روی فرکانس رزونانس محاسبه

شده و دامنه‌ی ولتاژ  $10$  ولت پیک تو پیک سینوسی تنظیم کنید .

■ پروب کانال ۱ (CH۱) را به نقطه ی A و پروب

کانال ۲ (CH۲) را به نقطه ی B وصل کنید و اسیلوسکوپ را روشن کنید .

■ شکل موج سیگنال خروجی مدار (سیگنال CH۲) را

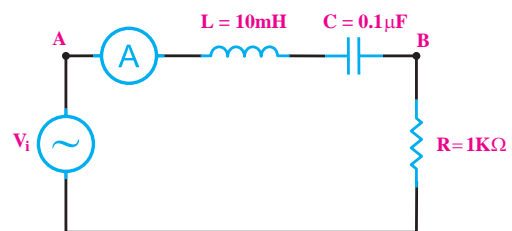
از روی صفحه اسیلوسکوپ در شکل ۴۲-۹ رسم کنید . و

## ۳- ۸- ۹- مراحل اجرای آزمایش

الف - به دست آوردن فرکانس رزونانس در مدار RLC سری

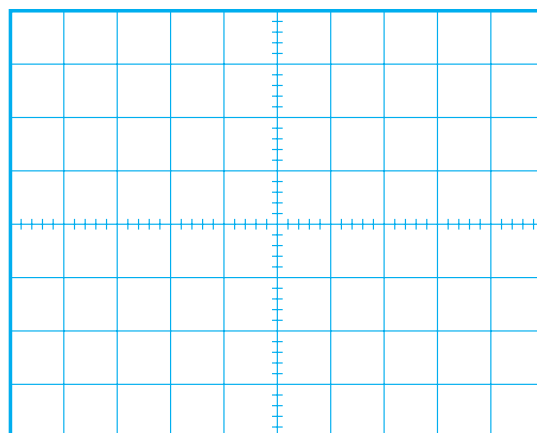
■ وسایل مورد نیاز را آماده کنید .

■ مدار شکل ۴۱-۹ را روی برد ببندید .



الف- نقشه‌ی فنی مدار

دامنه پیک تو پیک سیگنال خروجی و فرکانس را یادداشت کنید .



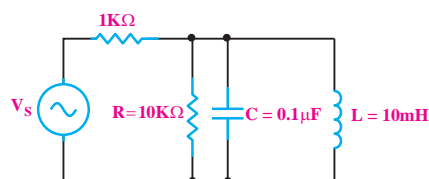
جدول ۹-۲

دامنه پیک تو پیک سیگنال خروجی فرکانس ولتاژ ورودی	
$f_r - 300$	
$f_r - 200$	
$f_r - 100$	
$f_r$	
$f_r + 100$	
$f_r + 200$	
$f_r + 300$	

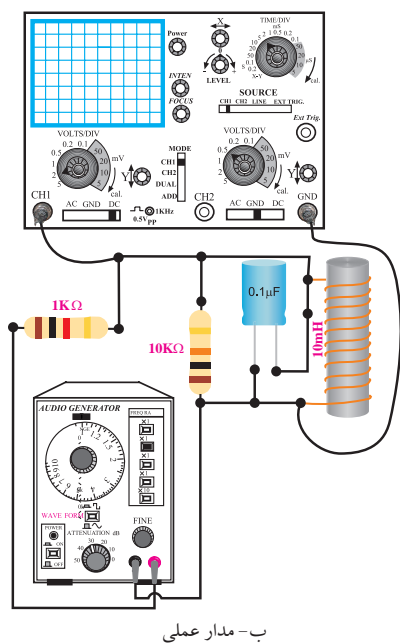
ب - به دست آوردن فرکانس رزونانس در مدار RLC موازی

■ وسایل مورد نیاز را آماده کنید .

■ مدار شکل ۴۳ - ۹ را روی برد برد ببندید .



الف - نقشه ی فنی مدار



ب- مدار عملی

شکل ۴۳-۹ مدار عملی آزمایش

شکل ۴۲-۹ شکل موج خروجی مدار

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را نزدیک عدد مربوط به

فرکانس رزونانس که در مرحله ی قبل محاسبه شده است تغییر دهید و شکل موج را مشاهده کنید .

چون در مدار هماهنگ سری در فرکانس رزونانس

، امپدانس مدار حداقل است ، پس جریان در مدار به

$$\text{ماکزیمم مقدار یعنی } I_T = \frac{V_s}{R} \text{ می رسد .}$$

■ در یک فرکانس خاص دامنه ی ولتاژ خروجی بیشترین

مقدار را دارد . این فرکانس را یادداشت کنید .

$$f = \dots\dots\dots$$

■ این فرکانس همان فرکانس رزونانس مدار است که از

راه عملی به دست آمده است .

■ مقدار فرکانس سیگنال ژنراتور را طبق جدول ۲ - ۹

تغییر دهید و دامنه پیک تو پیک سیگنال خروجی را یادداشت کنید.

چون در مدار هماهنگ موازی در فرکانس رزونانس، امپدانس مدار حداکثر است، پس جریان در مدار به کمترین مقدار یعنی  $I_T = \frac{V_S}{R}$  می رسد.

■ با استفاده از رابطه‌ی  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  فرکانس رزونانس مدار را محاسبه و یادداشت کنید.  
 $f_r = \dots\dots\dots$

■ در یک فرکانس خاص دامنه‌ی ولتاژ خروجی بیشترین مقدار را دارد. این فرکانس را یادداشت کنید.

$f = \dots\dots\dots$

■ این فرکانس همان فرکانس رزونانس مدار است که از راه عملی به دست آمده است.

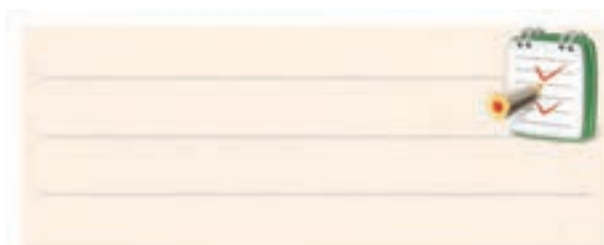
■ مقدار فرکانس سیگنال ژنراتور را طبق جدول ۳-۹ تغییر دهید و دامنه پیک تو پیک سیگنال خروجی را یادداشت کنید.

جدول ۳-۹

دامنه پیک تو پیک سیگنال خروجی	فرکانس ولتاژ ورودی
	$f_r - 300$
	$f_r - 200$
	$f_r - 100$
	$f_r$
	$f_r + 100$
	$f_r + 200$
	$f_r + 300$

#### ۴-۸-۹ نتایج آزمایش:

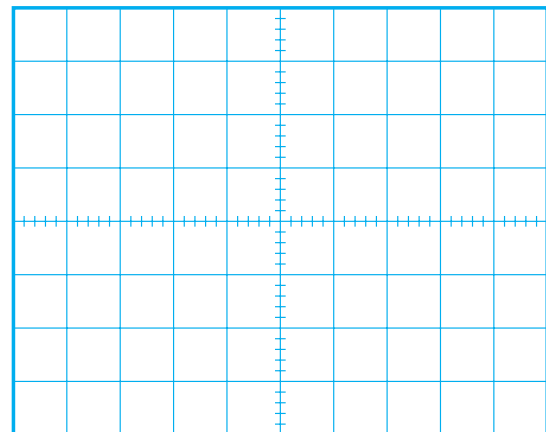
نتایج حاصل از آزمایش‌های الف و ب را به طور خلاصه بیان کنید.



■ کلید انتخاب موج را روی حالت سینوسی قرار دهید.  
 ■ فانکشن ژنراتور را روی فرکانس رزونانس محاسبه شده و دامنه‌ی ولتاژ ۱۰ ولت پیک تو پیک سینوسی تنظیم کنید.

■ پروب کانال ۱ (CH1) را به نقطه‌ی A وصل کنید و اسیلوسکوپ را روشن کنید.

■ شکل موج سیگنال خروجی مدار را از روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ در شکل ۴۴-۹ رسم کنید. و دامنه‌ی پیک تو پیک سیگنال خروجی و فرکانس را یادداشت کنید.



شکل ۴۴-۹ شکل موج خروجی مدار

$V_{p-p} = \dots\dots\dots V$

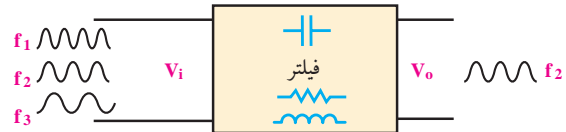
$f = \dots\dots\dots \text{HZ}$

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را حول عدد مربوط به فرکانس رزونانس که در مرحله‌ی قبل محاسبه شده است تغییر دهید و شکل موج را مشاهده کنید.

## ۹-۹ فیلترها (Filters)

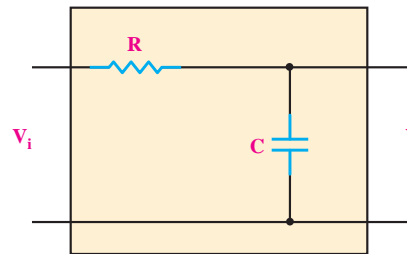
### ۹-۹-۱ تعریف فیلتر

فیلترها مدارهای الکتریکی یا الکترونیکی هستند که اجازه‌ی عبور قسمتی از فرکانس‌ها را از یک مدار به مدار دیگر نمی‌دهند. در حقیقت فیلتر سبب تضعیف دامنه‌ی فرکانس‌هایی می‌شود که نباید عبور کنند، شکل ۹-۴۵.



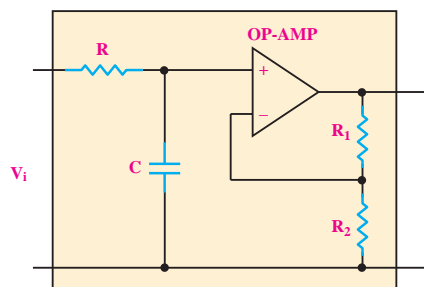
شکل ۹-۴۵ فیلتر

ساختمان بعضی از فیلترها از مقاومت اهمی، سلف و خازن تشکیل می‌شود. به این نوع فیلترها، فیلترهای غیر فعال می‌گویند، شکل ۹-۴۶.



شکل ۹-۴۶ فیلتر غیر فعال

دسته‌ی دیگری از فیلترها، از قطعات الکترونیک، سلف، خازن و مقاومت اهمی تشکیل می‌شوند که به آن‌ها فیلترهای فعال می‌گویند. در شکل ۹-۴۷ یک نمونه فیلتر فعال نشان داده شده است.



شکل ۹-۴۷ فیلتر فعال

به طور کلی دامنه‌ی سیگنال‌های ولتاژ متناوب سینوسی با فرکانس‌های مختلف که از فیلتر غیر فعال عبور می‌کنند تضعیف می‌شوند. در فیلترهای فعال برای تقویت دامنه‌ی سیگنال‌های عبوری، از تقویت کننده استفاده می‌شود.

### انواع فیلتر

در یک دسته بندی کلی فیلترها را می‌توان به چهار دسته به شرح زیر تقسیم کرد:

الف: فیلتر پایین گذر (Low pass filter – LPF)

ب: فیلتر بالاگذر (High pass filter – HPF)

ج: فیلتر میان گذر (فیلتر عبور باند)

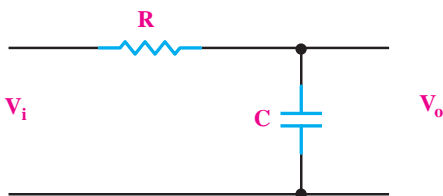
(Band Pass Filter – BPF)

د: فیلتر میان نگذر (فیلتر حذف باند)

(Band Reject Filter – BRF)

### ۹-۹-۲ فیلتر پایین گذر

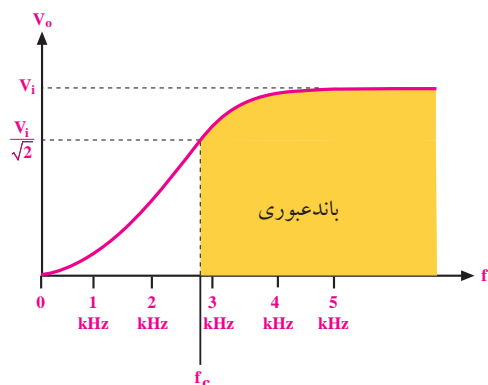
فیلتر پایین گذر، فیلتری است که از فرکانس معینی به پایین را به راحتی از خود عبور می‌دهد. در شکل ۹-۴۸ یک نمونه فیلتر پایین گذر RC نشان داده شده است.



شکل ۹-۴۸ فیلتر پایین گذر RC

این فیلتر فرکانس‌های خیلی کم (صفر) تا فرکانس  $f_c$  (فرکانس قطع) را از خود عبور می‌دهد. برای نشان دادن محدوده‌ی عبور فرکانس‌ها، از یک منحنی به نام منحنی پاسخ فرکانسی استفاده می‌شود، شکل ۹-۴۹.

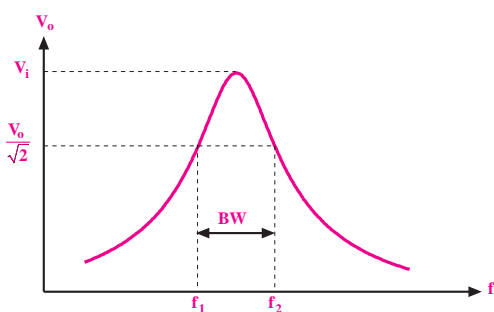
در شکل ۹-۵۱، منحنی پاسخ فرکانس فیلتر بالاگذر نشان داده شده است. همان‌طور که از منحنی پاسخ فرکانسی شکل ۹-۵۱ مشخص است، از فرکانس معینی به بالا را فیلتر از خود عبور می‌دهد. در فرکانس  $f_c$  و فرکانس‌های بیشتر از  $f_c$  دامنه ولتاژ خروجی فیلتر قابل قبول است. فرکانس قطع ( $f_c$ ) از رابطه‌ی  $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$  به دست می‌آید.



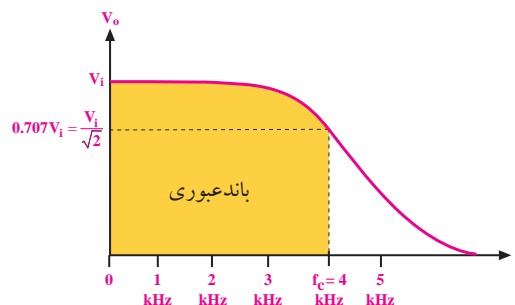
شکل ۹-۵۱ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر

#### ۹-۴-۹ فیلتر میان‌گذر

فیلتر میان‌گذر، فیلتری است که فقط محدوده‌ای از فرکانس‌ها را که بین دو مقدار  $f_p$  و  $f_p$  قرار دارد از خود عبور می‌دهد. در این نوع فیلتر، فرکانس‌های کم‌تر از  $f_p$  یا بیشتر از  $f_p$  با دامنه‌ی قابل قبول عبور نمی‌کند. منحنی پاسخ فرکانسی این نوع فیلتر در شکل ۹-۵۲ نشان داده شده است.



شکل ۹-۵۲ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر میان‌گذر (عبور باند)



شکل ۹-۴۹ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر پایین‌گذر

#### فرکانس قطع:

در شکل ۹-۴۹ در فرکانس ۴ KHz، دامنه‌ی ولتاژ خروجی برابر  $0.707 V_i$  است. لذا فرکانس ۴ KHz فرکانس قطع فیلتر محسوب می‌شود و بنابراین این نوع فیلتر فرکانس‌های صفر تا ۴ KHz را از خود عبور می‌دهد. در فرکانس‌های بیشتر از ۴ KHz، دامنه‌ی ولتاژ خروجی کاهش می‌یابد و قابل قبول نیست.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad \text{فرکانس قطع فیلتر پایین‌گذر RC از رابطه‌ی}$$

به دست می‌آید.

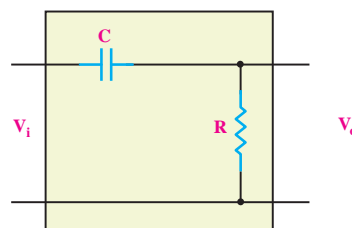
#### نکته‌ی مهم



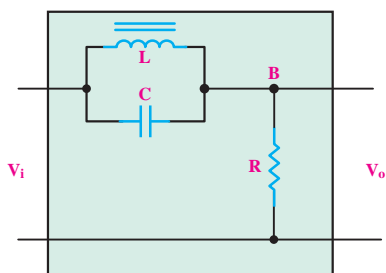
در فرکانس قطع مقدار دامنه‌ی ولتاژ خروجی  $0.707$  دامنه‌ی ولتاژ ورودی می‌شود.

#### ۹-۳-۹ فیلتر بالاگذر

فیلتر بالاگذر، فیلتری است که از فرکانس معینی به بالا را به راحتی از خود عبور می‌دهد. در شکل ۹-۵۰ یک نمونه فیلتر بالاگذر نشان داده شده است.



شکل ۹-۵۰ یک نمونه فیلتر بالاگذر



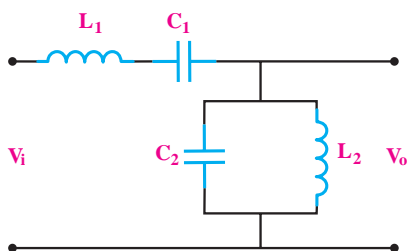
شکل ۹-۵۵ یک نمونه فیلتر میان‌نگذر (فیلتر حذف باند)

### ۹-۶-۹ نحوه‌ی تشخیص نوع فیلتر

برای تشخیص نوع فیلتر میان‌گذر یا میان‌نگذر سه حد فرکانس  $f=0$ ،  $f=f_c$  و  $f=\infty$  را انتخاب می‌کنیم و وضعیت مدار را در این سه فرکانس مورد بررسی قرار می‌دهیم. برای این منظور ابتدا در رابطه‌ی راکتانس سلف ( $X_L$ ) و راکتانس خازن ( $X_C$ ) به جای فرکانس مقدار  $f=0$  را قرار می‌دهیم، سپس ولتاژ خروجی فیلتر را محاسبه می‌کنیم.

**مثال ۹:** فیلتر رسم شده در شکل ۹-۵۶ از نظر منحنی

پاسخ فرکانسی از چه نوع فیلتری است؟



شکل ۹-۵۶

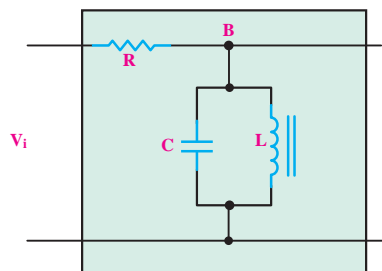
**حل:**

ابتدا راکتانس سلف و خازن را به ازای  $f=0$  به دست

می‌آوریم:

$$f=0 \Rightarrow \begin{cases} X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 0 \times L = 0 \\ X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \times 0 \times C} = \frac{1}{0} = \infty \end{cases}$$

در شکل ۹-۵۳ یک نمونه فیلتر میان‌گذر نشان داده شده است.

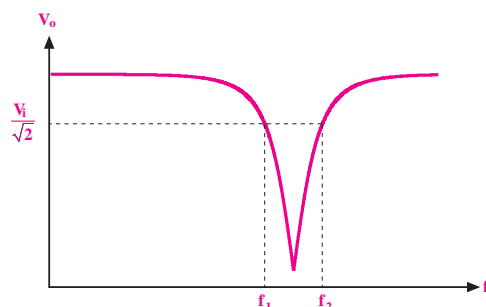


شکل ۹-۵۳ یک نمونه فیلتر میان‌گذر

فرکانسی که در آن ولتاژ خروجی دقیقاً برابر  $\frac{V_i}{\sqrt{2}}$  یا  $0.707 V_i$  باشد را فرکانس قطع فیلتر می‌گویند و آن را با  $f_c$  نشان می‌دهند.

### ۹-۵-۹ فیلتر میان‌نگذر (فیلتر حذف باند)

فیلتر میان‌نگذر، فیلتری است که فقط محدوده‌ای از فرکانس‌هایی که بین دو مقدار  $f_1$  و  $f_2$  قرار دارد را عبور نمی‌دهد. این فیلتر فرکانس‌های کمتر از  $f_1$  و بیشتر از  $f_2$  را در خروجی ظاهر می‌کند. منحنی پاسخ فرکانس این نوع فیلتر در شکل ۹-۵۴ نشان داده شده است.



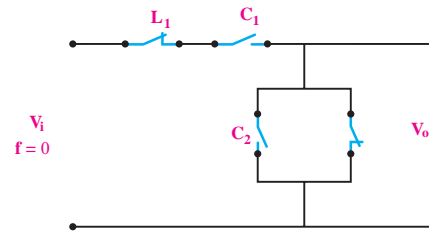
شکل ۹-۵۴ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر میان‌نگذر (فیلتر حذف باند)

در شکل ۹-۵۵ یک نمونه فیلتر میان‌نگذر نشان داده شده

است.

مدار معادل فیلتر مورد نظر در این حالت، به صورت شکل

۹-۵۷ است.



شکل ۹-۵۷ مدار در فرکانس  $f=0$

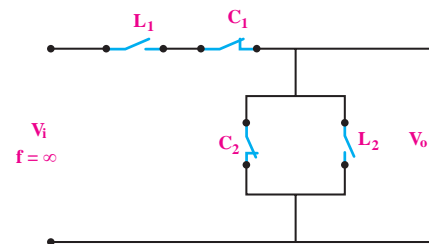
در ادامه مقدار فرکانس را  $f=\infty$  قرار می‌دهیم و مدار

معادل را رسم می‌کنیم.

$$f = \infty \Rightarrow \begin{cases} X_L = \pi f L = \pi \times \infty \times L = \infty \\ X_C = \frac{1}{\pi f C} = \frac{1}{\pi \times \infty \times C} = 0 \end{cases}$$

مدار معادل فیلتر را در فرکانس  $f=\infty$  رسم می‌کنیم، شکل

۹-۵۸.



شکل ۹-۵۸ مدار در فرکانس  $f=\infty$

در مدار شکل ۹-۵۷ به علت اتصال کوتاه بودن سیم‌پیچ

$L_p$  در فرکانس  $f=0$ ، ولتاژ خروجی صفر می‌شود. بنابراین

در مدار شکل ۹-۵۸ به علت اتصال کوتاه بودن خازن  $C_p$  در

فرکانس  $f=\infty$  ولتاژ خروجی صفر است.

پس ولتاژ خروجی در فیلتر مورد نظر، در فرکانس صفر

( $f=0$ ) و فرکانس بی‌نهایت ( $f=\infty$ ) برابر با صفر می‌شود. در

این مرحله عملکرد مدار را در فرکانس رزونانس ( $f_r$ ) بررسی

می‌کنیم.

همان‌طور که می‌دانید در فرکانس رزونانس ( $f_r$ )،

امپدانس سیم‌پیچ ( $X_L$ ) و امپدانس خازن ( $X_C$ ) با هم برابر

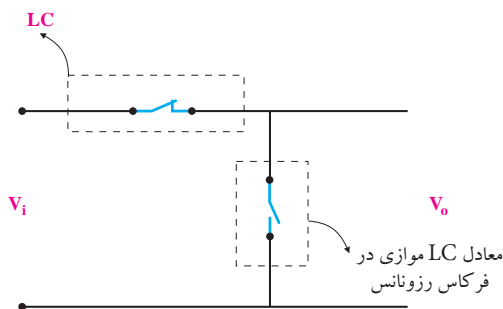
می‌شوند. به علت موازی بودن سلف و خازن در خروجی

فیلتر، در فرکانس رزونانس، بیشترین ولتاژ در خروجی ظاهر

می‌شود. عملکرد مدار در فرکانس رزونانس ( $f_r$ ) در شکل

۹-۵۹ نشان داده شده است.

معادل LC سری در فرکانس رزونانس



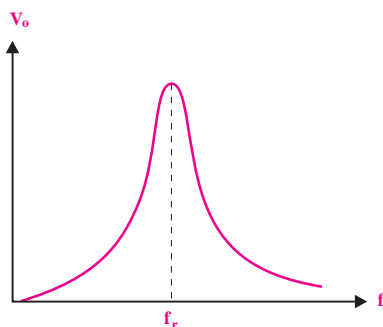
شکل ۹-۵۹ مدار در فرکانس رزونانس

همان‌طور که در شکل ۹-۵۹ مشاهده می‌کنید، در فرکانس

رزونانس عملکرد مدار LC سری و LC موازی نشان داده

شده است. پاسخ فرکانسی فیلتر مورد نظر مانند شکل ۹-۶۰

است.



شکل ۹-۶۰ پاسخ فرکانسی فیلتر

با توجه به پاسخ فرکانسی رسم شده در شکل ۹-۶۰

می‌بینیم که فیلتر مورد بحث از نوع فیلتر میان‌گذر است.

## ۹-۱۰ آزمایش شماره (۳)

زمان اجرا: ۶ ساعت آموزشی

### ۹-۱۰-۱ هدف‌های آزمایش

بررسی عملی انواع فیلترهای پایین گذر، بالاگذر، میان گذر و حذف باند

### ۹-۱۰-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز :

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۲	اسیلوسکوپ دو کانال	یک دستگاه
۳	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۴	مقاومت اهمی $10K\Omega$ ، $100\Omega$ و $10K\Omega$	از هر کدام یک عدد
۵	خازن های $10nf$ و $22nf$	از هر کدام یک عدد
۶	بوبین $10mH$	یک عدد
۷	سیم رابط یک سرگیره سوسماری $50$ سانتی متری	دو رشته
۸	سیم رابط یک سرگیره سوسماری $50$ سانتی متری	چهار رشته

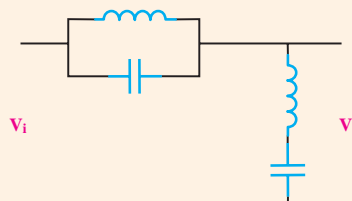
### توجه

با توجه به قطعات موجود در آزمایشگاه می توانید مقادیر سلف و خازن را در کلیه آزمایش ها تغییر دهید.



### تمرین کلاسی ۲: فیلتر شکل ۹-۶۱ از نظر

منحنی پاسخ فرکانسی، چه نوع فیلتری است؟

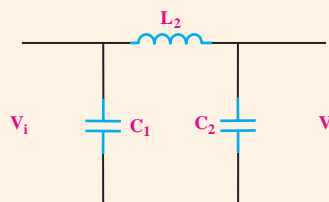


شکل ۹-۶۱



### تمرین کلاسی ۳: فیلتر شکل ۹-۶۲ از چه

نوع فیلتری است؟



شکل ۹-۶۲

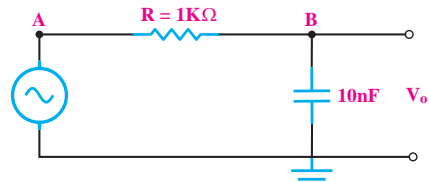




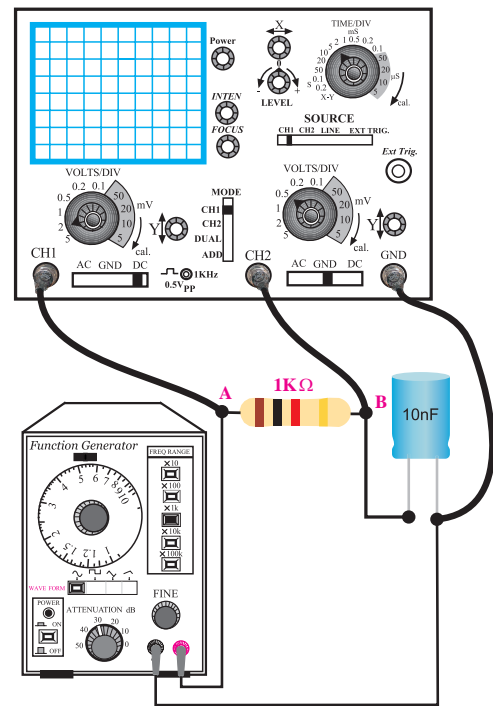
### الف- بررسی فیلتر پایین گذر و اندازه گیری فرکانس قطع

#### فیلتر

مدار شکل ۹-۶۳ را روی بردبرد ببندید.



الف - نقشه ی فنی مدار



ب- مدار عملی

شکل ۹-۶۳ مدار آزمایش

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و روی فرکانس ۱۵KHz

سینوسی و دامنه ی ولتاژ ۱۰ ولت پیک تو پیک تنظیم کنید.

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم های لازم را روی

■ پروب کانال ۱ (CH ۱) را به نقطه ی A و پروب

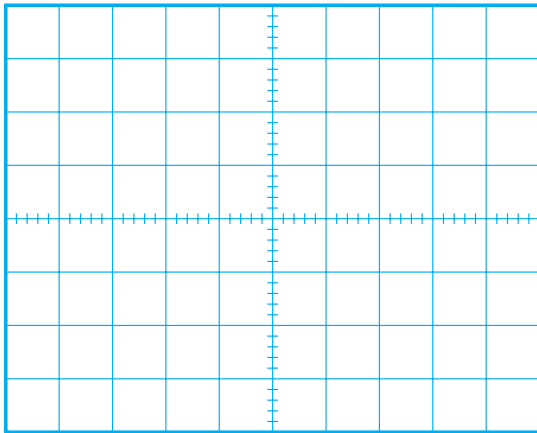
کانال ۲ (CH ۲) را به نقطه ی B وصل کنید.

■ سیگنال های ولتاژ ورودی و خروجی مدار را به کمک

اسیلوسکوپ روی نمودارهای شکل ۹-۶۴ و ۹-۶۵ با مقیاس

مناسب رسم کنید. مقدار پیک تو پیک و فرکانس سیگنال ها

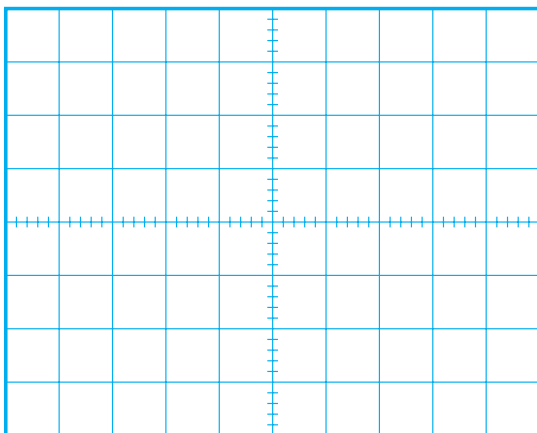
را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.



$f = \dots\dots\dots \text{Hz}$

$V_{i_{p-p}} = \dots\dots\dots \text{V}$

شکل ۹-۶۴ سیگنال ورودی



$f = \dots\dots\dots \text{Hz}$

$V_{o_{p-p}} = \dots\dots\dots \text{V}$

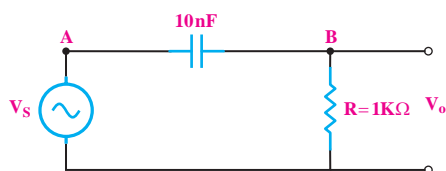
شکل ۹-۶۵ سیگنال خروجی

## ب- بررسی فیلتر بالا گذر و اندازه گیری فرکانس قطع فیلتر

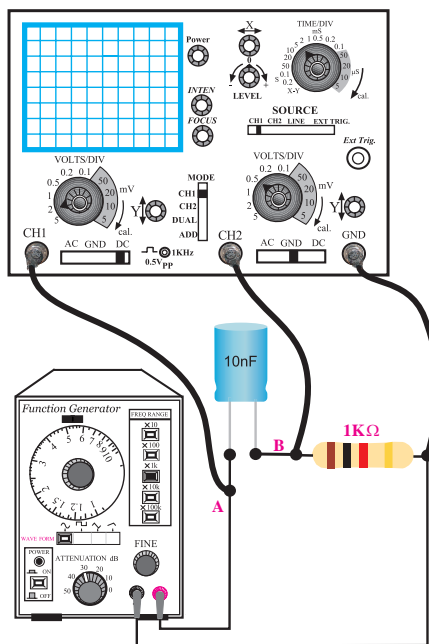
مدار شکل ۹-۶۶ را روی بردبرد ببندید.

### توجه

اگر محل اتصال مقاومت و خازن را در آزمایش قبل جابه جا کنید، در این حالت فیلتر پایین گذر به فیلتر بالاگذر تبدیل می شود.



الف - نقشه فنی مدار



ب- مدار عملی

شکل ۹-۶۶

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و روی فرکانس

۱۶KHz سینوسی و دامنه‌ی ولتاژ ۱۰ ولت پیک تو پیک

تنظیم کنید.

■ با استفاده از رابطه‌ی  $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$  فرکانس قطع فیلتر

پایین گذر را محاسبه و یادداشت کنید.

$$f_c = \dots\dots\dots \text{Hz}$$

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را روی فرکانس قطع ( $f_c$ )

محاسبه شده تنظیم کنید. در این حالت دامنه‌ی ولتاژ خروجی

را اندازه بگیرید و در جدول ۹-۴ یادداشت کنید.

جدول ۹-۴

ولتاژ خروجی $V_{P-P}$	ولتاژ ورودی $V_{P-P}$	فرکانس سیگنال ژنراتور
		$f_c - 3 \text{ KHz}$
		$f_c - 2 \text{ KHz}$
		$f_c - 1 \text{ KHz}$
		$f_c$
		$f_c + 1 \text{ KHz}$
		$f_c + 2 \text{ KHz}$
		$f_c + 3 \text{ KHz}$

■ طبق جدول ۹-۴ فرکانس سیگنال ژنراتور را تغییر

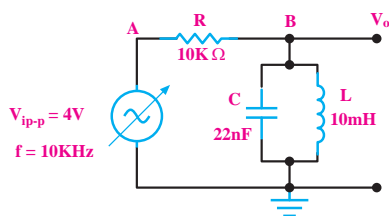
دهید. در هر مرحله دامنه‌ی پیک تو پیک ورودی و خروجی

را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

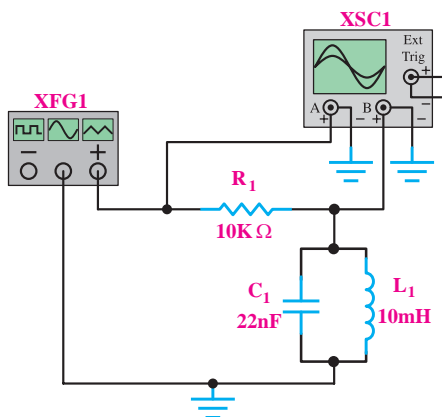
**سوال ۲:** با توجه به جدول ۹-۴ بیشینه‌ی ولتاژ خروجی

برای کدام سیگنال ورودی به وجود می آید؟ چرا؟





الف - نقشه فنی مدار



ب- مدار عملی

شکل ۶۷-۹ مدار آزمایش

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و روی فرکانس ۱۰ KHz سینوسی و دامنه‌ی ولتاژ  $V_{p-p} = 10$  تنظیم کنید.

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید.

■ پروب کانال ۱ (CH ۱) را به نقطه‌ی A و پروب کانال ۲ (CH ۲) را به نقطه‌ی B وصل کنید.

■ با تغییر فرکانس سیگنال ژنراتور، بیشینه‌ی دامنه‌ی سیگنال خروجی را اندازه بگیرید.

$$V_o = \dots\dots\dots V \text{ بیشترین مقدار ولتاژ خروجی}$$

■ در چه فرکانسی دامنه‌ی ولتاژ خروجی بیشترین مقدار را دارد، یادداشت کنید.

$$f_r = \dots\dots\dots$$

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را آنقدر کاهش دهید تا

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید.

■ پروب کانال ۱ (CH ۱) را به نقطه‌ی A و پروب

کانال ۲ (CH ۲) را به نقطه‌ی B وصل کنید.

با استفاده از رابطه‌ی  $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$  فرکانس قطع فیلتر بالا گذر را محاسبه کنید و مقدار آن را بنویسید.

$$f_c = \dots\dots\dots \text{Hz}$$

■ با تغییر فرکانس سیگنال ژنراتور، بیشینه‌ی دامنه‌ی

سیگنال خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_o = \dots\dots\dots V \text{ بیشترین مقدار ولتاژ خروجی}$$

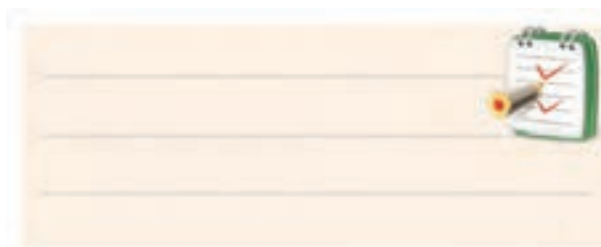
■ فرکانس سیگنال ژنراتور را آنقدر تغییر دهید تا دامنه‌ی سیگنال خروجی به ۷۰٪ درصد بیشترین مقدار ولتاژ خروجی برسد.

فرکانس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$f_c = \dots\dots\dots \text{Hz}$$

**سوال ۳:** آیا مقدار فرکانس اندازه‌گیری شده با مقدار

فرکانس  $f_c$  محاسبه شده در مراحل قبل یکسان است؟ توضیح دهید.



**ج: بررسی فیلترهای میان‌گذر و میان‌نگذر و اندازه‌گیری**

فرکانس رزونانس ( $f_r$ )، فرکانس قطع پایین ( $f_L$ ) و فرکانس قطع بالا ( $f_H$ ).

■ مدار شکل ۶۷-۹ را روی بردبرد ببندید.

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و روی فرکانس ۱۰ KHz سینوسی و دامنه‌ی ولتاژ  $V_{p-p} 16$  تنظیم کنید.

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید.

■ پروب کانال ۱ (CH ۱) را به نقطه‌ی A و پروب کانال ۲ (CH ۲) را به نقطه‌ی B وصل کنید.  
■ با تغییر فرکانس سیگنال ژنراتور، کمترین دامنه‌ی سیگنال خروجی را اندازه بگیرید.

$V_o = \dots\dots\dots V$  کم‌ترین مقدار ولتاژ خروجی

■ در چه فرکانسی دامنه‌ی ولتاژ خروجی کم‌ترین مقدار را دارد.

$$f_r = \dots\dots\dots V$$

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را آن‌قدر افزایش دهید تا دامنه‌ی سیگنال خروجی به ۷۰٪ درصد بیشترین مقدار ولتاژ ورودی برسد.

■ فرکانس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$f_H = \dots\dots\dots Hz$$

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را آن‌قدر کاهش دهید تا دامنه‌ی سیگنال خروجی به ۷۰٪ درصد بیش‌ترین مقدار ولتاژ ورودی برسد.

■ فرکانس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

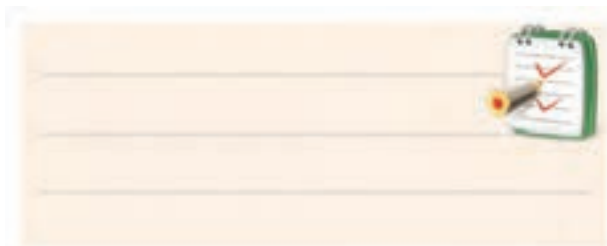
$$f_L = \dots\dots\dots Hz$$

■ پهنای باند فیلتر میان‌گذر را اندازه‌گیری کنید.

$$BW = f_H - f_L = \dots\dots\dots KHz$$

#### ۴-۱۰-۹ نتایج آزمایش:

نتایج حاصل از آزمایش‌های الف، ب، ج را به‌طور خلاصه بنویسید.



دامنه‌ی سیگنال خروجی به ۷۰٪ درصد بیشترین مقدار ولتاژ خروجی برسد.

■ فرکانس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$f_L = \dots\dots\dots Hz$$

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را آن‌قدر افزایش دهید تا دامنه‌ی سیگنال خروجی به ۷۰٪ درصد بیشترین مقدار ولتاژ خروجی برسد.

■ فرکانس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$f_H = \dots\dots\dots Hz$$

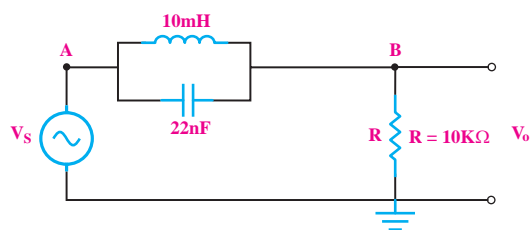
■ پهنای باند فیلتر میان‌گذر را اندازه‌گیری کنید.

$$BW = f_H - f_L = \dots\dots\dots Hz$$

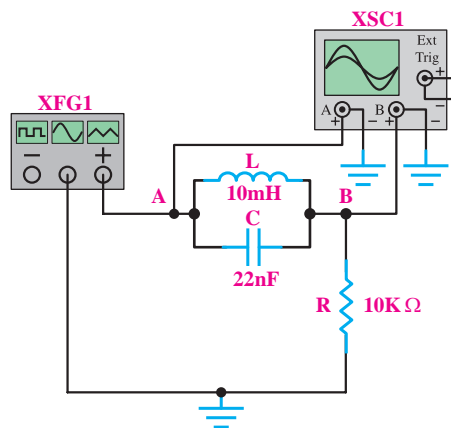
#### نکته‌ی مهم

اگر محل اتصال مقاومت R با محل اتصال مدار رزونانس LC جابه‌جا شود، فیلتر میان‌گذر به فیلتر میان‌نگذر تبدیل می‌شود.

■ مدار شکل ۶۸-۹ را روی بردبرد ببندید.



الف - نقشه فنی مدار



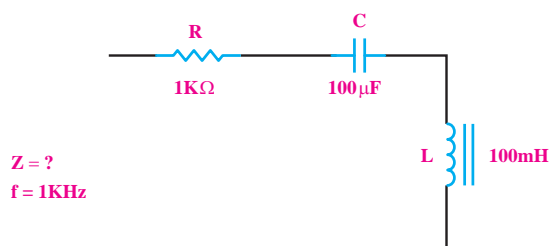
ب- مدار عملی

شکل ۶۸-۹

## آزمون پایانی فصل ۹

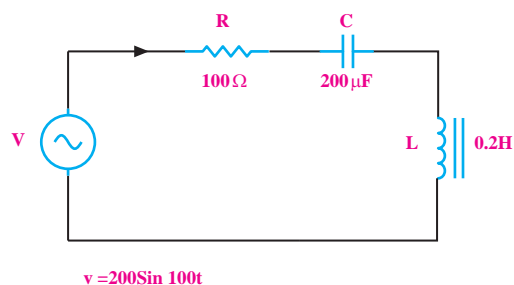


۱- در شکل ۹-۶۹ امپدانس مدار را محاسبه کنید.



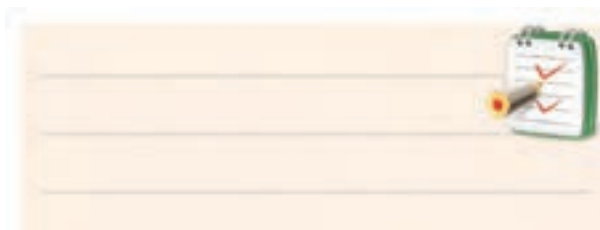
شکل ۹-۶۹

۲-  $X_C$  و  $X_L$  را در مدار شکل ۹-۷۰ محاسبه کنید.

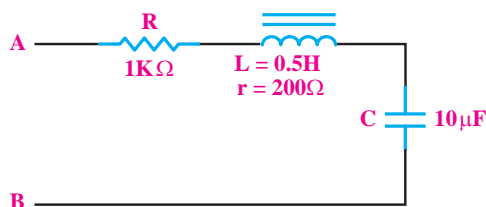


شکل ۹-۷۰

۳- در مدار شکل ۹-۷۰ جریان مؤثر مدار و توان تلف شده در مقاومت ۱۰۰ اهم را حساب کنید.



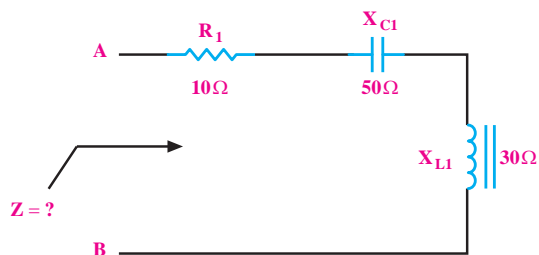
۴- در شکل ۹-۷۱ اگر به دو سر A و B یک اهم متر وصل کنیم، اهم متر چند اهم را نشان می دهد.



شکل ۹-۷۱

الف- ۱۲۰۰ ب- ۲۰۰ ج-  $\infty$  د- صفر

۵- در شکل ۹-۷۲ مقدار Z چند اهم است؟

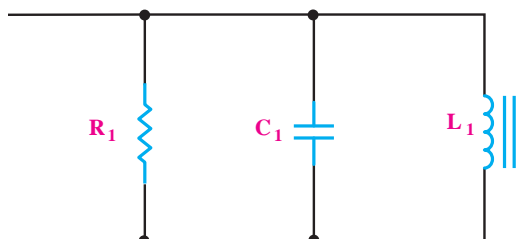


شکل ۹-۷۲

الف-  $\sqrt{1900}$  ب-  $\sqrt{500}$  ج- ۹۰ د- ۳۰

۶- در شکل ۹-۷۳ فرکانس رزونانس از کدام رابطه به

دست می آید؟



شکل ۹-۷۳

الف-  $\frac{1}{2\pi RC}$  ب-  $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

ج-  $\frac{1}{2\pi LC}$  د-  $\frac{1}{2\pi\sqrt{RC}}$

۷- در مدار RLC موازی در حال تشدید یا رزونانس، امپدانس مدار ..... است.

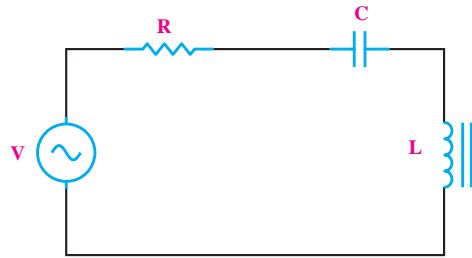
الف- حداقل ب- حداکثر

۸- پهنای باند در یک مدار RLC سری در حالت

رزونانسی از کدام رابطه به دست می آید؟

الف -  $\frac{f_r}{Q_r}$  ب -  $\frac{Q_r}{f_r}$

۹- در شکل ۹-۷۴ در فرکانس رزونانس ولتاژ دو سر مقاومت ..... است.



شکل ۹-۷۴

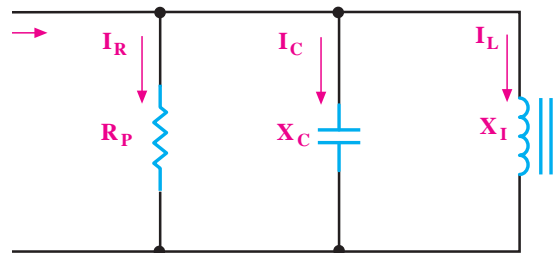
الف- حداکثر ب- حداقل

۱۰- در شکل ۹-۷۴ در فرکانس رزونانس مقدار Z کدام است؟

الف)  $\sqrt{R}$  ب)  $R^2$  ج)  $R$  د)  $\frac{R}{2}$

۱۱- در شکل ۹-۷۵ در فرکانس رزونانس کدام رابطه

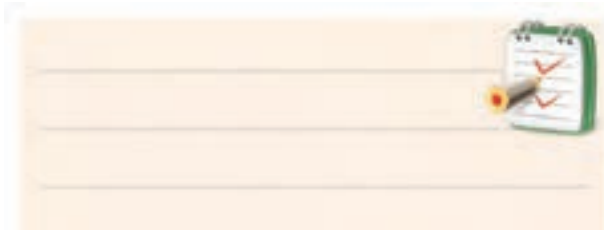
درست است؟



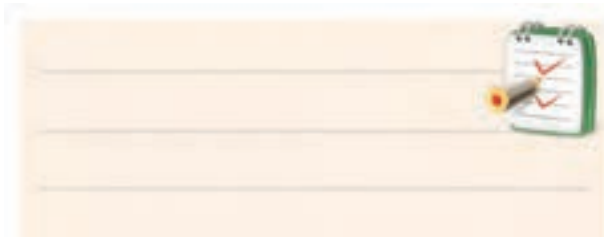
شکل ۹-۷۵

الف -  $I = I_C$  ب -  $I = I_L$  ج -  $I = I_R$

۱۲- در مدار RLC موازی رابطه‌ی امپدانس را در فرکانس رزونانس بنویسید.



۱۳- رزونانس را تعریف کنید.

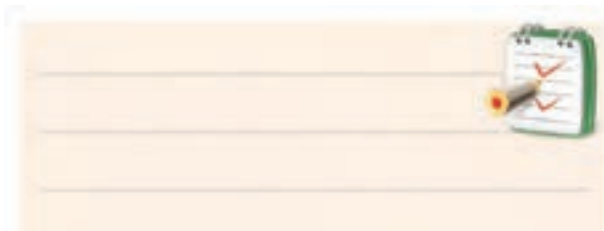


۱۴- در یک مدار RLC سری در حال رزونانس امپدانس مدار ..... است.

الف) حداقل ب) حداکثر

۱۵- رابطه‌ی فرکانس رزونانس در یک مدار RLC را

بنویسید.



۱۶- مفهوم پهنای باند را دقیقاً شرح دهید.



۱۷- رابطه‌ی ضریب کیفیت در مدار RLC سری کدام

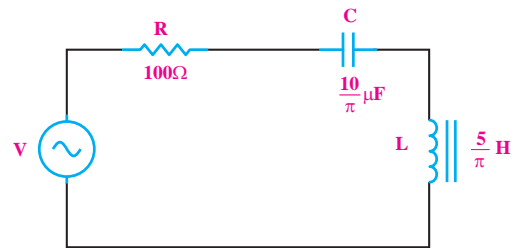
است؟

(الف)  $\frac{(\text{ماکزیمم انرژی ذخیره شده})}{\text{انرژی تلف شده در یک سیکل}} \times 2\pi$

(ب)  $\frac{(\text{انرژی تلف شده در یک سیکل})}{\text{ماکزیمم انرژی ذخیره شده}} \times 2\pi$

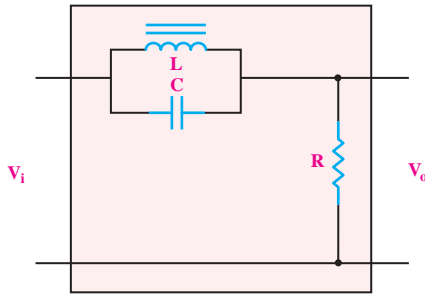
۱۸- در مدار شکل ۹-۷۶ فرکانس رزونانس را به دست

آورید.



شکل ۹-۷۶

۲۱- شکل ۹-۷۷ چه نوع فیلتری است؟



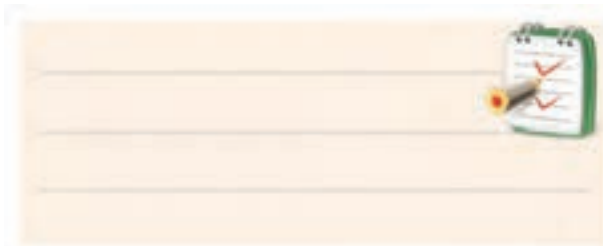
شکل ۹-۷۷

(الف) پایین گذر (ب) بالا گذر

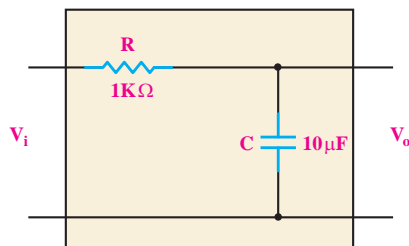
(ج) میان گذر (د) میان نگذر

۲۲- منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر، چه نوع اطلاعاتی در

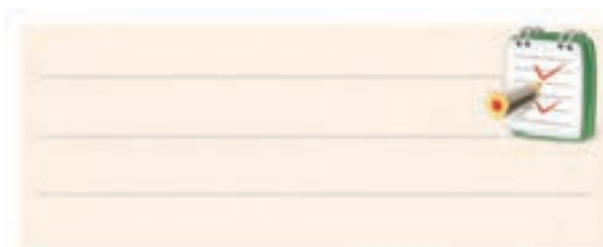
اختیار ما می گذارد؟



۲۳- فرکانس قطع را در فیلتر شکل ۹-۷۸ به دست آورید.



شکل ۹-۷۸



۱۹- در یک مدار RLC موازی،  $f_r = 10 \text{ KHz}$  و  $Q_r = 5$

است. پهنای باند چند هرتز است؟

(الف)  $\frac{200}{\pi}$  (ب)  $\frac{2000}{\pi}$  (ج) ۲۰۰ (د) ۲۰۰۰

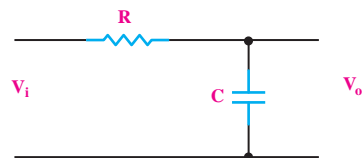
۲۰- در فرکانس قطع یک فیلتر RC، رابطه‌ی  $X_C$ ، R

کدام است؟

(الف)  $R > X_C$  (ب)  $R = X_C$  (ج)  $R < X_C$

۲۴- فیلتر RC شکل ۹-۷۹ فرکانس های زیاد را از خود

عبور ..... .



شکل ۹-۷۹

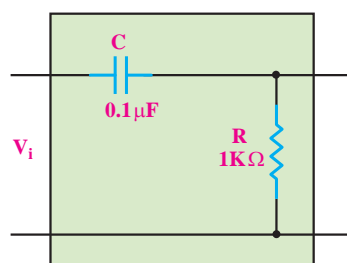
الف) می دهد      ب) نمی دهد

۲۷- فرکانس تشدید مدار RLC سری با مقادیر زیر را

محاسبه کنید.

$$R=40\Omega \text{ و } L=300\mu\text{H} \text{ و } C=300\text{PF}$$

۲۵- فرکانس قطع فیلتر شکل ۹-۸۰ چند هرتز است؟



شکل ۹-۸۰

الف- ۱۰۰      ب- ۱۰۰۰  
ج-  $\frac{100}{\pi}$       د-  $\frac{5000}{\pi}$

۲۸- در یک مدار فیلتر بالاگذر RC مقدار مقاومت

$16\text{ K}\Omega$  است. مقدار C حداقل چقدر باشد تا موجی با

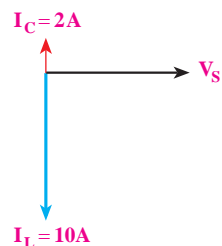
فرکانس ۱ KHz به خوبی عبور کند؟

۲۶- دیاگرام برداری یک مدار LC موازی مطابق شکل

۹-۸۱ است. در صورتی که مقدار راکتانس خازنی  $50\text{ اهم}$

باشد مقدار راکتانس سلف و جریان کل مدار چقدر است؟

$$(f=50\text{ Hz})$$



شکل ۹-۸۰



## بخش سوم

### دیود

هدف کلی:

شناخت انواع دیود و کار برد آن ها

واحد کار	شماره توانایی	عنوان توانایی	زمان آموزش		
			نظری	عملی	جمع
u <sub>۳</sub>	۱۰	توانایی بررسی مشخصات و خصوصیات دیود	۶	۴	۱۰
u <sub>۳</sub>	۱۱	توانایی تجزیه و تحلیل مدارهای دیودی	۸	۱۸	۲۶
u <sub>۳</sub>	۱۲	توانایی کار با دیودهای خاص	۶	۶	۱۲
جمع کل			۲۰	۲۸	۴۸

## فصل دهم

### مشخصات و خصوصیات دیود

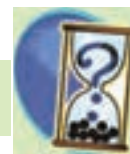
#### هدف کلی: تحلیل دیود به زبان ساده

هدف های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می رود که:



- ۱- تفاوت بین نیمه‌هادی‌ها، عایق‌ها و هادی‌ها را شرح دهد.
- ۲- ویژگی‌های اتم سیلیسیم و ژرمانیوم را بیان کند.
- ۳- نیمه‌هادی نوع P و N و اتصال PN را شرح دهد.
- ۴- جریان الکترون و حفره را شرح دهد.
- ۵- لایه‌ی سد در دیود را توضیح دهد.
- ۶- بایاس مستقیم و معکوس دیود را شرح دهد.
- ۷- مفهوم شکست در دیودها را شرح دهد.
- ۸- منحنی مشخصه‌ی ولت-آمپر دیود را در بایاس مستقیم و معکوس رسم کند.
- ۹- نحوه‌ی تست دیود توسط مولتی‌متر دیجیتالی و عقربه‌ای را شرح دهد.
- ۱۰- مدار عملی دیود در بایاس مستقیم و بایاس معکوس را ببندد.
- ۱۱- عملکرد دیود در بایاس مستقیم و معکوس را در مدارها تحلیل کند.
- ۱۲- کلیه هدف‌های رفتاری در حیطه عاطفی که در فصل اول آمده است را در این فصل نیز اجرا کند.

ساعت آموزش			توانایی شماره‌ی ۱۰
نظری	عملی	جمع	
۶	۴	۱۰	

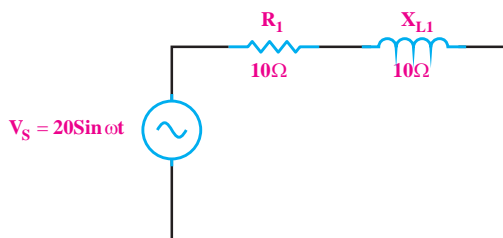


## پیش آزمون فصل (۱۰)

الف) ۴۰۰ (ب) ۳۰۰ (ج) ۲۵۰ (د) ۲۰۰

۵- اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در مدار زیر چند درجه

است؟



الف) ۴۵ (ب) ۳۰ (ج) ۹۰ (د) صفر

۶- ناخالصی به کار برده شده در نیمه هادی نوع P چند

ظرفیتی است؟

الف) ۳ (ب) ۴ (ج) ۵ (د) ۶

۷- شرط هدایت یک دیود کدام است؟

الف) ولتاژ مثبت آند به اندازه ۰/۶ ولت از کاتد بیشتر

باشد.

ب) جریان در مدار به اندازه کافی وجود داشته باشد.

ج) فقط کافی است ولتاژ آند به اندازه ۰/۶ ولت مثبت تر

باشد.

د) موارد الف و ب

۸- اجسام موجود در طبیعت از نظر هدایت الکتریکی به

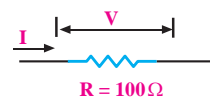
چند دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند؟ نام ببرید.

۱- آمپر متر در مدار به صورت ..... قرار می‌گیرد.

الف) سری (ب) موازی

۲- توان تلف شده در مقاومت R از کدام رابطه به دست

می‌آید؟



ب)  $V \cdot I$

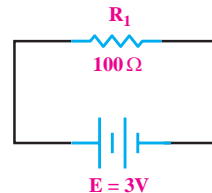
الف)  $RI^2$

د) هر سه مورد

ج)  $\frac{V^2}{R}$

۳- انرژی تلف شده در مقاومت  $100 \Omega$  در شکل زیر در

مدت ۳ دقیقه چند ژول است؟

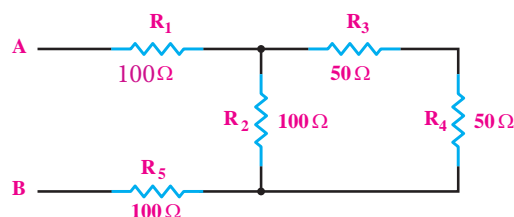


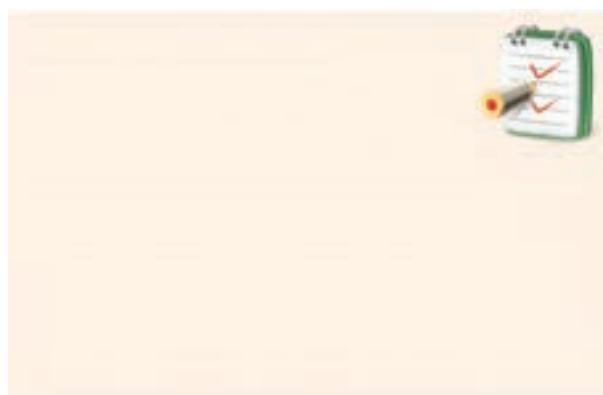
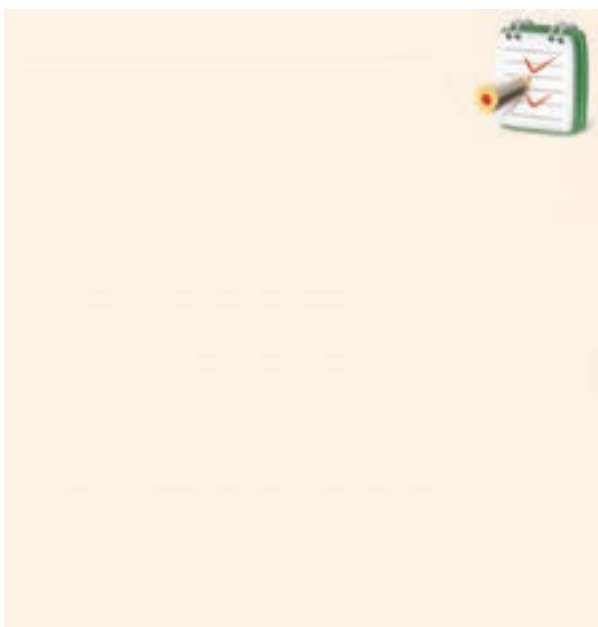
الف) ۱۸/۲ (ب) ۱۸۲

ج) ۱۶/۲ (د) ۱۶۲

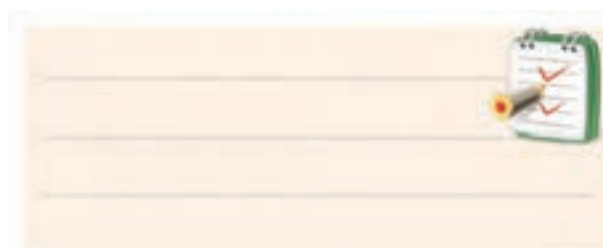
۴- در شکل زیر مقاومت معادل از دو نقطه‌ی A و B چند

اهم است؟





۹- دو نمونه از مهم‌ترین نیمه‌هادی‌هایی که در صنعت الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گیرند را نام ببرید.

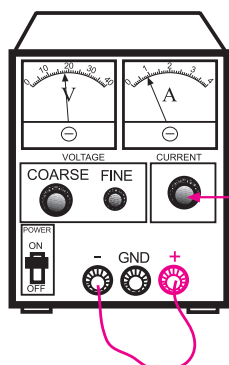


۱۰- تمامی نیمه‌هادی‌ها در آخرین لایه‌ی اتم خود دارای ۴ الکترون هستند.

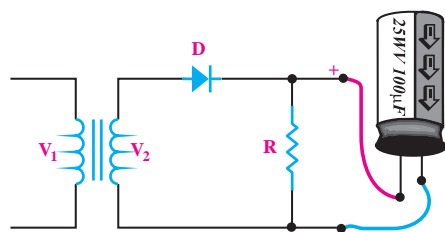
درست ☐ نادرست ☐

۱۱- مدارهای مربوط به بایاس موافق و بایاس مخالف دیود را رسم کنید.

۵- اگر منبع تغذیه‌ای که با آن کار می‌کنید دارای امکانات Limit Current است، جریان خروجی را حداکثر به  $100\text{mA}$  محدود کنید.



۶- هنگام اتصال خازن الکترولیتی به خروجی یکسوکننده‌ها، حتماً قطب مثبت خازن را به قطب مثبت خروجی یکسوکننده و قطب منفی را به قطب منفی یکسوکننده وصل کنید.



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

۷- هنگام اتصال دیود به مدار، کاتد و آنند آن را از قبل شناسایی کنید. معمولاً روی کاتد علامت‌هایی مانند یک حلقه‌ی رنگی یا یک نقطه می‌گذارند.

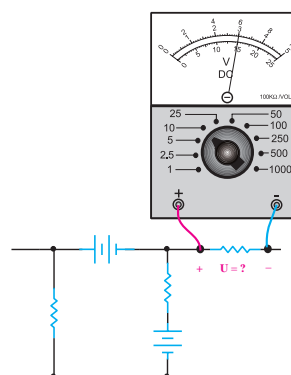
۸- سیم‌های رابط را محکم ببندید تا در اثر لرزش یا برخورد دست قطع نشوند.

## نکات ایمنی (۱)

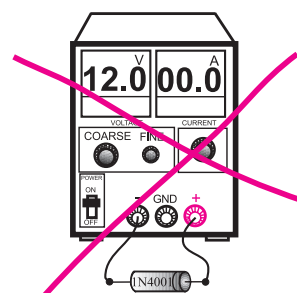


۱- هنگام اندازه‌گیری ولتاژ، ولت‌متر را بین دو نقطه‌ی مورد

نظر به صورت موازی ببندید.

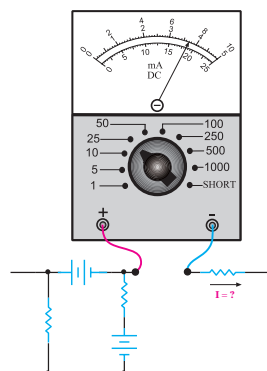


۲- هیچ وقت یک قطعه‌ی نیمه‌هادی مانند دیود را در بایاس موافق با منبع تغذیه به صورت موازی نبندید. در بایاس مخالف نیز به مقدار ولتاژ مجاز دیود توجه کنید.



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

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



## ۱-۱۰ دیود Diode

### ۱-۱-۱۰ ساختمان اتمی نیمه‌هادی‌ها

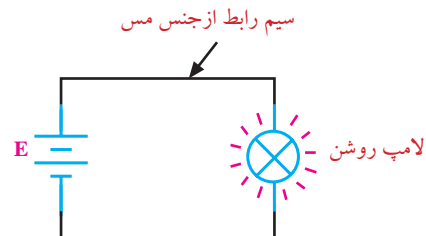
اجسام موجود در طبیعت از نظر هدایت الکتریکی به سه دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند.

الف- هادی‌ها

ب- عایق‌ها

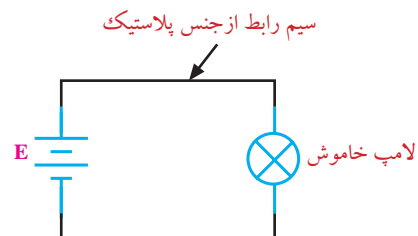
ج- نیمه‌هادی‌ها

هادی‌ها اجسامی هستند که جریان برق را به راحتی از خود عبور می‌دهند. مس، آلومینیوم، سایر فلزات و بعضی از اسیدها جزء هادی‌ها هستند. در شکل ۱-۱۰-۱ سیم رابط از جنس مس است و جریان برق را به راحتی از خود عبور می‌دهد و لامپ را روشن می‌کند.



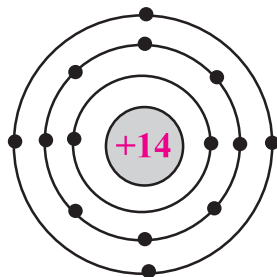
شکل ۱-۱۰-۱ سیم مسی هادی

عایق‌ها اجسامی هستند که جریان برق را به سادگی از خود عبور نمی‌دهند. مواردی مانند شیشه، انواع پلاستیک‌ها و هوا عایق هستند. در شکل ۱-۱۰-۲ سیم رابط از جنس پلاستیک است و جریان برق را از خود عبور نمی‌دهد، در نتیجه لامپ روشن نمی‌شود.

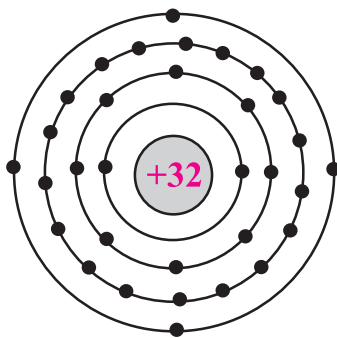


شکل ۱-۱۰-۲ سیم پلاستیکی (مانند طناب) عایق است

بین عایق‌ها و هادی‌ها اجسامی وجود دارند که نه مانند یک هادی به سادگی جریان برق را از خود عبور می‌دهند و نه مانند یک عایق جریان برق را از خود عبور نمی‌دهند. به این اجسام نیمه‌هادی می‌گویند. مهم‌ترین نیمه‌هادی‌هایی که در صنعت الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گیرند **سیلیسیوم** (سیلیسیوم را سیلیکون نیز می‌نامند) و **ژرمانیوم** است. تمامی نیمه‌هادی‌ها در آخرین لایه‌ی اتم خود، چهار الکترون دارند. در شکل (۱-۱۰-۳) ساختمان اتمی سیلیسیوم و ژرمانیوم نشان داده شده است.



الف - سیلیسیوم



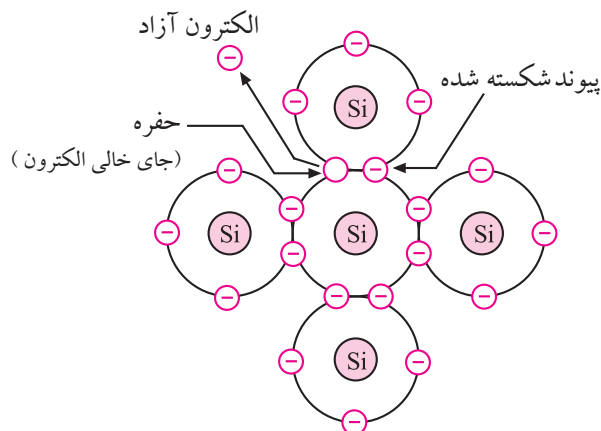
ب - ژرمانیوم

شکل ۱-۱۰-۳ ساختمان اتمی نیمه‌هادی‌های سیلیسیوم و ژرمانیوم

وقتی اتم‌های ژرمانیوم و یا سیلیسیوم در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و به صورت مولکول در می‌آیند، با یکدیگر پیوند اشتراکی (کووالانسی) تشکیل می‌دهند. یعنی الکترون‌های لایه‌ی آخر خود را به اشتراک می‌گذارند. بنابراین در حالت عادی می‌توان مولکول سیلیسیوم یا ژرمانیوم را به صورت

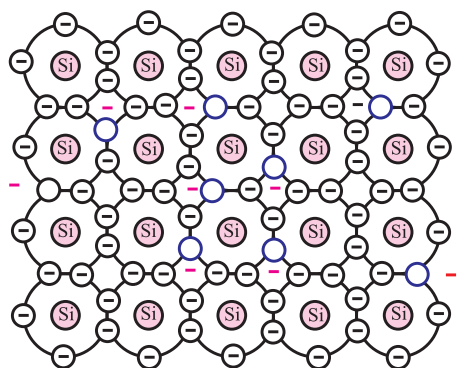
الکترون آزاد به الکترونی گفته می‌شود که به هیچ اتمی وابسته نباشد.

وقتی یک پیوند شکسته می‌شود، یک الکترون آزاد می‌شود. جای خالی الکترون را حفره می‌گویند. شکل ۱۰-۶.



شکل ۱۰-۶ جای خالی الکترون را حفره می‌نامند.

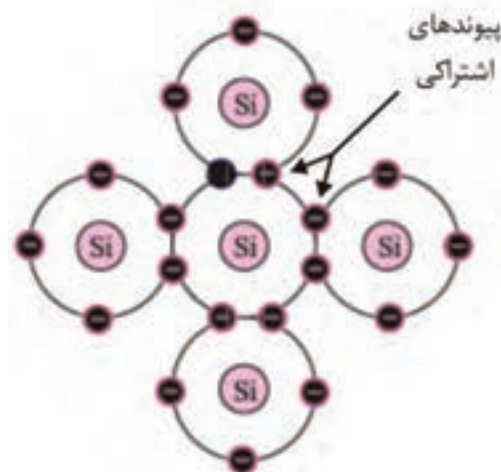
هر قدر انرژی خارجی بیشتری مانند حرارت به اتم داده شود، پیوندهای بیشتری شکسته می‌شوند و الکترون‌های بیشتری را آزاد می‌کنند، شکل ۱۰-۷.



شکل ۱۰-۷ در اثر حرارت پیوندهای بیشتری می‌شکنند.

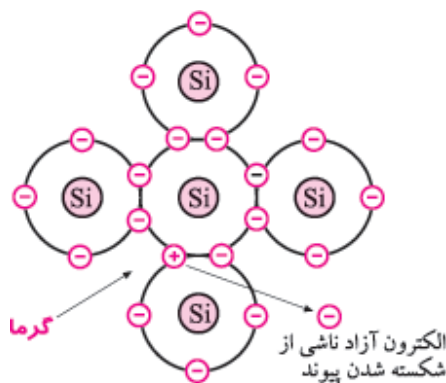
عبور جریان برق از یک جسم به تعداد الکترون‌های آزاد آن جسم بستگی دارد. بنابراین سیلیسیوم یا ژرمانیوم خالص در صفر درجه‌ی کلون که هیچ الکترون آزادی ندارند، عایق محسوب می‌شوند، شکل ۱۰-۸.

یک جسم هشت ظرفیتی در نظر گرفت. در شکل ۴-۱۰ پیوند اشتراکی اتم‌های سیلیسیوم نشان داده شده است.



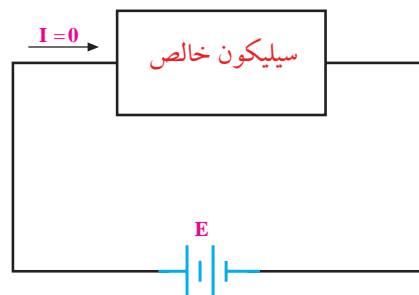
شکل ۴-۱۰ پیوند اشتراکی اتم‌های سیلیسیوم

پیوندهای تشکیل شده (پیوندهای اشتراکی) در سیلیسیوم یا ژرمانیوم در دمای صفر درجه‌ی کلون (تقریباً ۲۷۳- درجه‌ی سانتی‌گراد یا سلسیوس) کاملاً محکم هستند. زیرا هیچ گونه انرژی خارجی وجود ندارد که قادر باشد این پیوندها را بشکند. ولی در دمای اتاق (۲۷ درجه‌ی سانتی‌گراد یا ۳۰۰ درجه‌ی کلون) تعدادی از پیوندها می‌شکنند. به ازای شکست هر پیوند یک الکترون آزاد می‌شود. شکل ۵-۱۰ یک پیوند شکسته شده را نشان می‌دهد که یک الکترون آزاد را به وجود آورده است.



شکل ۵-۱۰ الکترون آزاد

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

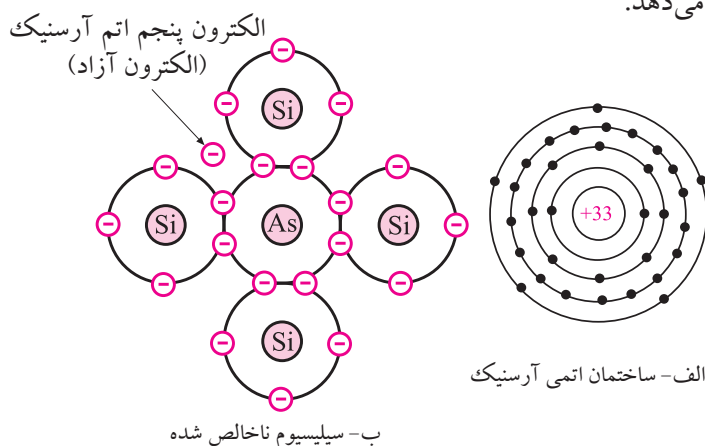


شکل ۸-۱۰ رفتار یک قطعه سیلیسیوم خالص در دمای صفر درجه‌ی کلونین

## ۲-۱-۱۰ نیمه‌های نوع P و N

### الف- نیمه‌های نوع N

اگر به یک قطعه نیمه‌های خالص سیلیسیوم، یک اتم پنج ظرفیتی مانند آرسنیک به عنوان ناخالصی اضافه کنیم، چهار الکترون مدار خارجی اتم آرسنیک با چهار الکترون مجاور اتم‌های سیلیسیوم پیوند اشتراکی تشکیل می‌دهند و الکترون پنجم آرسنیک به هیچ یک از اتم‌ها وابسته نیست. در حقیقت اتم پنجم به عنوان الکترون آزاد محسوب می‌شود. شکل ۱۰-۱۰ اتم آرسنیک را در بین اتم‌های سیلیسیوم نشان می‌دهد.

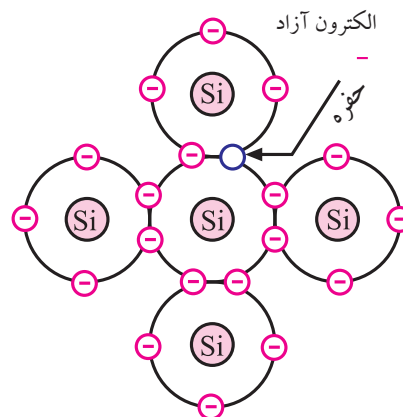


شکل ۱۰-۱۰ نیمه‌های نوع N

یک قطعه سیلیسیوم ناخالص الکترون اضافه دارد. چون بار الکتریکی الکترون منفی است پس هر قطعه سیلیسیوم ناخالص دارای بار الکتریکی منفی است. به نیمه‌های هایی که ناخالصی پنج ظرفیتی به آن‌ها اضافه شده باشد، نیمه‌های

یک قطعه سیلیکون خالص در دمای صفر درجه‌ی کلونین هیچ الکترون آزادی ندارد و جریان برق را هدایت نمی‌کند.

ولی در دمای اتاق (۳۰۰ درجه‌ی کلونین)، تعدادی از پیوندهای آن می‌شکنند و در اثر شکستن پیوندها، تعدادی الکترون آزاد به وجود می‌آید و هدایت سیلیسیوم را بالا می‌برند. بنابراین سیلیسیوم یا ژرمانیوم خالص در دمای اتاق عایق مطلق نیستند و اگر در یک مدار الکتریکی با منبع تغذیه سری شوند، جریان کمی از خود عبور می‌دهند، شکل ۹-۱۰. بنابراین اندازه‌ی هدایت الکتریکی یک قطعه نیمه‌های خالص متناسب با درجه حرارت تغییر می‌کند.

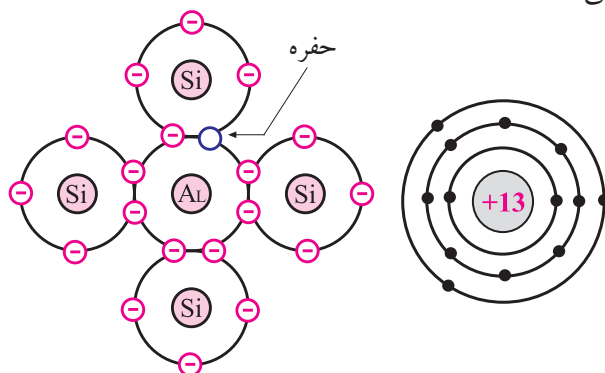


شکل ۹-۱۰ حفره بار الکتریکی مثبت دارد.



نوع N (Negative-منفی) می گویند.

شکل ۱۰-۱۲ اتم آلومینیوم را در بین اتم های سیلیسیوم نشان می دهد.

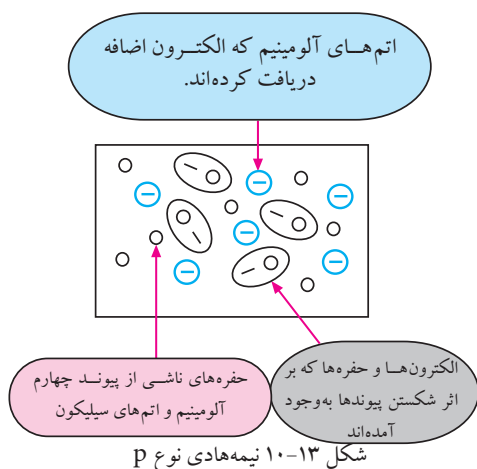


الف- ساختمان اتمی آلومینیوم      ب- سیلیسیوم ناخالص شده

شکل ۱۰-۱۲ نیمه هادی نوع P

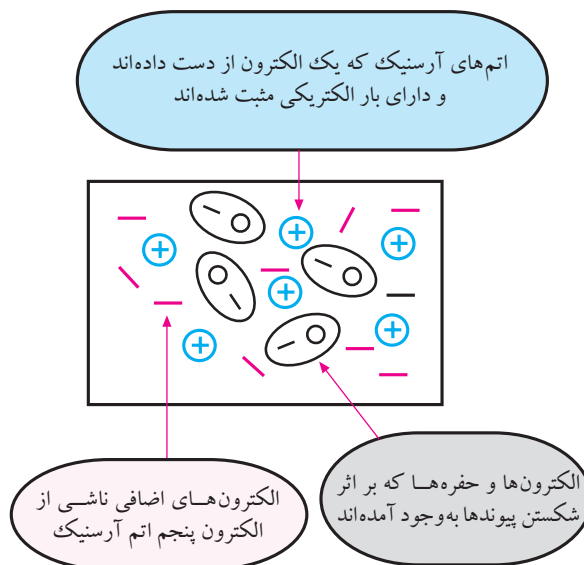
چون این قطعه سیلیسیوم ناخالص شده، یک الکترون کم دارد پس بار الکتریکی آن مثبت است. به نیمه هادی هایی که ناخالصی سه ظرفیتی به آن ها اضافه شده باشد، نیمه هادی نوع P (Positive-مثبت) می گویند.

همان طور که در شکل ۱۰-۱۲ مشاهده می شود در محل پیوند چهارم اتم آلومینیوم با اتم سیلیسیوم یک حفره به وجود آمده است. در این شرایط الکترون های ناشی از شکسته شدن پیوندهای دیگر، این حفره را پر می کنند، لذا بار الکتریکی اتم آلومینیوم منفی می شود. یک قطعه نیمه هادی نوع P را می توان به صورت شکل ۱۰-۱۳ نشان داد.



شکل ۱۰-۱۳ نیمه هادی نوع P

از طرف دیگر چون اتم آرسنیک یک الکترون از دست داده است لذا دارای بار الکتریکی مثبت است. بنابراین یک قطعه نیمه هادی نوع N را می توان به صورت شکل ۱۰-۱۱ نشان داد.



شکل ۱۰-۱۱ نیمه هادی نوع N

بیشتر بدانید:

میزان ناخالصی موجود در کریستال نوع N، تقریباً تعداد یک اتم آرسنیک در مقابل  $10^7$  اتم سیلیسیوم است.

### ب- نیمه هادی نوع P

به یک قطعه نیمه هادی خالص سیلیسیوم یا ژرمانیوم، یک اتم سه ظرفیتی مانند آلومینیوم به عنوان ناخالصی اضافه می کنیم. در این حالت سه الکترون مدار خارجی اتم آلومینیوم با سه الکترون مجاور اتم های سیلیکون پیوند اشتراکی تشکیل می دهند. در محل پیوند چهارم بین اتم های آلومینیوم و سیلیسیوم یک حفره (جای خالی الکترون) به وجود می آید.

### ۳-۱-۱۰ اتصال PN (دیود)

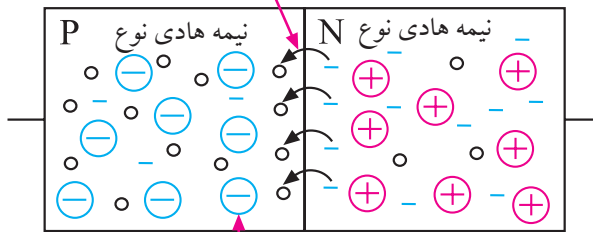
اگر یک قطعه نیمه‌هادی نوع P و یک قطعه نیمه‌هادی نوع N را به یکدیگر پیوند دهیم، یک اتصال PN (دیود) به وجود می‌آید. شکل ۱۴-۱۰ پیوند PN یا دیود را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴-۱۰ اتصال PN یا دیود

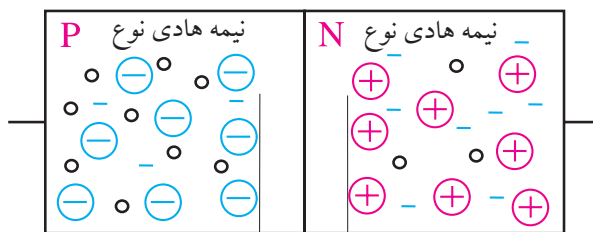
منظور از چسباندن دو کریستال به یکدیگر اتصال مکانیکی آن‌ها نیست. برای اتصال کریستال‌ها به یکدیگر معمولاً درجه حرارت پیوند را آنقدر بالا می‌برند تا کریستال‌ها ذوب شوند. پس از ذوب شدن، کریستال‌ها در محل پیوند، با هم آمیخته می‌شوند و از نظر مولکولی حالت واحد و یکنواختی را به وجود می‌آورند. نیمه‌هادی نوع N الکترون‌های اضافی و نیمه‌هادی نوع P حفره‌های اضافی دارد. هنگام پیوند دو نیمه‌هادی P و N به یکدیگر در مرز اتصال الکترون‌های موجود در نیمه‌هادی نوع N با حفره‌های موجود در نیمه‌هادی نوع P ترکیب می‌شوند و یک لایه بسیار نازک خالی شده از الکترون و حفره به وجود می‌آورند. به این لایه، «**لایه سد**» می‌گویند، شکل‌های ۱۵-۱۰ و ۱۶-۱۰.

در این قسمت الکترون‌ها و حفره‌ها با یک دیگر ترکیب می‌شوند



بارهای منفی از ترکیب بیشتر الکترون‌های موجود در نیمه‌هادی نوع N جلوگیری می‌کند زیرا دو بار همنام یک دیگر را دفع می‌کنند.

شکل ۱۵-۱۰ ترکیب الکترون‌ها و حفره‌ها در مرز پیوند PN



در این قسمت الکترون‌ها و حفره‌ها با یکدیگر ترکیب می‌شوند.

شکل ۱۶-۱۰ نمایش لایه سد

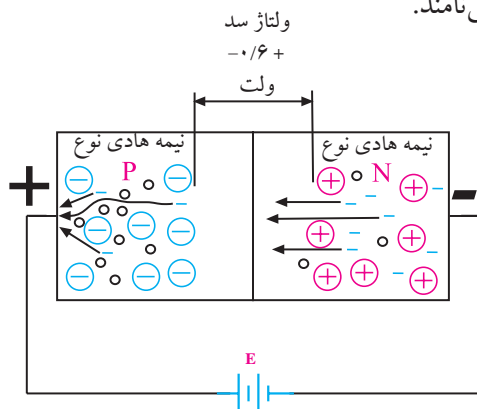
به خاطر بارهای مثبت و منفی به وجود آمده در اثر ناخالصی‌های عناصر پنج و سه ظرفیتی، در دو طرف لایه سد، یک اختلاف پتانسیل (ولتاژ) حدود ۰/۶ ولت ظاهر می‌شود.

**به اتصال PN دیود می‌گویند.**

### خواص اتصال PN

اگر نیمه‌هادی نوع N را به قطب مثبت باتری و نیمه‌هادی

را جذب می کنند. بنابراین در این مدار قطب منفی منبع، الکترون های موجود در نیمه هادی نوع N را دفع و قطب مثبت باتری الکترون ها را که دارای بار الکتریکی منفی هستند جذب می کند. اگر ولتاژ باتری بیشتر از  $0.6$  ولت باشد، این ولتاژ بر ولتاژ سد غلبه می کند و آن را می شکند. با شکستن لایه ی سد الکترون های رانده شده از قطب منفی باتری در درون نیمه هادی نوع N، از سد عبور می کند و جذب قطب مثبت باتری می شوند، بدین ترتیب جریان در مدار برقرار می شود. این نوع اتصال را **اتصال موافق** (مستقیم) کریستال PN می نامند.



شکل ۱۸-۱۰ کریستال PN در حالت موافق

اتصال PN را **دیود** می نامند و آن را با علامت قراردادی (نماد فنی) شکل ۱۹-۱۰ نشان می دهند.



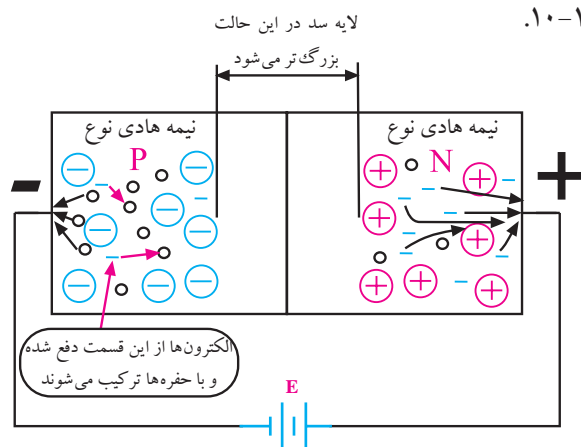
شکل ۱۹-۱۰ علامت قراردادی دیود

در یک دیود پایه ی اتصال داده شده به نیمه هادی نوع P را آند و پایه ی اتصال داده شده به نیمه هادی نوع N را کاتد نام گذاری می کنند. در شکل ۲۰-۱۰ نمونه هایی از دیود نشان داده شده است.

نوع P را به قطب منفی باتری وصل کنیم، الکترون های موجود در نیمه هادی نوع N به سمت قطب مثبت حرکت می کنند و حفره های موجود در نیمه هادی نوع P جذب قطب منفی می شوند.

باید توجه داشته باشیم که حفره ها حرکت نمی کنند زیرا جای خالی الکترون ها هستند. هنگامی که قطب منفی باتری الکترون ها را می راند و آن را با حفره ها ترکیب می کند چنین به نظر می رسد که حفره ها به سمت قطب منفی در حرکت هستند.

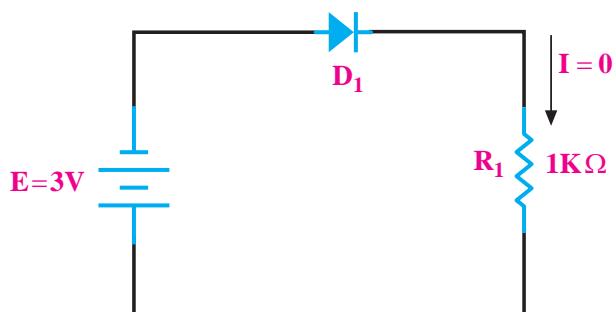
بنابراین در این حالت، در مدار یا در اتصال PN الکترون ها حرکت نمی کنند و در مدار جریان برقرار نمی شود، شکل ۱۷-۱۰.



شکل ۱۷-۱۰ اتصال کریستال PN به باتری در حالت مخالف

هر قدر ولتاژ منبع بزرگ تر باشد ضخامت لایه ی سد افزایش می یابد. این نوع اتصال را **اتصال مخالف** (معکوس) کریستال PN می نامند.

در شکل ۱۸-۱۰ نیمه هادی نوع P را به قطب مثبت باتری و نیمه هادی نوع N را به قطب منفی اتصال داده ایم. می دانیم دو بار هم نام یکدیگر را دفع و دو بار غیر هم نام یکدیگر



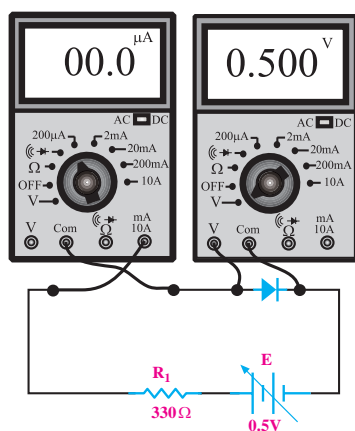
دیود در بایاس مخالف قرار گرفته است  
لذا در مدار جریان صفر است.

ب- بایاس مخالف

شکل ۱۰-۲۱ بایاسینگ دیود

#### ۴-۱-۱۰ منحنی مشخصه دیود

اگر یک دیود از جنس سیلیسیم را مانند شکل ۱۰-۲۲ در بایاس مستقیم قرار دهیم و ولتاژ منبع تغذیه را روی صفر تا ۰/۵ ولت تنظیم کنیم، جریانی از مدار عبور نمی کند و میلی آمپر متر صفر را نشان می دهد.



شکل ۱۰-۲۲

حال اگر ولتاژ منبع تغذیه را به آرامی زیاد کنیم، مادامی که ولت متر کمتر از ۰/۵ ولت را نشان می دهد، میلی آمپر متر هم چنان جریان صفر را نشان خواهد داد. چنان چه ولتاژ را



شکل ۱۰-۲۰ نمونه هایی از انواع دیودها

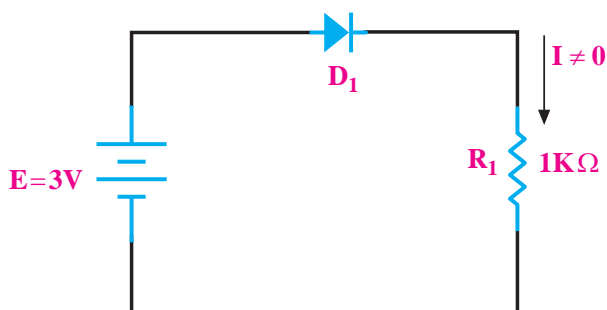
نکته ی مهم:

یک دیود هنگامی هدایت می کند که دو شرط زیر برقرار باشد.

الف- ولتاژ آند تقریباً ۰/۶ ولت بیشتر از ولتاژ کاتد باشد.  
ب- مقدار جریان در مدار به اندازه ی کافی باشد.

اتصال دیود یا هر قطعه ی الکترونیکی دیگر را به ولتاژ DC بایاس می گویند.

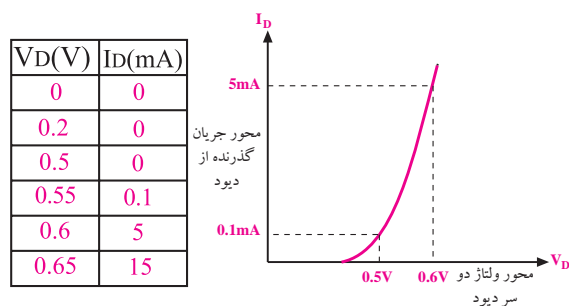
همان طور که گفته شد در مورد دیود دو نوع بایاس موافق و بایاس مخالف داریم. در شکل ۱۰-۲۱ این دو نوع بایاس نشان داده شده است. بایاس موافق را مستقیم و بایاس مخالف را معکوس نیز می گویند. در بایاس معکوس جریان دیود تقریباً صفر است. در بایاس مستقیم با توجه به ولتاژ منبع و مقدار مقاومت، جریان در مدار برقرار می شود.



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

الف - بایاس موافق

دیود می‌گویند. این منحنی را معمولاً کارخانه‌ی سازنده‌ی دیود در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌دهد.

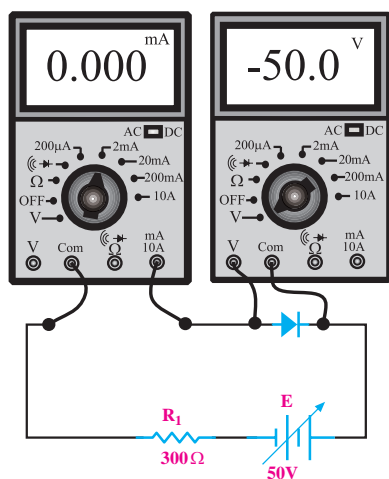


ب- جدول مقادیر جریان و ولتاژ دو سر دیود

الف- منحنی مشخصه دیود

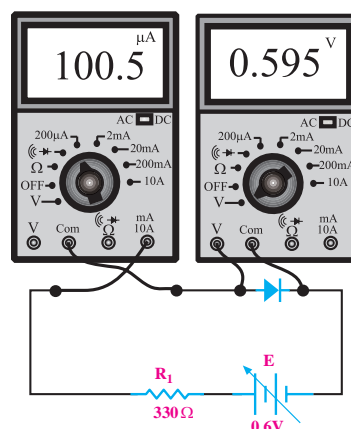
شکل ۱۰-۲۵

از منحنی مشخصه‌ی ولت- آمپر دیود می‌توانیم مقدار جریان عبوری از دیود را برای ولتاژهای مختلف به دست آوریم. هم‌چنین می‌توانیم در برابر عبور مقدار مشخصی جریان از دیود، افت ولتاژ دو سر آن را تعیین کنیم. اگر مدار شکل (۱۰-۲۶) را ببندیم و ولتاژ منبع تغذیه را زیاد کنیم، حتی به ۵۰ ولت برسانیم، میلی‌آمپر متر عبور هیچ جریانی را نشان نمی‌دهد. حال اگر ولتاژ را خیلی زیاد کنیم دیود ناگهان هادی می‌شود و می‌سوزد.



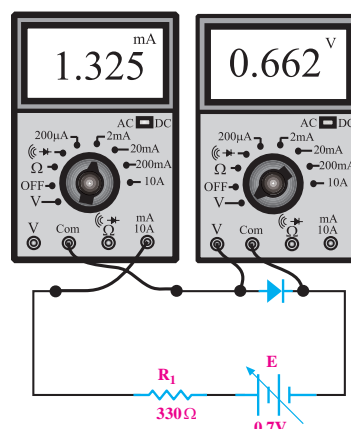
شکل ۱۰-۲۶ مدار ترسیم منحنی مشخصه‌ی دیود در بایاس معکوس

کمی از نیم ولت بیشتر کنیم، میلی‌آمپر متر جریان خیلی کمی را نشان می‌دهد، شکل ۲۳-۱۰.



شکل ۱۰-۲۳

اگر به افزایش ولتاژ ادامه دهیم مثلاً حدود ۰/۱ ولت به آن بیفزاییم، ناگهان میلی‌آمپر متر جریان زیادی را نشان می‌دهد، شکل ۲۴-۱۰.

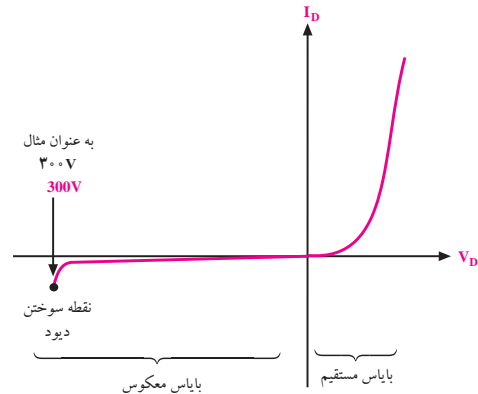


شکل ۱۰-۲۴

در صورتی که مراحل بالا را برای ولتاژهای مختلف تکرار کنیم و برای هر مقدار از ولتاژ دو سر دیود، (مثلاً ۰/۱، ۰/۲ و ..... ولت) جریان گذرنده از دیود را همانند شکل ۲۵-۱۰ ب- در جدول یادداشت کنیم، می‌توانیم منحنی مشخصه‌ی دیود را در محورهای مختصات رسم کنیم، شکل ۲۵-۱۰ الف. به منحنی شکل ۲۵-۱۰ الف منحنی مشخصه‌ی «ولت- آمپر»

در حالت معکوس جریان بسیار کمی از دیود عبور می کند که بسیار ناچیز و قابل صرف نظر کردن است.

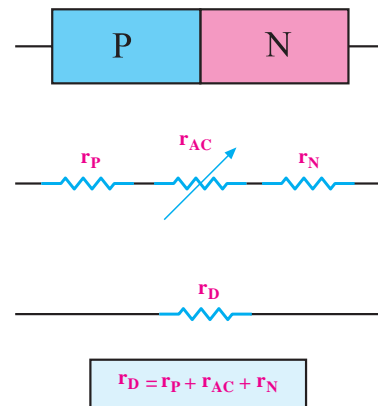
شکل ۱۰-۲۷ منحنی مشخصه ی ولت- آمپر دیود را هنگامی که دیود در بایاس مستقیم و در بایاس معکوس، قرار دارد نشان می دهد.



شکل ۱۰-۲۷ منحنی مشخصه ی دیود در بایاس موافق و مخالف

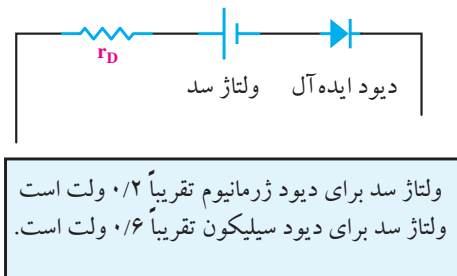
### مدار معادل دیود

برای یک دیود معمولی می توان یک مدار معادل رسم کرد. با توجه به شکل ۱۰-۲۸ نیمه هادی نوع P دارای مقاومت اهمی  $r_p$ ، نیمه هادی نوع N دارای مقاومت اهمی  $r_n$ ، لایه ی سد نیز دارای یک مقاومت اهمی است که آن را با  $r_{AC}$  نشان می دهند، مجموعه ی این مقاومت ها را  $r_D$  می نامند.



شکل ۱۰-۲۸ مقاومت معادل دیود

در دیود علاوه بر مقاومت ها، ولتاژ لایه ی سد نیز وجود دارد. از طرفی چون دیود فقط در یک جهت جریان را از خود عبور می دهد لذا می توان مدار معادل شکل ۱۰-۲۹ را در مورد دیود به کار برد.



شکل ۱۰-۲۹ مدار معادل دیود

## ۱۰-۲ تشخیص پایه های دیود و سالم بودن آن به وسیله ی اهم متر

### ۱۰-۲-۱ استفاده از اهم متر عقربه ای

برای تشخیص پایه های دیود، اهم متر عقربه ای را به دو سر دیود وصل کنید و اهم آن را اندازه بگیرید. سپس اتصال دیود را بر عکس کنید و دوباره اهم آن را اندازه بگیرید. در یک حالت، اهم متر مقاومت کم و در حالت دیگر اهم متر مقاومت زیاد را نشان می دهد. در حالتی که مقدار مقاومت کم است، دیود از طریق باتری داخلی اهم متر، در بایاس مستقیم قرار می گیرد. در حالتی که اهم متر، مقاومت زیادی را نشان می دهد، دیود از طریق باتری داخلی اهم متر در بایاس معکوس قرار دارد. در این شرایط اصطلاحاً می گویند «دیود از یک طرف راه می دهد و از طرف دیگر راه نمی دهد». در شکل ۱۰-۳۰ این دو حالت نشان داده شده است.

## ۲-۲-۱۰ استفاده از مولتی متر دیجیتال برای آزمایش دیود

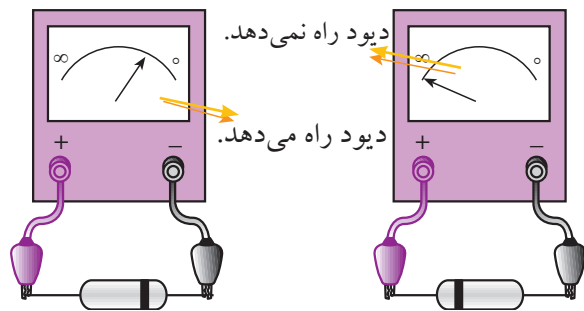
اغلب مولتی مترهای دیجیتالی دارای وضعیت آزمایش دیود هستند. هر گاه کلید سلکتور مولتی متر دیجیتالی را در وضعیت تست دیود قرار دهیم و دیود به وسیله ی مولتی متر در بایاس موافق قرار گیرد، مولتی متر دیجیتالی ولتاژ بایاس موافق دیود را نشان می دهد. مقدار ولتاژ موافق برای دیودهای سیلیسیومی در حدود ۰/۷ ولت و برای دیودهایی از جنس ژرمانیوم حدود ۰/۲ ولت است. شکل ۳۲-۱۰ این حالت را نشان می دهد.



شکل ۳۲-۱۰ دیود در بایاس موافق

اگر دیود به صورت بایاس مخالف به مولتی متر دیجیتالی وصل شود، معمولاً مولتی متر ولتاژ بایاس مخالف اعمال شده به وسیله ی باتری دستگاه را که در دو سر دیود افت می کند، نشان می دهد. این ولتاژ ممکن است در دستگاه های مختلف از ۱/۵ تا ۳ ولت باشد.

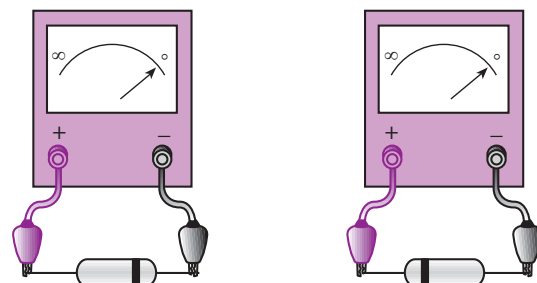
شکل ۳۳-۱۰ این حالت را نشان می دهد.



شکل ۳۰-۱۰ تشخیص پایه های دیود

در حالتی که اهم متر مقاومت کمی را نشان می دهد، ترمینال مثبت اهم متر به آند دیود و ترمینال منفی اهم متر به کاتد دیود اتصال دارد. به این ترتیب می توانیم آند و کاتد دیود را تعیین کنیم. توجه داشته باشید، مقدار مقاومتی که اهم متر نشان می دهد به حوزه ی کار (رنج) کلید سلکتور اهم متر بستگی دارد. در مولتی مترهای عقربه ای ممکن است قطب های خروجی اهم متر معکوس باشد، یعنی پایانه ی مثبت اهم متر به قطب منفی باتری داخلی و پایانه ی منفی اهم متر به قطب مثبت باتری داخلی وصل باشد. در این صورت قطب های دیود برعکس می شود.

اگر دیود معیوب، مثلاً قطع شده باشد، در این صورت اگر اهم متر را به پایه های دیود اتصال دهیم، در هر دو حالت اهم متر مقاومت  $\infty$  (بی نهایت) را نشان می دهد. چنانچه دیود معیوب اتصال کوتاه شده باشد، در هر دو حالت اتصال ترمینال های اهم متر به دیود، اهم متر مقاومت صفر را نشان می دهد. شکل ۳۱-۱۰ این دو حالت را نشان می دهد.



شکل ۳۱-۱۰ دیود معیوب شده و اتصال کوتاه است.



دیود قطع

شکل ۳۴-۱۰ تست دیود معیوب (قطع)

اگر دیود اتصال کوتاه باشد، در هر دو حالت روی صفحه‌ی نمایش دستگاه، ولتاژ صفر نشان داده می‌شود. شکل ۳۵-۱۰ این حالت را نشان می‌دهد.



دیود اتصال کوتاه

شکل ۳۵-۱۰ تست دیود معیوب (اتصال کوتاه)



شکل ۳۳-۱۰ دیود در بایاس مخالف

در برخی از مولتی مترها وقتی دیود در حالت مخالف قرار می‌گیرد روی صفحه‌ی نمایش عدد ۱ یا شرایط دیگری ظاهر می‌شود. شرایط نمایش صفحه را در کاتالوگ دستگاه می‌نویسند.

در حالتی که دیود در بایاس موافق قرار دارد، سیم منفی (سیم مشترک یا COM) به کاتد دیود و سیم مثبت به آنند دیود وصل است. اگر دیود ناسالم مثلاً قطع باشد، در هر دو حالت، روی صفحه‌ی نمایش مولتی‌متر، ولتاژ باتری داخلی نشان داده می‌شود. در شکل ۳۴-۱۰ این دو حالت دیده می‌شود.



### ۳-۱۰ آزمایش شماره (۱)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

#### ۳-۱۰-۱ هدف‌های آزمایش

بررسی وضعیت دیود در بایاس مستقیم و معکوس و چگونگی آزمایش آن

#### ۳-۱۰-۲ تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش

ردیف	نام و مشخصات	تعداد/مقدار
۱	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۲	مولتی متر عقربه‌ای	یک دستگاه
۳	دیود ۱N۴۰۰۱ یا مشابه	یک عدد
۴	دیود ژرمانیوم	یک عدد
۵	مقاومت ۱KΩ	یک عدد
۶	منبع تغذیه ۱۵V - ۰	یک دستگاه
۷	سیم رابط یک سرگیره سوسماری	دو رشته
۸	سیم رابط دو سرگیره سوسماری	دو رشته
۹	بردبرد	یک عدد
۱۰	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

### ۳-۱۰-۳ مراحل اجرای آزمایش

- کلید سلکتور اهم متر عقربه‌ای را روی  $R \times 10$  قرار دهید.
- قطب مثبت اهم متر را به یک سر دیود و قطب منفی آن را به سر دیگر دیود وصل کنید و مقدار مقاومت دیود را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$R = \dots\dots\dots \Omega \text{ مقاومت دیود}$$

- قطب‌های اهم متر را عوض کنید و سپس مقاومت دیود را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.


$$R = \dots\dots\dots \Omega \text{ مقاومت دیود}$$

- با توجه به قطب‌های اهم متر آند و کاتد دیود را تشخیص دهید و در کنار پایه‌های دیود بنویسید.



- مقدار مقاومت دیود در گرایش مستقیم و معکوس را اندازه بگیرید و جدول ۱-۱۰ را کامل کنید.

جدول ۱-۱۰

وضعیت دیود	اهم در گرایش معکوس	اهم در گرایش مستقیم	شکل ظاهری دیود	شماره فنی دیود	ردیف
				۱N۴۰۰۴	۱
					۲
					۳

کنید و جدول را کامل کنید.

■ در جدول ۱-۱۰ وضعیت دیود را از نظر سالم و ناسالم

بودن، بررسی کنید.


■ مراحل آزمایش را با اهم متر دیجیتالی انجام دهید و

آند و کاتد دیود را مشخص کنید.

■ مراحل آزمایش را برای دو نمونه‌ی دیگر دیود تکرار

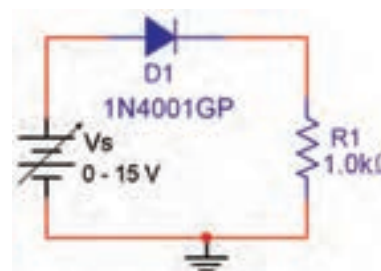
■ با اندازه گیری ولتاژ دیود در گرایش مستقیم و معکوس و تعیین وضعیت دیود از نظر سالم یا ناسالم بودن توسط اهم متر است. دیجیتالی، جدول ۱۰-۲ را کامل کنید.

جدول ۱۰-۲

وضعیت دیود	ولتاژ دو سر دیود در گرایش معکوس	ولتاژ دو سر دیود در گرایش مستقیم	شکل ظاهری دیود	شماره فنی دیود	ردیف
سالم	۲/۶	۰/۶۵۵		1 N۴۰۰۷	۱
					۲
					۳

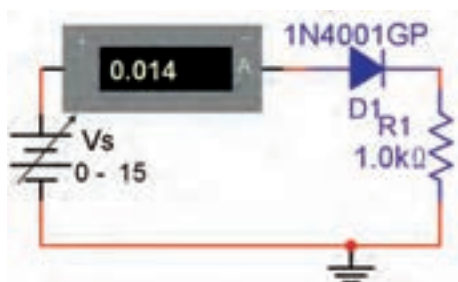
■ مدار شکل ۱۰-۳۶ را روی بردبرد ببندید. دیود را ۱N۴۰۰۱ انتخاب کنید. با استفاده از رابطه  $R_D = \frac{V_D}{I_D}$  مقاومت دیود را در گرایش مستقیم محاسبه و یادداشت کنید.

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{\dots\dots}{\dots\dots} = \dots\dots$$



شکل ۱۰-۳۶

■ آمپر متر را مطابق شکل ۱۰-۳۷ با مدار سری کنید. ولتاژ منبع را آن قدر تغییر دهید تا ولتاژ دو سر برابر با ۵ ولت شود و جریان عبوری از دیود را اندازه بگیرید.



شکل ۱۰-۳۷

$$I_D = \dots\dots \text{ mA}$$

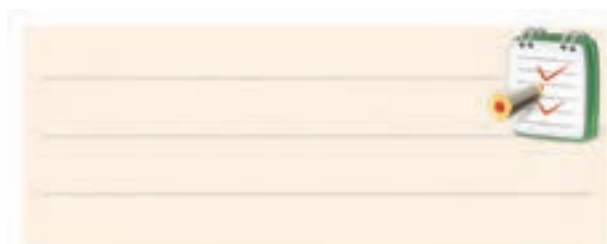
■ ولتاژ منبع تغذیه  $V_S$  را آن قدر تغییر دهید تا ولتاژ دو سر برابر با ۵ ولت شود. به وسیله ولت متر ولتاژ دو سر دیود را اندازه بگیرید و آن را یادداشت کنید.

$$V_D = \dots\dots \text{ ولت}$$

■ با توجه به رابطه  $I_D = \frac{V_{RL}}{R_L}$  جریان عبوری از دیود را محاسبه کنید.

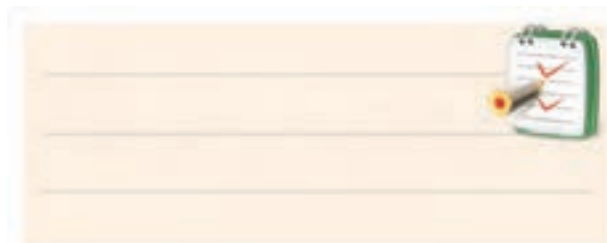
$$I_D = \frac{V_{RL}}{R_L} = \frac{\dots\dots}{\dots\dots} = \dots\dots$$

■ جریان اندازه گیری شده توسط آمپر متر و جریان محاسبه شده از رابطه  $\frac{V_{RL}}{R_L}$  را با هم مقایسه کنید.



۱۰-۳-۴ نتایج آزمایش: نتایج حاصل از این آزمایش

را به طور خلاصه در ۴ سطر بنویسید.



■ جهت دیود را مطابق شکل ۱۰-۳۸ عوض کنید.



شکل ۱۰-۳۸

■ ولتاژ منبع ولتاژ  $V_s$  را مطابق جدول ۱۰-۳ تغییر دهید و

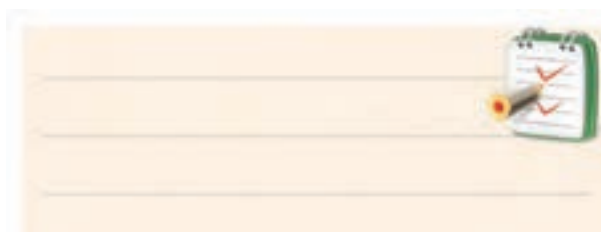
با اندازه گیری ولتاژ دو سر دیود و اندازه گیری جریان عبوری از دیود جدول ۱۰-۳ را کامل کنید.

جدول ۱۰-۳

ردیف	$V_s$ (ولت)	ولتاژ $V_D$	$I_D$
۱	۲		
۲	۴		
۳	۸		
۴	۱۲		
۵	۱۵		

**سؤال ۱:** آیا از دیود در بایاس مخالف جریانی عبور

می کند؟



**سؤال ۲:** آیا ولتاژ دو سر دیود در بایاس مخالف با ولتاژ

منبع ( $V_s$ ) برابر است؟



## آزمون پایانی فصل (۱۰)

الف) ۰/۲ ج) صفر  
ب) ۰/۷ د) بی نهایت

۱- ساختمان نیمه‌هادی‌های نوع N و p را شرح دهید.

۶- برای هدایت دیود چه شرایطی لازم است؟ توضیح

دهید.

۲- در یک قطعه سیلیکون خالص، حفره چگونه به وجود

می‌آید؟ شرح دهید.

۷- بایاس دیود را توضیح دهید.

۳- توضیح دهید که در اتصال PN چگونه در یک جهت

جریان به راحتی عبور می‌کند و در جهت دیگر جریان عبور

نمی‌کند.

۸- چگونگی تشکیل لایه‌ی سد در اتصال PN را توضیح

دهید.

۴- تعداد حفره‌های نیمه‌هادی نوع P ..... نیمه‌هادی

نوع N است.

الف) بیشتر از ب) کمتر از

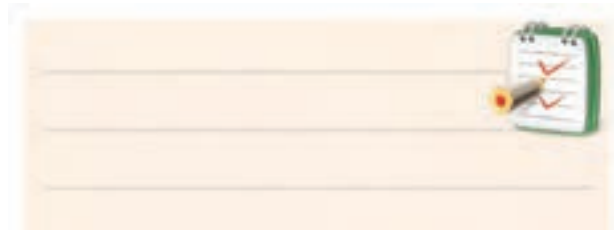
ج) مساوی د) دو برابر

۵- در بایاس مستقیم افت ولتاژ دو سر دیود ایده‌آل چند

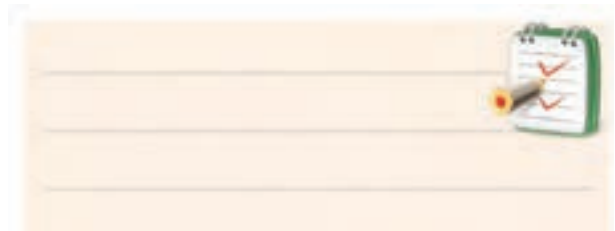
ولت است؟

۹- مقدار پتانسیل سد برای نیمه‌هادی نوع سیلیسیومی و

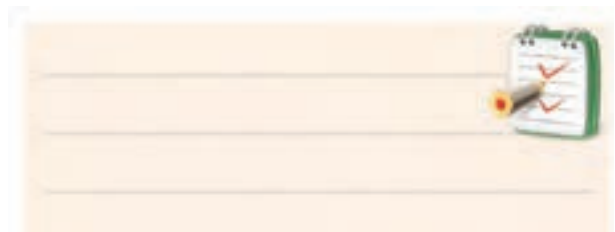
ژرمانیومی چند میلی‌ولت است؟



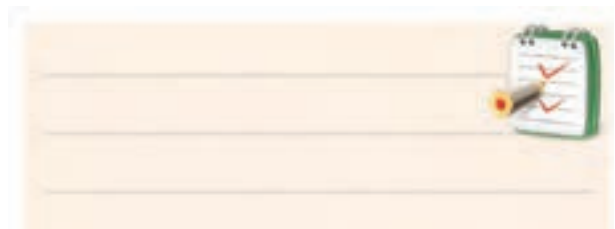
۱۰- مدار معادل دیود معمولی را رسم کنید.



۱۱- منحنی مشخصه‌ی ولت- آمپر دیود معمولی را در بایاس موافق (مستقیم) و بایاس مخالف (معکوس) رسم کنید.



۱۲- ساختمان اتمی ژرمانیوم و سیلیسیوم را شرح دهید.



## فصل یازدهم

### تجزیه و تحلیل مدارهای دیودی

#### هدف کلی: تحلیل نظری و عملی یکسوسازها



هدف های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می رود که:

- ۱- مدار یکسوساز نیم موج را رسم کند و طرز کار مدار را شرح دهد.
- ۱۱- شکل موج ولتاژ خروجی یکسوکننده نیم موج را شرح دهد.
- ۲- مقدار متوسط ولتاژ خروجی یکسوکننده نیم موج را بدون صافی خازنی و با صافی خازنی مشاهده کند و مقدار آن محاسبه کند.
- ۳- مقدار یکسوساز تمام موج با استفاده از ترانسفورماتور سر وسط را رسم کند و طرز کار مدار را شرح دهد.
- ۱۲- شکل موج ولتاژ خروجی یکسوکننده تمام موج با ترانسفورماتور سر وسط را بدون صافی خازنی و با صافی خازنی، مشاهده کند و مقدار آن را اندازه بگیرد.
- ۴- مدار یکسوساز تمام موج پل را رسم کند و طرز کار مدار را شرح دهد.
- ۱۳- شکل موج ولتاژ خروجی یکسوکننده تمام موج پل، بدون صافی خازنی و با صافی خازنی را مشاهده کند و مقدار آن را اندازه بگیرد.
- ۵- نقش صافی ها در یکسوکننده ها را شرح دهد.
- ۶- نحوه استفاده از منبع تغذیه متقارن را توضیح دهد.
- ۱۴- ولتاژ خروجی یک مدار دوبرابر کننده ولتاژ را اندازه گیری کند.
- ۷- نحوه عملکرد مدارهای کلیپر (clipper) و کلمپر (clamper) را شرح دهد.
- ۱۵- شکل موج ولتاژ خروجی مدارهای کلیپر و کلمپر را مشاهده کند و مقدار آن را اندازه بگیرد.
- ۸- طرز کار مدارهای چند برابر کننده ولتاژ را شرح دهد.
- ۱۶- کلیه هدف های رفتاری در حیطه عاطفی که در فصل اول به آن اشاره شده است را در این فصل نیز اجرا دهد.
- ۹- طرز کار کلید ۱۱۰/۲۲۰ را توضیح دهد.
- ۱۰- نحوه عملکرد مدار آشکارساز پیک تو پیک را کند.

ساعت آموزش			توانایی شماره ی ۱۱
نظری	عملی	جمع	
۸	۱۸	۲۶	



## پیش آزمون فصل (۱۱)

۶- نحوه‌ی عملکرد یکسوساز تمام موج را شرح دهید.



۷- نحوه‌ی عملکرد یکسوساز نیم موج را با رسم شکل

شرح دهید.



۱- مقدار متوسط یک موج سینوسی که یکسو شده

نیم موج است کدام است؟

الف)  $\frac{V_m}{\pi}$  (ب)  $\frac{2V_m}{\pi}$

ج)  $2V_m$  (د)  $\frac{V_m}{2}$

۲- ولتاژ معکوس دو سر هر دیود در یکسوساز تمام موج،

برابر ..... است.

۳- شرط هدایت یک دیود کدام است؟

الف) ولتاژ آند به اندازه‌ی  $0.6V$  ولت از کاتد بیشتر باشد.

ب) جریان در مدار به اندازه‌ی کافی وجود داشته باشد.

ج) فقط کافی است ولتاژ آند نسبت به کاتد به اندازه‌ی

$0.6V$  مثبت تر باشد.

د) موارد الف و ب

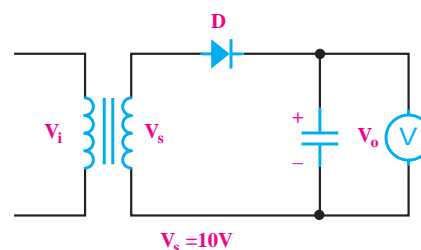
۴- هر قدر ظرفیت خازن را زیادتر کنیم، ولتاژ خروجی

یکسو کننده‌ها ثابت تر می شود.

☐ غلط

☐ صحیح

۵- در شکل زیر  $V_O$  چند ولت است؟



الف) ۱۰ (ب)  $9/4$

ج)  $14/1$  (د)  $13/5$

۸- در یکسوساز پل ، جریان هر دیود برابر است با .....

است.

الف)  $I_L$       ب)  $\frac{I_L}{2}$

۹- انتخاب دقیق ظرفیت خازن در صافی‌ها، بستگی به

مقدار ولتاژ ضربان یا ضربان قابل قبول دارد.

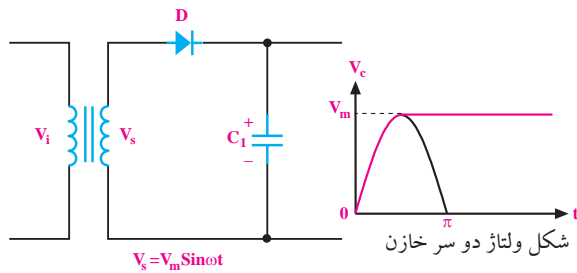
☐ غلط      ☐ صحیح

۱۰- خرابی‌های ترانس تغذیه را شرح دهید.



۱۳- در مدار شکل زیر، خازن به اندازه‌ی ..... شارژ

می‌شود.



۱۱- یکی از مزیت‌های استفاده از ترانسفورماتور در مدار

تغذیه‌ی دستگاه‌های الکترونیکی، ایزوله شدن مدار از برق

شهر است.

☐ غلط      ☐ صحیح

۱۲- با کلید ..... می‌توانیم دستگاه‌های الکترونیکی

را در کشور ایران و سایر کشورها استفاده کنیم.

۱۴- مقدار ولتاژ خروجی مدار دوبرابر کننده‌ی ولتاژی که

ولتاژ ورودی آن  $V_s = V_m \sin \omega t$  می‌باشد، چند ولت است؟

الف)  $V_m$       ب)  $2V_m$       ج)  $\frac{V_m}{2}$       د)  $4V_m$



## ۱۱-۱ یکسوسازها یا رکتی فایرها (Rectifiers)

### ۱۱-۱-۱ یکسوساز نیم موج

یک دیود هنگامی هدایت می کند که دو شرط زیر در آن برقرار باشد:

**الف:** ولتاژ آند تقریباً  $0.7V$  ولت مثبت تر از ولتاژ کاتد باشد.

**ب:** جریان عبوری از مدار به اندازه ی کافی باشد.

در شکل ۱۱-۱ در صورتی که جریان مورد نیاز دیودها تامین شود، هر دو دیود هدایت می کنند. زیرا در هر دو دیود ولتاژ آند تقریباً  $0.7V$  ولت مثبت تر از کاتد است.



شکل ۱۱-۱ ولتاژ مورد نیاز برای هدایت دیود

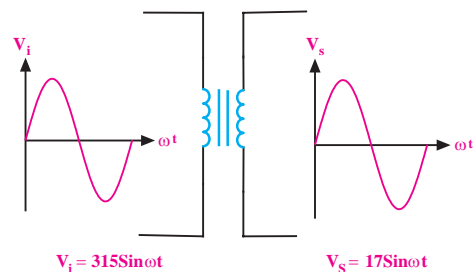
یک ترانسفورماتور قادر است ولتاژ موجود مثلاً ولتاژ

برق شهر یعنی  $220V$  ولت را به ولتاژ مورد نیاز مثلاً  $12V$  ولت

تبدیل کند. اگر به مدار اولیه ی ترانسفورماتور یک شکل موج

سینوسی بدهیم، در مدار ثانویه ی آن نیز شکل موج سینوسی

دریافت می کنیم، شکل ۱۱-۲.



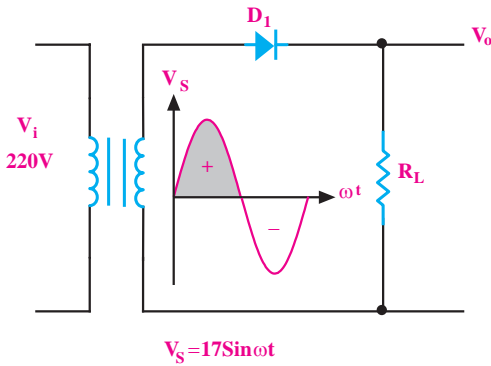
شکل ۱۱-۲ ترانسفورماتور

در مدار شکل ۱۱-۳، در نیم سیکل مثبت برای دیود

شرایط هدایت وجود دارد. لذا در نیم سیکل مثبت دیود

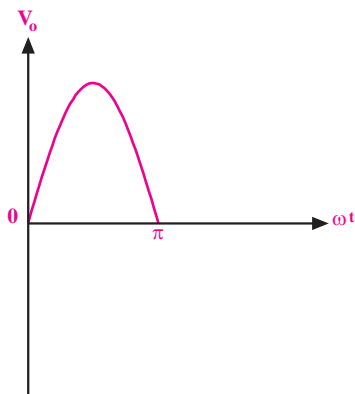
هدایت می کند. در هنگام هدایت دیود، افت ولتاژی معادل

$0.7V$  ولت در دو سر آن به وجود می آید.



شکل ۱۱-۳ هدایت دیود در نیم سیکل مثبت

در تحلیل مدارهای ساده ی دیودی مانند یکسوسازها، اغلب از افت ولتاژ  $0.7V$  ولت در دو سر دیود صرف نظر می کنند و هنگام هدایت دیود آن را اتصال کوتاه و مشابه یک کلید بسته در نظر می گیرند. شکل ۱۱-۴، شکل موج ولتاژ خروجی مدار یکسوساز را در شرایطی که دیود هادی می شود نشان می دهد.



شکل ۱۱-۴ شکل موج خروجی در نیم سیکل مثبت

در نیم سیکل منفی، دیود در بایاس معکوس قرار می گیرد،

لذا هدایت نمی کند و جریان در مدار صفر است. بنابراین

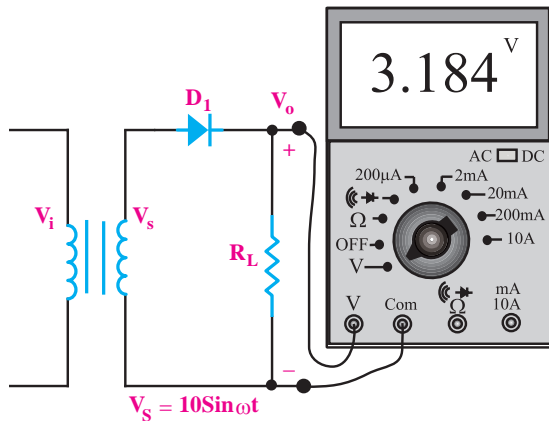
$V = R \times I = R \times 0 = 0V$  می شود. در شکل ۱۱-۵ شکل موج

ولتاژ خروجی یکسوساز در نیم سیکل منفی (از  $\pi$  تا  $2\pi$ ) نشان

داده شده است.

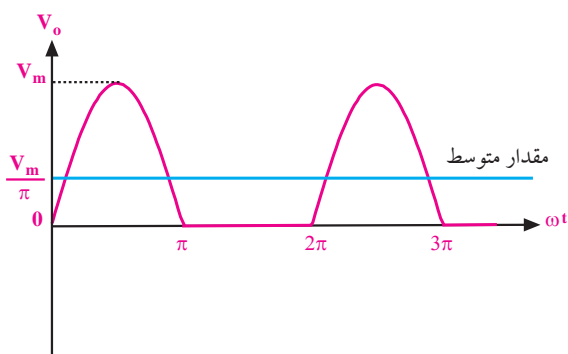
به مدار شکل ۱۱-۷ یکسوکنده‌ی نیم موج می‌گویند.

اگر یک ولت‌متر DC را به خروجی مدار شکل ۱۱-۷ ببندیم، ولت‌متر DC مقدار متوسط ولتاژ را نشان می‌دهد، شکل ۱۱-۸. در این اندازه‌گیری از افت ولتاژ دو سر دیود در جهت موافق صرف نظر شده است.



شکل ۱۱-۸ اندازه‌گیری مقدار متوسط ولتاژ

مقدار متوسط یک موج سینوسی که به صورت نیم موج یکسوخده است برابر  $V_{ave} = V_{DC} = \frac{V_m}{\pi}$  است، شکل ۱۱-۹.

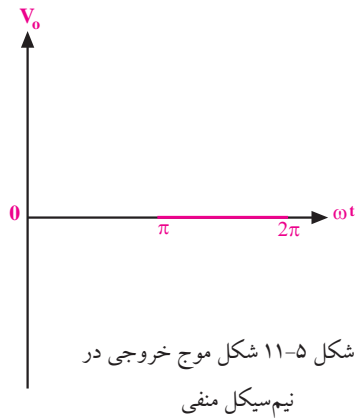


شکل ۱۱-۹ تعیین مقدار متوسط از روی شکل موج

## ۱۱-۱-۲ یکسوساز تمام موج

یکسوساز تمام موج با استفاده از ترانسفورماتور سر وسط

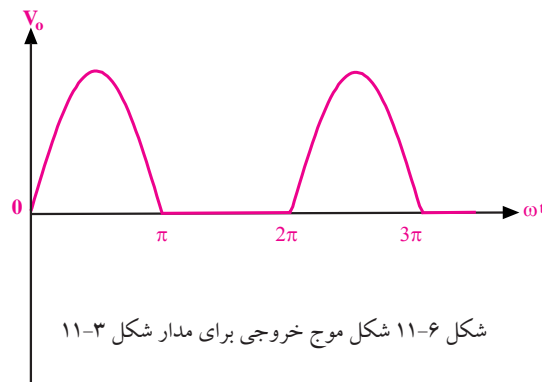
اگر یک ترانسفورماتور دارای دو سیم‌پیچ ثانویه باشد، در خروجی آن دو ولتاژ جدا از هم داریم. این دو ولتاژ می‌توانند



شکل ۱۱-۵ شکل موج خروجی در

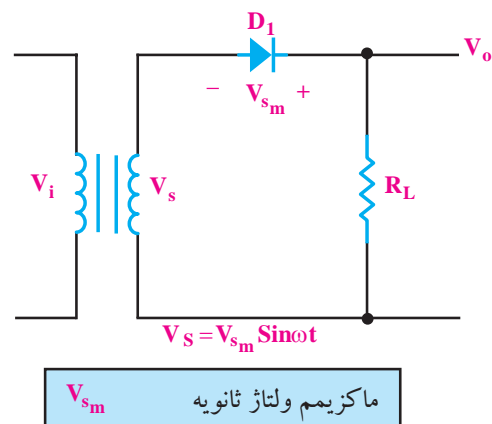
نیم سیکل منفی

شکل موج ولتاژ خروجی این مدار مانند شکل ۱۱-۶ است.



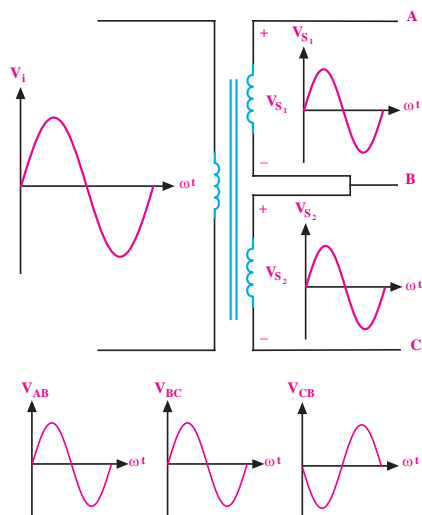
شکل ۱۱-۶ شکل موج خروجی برای مدار شکل ۱۱-۳

حداکثر ولتاژی که در بایاس مستقیم ( $V_F$ ) می‌تواند دو سر دیود افت کند، حدود یک ولت است. در بایاس معکوس میزان افت ولتاژ دو سر دیود برابر با ماکزیمم ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور می‌شود. هنگام انتخاب دیود باید به این نکته یعنی حداکثر ولتاژ مخالف دیود توجه کنیم، شکل ۱۱-۷.



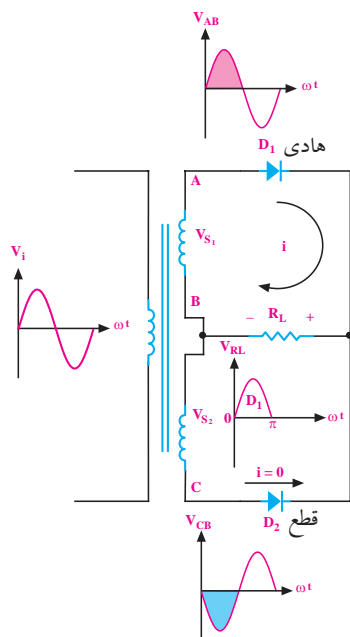
شکل ۱۱-۷

اگر محل اتصال دو سیم پیچ را به عنوان سر مشترک بین دو سیم پیچ انتخاب کنیم، شکل موج ولتاژ در نقاط A، B و C به صورت شکل ۱۲-۱۱ در می آید.



شکل ۱۲-۱۱ نمایش ترانسفورماتور با ثانویه سه سر

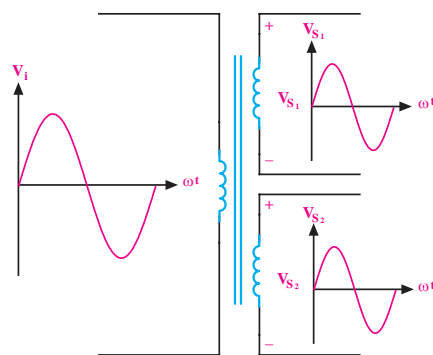
اگر مدار شکل ۱۳-۱۱ را ببندیم، در نیم سیکل مثبت دیود  $D_1$  هادی می شود و دیود  $D_2$  در بایاس معکوس قرار می گیرد. بنابراین شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت اهمی در نیم سیکل مثبت تقریباً مشابه شکل موج ولتاژ دو سر ثانویه ترانسفورماتور است.



شکل ۱۳-۱۱ در نیم سیکل مثبت دیود  $D_1$  هادی و دیود  $D_2$  قطع است.

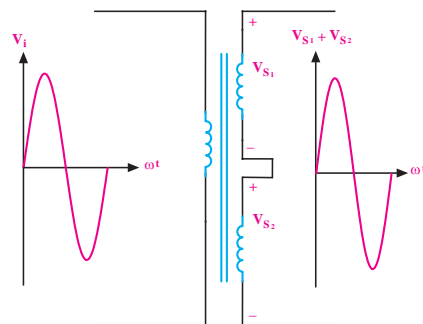
با یکدیگر برابر یا نابرابر باشند که به تعداد دورهای سیم پیچ ثانویه بستگی دارد.

فرض کنید یک ترانسفورماتور دو سیم پیچ ثانویه با تعداد دور مساوی و جدا از هم دارد، در این صورت دو شکل موج سینوسی جدا از هم با دامنه های برابر در خروجی های ترانسفورماتور به وجود می آید. در شکل ۱۰-۱۱ این شکل موج ها نشان داده شده اند. علامت های «+» و «-» روی نماد فنی سیم پیچ های ثانویه مربوط به قطب ولتاژهای لحظه ای در نیم سیکل مثبت است. توجه داشته باشید که در نیم سیکل منفی علامت ها عوض می شوند.



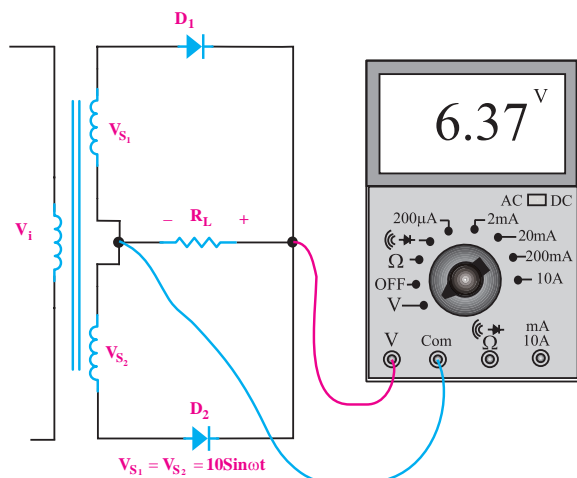
شکل ۱۰-۱۱ ترانسفورماتور با دو سیم پیچ ثانویه جدا از هم

اگر انتهای یک سیم پیچ ثانویه را به ابتدای سیم پیچ دیگر وصل کنیم، دو سیم پیچ با یکدیگر سری می شوند و ولتاژ خروجی دو برابر ولتاژ یکی از سیم پیچ ها خواهد شد، شکل ۱۱-۱۱.



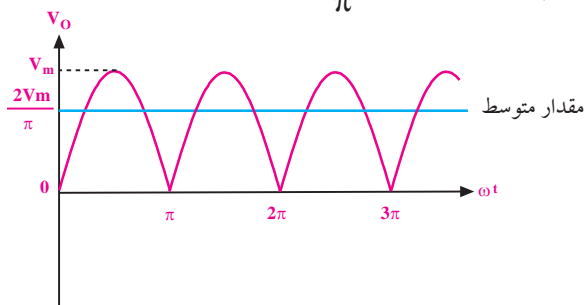
شکل ۱۱-۱۱ اتصال سری دو سیم پیچ ثانویه در ترانسفورماتور

اگر یک ولت متر DC را به دو سر بار (مقاومت اهمی) وصل کنیم، ولت متر DC مقدار متوسط شکل موج سینوسی یکسو شده را نشان می دهد، شکل ۱۶-۱۱.



شکل ۱۶-۱۱ اندازه گیری ولتاژ DC در یکسوساز تمام موج

مقدار متوسط شکل موج سینوسی یکسو شده به صورت تمام موج و برابر با  $\frac{2V_m}{\pi}$  است، شکل ۱۷-۱۱.



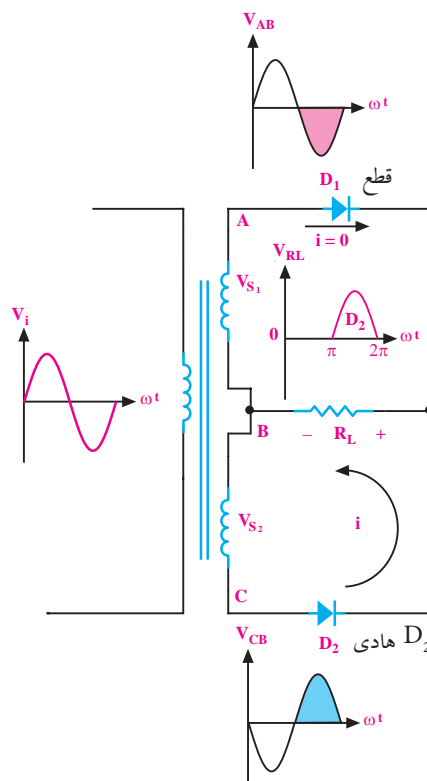
شکل ۱۷-۱۱ تعیین مقدار متوسط در یکسوساز تمام موج

به یکسوساز شکل ۱۶-۱۱ یکسوساز تمام موج می گویند.

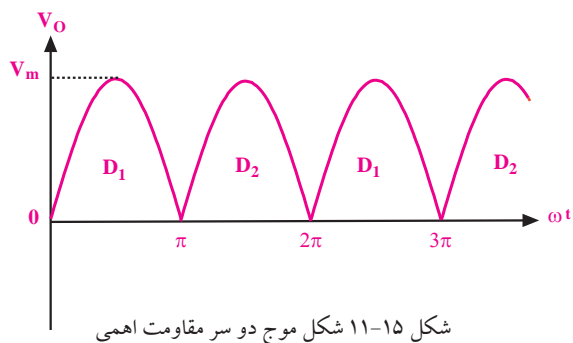
#### موارد زیر را به خاطر داشته باشید:

الف: در یکسوساز تمام موج با ترانسفورماتور سر وسط، جریان گذرنده از هر دو دیود برابر  $I_D = \frac{1}{2} I_L$  است.  
ب: ولتاژ معکوس دو سر هر دیود در یکسوساز تمام موج برابر  $2V_m$  است.

در نیم سیکل منفی، دیود  $D_1$  قطع و دیود  $D_2$  هادی است، لذا شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت اهمی در نیم سیکل منفی، تقریباً مشابه شکل موج ولتاژ دو سر ثانویه ترانسفورماتور می شود. در شکل ۱۴-۱۱ شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت یا  $V_O$  در فاصله  $\pi$  تا  $2\pi$  (نیم سیکل منفی) نشان داده شده است.

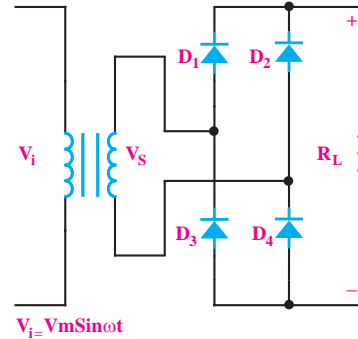


شکل ۱۴-۱۱ در نیم سیکل منفی دیود  $D_1$  قطع و دیود  $D_2$  هادی است. شکل ولتاژ دو سر مقاومت اهمی در یک سیکل کامل به صورت شکل ۱۵-۱۱ در می آید.



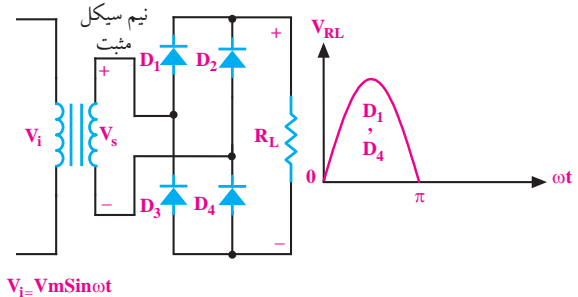
### ۱۱-۱-۳ یکسوساز پل گرتز یک فازه (پل دیود)

یکسو کننده‌ی پل گرتز یک فازه مطابق شکل ۱۱-۱۸ از چهار دیود تشکیل می‌شود.



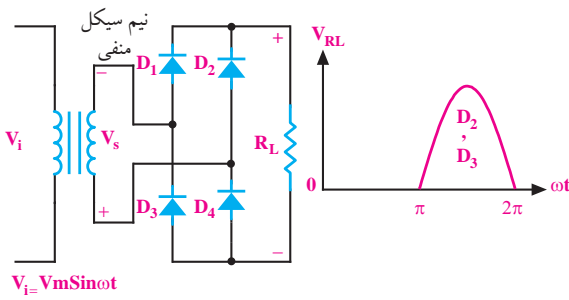
شکل ۱۱-۱۸ یکسوساز تمام موج (پل گرتز یک فازه)

در نیم‌سیکل مثبت دیودهای  $D_1$  و  $D_3$  هدایت می‌کنند و دیودهای  $D_2$  و  $D_4$  در حالت قطع هستند. زیرا هر دو در بایاس معکوس قرار می‌گیرند. شکل موج ولتاژ خروجی در نیم‌سیکل مثبت، در شکل ۱۱-۱۹ نشان داده شده است.



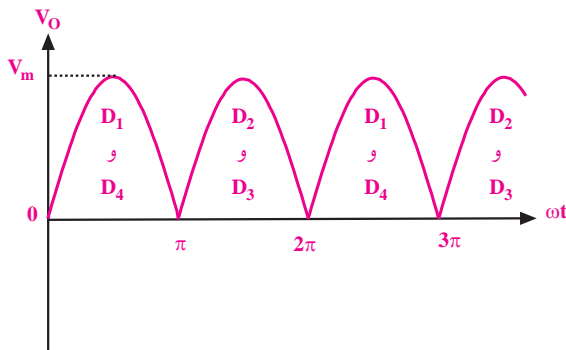
شکل ۱۱-۱۹ هدایت دیودهای  $D_1$  و  $D_3$  در یکسوساز پل

در نیم‌سیکل منفی، دیودهای  $D_2$  و  $D_4$  هدایت می‌کنند و دیودهای  $D_1$  و  $D_3$  در بایاس معکوس قرار می‌گیرند. شکل موج ولتاژ خروجی در نیم‌سیکل منفی را در شکل ۱۱-۲۰ ملاحظه می‌کنید.



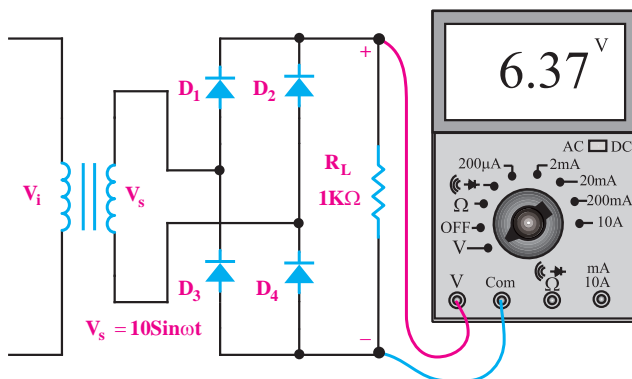
شکل ۱۱-۲۰ هدایت دیودهای  $D_2$  و  $D_4$  در یکسوساز پل

در شکل ۱۱-۲۱ شکل موج ولتاژ خروجی یکسو کننده‌ی پل گرتز یک فازه نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۲۱ شکل موج خروجی یکسوساز پل

مقدار متوسط ولتاژ یکسو شده برابر با  $V_{DC} = V_{ave} = \frac{2V_m}{\pi}$  است. در شکل ۱۱-۲۲ اگر از افت ولتاژ دو سر دیودها صرف نظر کنیم، ولت‌متر مقدار متوسط ولتاژ یعنی  $V_{ave} = \frac{2V_m}{\pi} = \frac{2 \times 10}{\pi} = 6.37 \text{ V}$  را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۲۲ اندازه‌گیری مقدار متوسط ولتاژ خروجی

یکسوساز پل به وسیله‌ی ولت‌متر

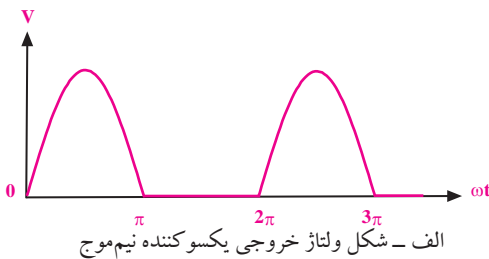
#### ۴-۱-۱۱ صافی‌ها

مدارهای الکترونیکی معمولاً نیاز به ولتاژ نسبتاً ثابتی مانند شکل موج ۱۱-۲۵ دارند.

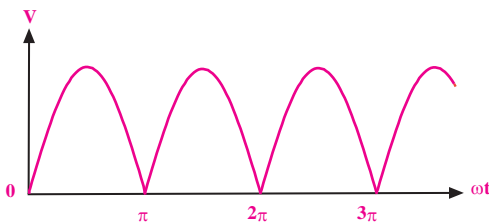


شکل ۱۱-۲۵ ولتاژ ثابت

همانطور که مشاهده شد، شکل موج ولتاژ خروجی یکسوسازهای نیم موج و تمام موج یک فازه دارای ضربان‌هایی است. مقدار ولتاژ آن در نقاط  $\omega t = \pi$  و  $\omega t = 2\pi$  و ..... به صفر می‌رسد. شکل ۱۱-۲۶.



الف - شکل ولتاژ خروجی یکسوکننده نیم موج



ب - شکل ولتاژ خروجی یکسوکننده تمام موج

شکل ۱۱-۲۶ شکل موج ولتاژ خروجی

یکسوسازهای نیم موج و تمام موج

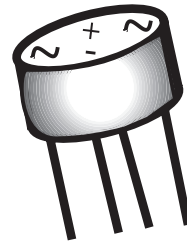
برای تبدیل ولتاژ ضربان‌دار دریافتی از خروجی یکسوسازها به ولتاژ ثابت، از یک خازن که با بار موازی می‌شود استفاده می‌کنند. این مدار برای توان‌های کم به کار می‌رود، شکل ۱۱-۲۷.



#### نکات مهم

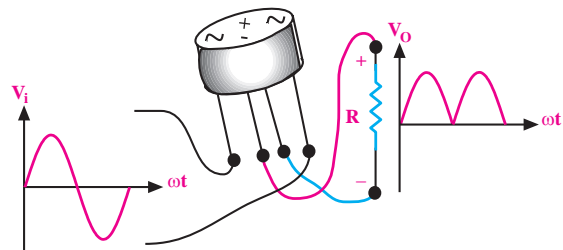
در یکسوساز پل، جریان هر دیود برابر با نصف جریان مصرف کننده (بار) یعنی  $I_D = \frac{1}{2} I_L$  است. حداکثر ولتاژ معکوسی که در دو سر هر دیود در یکسوساز پل افت می‌کند، برابر با  $V_m$  است.

معمولاً چهار عدد دیودی را که به صورت پل بسته می‌شوند، به صورت یک قطعه‌ی یکپارچه می‌سازند. در شکل ۱۱-۳۳ یک نمونه از این نوع پل دیودها نشان داده شده است.



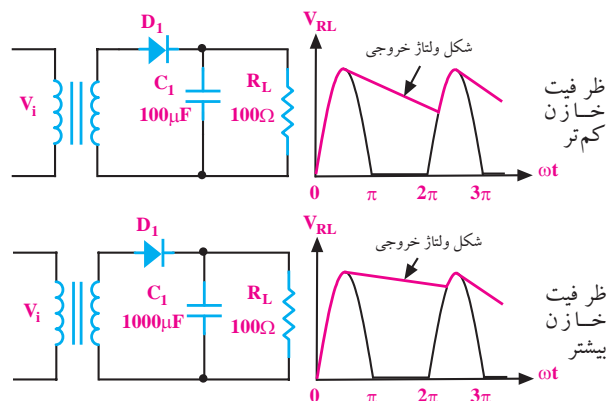
شکل ۱۱-۳۳ یک نمونه پل دیود

این قطعه دارای چهار پایه است. دو پایه‌ی آن را با علامت «~» مشخص می‌کنند که ولتاژ متناوب به این دو پایه داده می‌شود و دو پایه‌ی دیگر پل، خروجی یکسو شده است که آن را با علامت «+» (قطب مثبت) و علامت «-» (قطب منفی) مشخص می‌کنند. از این دو پایه‌ی ولتاژ، خروجی یکسو شده دریافت می‌شود، شکل ۱۱-۲۴.

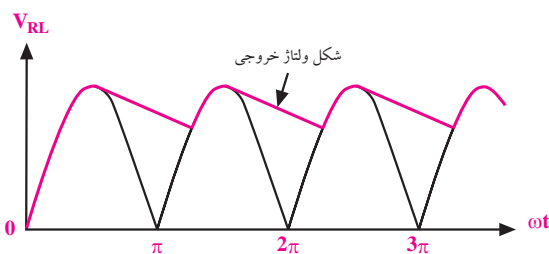
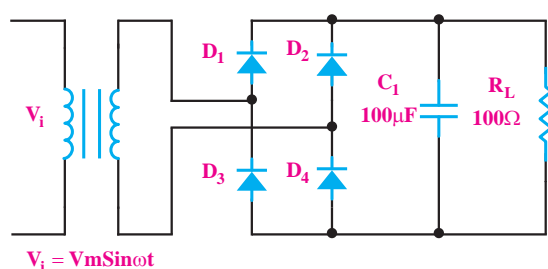


شکل ۱۱-۲۴ چگونگی اتصال پل دیود

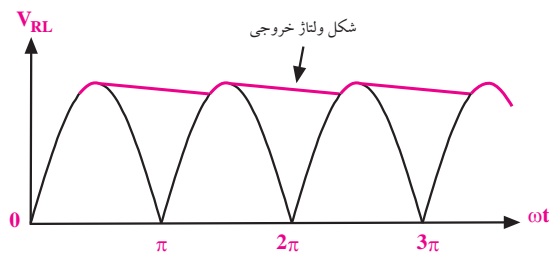
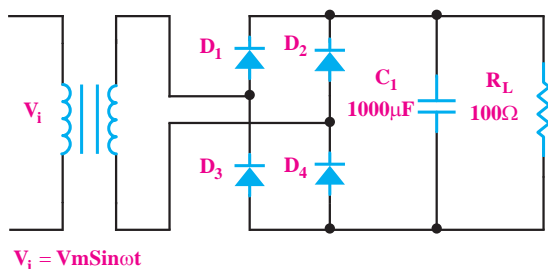
هر قدر ظرفیت خازن بیشتر باشد شکل ولتاژ خروجی صاف تر (ثابت تر) می شود. در شکل های ۲۸-۱۱-الف و ب، این خازن به وضوح برای یکسوساز تمام موج پل نشان داده شده است.



شکل ۲۷-۱۱ ظرفیت خازن بیشتر، شکل موج صاف تر

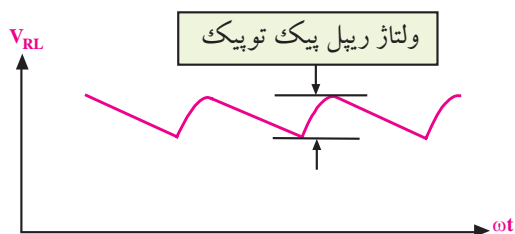


الف - شکل ولتاژ خروجی یکسوکننده با خازن ۱۰۰ میکروفاراد



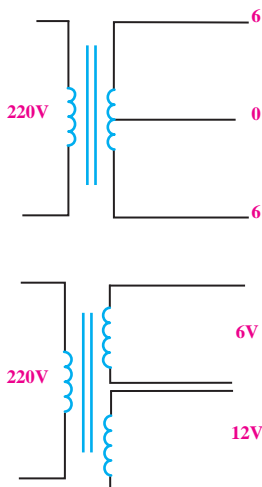
ب - شکل ولتاژ خروجی یکسوکننده با خازن ۱۰۰۰ میکروفاراد

شکل ۲۸-۱۱ هر قدر ظرفیت خازن بیشتر باشد شکل موج ولتاژ خروجی صاف تر می شود.



شکل ۲۹-۱۱ مقدار پیک توپیک ضربان یا رپل (ripple)

انتخاب مقدار دقیق ظرفیت خازن بستگی به مقدار ولتاژ ضربان (ریپل ripple) یا ضربان قابل قبول در مدارهای الکترونیکی دارد. لازم به یادآوری است که برای کم کردن دامنه‌ی ولتاژ رپل، از مدارهای دیگر الکترونیکی به نام رگولاتورها استفاده می کنند.



### نکته‌ی خیلی مهم:



گرچه هر قدر ظرفیت خازن را زیاد کنیم، ولتاژ خروجی یکسوسازها صاف‌تر (ثابت‌تر) می‌شود ولی جریان لحظه‌ای دیود نیز به شدت افزایش می‌یابد و گاهی ممکن است دیود را بسوزاند.

## ۱۱-۲ ترانسفورماتور تغذیه

### ۱۱-۲-۱ مشخصات ترانسفورماتور تغذیه

همان‌طور که قبلاً گفته شد، ترانسفورماتور تغذیه یا ترانسفورماتور قدرت به ترانسی گفته می‌شود که ولتاژ اولیه‌ی آن ولتاژ برق شهر باشد. تقریباً همه‌ی دستگاه‌های الکترونیکی احتیاج به ولتاژ DC دارند. مقدار ولتاژ DC با توجه به نوع کار و مدار دستگاه متفاوت است ولی اغلب آن‌ها به ولتاژ کم نیاز دارند. ترانس تغذیه که عموماً کاهنده است، برق شهر را به ولتاژی کم‌تر تبدیل می‌کند. در ثانویه‌ی این ترانس‌ها برحسب نیاز، ممکن است چند سر با ولتاژهای مختلف وجود داشته باشد. شکل ۱۱-۳۰ ساختمان یک نوع ترانسفورماتور تغذیه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۳۰ ساختمان یک نوع ترانسفورماتور

در شکل ۱۱-۳۱ نماد فنی دو نوع ترانسفورماتور با ولتاژ ثانویه متفاوت را مشاهده می‌کنید.

شکل ۱۱-۳۱ نماد فنی دو نوع ترانسفورماتور

یکی از مزیت‌های استفاده از ترانسفورماتور در مدار تغذیه‌ی دستگاه‌های الکترونیکی، ایزوله شدن مدار از برق شهر است.

می‌دانیم فاز برق شهر نسبت به زمین دارای اختلاف پتانسیل الکتریکی است و در صورت تماس بدن با سیم فاز خطر برق گرفتگی وجود دارد. بنابراین استفاده از ترانس خطر برق گرفتگی را کاهش می‌دهد. چون سیم‌پیچ ثانویه با سیم‌پیچ اولیه در شرایط کار عادی هیچ‌گونه تماس الکتریکی ندارد.

### ۱۱-۲-۲ خرابی‌های ترانس تغذیه

ترانسفورماتور تغذیه مانند هر قطعه‌ی دیگری معیوب می‌شود. خرابی‌های ترانس تغذیه ممکن است یکی از موارد زیر باشد:

الف- قطع شدن سیم‌پیچ اولیه یا ثانویه

ب- نیم‌سوز شدن (اتصال کوتاه ناقص در سیم‌پیچ‌ها)

ج- اتصال کوتاه کامل

د- اتصال سیم‌پیچ به بدنه (هسته)



### ۳-۱۱ آزمایش شماره‌ی (۱)

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

#### ۳-۱۱ هدف آزمایش:

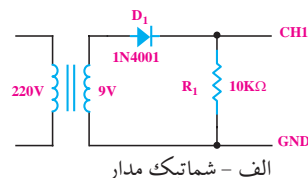
مشاهده و اندازه‌گیری شکل موج ولتاژ خروجی یکسوساز نیم‌موج یک فازه بدون صافی خازنی و با صافی خازنی.

#### ۳-۱۱ تجهیزات ، ابزار ، قطعات و مواد مورد نیاز :

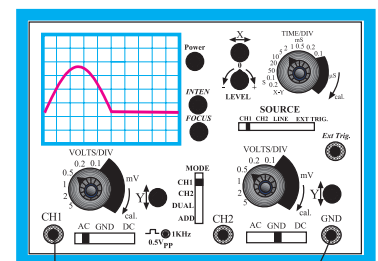
ردیف	نام و مشخصات	تعداد/ مقدار
۱	اسیلوسکوپ یک یا دو کاناله	یک دستگاه
۲	مولتی‌متر	یک دستگاه
۳	ترانسفورماتور ۲۲۰/۹ V	یک عدد
۴	مقاومت $10K\Omega$	یک عدد
۵	خازن $470\mu F/35V$	یک عدد
۶	دیود 1N4001	یک عدد
۷	سیم رابط دو سرگیره سوسماری	شش رشته
۸	سیم رابط یک سرگیره سوسماری	شش رشته

#### ۳-۱۱ مراحل اجرای آزمایش:

■ مدار شکل ۱۱-۳۲ را روی بردبرد ببندید.



الف - شماتیک مدار



ب - مدار عملی

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های زیر را روی

آن انجام دهید.

■ با ولوم‌های INTEN و FOCUS اشعه را نازک و با

نور کافی تنظیم کنید.

■ کلید سلکتور MODE را در حالت CH1 بگذارید.

■ کلید سلکتور SOURCE را در حالت Line

بگذارید.

■ کلید سلکتور Volts/Div کانال CH1 را روی ۵ ولت

بگذارید.

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

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

■ به کمک ولوم V/Position خط اشعه را در وسط

صفحه تنظیم کنید.

■ ورودی ترانسفورماتور را با احتیاط کامل به برق ۲۲۰

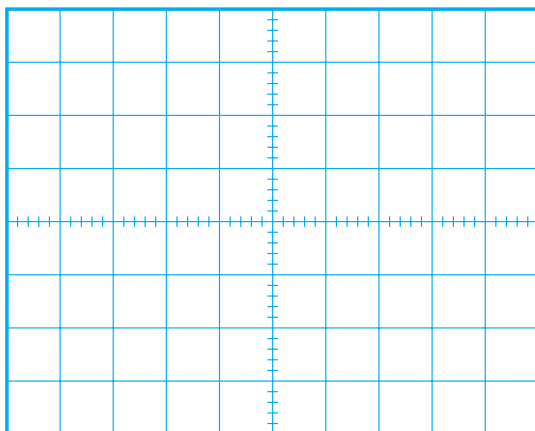
ولت وصل کنید.

■ کلید AC-GND-DC اسیلوسکوپ را به حالت DC

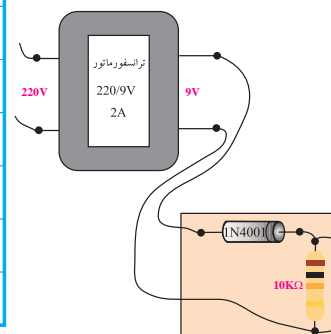
تغییر دهید.

■ شکل موج نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس را در

نمودار شکل ۱۱-۳۳ با مقیاس مناسب رسم کنید.



شکل ۱۱-۳۳

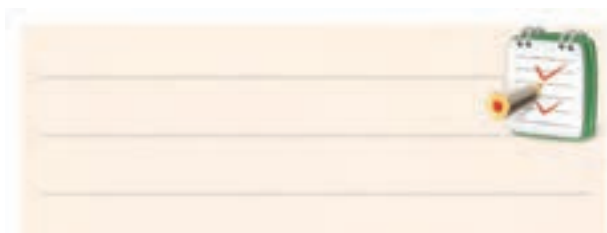


شکل ۱۱-۳۲ مدار عملی یکسوساز نیم‌موج

یادداشت کنید. ولت متر DC، مقدار متوسط ولتاژ را نشان می دهد.

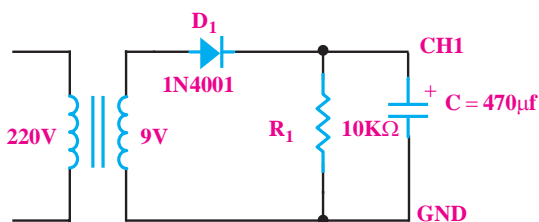
$$V = \dots\dots\dots = \text{ولتاژی را که ولت متر نشان می دهد.}$$

**سؤال ۱:** آیا مقداری را که ولت متر نشان می دهد با مقداری که از طریق محاسبه (مقدار متوسط) به دست آورده اید برابر است؟ توضیح دهید.

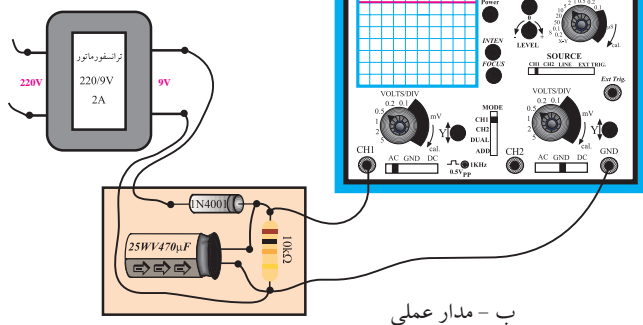


در صورتی که نتوانستید به سوال فوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت های قبلی مراجعه کنید و به مرور دوباره ی مطالب بپردازید.

■ مدار شکل ۱۱-۳۵ را ببینید.



الف - شماتیک مدار



ب - مدار عملی

شکل ۱۱-۳۵ یکسوساز نیم موج با صافی خازنی

■ ورودی ترانسفورماتور را به ولتاژ برق شهر وصل

کنید.

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

$$V = \dots\dots\dots = \text{دامنه سیگنال}$$

$$V = \dots\dots\dots = \frac{V_m}{\pi} = \frac{\dots\dots\dots}{\pi} = \dots\dots\dots = \text{مقدار متوسط}$$

■ اولیه ی ترانسفورماتور را از برق شهر جدا کنید.

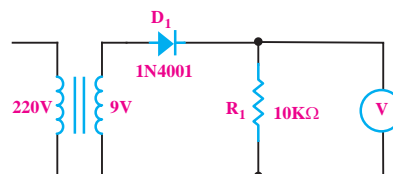
■ اسیلوسکوپ را از مدار جدا کنید (خاموش کنید).

■ تنظیم های انجام شده روی اسیلوسکوپ را تغییر

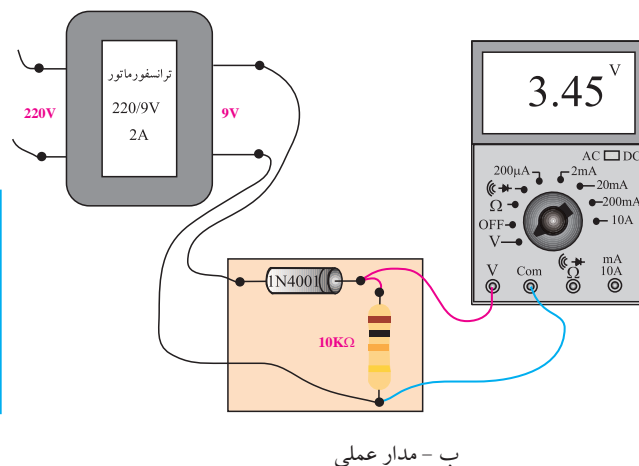
ندهید.

■ یک ولت متر DC به دو سر مقاومت ببندید و رنج

ولت متر را روی ۲۰ ولت بگذارید ، شکل ۳۴-۱۱.



الف - نقشه فنی مدار



ب - مدار عملی

شکل ۱۱-۳۴ اندازه گیری ولتاژ DC با ولت متر

■ ورودی ترانسفورماتور را با احتیاط به برق شهر وصل

کنید.

■ ولتاژی را که ولت متر DC نشان می دهد بخوانید و

## ۴-۱۱ آزمایش شماره‌ی (۲)

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

### ۴-۱۱ هدف آزمایش:

بررسی عملی یکسوساز تمام موج با ترانسفورماتور سر

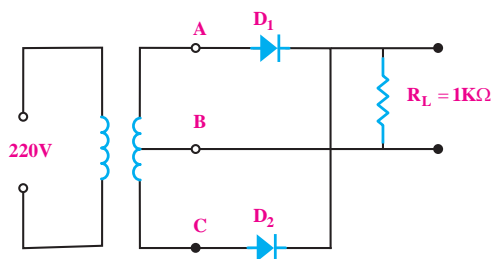
وسط

### ۴-۱۱ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد/مقدار
۱	اسیلوسکوپ یک یا دو کاناله	یک دستگاه
۲	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۳	ترانسفورماتور $220V/2 \times 9V$	یک عدد
۴	دیود $1N4001$	دو عدد
۵	مقاومت $1K\Omega$	یک عدد
۶	سیم رابط	به مقدار کافی

### ۴-۱۱ مراحل اجرای آزمایش:

■ مداری مطابق شکل ۱۱-۳۷ روی بردبرد ببندید.



شکل ۱۱-۳۷ مدار یکسوساز تمام موج با ترانس سروسط

■ ورودی ترانسفورماتور را به برق شهر وصل کنید.

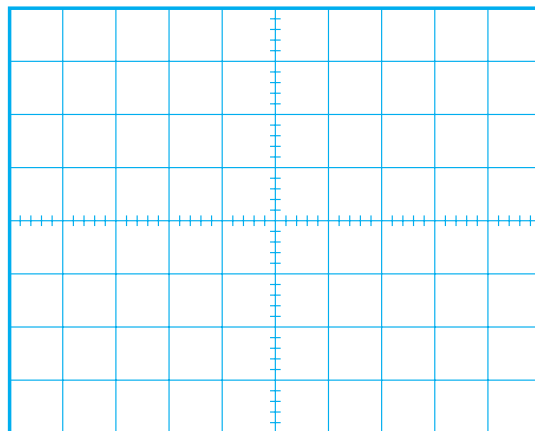
■ اسیلوسکوپ را به نقاط AB وصل کنید.

■ شکل موج خروجی را برای یک پریود روی نمودار

شکل ۱۱-۳۸ با مقیاس مناسب رسم کنید.

■ موج نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس را در

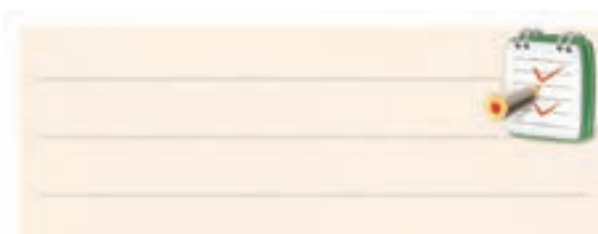
نمودار شکل ۱۱-۳۶ با مقیاس مناسب رسم کنید.



شکل ۱۱-۳۶

**سوال ۲:** خازن  $470\mu F$  میکروفاراد چه نقشی در شکل موج

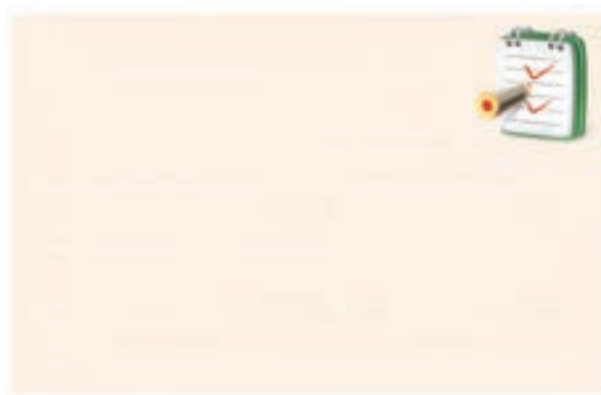
ولتاژ خروجی دارد؟ با توجه به شکل ۱۱-۳۶ توضیح دهید.



### ۴-۱۱ نتایج آزمایش:

آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح

دهید.



■ مقدار ماکزیمم ولتاژ شکل موج دو سر بار را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{m_{RL}} = \dots\dots\dots V$$

■ پریود موج دو سر بار را اندازه بگیرید سپس فرکانس آن را اندازه بگیرید.

$$T = \dots\dots\dots$$

$$f = \frac{1}{T} = \dots\dots\dots$$

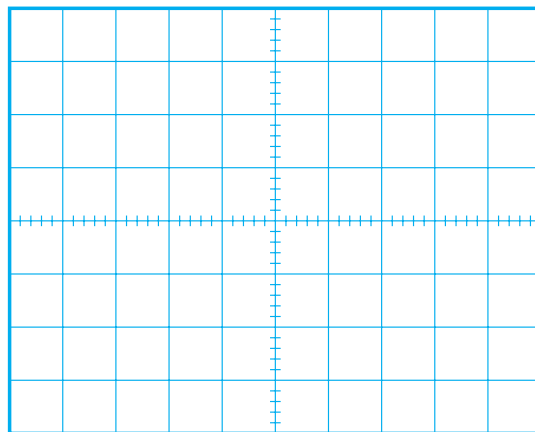
■ به وسیله ولت متر DC مقدار متوسط (میانگین) ولتاژ دو سر بار را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{RL}(DC) = \dots\dots\dots V$$

■ با استفاده از فرمول  $V_{RL} = \frac{2V_m}{\pi}$  میانگین ولتاژ دو سر بار را محاسبه کنید.

$$V_{RL} = \frac{2 \times \dots\dots\dots}{3/14} = \dots\dots\dots V$$

**سوال ۳:** مقدار میانگین ولتاژ دو سر بار را که از فرمول محاسبه نموده‌اید با مقدار اندازه‌گیری شده مقایسه کنید و در صورت اختلاف در مورد آن توضیح دهید.



شکل ۳۸-۱۱ شکل موج خروجی

■ دامنه‌ی موج را اندازه بگیرید.

$$V_{m_{AB}} = \dots\dots\dots V$$

■ اسیلوسکوپ را بین نقاط CB وصل کنید.

■ شکل موج بین نقاط B و C را در نمودار شکل ۳۸-۱۱

با رنگ دیگری رسم کنید.

■ دامنه‌ی موج بین نقاط B و C را اندازه بگیرید و

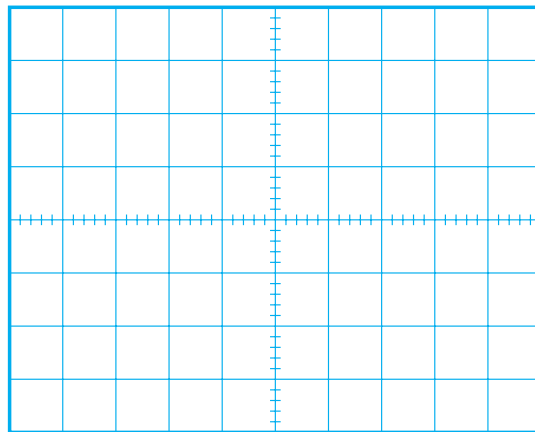
یادداشت کنید.

$$V_{m_{CB}} = \dots\dots\dots V$$

■ اسیلوسکوپ را به دو سر بار وصل کنید و شکل

موج دو سر بار را برای یک سیکل کامل روی نمودار شکل

۳۹-۱۱ با مقیاس مناسب رسم کنید.



شکل ۳۹-۱۱ شکل موج دو سر بار

#### ۴-۴-۱۱ نتایج آزمایش:

آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به اختصار شرح

دهید.

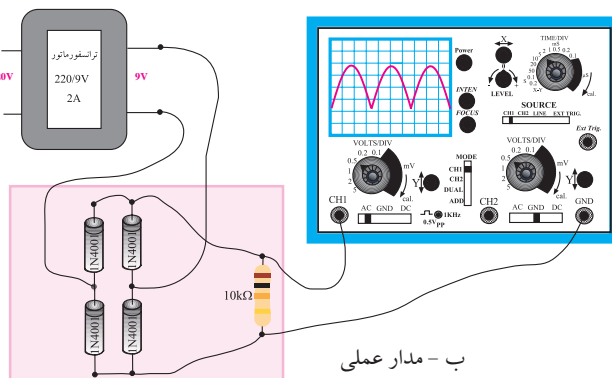
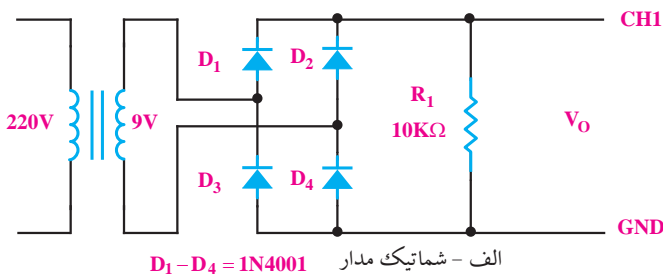


#### ۲-۵-۱۱ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد/مقدار
۱	اسیلوسکوپ یک یا دو کاناله	یک دستگاه
۲	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۳	ترانسفورماتور ۲۲۰/۹ V	یک عدد
۴	مقاومت $10K\Omega$	یک عدد
۵	خازن $470\mu F/35V$	یک عدد
۶	دیود $1N4001$	چهار عدد
۷	سیم رابط دو سرگیره سوسماری	شش رشته
۸	سیم رابط یک سرگیره سوسماری	شش رشته

#### ۳-۵-۱۱ مراحل اجرای آزمایش:

■ مدار شکل ۱۱-۴۰ را روی برد برد ببندید.



#### ۵-۱۱ آزمایش شماره (۳)

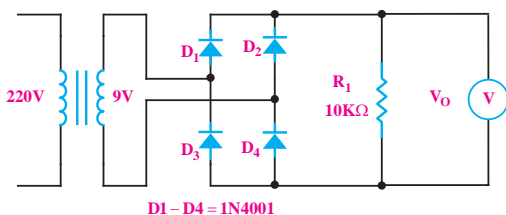
زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

#### ۱-۵-۱۱ هدف آزمایش:

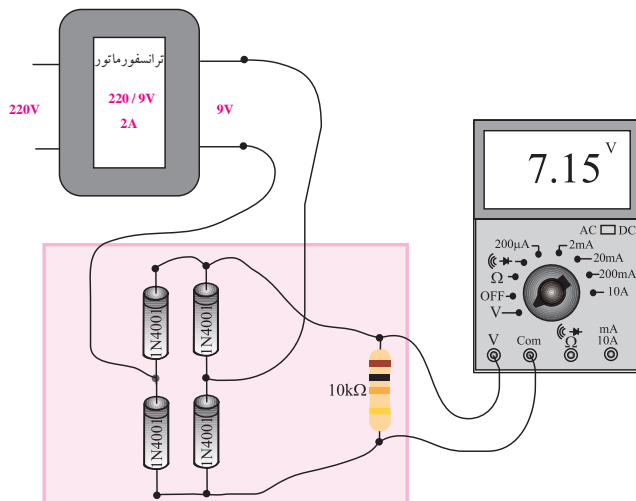
مشاهده و اندازه گیری شکل موج ولتاژ خروجی یکسوساز

تمام موج بدون خازن صافی و با صافی خازنی

شکل ۱۱-۴۰ مدار عملی یکسوساز پل



الف - شماتیک مدار



ب - مدار عملی

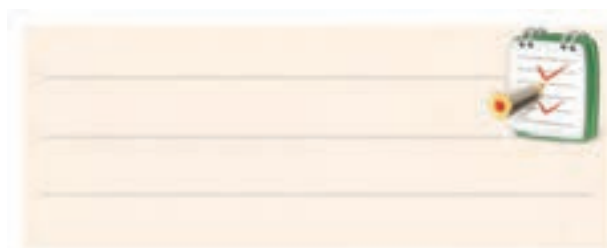
شکل ۴۲-۱۱ اندازه گیری ولتاژ خروجی با ولت متر DC

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

■ ولتاژی را که ولت متر نشان می دهد بخوانید و یادداشت کنید.

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

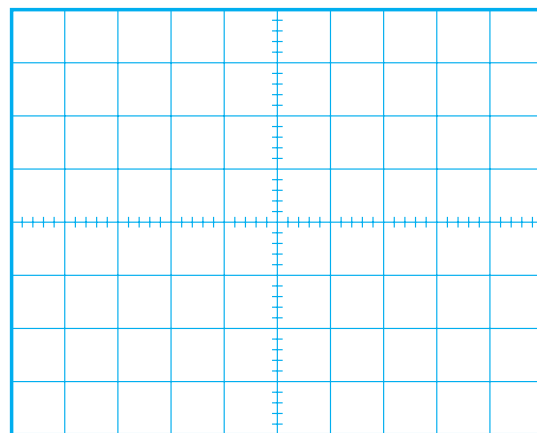
**سوال ۴:** آیا مقداری که ولت متر DC نشان می دهد با مقداری که از طریق محاسبه به دست آورده اید برابر است؟ توضیح دهید.



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

■ اسیلوسکوپ را مانند آزمایش شماره ۱ تنظیم کنید.

■ شکل موج نشان داده شده روی صفحه ی حساس اسیلوسکوپ را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۴۱-۱۱ رسم کنید.



شکل ۴۱-۱۱

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

$$V = \dots\dots\dots \text{ دامنه ی سیگنال}$$

$$V = \frac{2 \times \text{دامنه ی سیگنال}}{\pi} = \frac{2Vm}{\pi} = \frac{2 \times \dots\dots\dots}{3.14} = \dots\dots\dots V$$

■ اولیه ی ترانسفورماتور را از برق شهر جدا کنید.

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

■ تنظیم های انجام شده روی اسیلوسکوپ را تغییر ندهید.

■ یک ولت متر DC به دو سر مقاومت  $10\text{ K}\Omega$  ببندید و رنج آن را روی ۲۰ ولت DC قرار دهید، شکل ۴۲-۱۱.

**سؤال ۵:** چرا با موازی کردن خازن به دو سر بار، شکل موج ولتاژ خروجی به صورت یک خط درآمده است؟ توضیح دهید.

در صورتی که نتوانستید به سؤال فوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت‌های قبلی مراجعه کنید و به مرور دوباره مطالب پردازید.

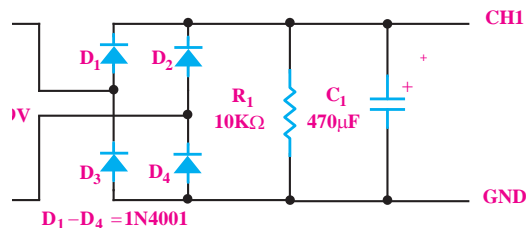
#### ۴-۵-۱۱ نتایج آزمایش:

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

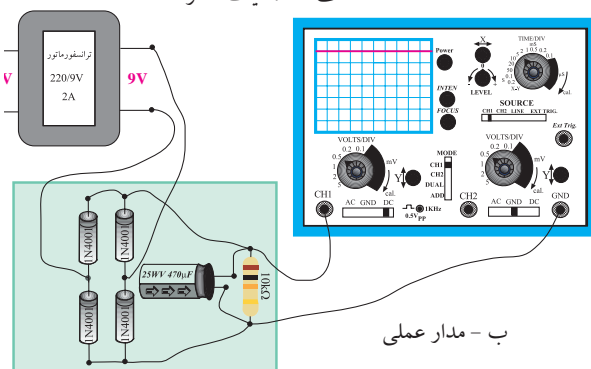


در صورتی که نتوانستید به سوال فوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت‌های قبلی مراجعه کنید و به مرور دوباره مطالب پردازید.

■ مدار شکل ۴۳-۱۱ را ببندید.



الف - شماتیک مدار



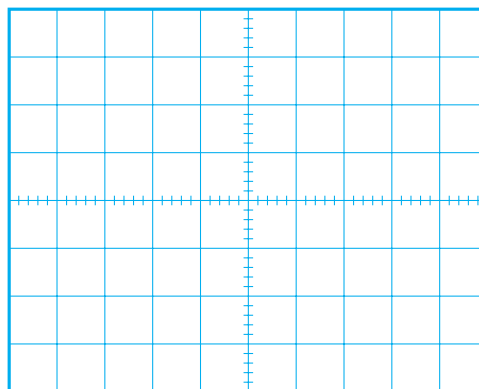
ب - مدار عملی

شکل ۴۳-۱۱ مدار عملی یکسوساز تمام موج با صافی خازنی

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

■ شکل موج نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس را با

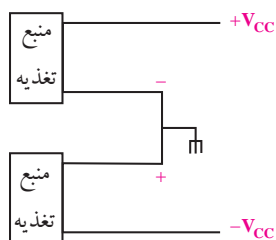
مقیاس مناسب در نمودار شکل ۴۴-۱۱ رسم کنید.



شکل ۴۴-۱۱

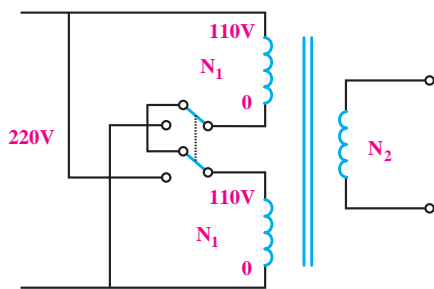
#### ۴-۶-۱۱ منبع تغذیه‌ی متقارن

گاهی در مدارهای الکترونیکی نیاز به ولتاژهای قرینه است. بلوک دیاگرام یک منبع تغذیه‌ی متقارن را در شکل ۴۵-۱۱ نشان داده‌ایم.

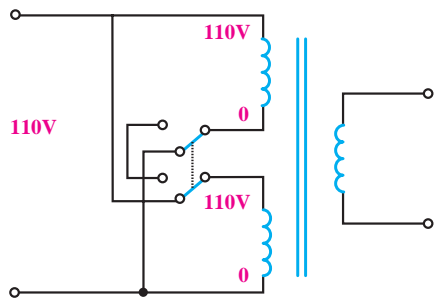


شکل ۴۵-۱۱ بلوک دیاگرام منبع تغذیه‌ی متقارن

در شکل ۴۶-۱۱ مدار یک منبع تغذیه‌ی متقارن رسم شده است.



حالت ۲۲۰ ولت



حالت ۱۱۰ ولت

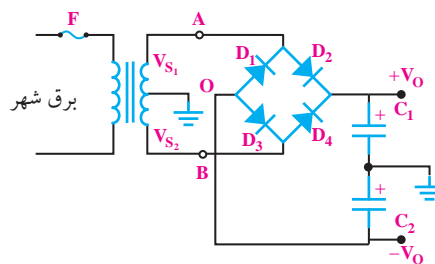
شکل ۴۷-۱۱

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در حالت ۲۲۰ ولت، دو سیم‌پیچ اولیه با هم سری می‌شوند و تمام تعداد دور اولیه  $(N_1 + N_2)$  در مدار قرار می‌گیرد.

در حالت ۱۱۰ ولت دو نیمه‌ی سیم‌پیچ در اولیه با هم موازی می‌شوند و تعداد دور اولیه را به نصف حالت قبل می‌رساند. در این حالت ولتاژ خروجی ثابت می‌ماند و دستگاه به طور طبیعی کار می‌کند.

#### ۲-۷-۱۱ کلید ۲۲۰/۱۱۰ در منابع تغذیه بدون ترانسفورماتور

در منابع تغذیه‌ی سوئیچینگ معمولاً از ترانسفورماتور استفاده نمی‌شود و برق شهر را مستقیماً توسط یک‌سوساز پل یکسو می‌کنند. در این نوع منابع تغذیه برای داشتن امکان کار در دو حالت ۲۲۰ و ۱۱۰ ولت مدار شکل ۴۸-۱۱ را به کار می‌برند.



شکل ۴۶-۱۱ مدار منبع تغذیه‌ی متقارن

$V_{S1}$  و  $V_{S2}$  دو سیگنال سینوسی است که  $180^\circ$  درجه با هم اختلاف فاز دارند و دامنه‌ی آن‌ها برابر است. در لحظاتی که A نسبت به O مثبت است، B نسبت به O منفی است و دیودهای  $D_1$  و  $D_3$  هادی و دیودهای  $D_2$  و  $D_4$  قطع هستند. خازن‌های  $C_1$  و  $C_2$  تا دامنه‌ی ماکزیمم ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور شارژ می‌شوند. زمانی که A نسبت به O منفی است، B نسبت به O مثبت است و دیودهای  $D_2$  و  $D_4$  هادی و  $D_1$  و  $D_3$  قطع هستند. ولتاژ دو سر خازن  $C_1$  برابر با ولتاژ دو سر خازن  $C_2$  است.

#### ۷-۱۱ کلید ۲۲۰/۱۱۰

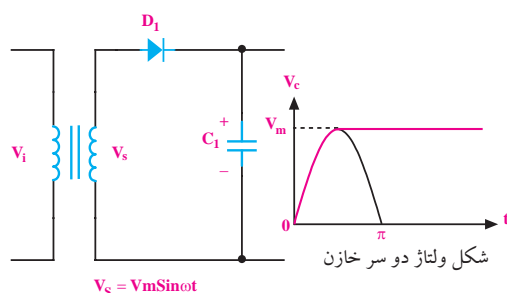
بعضی از دستگاه‌های الکترونیکی دارای کلید ۲۲۰/۱۱۰ هستند. با این کلید می‌توانیم دستگاه‌ها را در کشور ایران و سایر کشورهایی که ولتاژ برق آن‌ها ۱۱۰ ولت است، مورد استفاده قرار دهیم.

#### ۱-۷-۱۱ عملکرد کلید در منابع تغذیه با ترانسفورماتور

اساس کار و عملکرد این کلید در دستگاه‌هایی که دارای ترانسفورماتور هستند بسیار ساده است. با استفاده از یک کلید دو پل دو راهه (تبدیل دو پل) مانند شکل ۴۷-۱۱ می‌توانیم نیمه‌ی سیم‌پیچ را در حالت ۲۲۰ ولت با هم سری و در حالت ۱۱۰ ولت با هم موازی کنیم.



لذا ولتاژ دو سر آن برابر با  $V_m$  باقی می ماند.



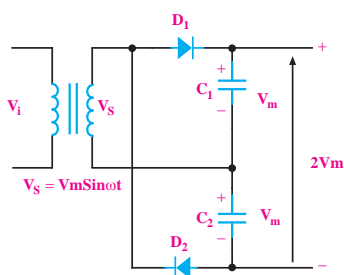
شکل ولتاژ دو سر خازن

شکل ۴۹-۱۱ ولتاژ دو سر خازن به اندازه‌ی تقریباً  $V_m$  شارژ می شود

در شکل ۵۰-۱۱ یک مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ با

استفاده از یک ترانسفورماتور، دو عدد دیود و دو عدد خازن

نشان داده شده است.



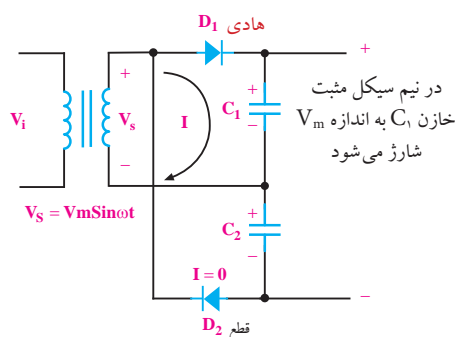
شکل ۵۰-۱۱ یک نمونه مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ

طرز کار این مدار به این صورت است که در نیم سیکل

مثبت دیود  $D_1$  در بایاس موافق و دیود  $D_2$  در بایاس مخالف

قرار می گیرند. لذا دیود  $D_1$  هادی شده و خازن  $C_1$  تا مقدار

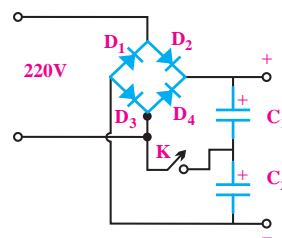
تقریباً  $V_m$  شارژ می شود، شکل ۵۱-۱۱.



شکل ۵۱-۱۱ مسیر شارژ خازن  $C_1$  در نیم سیکل مثبت

در نیم سیکل منفی دیود  $D_2$  در بایاس موافق و دیود  $D_1$

در بایاس مخالف قرار می گیرد. لذا دیود  $D_2$  هادی می شود و



شکل ۴۸-۱۱

در خروجی مدار دو خازن سری  $C_1$  و  $C_2$  قرار دارد

و یک کلید ساده‌ی تک پل، محل اتصال دو خازن را به

یکی از سیم‌های برق ورودی قطع و وصل می کند. در حالت

ورودی ۲۲۰ ولت کلید K باز است و دو خازن  $C_1$  و  $C_2$  به

عنوان صافی با هم سری می شوند. در این حالت هر یک از

خازن‌ها تقریباً به اندازه‌ی ۱۵۵ ولت شارژ می شوند و ولتاژ

DC خروجی به  $V_m = 310$  V می رسد.

در حالت ۱۱۰ ولت، کلید K وصل می شود و مدار را

به یک دو برابر کننده‌ی ولتاژ تبدیل می کند. در این شرایط

هر یک از خازن‌های  $C_1$  و  $C_2$  به اندازه‌ی  $V = 155\sqrt{2} = 110$  V

شارژ می شوند و ولتاژ خروجی به همان مقدار ۳۱۰ V می رسانند.

## ۸-۱۱ چند برابر کننده‌های ولتاژ

به کمک ترانسفورماتور، دیودها و خازن‌ها، می توان

مقدار ولتاژ را دو یا چند برابر کرد. توجه داشته باشید که

افزایش ولتاژ به کمک مدارهای چند برابر کننده فقط برای

جریان‌های بسیار کم قابل استفاده است.

در شکل ۴۹-۱۱ در نیم سیکل مثبت، وقتی دیود  $D_1$

هادی شد (ولت  $V_s \geq 0$ )، خازن شروع به شارژ شدن

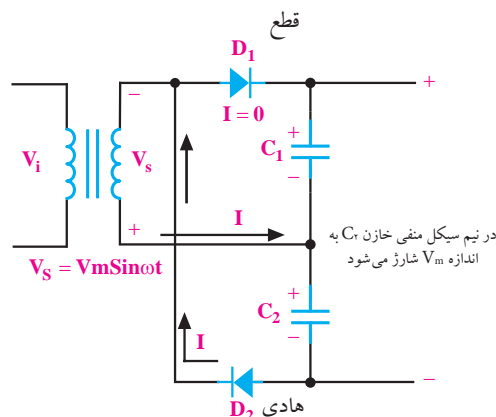
می کند و تقریباً تا پیک ولتاژ ( $V_m$ ) شارژ می شود. هنگامی

که ولتاژ ثانویه از  $V_m$  کم تر می شود، دیود در بایاس مخالف

قرار می گیرد و قطع می شود، زیرا ولتاژ کاتد دیود برابر با  $V_m$

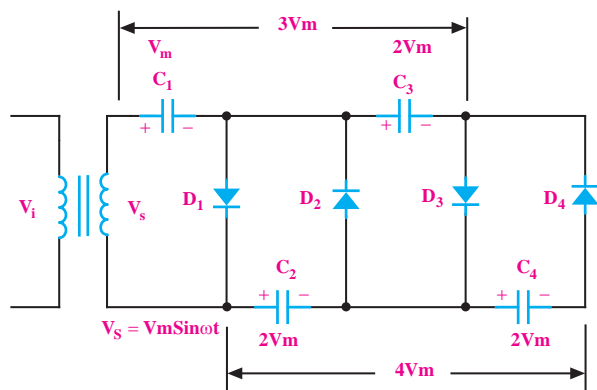
است. با توجه به شرایط موجود، خازن نمی تواند تخلیه شود،

خازن  $C_p$  را تقریباً تا مقدار  $V_m$  (ولتاژ پیک) شارژ می‌کند، شکل ۱۱-۵۲.



شکل ۱۱-۵۲ مسیر شارژ خازن در نیم سیکل منفی

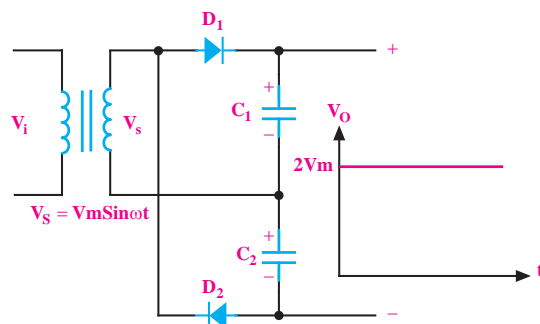
به کمک مدار شکل ۱۱-۵۵ می‌توان مقدار ولتاژ را به سه، چهار یا چند برابر ولتاژ ماکزیمم ثانویه‌ی ترانسفورماتور افزایش داد. هم‌چنین با اضافه کردن تعداد دیودها و خازن‌ها امکان ولتاژ به مقدار بیشتر نیز وجود دارد.



شکل ۱۱-۵۵ مدار چهار برابر کننده‌ی ولتاژ

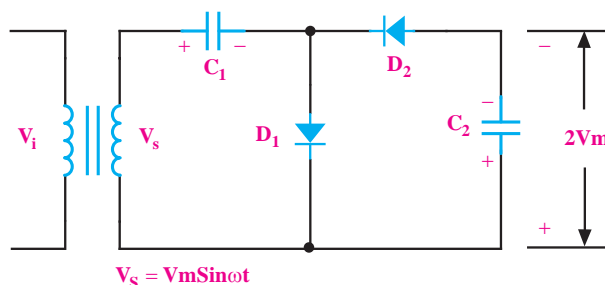
با توجه به شکل ۱۱-۵۳ ولتاژ خروجی  $V_O$  برابر با  $2V_m$

یعنی  $V_{C1} + V_{C2} = 2V_m$  می‌شود.



شکل ۱۱-۵۳ شکل موج ولتاژ خروجی در یک دو برابر کننده‌ی ولتاژ

به کمک مدار شکل ۱۱-۵۴ نیز می‌توان ولتاژ را دو برابر کرد.



شکل ۱۱-۵۴ یک مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ

## ۱۱-۹ آزمایش شماره‌ی (۴)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

### ۱۱-۹-۱ هدف آزمایش:

بررسی عملی یک نمونه مدار دو برابر کننده ولتاژ

### ۱۱-۹-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد/مقدار
۱	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۲	ترانسفورماتور ۲۲۰/۹ V	یک عدد
۳	دیود ۱N۴۰۰۱	دو عدد
۴	خازن ۴۷۰ μF/۳۵ V	دو عدد
۵	سیم رابط دو سرگیره سوسماری	شش رشته
۶	سیم رابط یک سرگیره سوسماری	شش رشته

### ۱۱-۹-۳ مراحل اجرای آزمایش:

■ مدار شکل ۱۱-۵۶ را روی بردبرد ببندید.

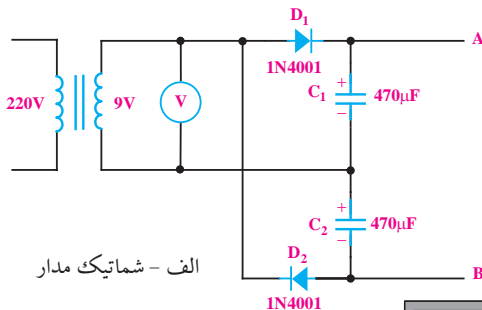
■ ولت متر را از نقاط A و B جدا کنید.

■ حوضه‌ی کار ولت متر را روی حالت AC روی ۲۰ V

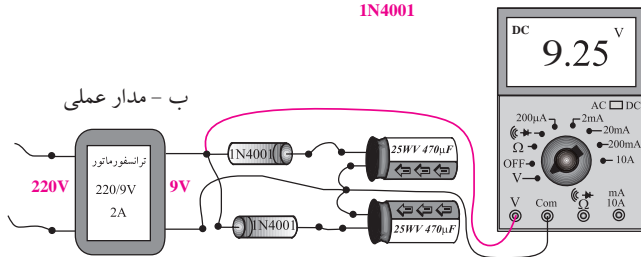
قرار دهید و ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور را اندازه بگیرید،  
شکل ۵۷-۱۱ و یادداشت کنید.

$V_s = \dots\dots\dots V$  ولتاژی را که ولت متر AC نشان می دهد.

$$V_m = \sqrt{2} V_{\text{eff}} = 1/41 \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots V$$



الف - شماتیک مدار

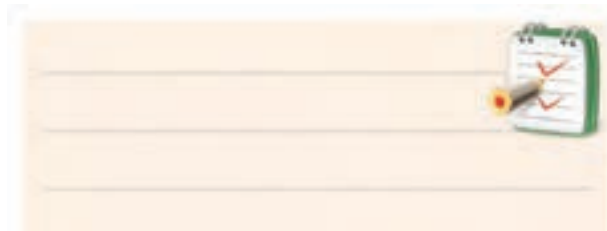


ب - مدار عملی

شکل ۵۷-۱۱ اندازه گیری ولتاژ AC در مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ

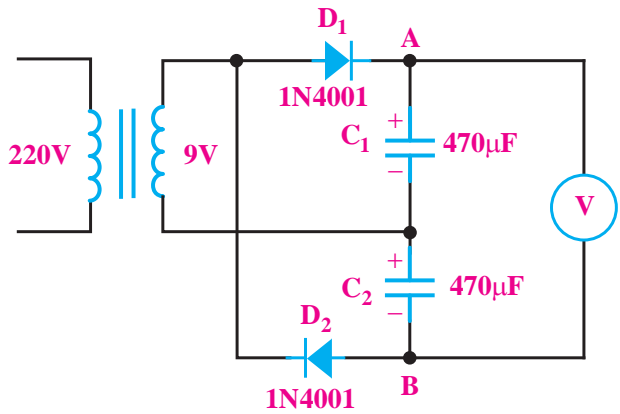
**سؤال ۶:** آیا ولتاژ دو سر هر خازن به اندازه‌ی  $V_m$  است

یا کم تر؟ توضیح دهید.

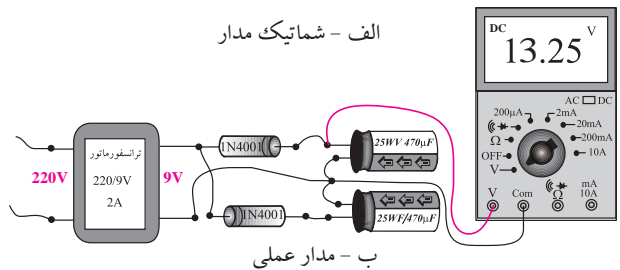


**سؤال ۷:** آیا  $V_{AB}$ ، دقیقاً برابر با  $(V_{C1} + V_{C2})$  است؟

چرا؟ توضیح دهید.



الف - شماتیک مدار



ب - مدار عملی

شکل ۵۶-۱۱ یک نمونه مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ

■ رنج ولت متر DC را روی ۳۰ ولت قرار دهید.

■ با احتیاط کامل ورودی ترانسفورماتور را به برق ۲۲۰

ولت وصل کنید.

■ ولت متر را به دو سر خازن  $C_1$  وصل کنید ولتاژی را

که ولت متر نشان می دهد بخوانید و یادداشت کنید.

$$V_{C_1} = \dots\dots\dots V \text{ ولتاژ دو سر خازن } C_1$$

■ ولت متر را از دو سر خازن  $C_1$  جدا کنید و به دو سر

خازن  $C_2$  وصل کنید و ولتاژی را که ولت متر نشان می دهد

یادداشت کنید.

$$V_{C_2} = \dots\dots\dots V \text{ ولتاژ دو سر خازن } C_2$$

■ ولت متر را از دو سر خازن  $C_2$  جدا کنید و ولتاژ بین

نقاط A و B را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{AB} = \dots\dots\dots V \text{ ولتاژ خروجی دو برابر کننده ولتاژ}$$

در صورتی که نتوانستید به سوال‌های (۱) و (۲) پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت‌های قبلی مراجعه و مطالب را دوباره مرور کنید.

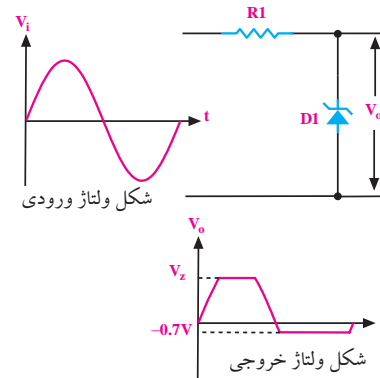
#### ۴-۹-۱۱ نتایج آزمایش:

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



#### ۱۰-۱۱ مدار کلیپر قیچی کننده (Clipper)

با استفاده از دیود زنر<sup>۱</sup> می‌توان مداری را طراحی کرد که دامنه‌ی سیگنال‌های ورودی را محدود کند. شکل ۵۸-۱۱ یک مدار محدودکننده‌ی ساده را نشان می‌دهد.

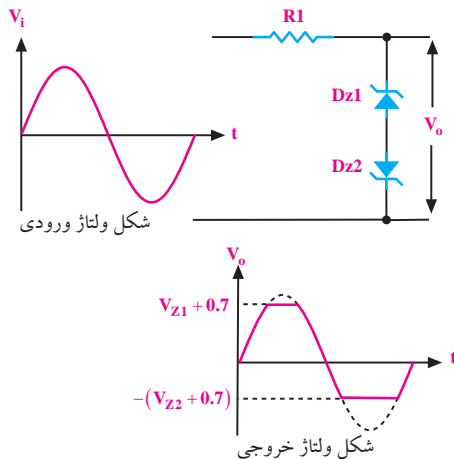


شکل ۵۸-۱۱ یک نمونه مدار محدود کننده‌ی دامنه و شکل موج خروجی آن

با توجه به شکل ۵۸-۱۱ در نیم‌سیکل مثبت، مادامی که دامنه‌ی سیگنال ورودی به  $V_z$  نرسیده است دیود زنر قطع است و ولتاژهای ورودی و خروجی با یکدیگر برابرند ( $V_o = V_i$ ). به

مجرد این که دامنه‌ی ولتاژ ورودی کمی بیش‌تر از  $V_z$  می‌شود، دیود زنر به منطقه‌ی هدایت می‌رود و ولتاژ دو سر آن ثابت باقی می‌ماند. در ادامه‌ی نیم‌سیکل به محض این که ولتاژ ورودی کم‌تر از  $V_z$  شود، دیود به ناحیه‌ی قطع می‌رود و  $V_o = V_i$  می‌شود. در نیم‌سیکل منفی اگر دامنه‌ی ولتاژ به  $0.7$  ولت برسد، دیود هادی می‌شود و ولتاژ دو سر آن که در حقیقت همان ولتاژ خروجی در نیم‌سیکل منفی است روی  $0.7$  ولت ثابت باقی می‌ماند.

اگر بخواهیم دامنه‌ی سیگنال ورودی را در هر دو نیم‌سیکل مثبت و منفی روی دامنه‌ی دلخواه محدود کنیم، می‌توانیم مدار شکل ۵۹-۱۱ را به کار ببریم.



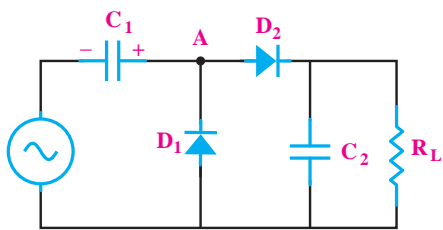
شکل ۵۹-۱۱ محدود کننده‌ی دامنه به کمک دو دیود زنر

در مدار شکل ۵۹-۱۱ در نیم‌سیکل مثبت دامنه‌ی ورودی در حد  $(V_{Z1} + 0.7)$  و در نیم‌سیکل منفی در حد  $-(V_{Z2} + 0.7)$  محدود می‌شود.

#### ۱۱-۱۱ مدار کلمپر یا مهار کننده (clamper)

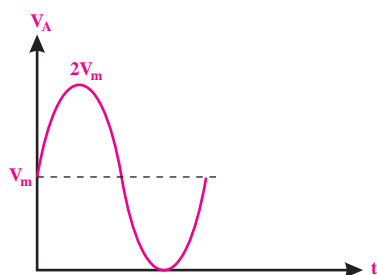
در مدار کلمپر یا مهار کننده، به سیگنال ورودی مؤلفه‌ی ولتاژ DC اضافه می‌شود. به عبارت دیگر، به کمک مدار کلمپر می‌توان سیگنال را در جهت عمودی جابه‌جا کرد. در شکل ۶۰-۱۱ عملکرد مدار کلمپر نشان داده شده است.

۱- دیود زنر قطعه‌ای است که در بایاس مخالف کار می‌کند و در بایاس مستقیم مانند دیود معمولی عمل می‌کند. در فصل ۱۲ درباره این دیود توضیح داده شده است.



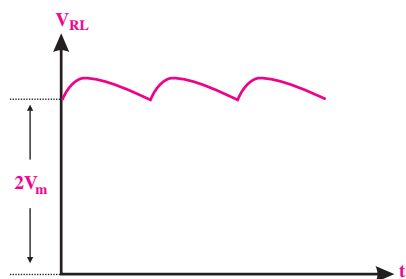
شکل ۱۱-۶۳ آشکار ساز پیک تو پیک

دیود  $D_1$  و خازن  $C_1$  به عنوان مهار کننده‌ی مثبت عمل می‌کنند. یعنی ولتاژ سینوسی را در جهت مثبت به اندازه‌ی  $V_m$  جابه‌جا می‌نمایند. شکل موج ولتاژ نقطه‌ی A در نهایت به صورت شکل ۱۱-۶۴ در می‌آید.



شکل ۱۱-۶۴ شکل موج نقطه A در شکل ۱۱-۶۳

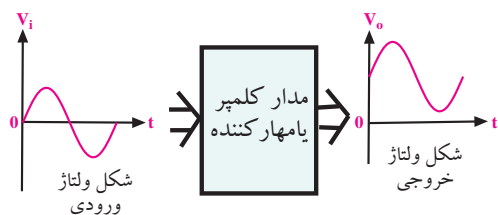
دیود  $D_2$  و خازن  $C_2$  به عنوان آشکار ساز پیک عمل می‌کنند. به طور معمول ثابت زمانی  $R_L C_2$  باید خیلی بزرگتر از پریود سیگنال ورودی باشد تا مدار بتواند عمل کند. شکل موج دو سر بار را در شکل ۱۱-۶۵ نشان داده‌ایم.



شکل ۱۱-۶۵

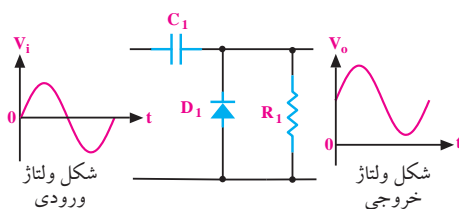
به مداری که عمل فوق را انجام می‌دهد، آشکار ساز

پیک تو پیک می‌گویند.

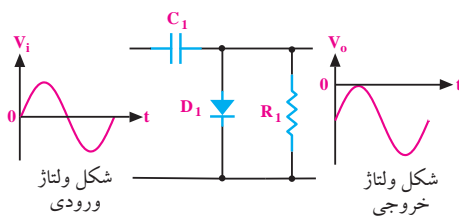


شکل ۱۱-۶۰ عملکرد مدار کلمپر

به کمک خازن و دیود می‌توان یک مدار کلمپر ساخت. در شکل‌های ۱۱-۶۱ و ۱۱-۶۲ دو نمونه مدار کلمپر ساده نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۶۱ یک نمونه مدار کلمپر که سیگنال را در جهت عمودی (مثبت) جابجا می‌کند.



شکل ۱۱-۶۲ یک نمونه مدار کلمپر که سیگنال را در جهت عمودی (منفی) جابجا می‌کند.

## ۱۱-۱۲ آشکار ساز نوک به نوک

### peak to peak detector

چنانچه یک مدار مهار کننده‌ی DC و یک آشکار ساز پیک (یکسوساز پیک) را پشت سر هم ببندیم، یک مدار آشکار ساز پیک تو پیک شکل می‌گیرد. به مدار آشکار ساز پیک تو پیک، آشکار ساز نوک به نوک نیز می‌گویند. مدار این آشکار ساز در شکل ۱۱-۶۳ رسم شده است.

## ۱۳-۱۱ آزمایش شماری (۵)

زمان اجرا: ۵ ساعت آموزشی

### ۱۳-۱۱ هدف آزمایش:

اندازه گیری و مشاهده ی ولتاژ خروجی مدار کلیپر و مدار

کلمپر

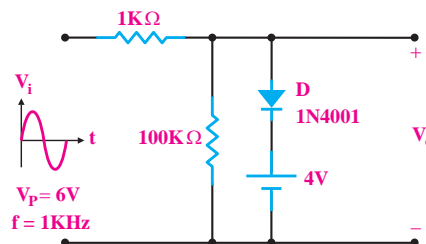
### ۱۳-۱۱-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد/مقدار
۱	اسیلوسکوپ دو کاناله	یک دستگاه
۲	سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۳	منبع تغذیه DC	یک دستگاه
۴	بردبرد	یک قطعه
۵	دیود زنر ۲/۷V یا نوع دیگر	دو عدد
۶	دیود ۱N۴۰۰۱ یا معادل آن	یک عدد
۷	خازن ۲۵V، ۴۷۰μf	یک عدد
۸	مقاومت $\frac{1}{2}W$ و ۱KΩ	یک عدد
۹	مقاومت $\frac{1}{2}W$ و ۱۰۰KΩ	یک عدد

### ۱۳-۱۱-۳ مراحل آزمایش:

■ مدار شکل ۱۱-۶۶ را روی بردبرد ببندید. سیگنال

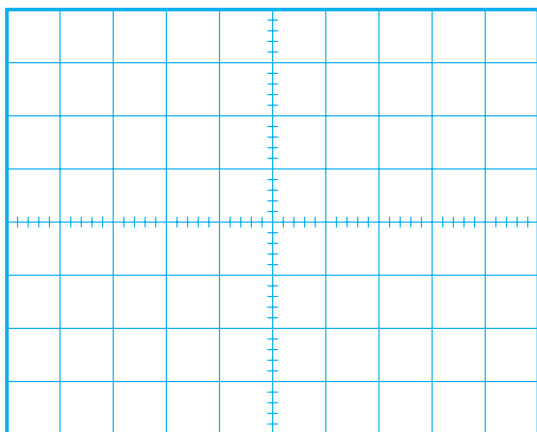
ژنراتور صوتی را به ورودی آن متصل کنید.



شکل ۱۱-۶۶

■ به وسیله ی اسیلوسکوپ شکل موج ولتاژهای ورودی

و خروجی را در نمودار شکل ۱۱-۶۷ رسم کنید.



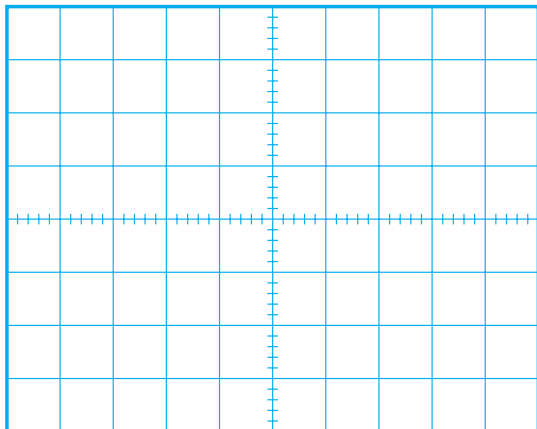
شکل ۱۱-۶۷

■ در شکل ۱۱-۶۷ جهت دیود را معکوس کنید.

■ شکل موج ولتاژهای ورودی و خروجی را به وسیله ی

اسیلوسکوپ مشاهده کنید و با مقیاس مناسب در نمودار شکل

۱۱-۶۸ رسم نمایید.



شکل ۱۱-۶۸

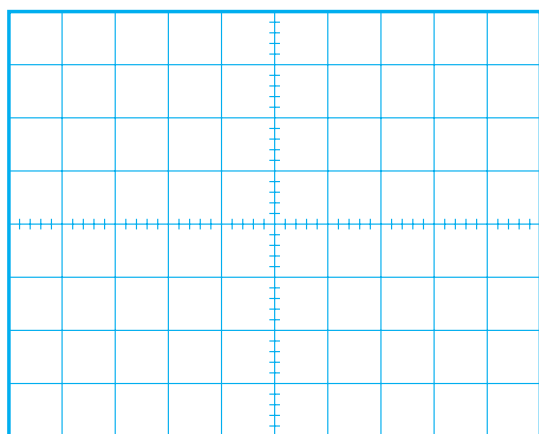
■ ولتاژ برش را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

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

■ مدار شکل ۱۱-۶۹ را روی بردبرد ببندید.

■ سیگنال ژنراتور صوتی را به ورودی مدار متصل کنید.

■ به وسیله‌ی اسیلوسکوپ، شکل موج‌های ورودی و خروجی را مشاهده کنید و آن را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۱۱-۷۲ رسم نمایید.

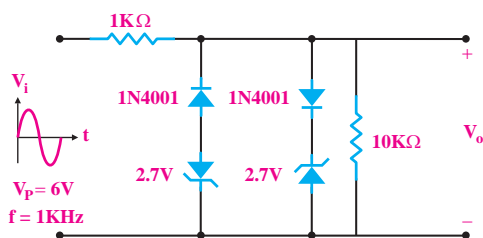


شکل ۱۱-۷۲

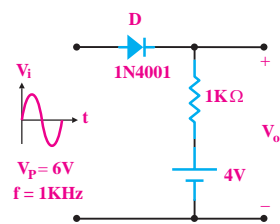
■ ولتاژ پیک تو پیک خروجی  $V_{O_{p-p}}$  را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{O_{p-p}} = \dots\dots\dots V$$

■ مدار شکل ۱۱-۷۳ را روی بردبرد ببندید.



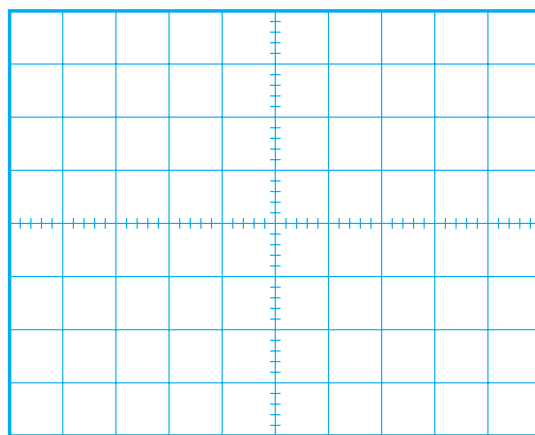
شکل ۱۱-۷۳



شکل ۱۱-۶۹

■ سیگنال ژنراتور صوتی را به ورودی مدار متصل کنید.

■ شکل موج ولتاژهای ورودی و خروجی را به وسیله‌ی اسیلوسکوپ مشاهده کنید و آن را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۱۱-۷۰ رسم نمایید.

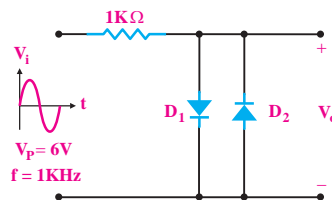


شکل ۱۱-۷۰

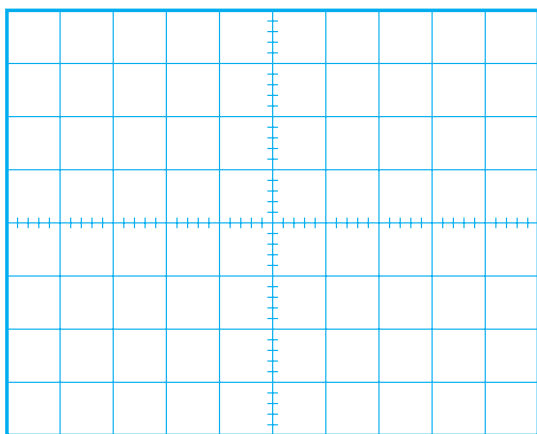
■ ولتاژ برش را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

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

■ مدار شکل ۱۱-۷۱ را روی بردبرد ببندید.



شکل ۱۱-۷۱



شکل ۱۱-۷۶

■ ولتاژ DC خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

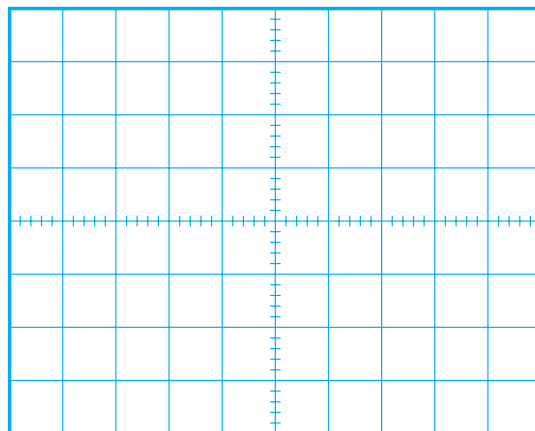
$$V_{odc} = \dots\dots\dots V$$

#### ۴-۱۳-۱۱ نتایج آزمایش:

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



■ سیگنال ژنراتور صوتی را به ورودی مدار متصل کنید.  
 ■ به وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج‌های ورودی و خروجی را مشاهده کنید و آن را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۱۱-۷۴ رسم نمایید.

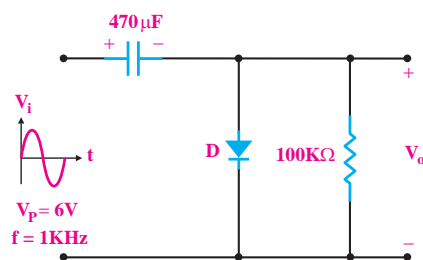


شکل ۱۱-۷۴

■ ولتاژ پیک تو پیک خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{o_{p-p}} = \dots\dots\dots V$$

■ مدار شکل ۱۱-۷۵ را روی بردبرد ببندید.



شکل ۱۱-۷۵

■ سیگنال ژنراتور صوتی را به ورودی مدار متصل کنید.

■ به وسیله‌ی اسیلوسکوپ، شکل موج ولتاژهای ورودی و خروجی را مشاهده کنید و آن را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۱۱-۷۶ رسم کنید.





۱- طرز کار مدار یکسوساز نیم موج را شرح دهید.



۲- مقدار متوسط ولتاژ خروجی مدار یکسوساز نیم موج

را محاسبه کنید.



۳- مقدار متوسط یک موج سینوسی یکسوشده به صورت

تمام موج برابر با ..... است.

$$\begin{array}{ll} \text{الف) } \frac{V_m}{\pi} & \text{ب) } \frac{V_m}{2\pi} \\ \text{ج) } \frac{2V_m}{\pi} & \text{د) } \frac{4V_m}{\pi} \end{array}$$

۴- نقش خازن صافی در یکسو کننده کدام است؟

الف) تبدیل ولتاژ ضربان دار خروجی به ولتاژ ثابت

ب) تبدیل ولتاژ ضربان دار ورودی به ولتاژ ثابت

ج) تبدیل جریان ضربان دار خروجی به جریان ثابت

د) حذف فرکانس های زیاد و کم

۵- ترانسفورماتور تغذیه عموماً ..... است.

الف) کاهنده      ب) افزایشنده

۶- یک مزیت استفاده از ترانسفورماتور در قسمت تغذیه ی

دستگاه ها، ایزوله کردن مدار از برق شهر است.

☐ صحیح      ☐ غلط

۷- خرابی های ترانس تغذیه کدامند؟

الف) اتصال کوتاه کامل

ب) قطع شدن سیم پیچ اولیه یا ثانویه

ج) نیم سوز شدن و اتصال سیم به بدنه و هسته

د) همه ی موارد

۸- عملکرد کلید ۲۲۰/۱۱۰ را در منابع تغذیه با

ترانسفورماتور شرح دهید.



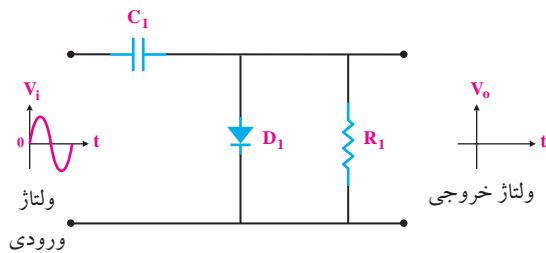
۹- مدار یک آشکار ساز پیک تو پیک را رسم کنید و راجع به نحوه عملکرد آن توضیح دهید.



۱۱- افزایش ولتاژ به کمک مدارهای چند برابر کننده ولتاژ فقط برای جریانهای بسیار کم امکان پذیر است.

☐ صحیح
 ☐ غلط

۱۲- شکل موج خروجی مدار شکل ۱۱-۷۷ را رسم کنید.



شکل ۱۱-۷۷



۱۰- یک نمونه مدار کلیپر را رسم کنید و عملکرد آن را توضیح دهید.



## فصل دوازدهم

### کار با دیودهای خاص

**هدف کلی:** آشنایی با دیودهای خاص و ترانزیستور و مدار عملی تثبیت کننده ولتاژ با دیود زener

هدف های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می رود که:



- ۱- ساختمان دیود زener را شرح دهد.
- ۲- منحنی مشخصه «ولت-آمپر» دیود زener را در بایاس موافق و بایاس مخالف رسم کند.
- ۳- طرز کار دیود زener را شرح دهد.
- ۴- مدار ساده‌ی یک تنظیم کننده ولتاژ به کمک دیود زener را توضیح دهد.
- ۵- خصوصیات دیود اتصال نقطه‌ای را شرح دهد.
- ۶- عملکرد دیود خازنی را توضیح دهد.
- ۷- علامت قرار دادی دیود خازنی را رسم کند.
- ۸- خصوصیات دیود شاتکی را توضیح دهد.
- ۹- نحوه‌ی عملکرد دیود نور دهنده (LED) را توضیح دهد.
- ۱۰- اساس کار زوج نوری یا پتو کولر را با رسم مدار توضیح دهد.
- ۱۱- منحنی مشخصه دیود تونلی را رسم کند.
- ۱۲- خاصیت مقاومت منفی را شرح دهد.
- ۱۳- مدارهای کاربردی دیود تونلی را تشریح کند.
- ۱۴- چگونگی کار دیود وریستور را شرح دهد.
- ۱۵- چند روش مختلف نام گذاری دیودها را به اختصار توضیح دهد.
- ۱۶- مشخصات یک نوع دیود را از برگه‌ی (داده‌ها) استخراج کند.
- ۱۷- یک مدار تنظیم کننده ولتاژ را با استفاده از یک دیود زener به طور عملی مورد آزمایش قرار دهد.
- ۱۸- ساختمان یک ترانزیستور معمولی را شرح دهد.
- ۱۹- نحوه‌ی تشخیص پایه‌های یک ترانزیستور را به کمک یک مولتی متر دیجیتالی به طور عملی اجرا کند.
- ۲۰- اهداف رفتاری در حیطه‌ی عاطفی را که در فصل اول بخش اول کتاب به آنها اشاره شده است، در این بخش نیز اجرا کند.

ساعت آموزش			توانایی شماره ۱۲ و بخشی از ۱۳
نظری	عملی	جمع	
۶	۶	۱۲	



## پیش آزمون فصل (۱۲)

الف) خازنی      ب) شاتکی

ج) LED      د) تونلی

۷- کدام جمله در مورد دیود اپتوکوپلر صحیح است؟

الف) وقتی ولتاژ ورودی را تغییر دهیم، میزان نور LED و جریان خروجی تغییر می کند.

ب) مزیت اصلی این دیود در ایزوله کردن مدار خروجی از مدار ورودی است.

ج) زوج نوری یک جفت دیود نوردهنده و دیود نوری است.

د) همه ی موارد

۸- در دیود ..... افزایش ولتاژ مستقیم باعث کاهش جریان دیود می شود.

۹- دیود **AB312** ..... از جنس ..... است.

الف) زنر- سیلیکون

ب) واراکتور- ژرمانیوم

ج) یکسو کننده ی قدرت- سیلیکون

د) معمولی- ژرمانیوم

۱۰- رابطه ی بین جریان پایه ها در ترانزیستور کدام است؟

الف)  $I_E = I_C + I_B$       ب)  $I_C = I_E + I_B$

ج)  $I_B = I_C + I_E$       د) بستگی به نوع ترانزیستور دارد

۱۱- اتصال کلکتور به بیس نسبت به امیتر - بیس در

ولتاژ موافق، مقاومت کم تری دارد.

صحیح ☐ غلط ☐

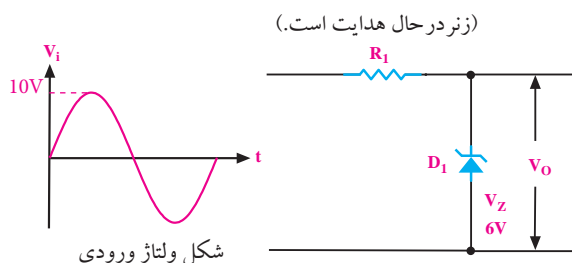
۱- دیود زنر در بایاس موافق مانند یک دیود معمولی یکسو کننده عمل می کند.

صحیح ☐ غلط ☐

۲- توان مجاز یک دیود زنر، ۵ وات و ولتاژ شکست آن ۵ ولت است، ماکزیمم جریان مجاز دیود زنر چند آمپر است؟

الف) ۲۵      ب) ۱۰      ج) ۱      د) ۰/۱

۳- ولتاژ خروجی مدار شکل زیر را رسم کنید.



۴- کدام دیود برای یکسوسازی ولتاژ متناوب در

فرکانس های خیلی زیاد به کار می رود؟

الف) یکسو کننده ی معمولی

ب) اتصال نقطه ای

ج) خازنی

د) زنر

۵- دیود ..... یک اتصال PN است که در حالت معکوس

به کار می رود.

۶- شکل زیر، علامت قرار دادی کدام دیود است؟



## ۱۲-۱ دیود زنر

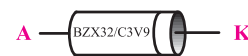
### ۱۲-۱-۱ ساختمان دیود زنر

دیود زنر یک اتصال PN است که در بایاس موافق مانند یک دیود معمولی یکسوکننده عمل می‌کند. در بایاس مخالف تحت ولتاژ خاصی که آن را ولتاژ زنر می‌نامند دیود ناگهان هادی می‌شود و جریان را از خود عبور می‌دهد. در این حالت ولتاژ دو سر آن تقریباً ثابت می‌ماند. در شکل ۱۲-۱ ساختمان داخلی دیود زنر را مشاهده می‌کنید.



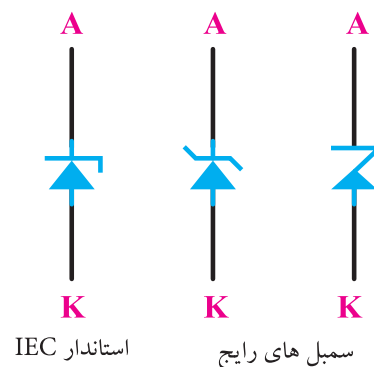
شکل ۱۲-۱ ساختمان داخلی دیود زنر

در شکل ۱۲-۲ یک نمونه دیود زنر را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۲-۲ یک نمونه دیود زنر

زنر (Zener) نام دانشمندی است که اولین بار در سال ۱۹۳۴ این پدیده‌ی جالب را اختراع کرد. با تغییر میزان ناخالصی در نیمه‌های نوع P و N می‌توان ولتاژ هادی شدن دیود زنر را در بایاس معکوس تعیین کرد. نیمه‌های به کار برده شده در دیود زنر سیلیکون است. دیود زنر را با علامت قراردادی شکل ۱۲-۳ نشان می‌دهد.

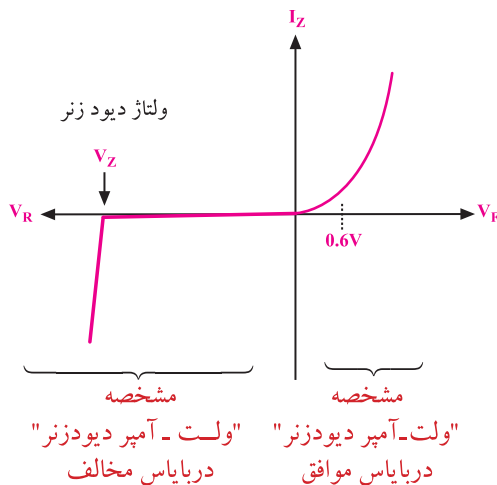


شکل ۱۲-۳ علامت‌های قراردادی دیود زنر

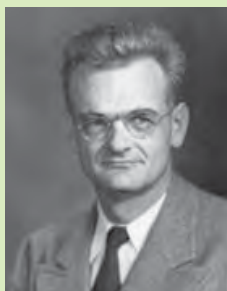
## ۱۲-۱-۲ منحنی مشخصه «ولت-آمپر» دیود زنر

دیود زنر در بایاس موافق مانند یک دیود معمولی یکسوکننده عمل می‌کند، بنابراین منحنی مشخصه «ولت - آمپر» دیود زنر در بایاس موافق مانند یک دیود معمولی است.

در بایاس مخالف، دیود زنر در ولتاژ معینی هادی می‌شود که آن را **ولتاژ زنر** می‌نامند. پس از هادی شدن دیود زنر، ولتاژ دو سر آن ثابت باقی می‌ماند. بنابراین منحنی مشخصه ولت-آمپر دیود زنر مانند شکل ۱۲-۴ است.



شکل ۱۲-۴ منحنی مشخصه «ولت-آمپر» دیود زنر



۱۲-۵

دکتر کلارنس ملوین زنر:  
دکترای فیزیک، استاد دانشگاه.  
متولد ۱۹۰۵، مخترع خاصیت  
زنر و شکست دیود زنر است.  
اودر سن ۸۷ سالگی در سال  
۱۹۹۳ دیده از جهان فروبست.

### ۳-۱-۱۲ ولتاژ و توان دیود زنر

$$P_Z = 5W$$

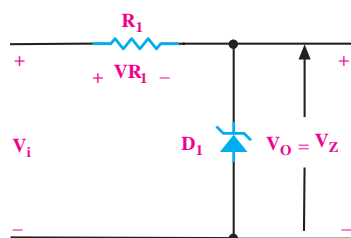
$$V_Z = 6/2V$$

$$I_Z = \frac{P_Z}{V_Z} = \frac{5W}{6/2} = 0/806A \Rightarrow 806mA$$

ماکزیمم جریان مجاز دیود زنر برابر ۸۰۶ میلی آمپر است.

### ۲-۱۲ تنظیم کننده ولتاژ با استفاده از دیود زنر

وقتی دیود زنر در بایاس معکوس به کار می رود و ولتاژ بایاس معکوس آن از ولتاژ زنر بیشتر می شود، دیود زنر هدایت می کند و ولتاژ دو سر آن تقریباً ثابت باقی می ماند. از این خاصیت دیود زنر برای تنظیم ولتاژ و ثابت نگه داشتن ولتاژ استفاده می شود. شکل ۶-۱۲ یک نمونه تنظیم کننده ولتاژ ساده را به کمک دیود زنر نشان می دهد.



شکل ۶-۱۲- یک تنظیم کننده ولتاژ نسبتاً ساده

در مدار شکل ۶-۱۲، رابطه ی زیر همواره برقرار است.

$$V_i = V_R + V_Z$$

در رابطه ی بالا مقدار  $V_Z$  تقریباً ثابت است. حال اگر

$V_i$  افزایش یابد  $V_R$  نیز زیاد می شود و اگر  $V_i$  کم شود  $V_R$  نیز کم می شود. بنابراین تغییرات ولتاژ ورودی به  $V_R$  منتقل می شود، شکل ۷-۱۲.

$$\begin{aligned} V_i \uparrow &= V_R \uparrow + V_Z \\ V_i \downarrow &= V_R \downarrow + V_Z \end{aligned}$$

معمولاً ولتاژ شکست دیودهای زنر را با استاندارد E24

می سازند. هم چنین هر دیود زنر دارای توان معینی است. در جدول ۱-۱۲ رایج ترین توان های دیود زنر (۵W، ۰/۳W، ۱W و ۵W)، با توجه به ولتاژهای متناسب با این توان ها مشخص شده اند. یادآور می شود دیودهایی با توان ۱W و ۲W و ۱۰W نیز ساخته می شوند.

جدول ۱-۱۲

ولتاژ زنر		توان زنر								
		۵W			۱/۳W			۰/۵W		
		۵/۱V	۱۰۰V	۴/۷V	۱۱V	۲۷V	۶۲V	۲/۷V	۶/۲V	۱۵V
		۵/۶V	۲۰۰V	۵/۱V	۱۲V	۳۰V	۶۸V	۳/۰۷V	۶/۸V	۱۶V
		۶/۲V		۵/۶V	۱۳V	۳۳V	۷۵V	۳/۳V	۷/۵V	۱۸V
		۶/۸V		۶/۲V	۱۵V	۳۶V	۱۰۰V	۳/۶V	۸/۲V	۲۰V
		۱۰V		۳/۹V	۱۶V	۳۹V	۲۰۰V	۳/۹V	۹/۱V	۲۴V
		۱۱V		۴/۳V	۱۸V	۴۳V		۴/۳V	۱۰V	۲۷V
		۱۲V		۴/۷V	۲۰V	۴۷V		۴/۷V	۱۱V	۳۰V
		۱۵V		۵/۱V	۲۲V	۵۱V		۵/۱V	۱۲V	
		۲۰V		۵/۶V	۲۴V	۵۶V		۵/۶V	۱۳V	

در مدارهای الکتریکی دیودهای زنر ۵/۰ وات بیشترین

کاربرد را دارند. امروزه دیودهای زنر با توان های زیاد مثلاً بالای یک وات، کاربرد کمتری دارند. به جای دیودهای زنر توان بالا، قطعات ترکیبی الکترونیکی دیگری ساخته شده اند که عملکرد بسیار بهتری از دیودهای زنر دارند. در یک دیود زنر رابطه ی زیر همیشه برقرار است.

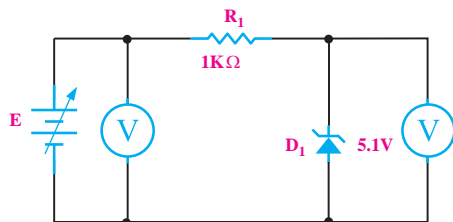
$$P_Z = V_Z \cdot I_Z \quad \text{و} \quad I_Z = \frac{P_Z}{V_Z}$$

بنابراین با توجه به این توان دیود زنر و ولتاژ زنر، ماکزیمم

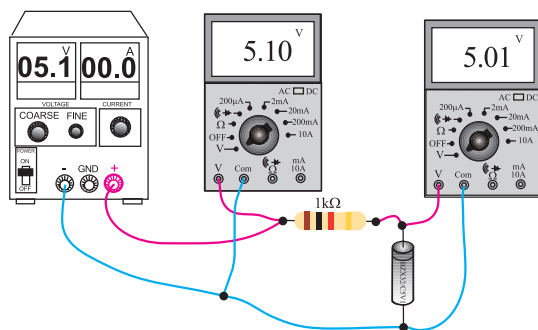
جریان مجاز دیود زنر قابل محاسبه است. در مدار الکترونیکی باید به این مسئله توجه کرد.

### ۳-۱۲ مراحل اجرای آزمایش:

- منبع تغذیه را روشن کنید.
- ولتاژ خروجی را روی ۵ ولت تنظیم کنید
- مدار شکل ۸-۱۲ را ببندید.



الف - شماتیک مدار



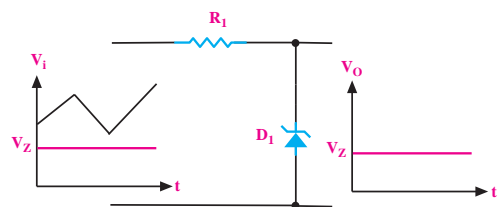
ب - مدار علمی

شکل ۸-۱۲ مدار آزمایش

- رنج ولت‌مترها را روی AUTO یا ۲۰V قرار دهید.
- ولتاژ خروجی را (به ازای  $V_i = 5V$ ) بخوانید و در جدول ۲-۱۲ یادداشت کنید.

جدول ۲-۱۲

ولتاژ ورودی $V_i$ (V)	ولتاژ خروجی $V_o$ (V)
۵	
۶	
۹	
۱۱	
۱۳	
۱۵	



شکل ولتاژ ورودی

شکل ولتاژ خروجی

شکل ۷-۱۲- تغییرات ولتاژ ورودی به مقدار خیلی کم به خروجی منتقل می شود.

مقدار  $R$  یعنی مقاومت سری شده با دیود زنر را باید طوری محاسبه کنیم که در بدترین حالت که ماکزیمم ولتاژ ورودی وجود دارد. جریان دیود زنر از مقدار  $I_Z = \frac{P_Z}{V_Z}$  بیشتر نشود.

مدار تنظیم کننده‌ی ولتاژ را رگولاتور Regulator نیز می‌نامند.

### ۳-۱۲ آزمایش شماره‌ی (۱) تنظیم کننده‌ی ولتاژ

مدت زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

#### ۱-۳-۱۲ هدف آزمایش:

بررسی و آزمایش مدار تنظیم کننده‌ی ولتاژ (رگولاتور) ساده با استفاده از دیود زنر

#### ۲-۳-۱۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

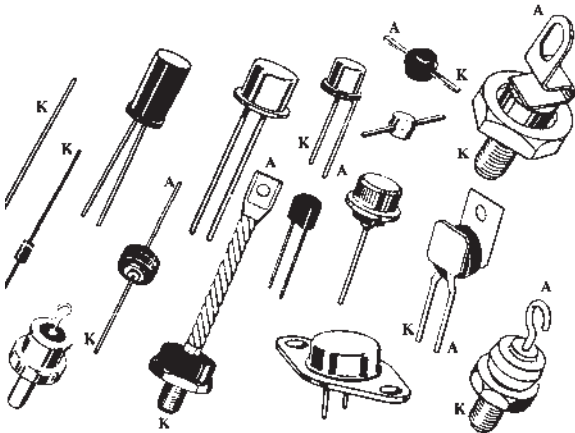
ردیف	نام و مشخصات	تعداد/مقدار
۱	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۲	منبع تغذیه ۱۵V/۱A	یک دستگاه
۳	مقاومت $1K\Omega$	یک عدد
۴	دیود زنر ۵V/۱A	یک عدد
۵	سیم رابط دو سر گیره سوسماری	چهار رشته
۶	سیم رابط یک سر گیره سوسماری	چهار رشته

## ۴-۱۲ انواع دیودها

به کمک نیمه هادی‌های نوع N و P انواع دیود را با کاربردهای ویژه نیز می‌سازند. در ادامه‌ی بحث تعدادی از انواع این دیودها را به اختصار مورد بررسی قرار می‌دهیم. تاکنون دیود معمولی و دیود زنر را بررسی کردیم.

### ۱-۴-۱۲ دیود یکسوساز معمولی: این دیود را در

مباحث قبلی مورد بررسی قرار دادیم و یادآور می‌شود که دیودهای یکسوساز معمولی برای جریان‌های متوسط ( $I_F$ ) حدود  $50\text{ mA}$  تا چند صد آمپر ساخته می‌شوند و در محدوده فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز کار می‌کنند. برای یکسوسازی در فرکانس‌های بالا باید از دیودهای سریع استفاده کنیم. دیودهای سریع گران قیمت هستند و در بازار به سادگی یافت نمی‌شوند. در شکل ۹-۱۲ نمونه‌هایی از دیودهای یکسوکننده‌ی معمولی نشان داده شده‌اند.



شکل ۹-۱۲ نمونه‌هایی از دیودهای معمولی یکسوساز

### ۲-۴-۱۲ دیود اتصال نقطه‌ای

این دیود برای یکسوسازی ولتاژ متناوب در فرکانس‌های خیلی زیاد ساخته می‌شود، جنس این دیود ممکن است ژرمانیوم یا سیلیسیوم باشد. دیود اتصال نقطه‌ای برای آشکار سازی امواج دریافت شده در رادیو و تلویزیون به کار می‌رود.

■ ولتاژ ورودی را کمی افزایش دهید تا ولت متر ( $V_i$ )

مقدار ۶ ولت را نشان دهد. در این حالت ولتاژ  $V_o$  را با استفاده از ولت متر اندازه بگیرید و در جدول ۲-۱۲ مقابل  $V_i=6V$  یادداشت کنید.

■ ولتاژ ورودی را مطابق جدول ۲-۱۲ افزایش دهید

و ولتاژهای خروجی را در هر مرحله اندازه بگیرید و در جدول ۲-۱۲ بنویسید تا جدول تکمیل شود.

■ با بررسی جدول ۲-۱۲ در می‌یابیم که در برابر تغییرات

زیاد ولتاژ ورودی، ولتاژ خروجی تغییر محسوسی نکرده است، لذا می‌توان گفت که ولتاژ خروجی تقریباً ثابت باقی مانده است.



معمولاً به خروجی رگولاتوری که فقط از یک دیود زنر تشکیل شده باشد بار متغیر وصل نمی‌کنند. با توجه به مقدار مقاومت ثابت ( $R_1$ ) سری شده، دیود زنر را طوری محاسبه می‌کنند که شرایط زیر برقرار باشد.

■ ولتاژ ورودی بیشتر از ولتاژ دیود زنر شود تا دیود هدایت کند و ولتاژ خروجی را ثابت نگه دارد.

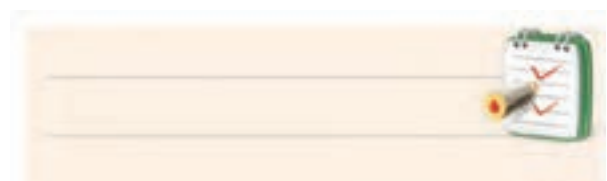
■ توان تلف شده در دیود زنر از مقدار توان مجاز بیشتر نشود.

■ از رگولاتورهای زنری معمولاً در جریان‌های مصرفی کمتر از  $100\text{ mA}$  استفاده می‌شود.

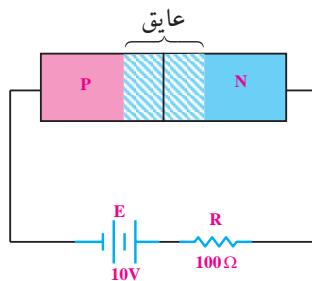
## ۴-۳-۱۲ نتایج آزمایش:

آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به اختصار شرح

دهید.

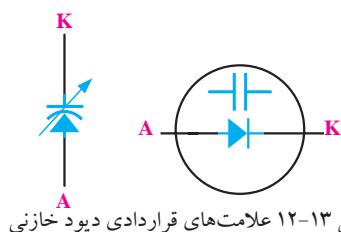






شکل ۱۲-۱۲ لایه‌ی سد به عنوان خازن متغیر

چنانچه دیود را با این شرایط به کار ببریم، دیود خازنی یا واراکتور و یا واری کپ شکل می‌گیرد. با تغییر ولتاژ معکوس دوسر این نوع دیود، ظرفیت خازنی آن تغییر می‌کند. ظرفیت دیودهای خازنی در محدوده‌ی پیکوفاراد (PF) است و آن را با نماد شکل ۱۲-۱۳ نمایش می‌دهند.



شکل ۱۲-۱۳ علامت‌های قراردادی دیود خازنی

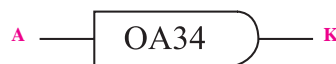
#### ۱۲-۴-۴ دیود شاتکی

دیودهای معمولی اتصال PN نمی‌توانند خیلی سریع قطع و وصل شوند. برای بالا بردن سرعت قطع و وصل در یک دیود، مثلاً چند میلیارد بار در ثانیه، از دیودهای شاتکی استفاده می‌کنند. دیودهای شاتکی از نیمه هادی و فلز تشکیل می‌شود و زمان تاخیر این نوع دیودها بسیار کم است. علامت قرار دادی این دیود در شکل ۱۲-۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۲-۱۴ علامت قراردادی دیود شاتکی

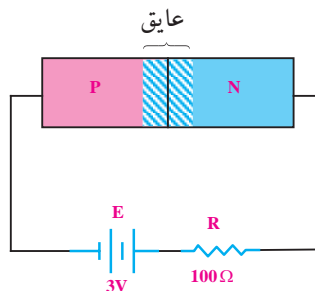
شکل ظاهری این دیود با سایر دیودها تفاوت چندانی ندارد ولی برخی از آنها دارای بدنه‌ی شیشه‌ای هستند. ماکزیمم جریان مجاز و توان دیود اتصال نقطه‌ای بسیار کم است. در شکل ۱۲-۱۰ یک نمونه دیود اتصال نقطه‌ای را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۲-۱۰ یک دیود اتصال نقطه‌ای

#### ۱۲-۴-۳ دیود خازنی

وقتی یک اتصال PN (دیود) در بایاس معکوس قرار می‌گیرد، لایه‌ی سد یعنی لایه‌ای که هیچ بار الکتریکی و یا الکترون در آن وجود ندارد، می‌تواند به عنوان خازن عمل کند، شکل ۱۲-۱۱.



شکل ۱۲-۱۱ اتصال PN در بایاس معکوس

با افزایش ولتاژ معکوس، عرض لایه‌ی سد، بیشتر می‌شود، شکل ۱۲-۱۲.

بنابراین با تغییر ولتاژ، دیود را می‌توان به عنوان یک خازن متغیر در نظر گرفت. در این حالت هادی نوع P و N به عنوان دو جوشن خازن و لایه‌ی سد به عنوان دی‌الکتریک خازن عمل می‌کنند.

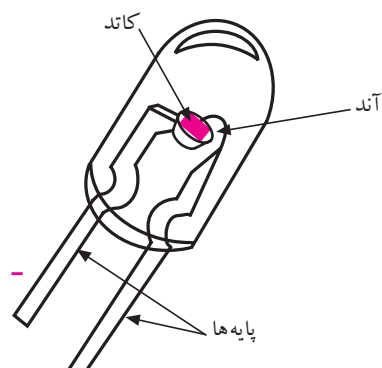
### ۵-۴-۱۲ دیود نور دهنده (LED)

LED ها، دیودهای مخصوصی هستند که اگر در بایاس موافق (مستقیم) قرار گیرند، از خود نور ساطع می کنند. در شکل ۱۵-۱۲ یک نمونه دیود LED نشان داده شده است.



شکل ۱۵-۱۲ یک نمونه LED

ساختمان داخلی یک LED، از یک اتصال ویک انعکاس دهنده ی نور تشکیل شده است. در شکل ۱۶-۱۲ ساختمان داخلی یک LED را مشاهده می کنید.



شکل ۱۶-۱۲ ساختمان داخلی یک LED

نور ساطع شده از LED ها به رنگ قرمز، زرد، سبز و آبی است. شکل فیزیکی قسمت نور دهنده ی این دیودها را به صورت نیم کروی، مربعی و مثلثی می سازند. از دیودهای LED به عنوان لامپ سیگنال در مدارها و دستگاه های الکترونیکی استفاده می شود. در شکل ۱۷-۱۲ نمونه هایی از انواع LED نشان داده شده اند.



شکل ۱۷-۱۲ نمونه هایی از انواع LED

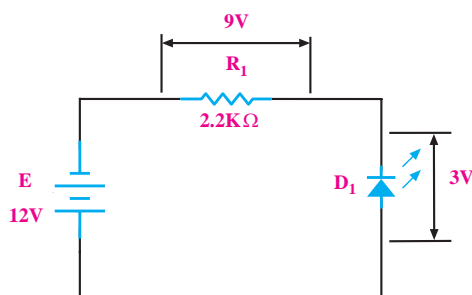
دیود نور دهنده را با علامت قرار دادی شکل ۱۸-۱۲ نشان

می دهند.



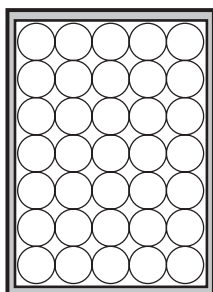
شکل ۱۸-۱۲ علامت قراردادی دیود نور دهنده

هنگام عبور جریان از LED، ولتاژی معادل  $1/7$  تا  $3/3$  ولت در دوسر LED افت می کند. مقدار دقیق افت ولتاژ بستگی به مقدار جریانی دارد که از دیود عبور می کند، شکل ۱۹-۱۲.



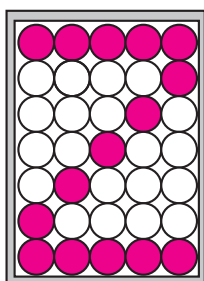
شکل ۱۹-۱۲ نمایش افت ولتاژ در دوسر LED

قطعه‌ی دیگری نیز شامل ۳۵ عدد دیود نور دهنده ساخته شده است که به صفحه‌ی نمایش ماتریسی معروف است. با این نمایشگر ماتریسی می‌توان اعداد و حروف الفبا را نشان داد. در شکل ۱۲-۲۲ این نمایشگر را مشاهده می‌کنید.



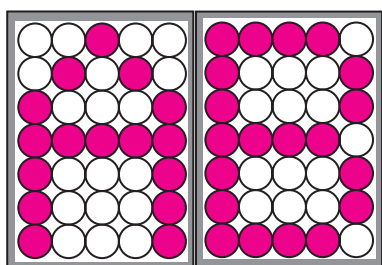
شکل ۱۲-۲۲

در شکل ۱۲-۲۳ چگونگی نمایش Z نشان داده شده است.



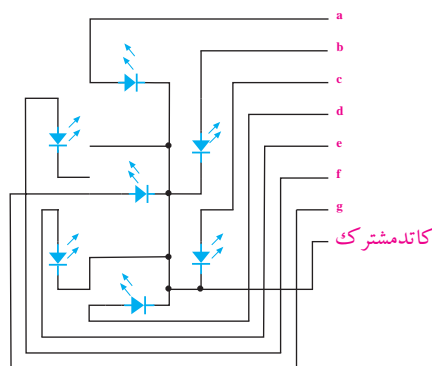
شکل ۱۲-۲۳ نمایش حرف Z

با قرار دادن چند عدد صفحه‌ی نمایش ماتریسی کنار یکدیگر می‌توان متنی را نشان داد. در شکل ۱۲-۲۴ حروف AB به کمک صفحه نمایش ماتریسی نشان داده شده اند.



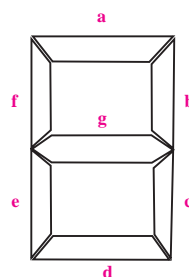
شکل ۱۲-۲۴ صفحه نمایش ماتریسی

یکی دیگر از موارد کاربرد دیود نوردهنده، نمایش اعداد از صفر تا نه است. برای این منظور یک قطعه الکترونیکی متشکل از هفت عدد دیود نور دهنده رامطابق شکل ۱۲-۲۰ می‌سازند. با خاموش و روشن کردن قطعات مختلف به سادگی می‌توان اعداد صفر تا نه را روی نمایشگر به وجود آورد. به این قطعه الکترونیکی **سون- سگمنت** یا هفت قطعه‌ای می‌گویند.



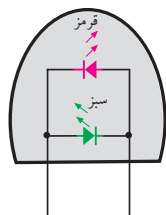
شکل ۱۲-۲۰ ساختمان داخلی سون- سگمنت (کاتد مشترک)

در شکل ۱۲-۲۱ شکل ظاهری یک قطعه سون- سگمنت نشان داده شده است. در شکل ۱۲-۲۱ اگر فقط دیودهای b و c روشن شوند عدد ۱ و اگر قطعات a, b, g, d روشن شوند عدد ۲ نمایش داده می‌شود. سون- سگمنت ها را به صورت آند مشترک و کاتد مشترک می‌سازند.



شکل ۱۲-۲۱ شکل ظاهری سون- سگمنت

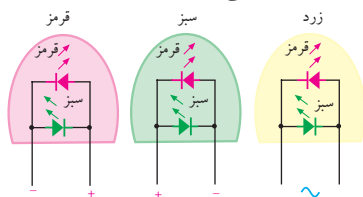
نوع دیگری از LED ها وجود دارند که دو پایه هستند و سه رنگ مختلف تولید می کنند. شکل ۱۲-۲۷ ساختمان داخلی این دیود را نشان می دهد.



شکل ۱۲-۲۷ ساختمان داخلی LED دوپایه‌ی سه رنگ

در شکل ۱۲-۲۸ نحوه‌ی تولید نور به رنگ های قرمز،

سبز و نارنجی را مشاهده می کنید.



شکل ۱۲-۲۸ نحوه‌ی روشن شدن LED به رنگ های قرمز، سبز و زرد

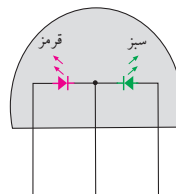
به تازگی دیودهای دیگری به نام UltraBright

LED ساخته شده اند که میزان نور دهی آنها فوق العاده زیاد و ده ها برابر یک LED معمولی است. این دیودها فعلاً به رنگ های آبی، سبز، قرمز و سفید در بازار یافت می شوند. در شکل ۱۲-۲۹ یک نمونه از این دیودها نشان داده شده است.



شکل ۱۲-۲۹ یک نمونه LED با نور فوق العاده زیاد

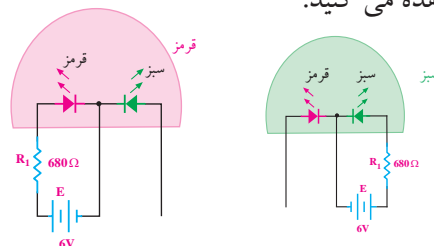
به تازگی LED های دو رنگ نیز به بازار عرضه شده اند. این نوع LED ها، در حقیقت، دو عدد LED مجزا معمولاً به رنگ سبز و قرمز است که مانند شکل ۱۲-۲۵ در داخل یک قطعه معمولی جاسازی شده اند. این دیودها دارای سه پایه هستند که یکی از پایه ها مشترک بوده و دو پایه ی دیگر، هر کدام مربوط به یکی از دیودهاست.



شکل ۱۲-۲۵ LED دو رنگ

در شکل ۱۲-۲۶ نحوه‌ی روشن شدن LED به رنگ قرمز

و سبز را مشاهده می کنید.



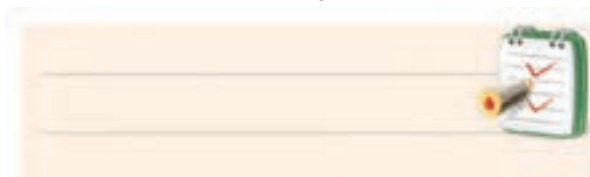
شکل ۱۲-۲۶ نحوه‌ی روشن شدن LED به رنگ قرمز و سبز

اگر هر دو دیود را همزمان روشن کنیم از ترکیب نور سبز و قرمز، نور نارنجی به وجود می آید.

**تمرین کلاسی ۱:** مداری رسم کنید که

توسط آن بتوانید نور نارنجی تولید کنید.

راهنمایی: از شکل ۱۲-۲۶ کمک بگیرید.



از این دیودها اگر جریان  $20\text{mA}$  بگذرد، نور بسیار زیادی از خود تولید می کنند. در جدول ۳-۱۲ افت ولتاژ دو سر دیودها به ازای عبور جریان  $20\text{mA}$  آورده شده است.

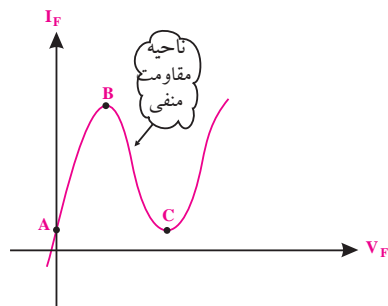
جدول ۳-۱۲

شرایط	$I_F=۲۰\text{mA}$	
رنگ نور منتشر شده	ولتاژ DC موافق $V_f$ بر حسب ولت	
	نامی	حداکثر
آبی	۳/۵	۴
سبز	۳/۵	۴
قرمز	۲	۲/۵

بنابراین با تغییر ولتاژ ورودی ( $V_F$ ) میزان نور LED تغییر می کند و جریان  $I_D$  را تغییر می دهد. با تغییر جریان  $I_D$  ولتاژ دو سر  $R_F$  تغییر می کند. به این ترتیب، بدون این که ارتباط مستقیمی با ولتاژ ورودی داشته باشیم، یک ولتاژ متغیر که دقیقاً از تغییرات ورودی تبعیت می کند، در اختیار کاربر قرار می گیرد. بنابراین مزیت اصلی زوج نوری در ایزوله شدن مدار خروجی از مدار ورودی است، زیرا تنها ارتباط بین دو مدار، مقدار نوری است که از دیود نور دهنده ورودی به دیود نوری خروجی می تابد. این جداسازی بین دو مدار باعث می شود که بتوانیم ارتباط بین دو مداری که ولتاژهای آنها با هم متفاوت است را برقرار کنیم. مثلاً با یک ولتاژ کم (۶ ولت) ولتاژ زیاد (۲۲۰ ولت) را کنترل کنیم.

#### ۷-۴-۱۲ دیود تونلی

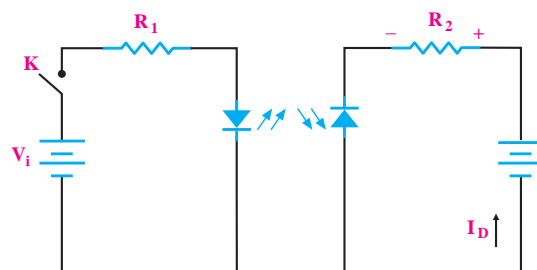
با افزایش میزان ناخالصی، نوع دیگری دیود ساخته می شود که ولتاژ شکست آن صفر است. این نوع دیود را **دیود تونلی** (Tunnel Diode) گویند. دیود تونلی دارای خاصیت مقاومت منفی (Resistance negative) است. به این معنی که در منطقه خاصی از منحنی چنانچه ولتاژ مستقیم را در حالت موافق زیاد کنیم، جریان دیود کم می شود. شکل ۳۱-۱۲ منحنی مشخصه دیود را نشان می دهد.



شکل ۳۱-۱۲ منحنی مشخصه دیود تونلی

#### ۶-۴-۱۲ زوج نوری یا اپتوکوپلر (optocoupler)

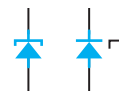
یک جفت دیود نورانی (LED) و دیود نوری است که در یک محفظه قرار می گیرند. در شکل ۳۰-۱۲ اساس کار زوج نوری نشان داده شده است.



در شکل ۳۰-۱۲، اساس کار زوج نوری نشان داده شده است.

در سمتی دیود نور دهنده و در مقابل آن دیود نوری (فتودیود) قرار دارد. با وصل کردن کلید  $K$ ، از دیود نور دهنده جریان عبور می کند و روشن می شود. نور دیود نور دهنده روی فتودیود اثر می گذارد و جریان معکوس عبوری از آن، افت ولتاژی را در دوسر  $R_F$  ایجاد می کند.

نماد فنی دیود تونلی را در شکل ۳۲-۱۲ مشاهده می کنید.



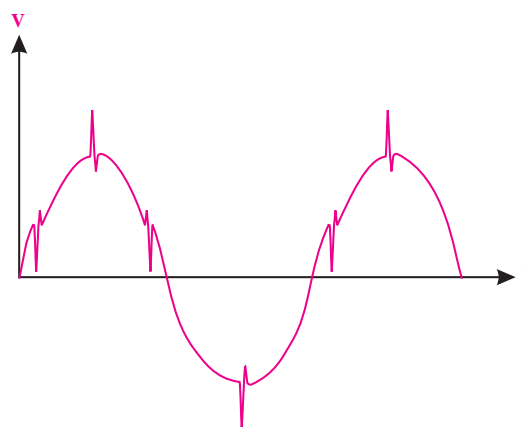
شکل ۳۲-۱۲ نمادهای فنی دیود تونلی

از خاصیت مقاومت منفی دیود تونلی در مدار نوسان ساز فرکانس بالا استفاده می شود. نوسان ساز مداری است که انرژی DC را به سیگنال AC تبدیل می کند.

#### ۸-۴-۱۲ وریستور (Varistor)

برخی از عوامل طبیعی مانند رعد و برق یا پدیده آمدن معایبی در شبکه ی برق، سبب تداخل امواجی روی برق شهر می شود. این تداخل از طریق پالس های سوزنی شکل که روی سیگنال سوار می شوند رخ می دهد. شکل ۳۳-۱۲ نمونه هایی از پالس های سوزنی (SPIKE و DIP) را که روی موج برق شهر نشسته (سوار شده) است نشان می دهد.

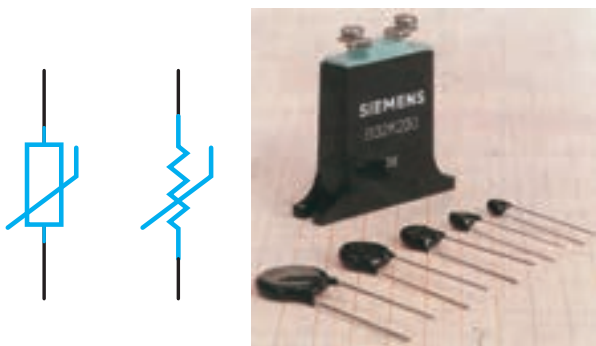
وریستور را در فصل دوم معرفی کرده ایم. در این فصل به دلیل بیان دوباره ی آن در استاندارد به تشریح تفصیلی آن پرداخته ایم.



شکل ۳۳-۱۲ پالس های سوزنی روی برق شهر

پالس های بالا رونده را **اسپایک** و پالس های پایین رونده را **دییپ** می گویند. دامنه های این پالس ها ممکن است تا چند هزار ولت برسد. اگر چه دامنه ی این پالس ها زیاد

است ولی معمولاً انرژی زیادی ندارند. در عمل پالس های سوزنی شکل موجود در ورودی مدارها را توسط فیلترهای مخصوصی حذف می کنند. گاهی ممکن است انرژی این پالس ها زیاد باشد و از فیلترهای ورودی مدار عبور کند. در اثر وارد شدن این پالس ها به مدار، ممکن است به قطعاتی مانند ترانزیستور یا مدارهای مجتمع آسیب برسد. لذا در بعضی از دستگاه ها از قطعه ای بنام (حذف کننده ی اسپایک Suppressor SPIKE) یا (وریستور) استفاده می کنند. این قطعه شبیه دو دیود زنر پشت به پشت (Back to Back) با ولتاژ شکست بالا است. در شکل ۳۴-۱۲ نمادهای فنی و شکل ظاهری وریستور (VDR) نشان داده شده است.



شکل ۳۴-۱۲ شکل ظاهری و نمادهای مداری

در مدارهای با ولتاژ برق شهر (۲۲۰V) معمولاً از وریستور ۴۰۰ ولتی استفاده می کنند. این قطعه در شرایط معمولی کار مدار، عملاً نقشی ندارد و مانند مدار باز عمل می کند. چنانچه ولتاژ ورودی از ۴۰۰ ولت بیش تر شود، وریستور به حالت فعال در می آید و با عبور جریان از خود دامنه ی ولتاژ را در مقدار ۴۰۰ ولت محدود می کند. وریستور معمولاً در ورودی دستگاه، بعد از فیوز به صورت موازی در مدار قرار می گیرد. وریستورها معمولاً قابلیت تحمل جریان های لحظه ای تا چند صد آمپر را دارند.

## ۵-۱۲ نام گذاری دیود ها

برای نام گذاری دیودها سه روش مهم وجود دارد. ممکن است بعضی از کارخانه ها از این سه روش تبعیت نکنند و نام گذاری مخصوص خود داشته باشد. این سه روش عمومی عبارتند از:

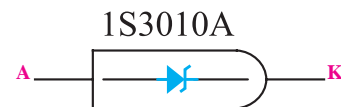
الف) روش ژاپنی

ب) روش اروپایی

ج) روش آمریکایی

**الف- روش ژاپنی:** در این روش از پیشوند 1S

تعدادی شماره که به دنبال آن می آید استفاده می شود، شکل ۱۲-۳۵. در این شیوه نام گذاری نوع دیود، جنس دیود و سایر مشخصات آن را نمی توان از شماره دیود به دست آورد. برای این منظور با مراجعه به کاتالوگ های مربوطه امکان دسترسی به مشخصات دیود وجود دارد.

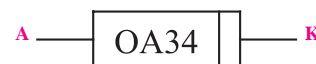


شکل ۱۲-۳۵ نام گذاری دیود، به روش ژاپنی

**ب- روش اروپایی:** در روش اروپایی، ابتدا تمامی

دیود ها را با پیشوند OA و تعدادی شماره مشخص می کردند

مانند OA۳۴ شکل ۱۲-۳۶



شکل ۱۲-۳۶ نام گذاری دیودها به روش اروپایی

بعدها روش نام گذاری در اروپا تغییر کرد. به این ترتیب

که دیود هایی را که بیش تر در مدارهای رادیو تلویزیون به کار می روند با دو حرف و سه شماره دیودهای خاص را با سه حرف و دو شماره نام گذاری کردند. سیستم دوحرفی و سه

شماره ای که امروز نیز استفاده می شود به شرح زیر است.

**حرف اول:** جنس نیمه هادی به کار رفته در دیود را مشخص

می کند. اگر حرف اول A باشد جنس دیود ژرمانیوم و اگر B باشد سیلیکون است.

**حرف دوم:** یکی از حروف زیر است که نوع دیود را

مشخص می کند.

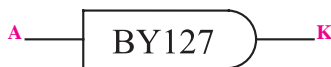
A: دیود معمولی یکسوکننده

B: دیود واراكتور

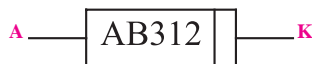
Y: دیود یکسوکننده ی قدرت

Z: دیود زنر

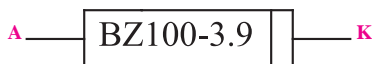
بعد از این دو حرف، سه شماره می آید که با مراجعه به جدول می توان سایر مشخصات الکتریکی دیود را از روی کاتالوگ کارخانه ی سازنده به دست آورد. شکل های ۱۲-۳۷ و ۱۲-۳۸ و ۱۲-۳۹.



شکل ۱۲-۳۷ نام گذاری دیودها، به روش جدید



شکل ۱۲-۳۸ دیود واراكتور از جنس ژرمانیوم



شکل ۱۲-۳۹ دیود زنر از جنس سیلیسیم ۳/۹ ولتی

### نکته ی مهم

هنگام آزمون جدول مربوط به اطلاعات حروف اختصاری دیود را در اختیار فراگیر قرار دهید.

## ۶-۱۲ نحوه‌ی استخراج مشخصات دیودها از

### کتاب‌های مرجع:

کتاب‌های مختلفی در زمینه‌ی ارائه‌ی مشخصات دیودها چاپ شده است. این کتاب‌ها در بازار به فراوانی یافت می‌شوند. با توجه به شماره‌ی دیود و مراجعه به کتاب می‌توانید اطلاعات مربوط به دیود را به دست آورید. در جدول ۵-۱۲ یک نمونه از این جدول مشخصات دیودها آمده است.

در این مرحله هنر جو باید بتواند با داشتن شماره‌ی دیود، با استفاده از کتاب اطلاعات مشخصه‌های دیود (Data book)، تعدادی دیود در اختیار بگیرد و مشخصات مربوط به جنس دیود، ماکزیمم ولتاژ معکوس مجاز، ولتاژ معکوس شکست، حداکثر جریان مستقیم و ..... را استخراج کند.

## ج-روش امریکایی: در این روش از پیش وند ۱N استفاده

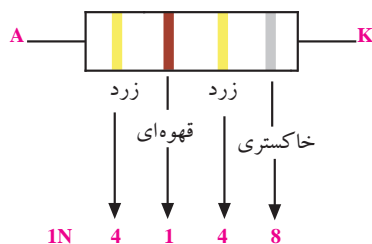
می‌شود و به دنبال آن معمولاً یک شماره‌ی چهار رقمی می‌آید. با مراجعه به جدول مشخصات دیودها می‌توان از روی شماره‌ی چهار رقمی به نوع دیود و مشخصات آن پی برد، شکل ۴۰-۱۲.



شکل ۴۰-۱۲ نحوه‌ی نام‌گذاری دیودها به روش امریکایی

در بعضی از دیودها، به جای شماره‌ی چهار رقمی، از چهار نوار رنگی استفاده می‌شود. در این صورت دیگر پیشوند ۱N را روی دیودها نمی‌نویسند. ارقام مربوط به نوارهای رنگی به شرح جدول ۴-۱۲ و مشابه کد رنگی مقاومت‌ها است.

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



شکل ۴۱-۱۲ نحوه‌ی شماره‌گذاری دیودها با استفاده از نوارهای رنگی



جدول ۵-۱۲

TYPE	Manufacturer	Germanium Silicon	$V_R$	$I_F$	$I_{FRM}$	$T_j$	$R_{thj-a}$	$I_{F\ at}$	$V_{F\ at}$	$C_{D\ at}$	$V_R$	$t_{rr}$	$I_F$ from	$V_R$ to	$R_L$ at	USE	CASE
			V	mA	mA	°C	°C/W	mA	V	PF	V	sec	mA	V	$\Omega$		<p>شکل ظاهری و ابعاد دیود که در ذیل همین صفحات با توجه به شماره ای که قید شده است، رسم شده اند.</p> <p>کاربرد مراجعه به جدول ۶-۱۲</p> <p>مقاومت بار ↑</p> <p>ولتاژ معکوس ↑</p> <p>جریان عبوری از مدار به ازای ↑</p> <p>زمان بازیابی دیود ↑</p> <p>این مقدار ولتاژ معکوس</p> <p>ظرفیت خازن محل اتصال PN به ازای</p>
شماره دیود	نام کارخانه سازنده	جنس دیود S سیلیسیم G ژرمانیم															
		ماکزیمم ولتاژ معکوس مجاز															
		مقدار متوسط جریان مجاز															
		مقدار ماکزیمم جریان مجاز تکراری															
		ماکزیمم درجه حرارت قابل تحمل محل پیوند PN															
		مقاومت حرارتی دیود از محل پیوند PN به محیط															
		به ازای عبور این جریان از دیود															
		افت ولتاژ دو سر دیود به وجود می آید															

جدول ۶-۱۲

شرح	کاربرد ستون use در جدول ۵-۱۲
آشکار کننده ی نسبی (FM)	1
کاربرد در مدارات لاجیک	2
آشکار کننده ی ویدئو	3
تثبیت کننده	4
کاربرد در سوئیچ (کلید)	5
کاربرد در سیگنال های ضعیف	6
کاربرد در سوئیچ با سرعت زیاد	7
یک سو کننده ی معمولی	8
ولتاژ زیاد	9
کاربرد در تلویزیون	10
کاربرد در فرکانس های زیاد	11

## استفاده از برگه‌ی داده‌ها (اطلاعات)

پارامترهای مختلفی در برگه‌ی اطلاعات دیود آورده می‌شود که می‌توان در طراحی‌ها از آنها استفاده نمود. در این بخش، پارامترهای مهمی که استفاده عملی دارند مورد بررسی قرار می‌گیرند.

### ۱-۶-۱۲ حداکثر جریان مستقیم

یکی از مشخصه‌های مجاز دیود، متوسط جریان قابل تحمل دیود است که در برگه‌ی اطلاعات به صورت زیر مشخص می‌کنند. Average Rectified Forward current. این جریان را با  $I_O$  نشان می‌دهند. مثلاً دیود ۱N۴۰۰۱ متوسط جریانی که می‌تواند تحمل کند ۱A است. جریانی عبوری از این قطعه نباید از ۱A بیش‌تر شود. در طراحی‌ها بهتر است ضریب اطمینانی را در نظر بگیریم. مثلاً برای دیود ۱N۴۰۰۱، جریان عبوری از دیود ۵۰ درصد جریان ماکزیمم یعنی نیم آمپر پیش‌بینی می‌کنیم. با در نظر گرفتن ضریب اطمینان مناسب، احتمال خرابی قطعات کاهش می‌یابد.

### ۲-۶-۱۲ افت ولتاژ مستقیم (Forward Voltage Drop)

این پارامتر حداکثر افت ولتاژ لحظه‌ای دیود در حالت موافق است. مثلاً اگر از ۱N۴۰۰۱ جریان ۱A در دمای اتصال  $25^{\circ}\text{C}$  عبور کند، در دوسر آن ولتاژی برابر با ۰/۹ تا ۱/۱ ولت افت می‌کند.

### ۳-۶-۱۲ ولتاژ معکوس شکست

#### (Reverse Breakdown Voltage)

سه پارامتر برای ولتاژ معکوس شکست در کتاب اطلاعات نوشته می‌شود.

**الف)**  $V_{RRM}$  ولتاژ معکوسی است به صورت متناوب

می‌توان به دیود اعمال کرد.

**ب)**  $V_{RWM}$  ولتاژ معکوس قابل تحمل در شرایط کار عادی

**ج)**  $V_R$  حداکثر ولتاژ dc است که در حالتی که دیود در

بایاس مخالف قرار دارد، می‌تواند تحمل کند.

اگر ولتاژ معکوس دوسر دیود، از مقادیر حدی که

کارخانه سازنده‌ی آن اعلام می‌کند بیش‌تر شود، دیود در

ناحیه‌ی شکست قرار می‌گیرد و آسیب می‌بیند. برای دیود

۱N۴۰۰۱ مقادیر  $V_{RRM}$  و  $V_{RWM}$  و  $V_R$  برابر ۵۰ ولت است.

### ۴-۶-۱۲ حداکثر جریان معکوس

#### (Reverse Current Maximum)

یکی دیگر از مشخصات الکتریکی که در برگه‌ی اطلاعات

آورده می‌شود حداکثر جریان معکوس است که آن را با  $I_R$

مشخص می‌کنند. این جریان در حالتی اندازه‌گیری می‌شود

که ولتاژ DC معکوس اعمال شده به دیود برابر با حداکثر

مقدار مجاز باشد. مثلاً برای دیود ۱N۴۰۰۱ که حداکثر ولتاژ

معکوس آن (۵۰V) در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  است، جریان  $I_R$  در حالت

معمول برابر  $1\mu\text{A}$  و حداکثر  $10\mu\text{A}$  است. اگر دمای محل

پیوند  $T_j$  به  $100^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی گراد برسد در این شرایط جریان

معکوس به  $50\mu\text{A}$  می‌رسد.

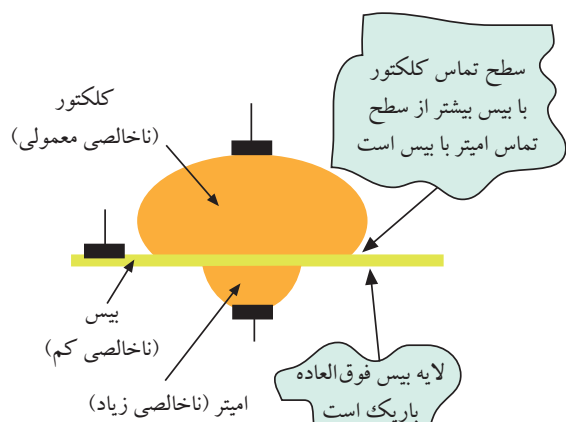
برای دست‌یابی به اطلاعات فوق باید به کتاب

اطلاعات Data book مراجعه کنید. به خاطر سپردن

اعداد هیچ ضرورتی ندارد.

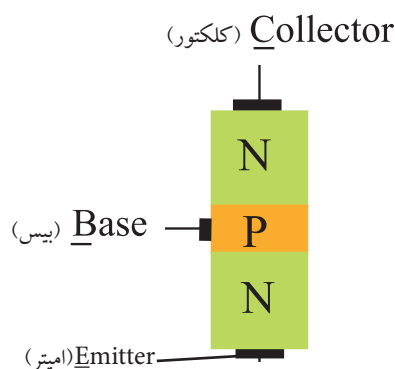
## ۷-۱۲ ساختمان و طرز کار ترانزیستور معمولی

(BJT)



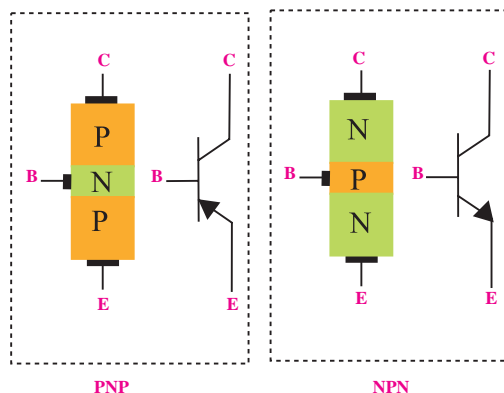
شکل ۴۳-۱۲ مقایسه‌ای ابعاد تقریبی یک ترانزیستور معمولی

پایه‌ی کلکتور را با حرف C، پایه‌ی بیس را با حرف B و پایه‌ی امیتر را با حرف E نشان می‌دهند، شکل ۴۴-۱۲.



شکل ۴۴-۱۲ نام پایه‌های ترانزیستور

در شکل ۴۵-۱۲، علامت‌های قرار دادی ترانزیستور PNP و NPN نشان داده شده است.



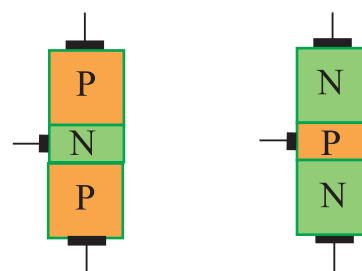
شکل ۴۵-۱۲ علامت‌های قرار دادی ترانزیستورهای PNP و NPN

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

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

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

در شکل ۴۲-۱۲ ساختمان داخلی هر دو نوع ترانزیستور نشان داده شده است.



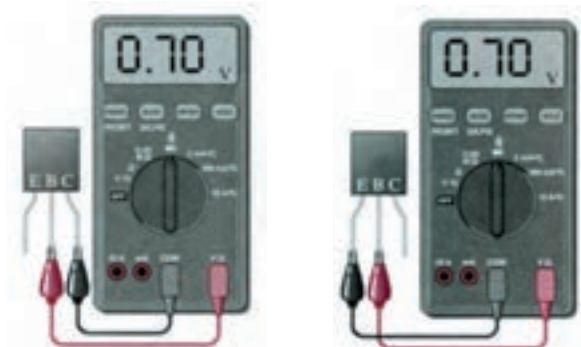
شکل ۴۲-۱۲ نحوه‌ی قرار گرفتن نیمه هادی‌های نوع P و N در ترانزیستور

ترانزیستوری که از دو قطعه نیمه هادی نوع P و یک قطعه نیمه هادی نوع N ساخته شده باشد ترانزیستور PNP و ترانزیستوری که دو قطعه نیمه هادی نوع N و یک قطعه نیمه هادی نوع P دارد، ترانزیستور NPN نامیده می‌شود. پایه‌های ترانزیستور را امیتر، بیس و کلکتور می‌نامند. از نظر ناخالصی، لایه‌ی امیتر بیشترین ناخالصی و لایه‌ی بیس کمترین ناخالصی را دارد. از نظر ابعاد فیزیکی کلکتور دارای بیشترین ابعاد و لایه‌ی بیس کمترین ابعاد را دارد. در شکل ۴۳-۱۲ ابعاد تقریبی یک ترانزیستور معمولی نشان داده شده است.

پایه‌ی دیگر در بایاس موافق قرار دارد، نشان می‌دهد.

در شکل ۴۶-۱۲، نمونه‌هایی از انواع ترانزیستور ها را

مشاهده می‌کنید.

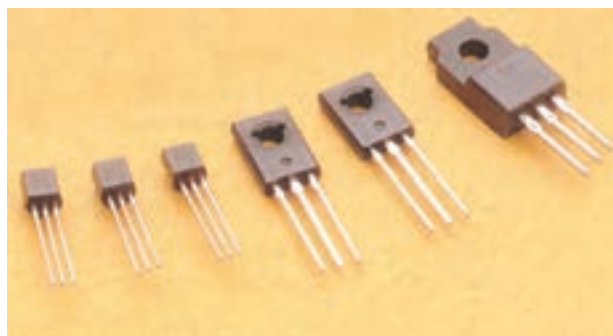


الف - پیوند بیس آمیتر

ب - پیوند بیس کلکتور

در بایاس موافق

در بایاس موافق



شکل ۴۶-۱۲ - نمونه هایی از انواع ترانزیستور

با استفاده از این آزمایش نوع ترانزیستور را نیز می‌توانید

مشخص کنید. در صورتی که در حالت ولتاژ موافق برای

دیودهای بیس آمیتر و بیس کلکتور، ترمینال مثبت مولتی

متر به بیس متصل باشد (شکل ۴۷-۱۲)، ترانزیستور از نوع

NPN و اگر ترمینال منفی مولتی متر به پایه‌ی بیس متصل

باشد، ترانزیستور از نوع PNP است.

## ۸-۱۲ تعیین پایه‌ها و نوع ترانزیستور توسط مولتی متر

### دیجیتالی

از مولتی متر دیجیتالی نیز می‌توان برای تست صحت

ترانزیستور و تعیین پایه‌ها و نوع آن استفاده نمود. اغلب

مولتی مترهای دیجیتالی وضعیت تست دیود دارند. مانند حالت

آزمایش دیود، وقتی دیود بیس - آمیتر یا دیود بیس - کلکتور

در بایاس موافق قرار می‌گیرند، ولتاژ بایاس موافق روی

صفحه‌ی نمایش نشان داده خواهد شد. این ولتاژ حدود

۰/۵ تا ۰/۷ ولت است. اگر دیود بیس آمیتر یا دیود بیس

کلکتور در بایاس مخالف قرار گیرد، ولتاژ بایاس مخالف

دو سر دیود (حدود ۱/۵ تا ۳ ولت) روی صفحه‌ی نمایش

مولتی متر نشان داده خواهد شد.

### ۱-۸-۱۲ تعیین پایه‌ی بیس ترانزیستور

مولتی متر دیجیتالی را روی حالت آزمایش دیود قرار

می‌دهیم. با اتصال پروب مولتی متر به پایه‌ها، پایه‌ای را پیدا

می‌کنیم که نسبت به پایه‌های دیگر در ولتاژ موافق قرار گرفته

باشد. در صورت سالم بودن ترانزیستور، این پایه بیس است.

شکل ۴۷-۱۲ الف، ب پایه‌ی بیس را که نسبت به دو

### ۲-۸-۱۲ تعیین پایه های کلکتور و آمیتر :

می‌دانیم سطح تماس کلکتور به بیس از سطح تماس آمیتر

به بیس بیش تر است. بنابراین محل پیوند کلکتور به بیس در

ولتاژ موافق در مقایسه با پیوند آمیتر بیس مقاومت کم‌تری

دارد. در حالت بایاس موافق، ولتاژ بیس کلکتور را کمی

کمتر از ولتاژ بیس آمیتر نشان می‌دهد. تفاوت ولتاژها بسیار

کم و در حدود هزارم ولت است. شکل ۴۸-۱۲ الف و ب

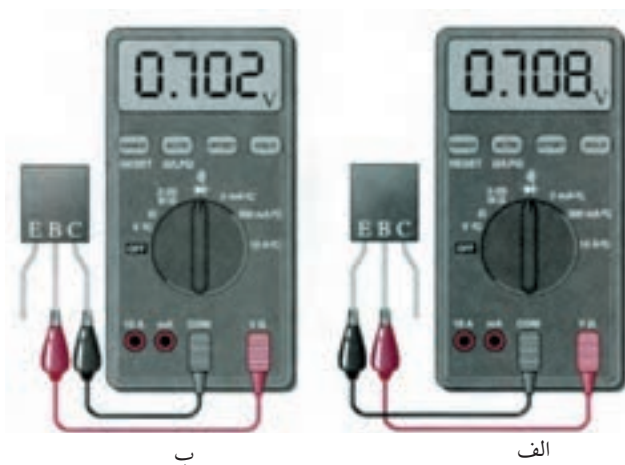
ولتاژ موافق کلکتور بیس را کم تر از ولتاژ موافق آمیتر بیس

نشان می‌دهد.

اگر ترانزیستور معیوب اتصال کوتاه شده باشد، در تست دیود بیس امیتر یا بیس کلکتور، مولتی متر ولتاژ صفر ولت را مطابق شکل ۵۰-۱۲ نشان می‌دهد.



شکل ۵۰-۱۲ ترانزیستور معیوب (اتصال کوتاه)



شکل ۴۸-۱۲

به این ترتیب پایه‌ای که دارای ولتاژ موافق کم‌تری است کلکتور و پایه‌ای که ولتاژ موافق بیشتری دارد، امیتر است.

### ۳-۸-۱۲ ترانزیستور معیوب

ترانزیستور زمانی سالم است که بین بیس امیتر و بیس کلکتور در یک جهت ولتاژ موافق و در جهت دیگر تقریباً حالت باز را نشان دهد. برخی مولتی مترهای دیجیتالی حالت باز را با حرف OL که اول کلمات Open Load است نشان می‌دهند. برخی دیگر افت ولتاژ دوسر دیود را که توسط مولتی متر به دوسر آن داده می‌شود، نشان می‌دهند، این ولتاژ معمولاً از ۱/۵ تا ۳ ولت است.

شکل ۴۹-۱۲ ترانزیستور معیوب (قطع) را نشان می‌دهد.



شکل ۴۹-۱۲ ترانزیستور معیوب (قطع)

## ۹-۱۲ آزمایش شماره (۲):

تشخیص پایه‌های ترانزیستور

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

### ۹-۱۲-۱ هدف آزمایش:

تشخیص نوع PNP یا NPN ترانزیستور و مشخص کردن

پایه‌ها با استفاده از مولتی متر دیجیتالی.

### ۹-۱۲-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد/مقدار
۱	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۲	ترانزیستور NPN	یک عدد
۳	ترانزیستور PNP	یک عدد
۴	سیم رابط یک سر گیره سوسماری	چهار رشته

### ۹-۱۲-۳ مراحل اجرای آزمایش:

■ یک عدد ترانزیستور NPN و یک عدد ترانزیستور

PNP را انتخاب کنید.

■ شکل ظاهری این دو ترانزیستور را در جدول ۶-۱۲

رسم کنید.

■ پایه‌های این دو ترانزیستور را به دلخواه شماره گذاری کنید.

جدول ۶-۱۲

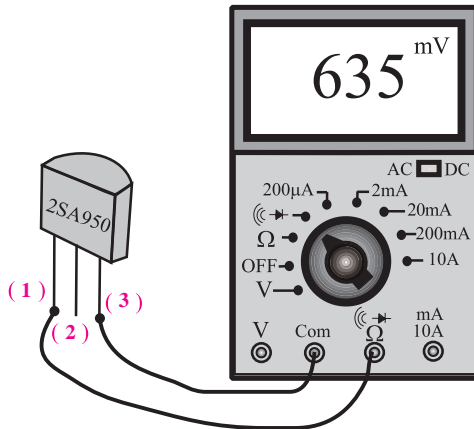
ردیف	شماره ترانزیستور	شکل ظاهری
۱	BC۱۴۰	
۲		
۳		

■ کلید سلکتور مولتی متر دیجیتالی را روی حالت  $\Omega$

قرار دهید.

■ ترانزیستور را مطابق شکل ۵۱-۱۲ به مولتی متر اتصال

دهید.



شکل ۵۱-۱۲ مدار آزمایش هنگام اندازه گیری  $V_{be}$

■ مراقب باشید هنگام اندازه گیری ولتاژ دست‌های شما با

قسمت فلزی پروب تماس نداشته باشد.

■ ولتاژهای خواسته شده را هنگام اتصال ترانزیستور به

مولتی متر، از روی صفحه نمایش مولتی متر بخوانید و در

جدول ۷-۱۲ یادداشت کنید.

■ مقادیر ولتاژها را تا ۳ رقم اعشار بنویسید.

جدول ۷-۱۲

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

جدول ۸-۱۲ یادداشت کنید.

■ مقادیر ولتاژ را تا سه رقم اعشار بنویسید.

جدول ۸-۱۲

شماره ترانزیستور	
$V_{12} =$	ولت
$V_{13} =$	ولت
$V_{23} =$	ولت
$V_{31} =$	ولت
$V_{32} =$	ولت

**سؤال ۲:** با توجه به مقادیر بدست آمده برای ولتاژ بین

پایه ها، نوع ترانزیستور و پایه های آن را مشخص کنید. جدول

۸-۱۲

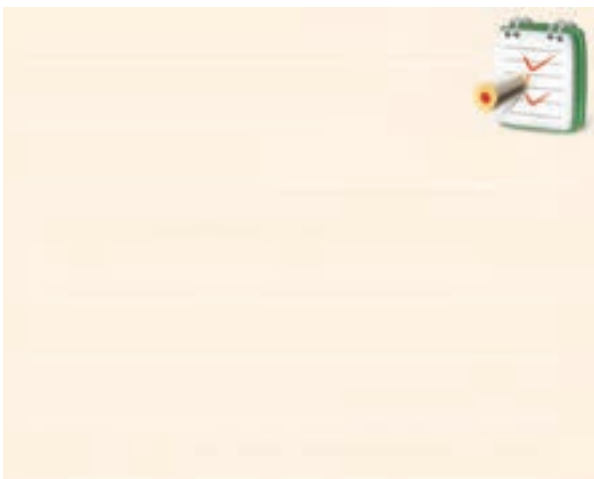
⇒ نوع ترانزیستور

⇒ پایه ها

■ در صورت امکان، دو عدد ترانزیستور معیوب را در

اختیار بگیرید و نوع عیب آن ها را توسط مولتی متر مشخص

نموده و یادداشت کنید.



توجه داشته باشید که منظور از ولتاژ  $V_{12}$  اختلاف

پتانسیل پایه ۱ و پایه ۲ است. به عبارت دیگر باید پایه ۱ را به ترمینال خروجی  $\text{E}$  و پایه ۲ را باید به مشترک یا ترمینال Com وصل کنید. منظور از ولتاژ  $V_{12}$  این است که پایه ۲ به ترمینال خروجی  $\text{E}$  و پایه های ۱ به پایه مشترک وصل شود.

**سؤال ۱:** با توجه به مقادیر ولتاژ به دست آمده بین پایه ها

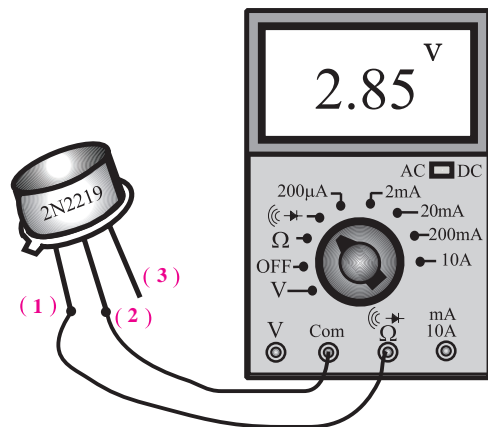
نوع ترانزیستور و پایه های آن را مشخص کنید.

⇒ نوع ترانزیستور

⇒ پایه ها

■ ترانزیستور را طبق شکل ۵۲-۱۲ به مولتی متر دیجیتالی

اتصال دهید.



شکل ۵۲-۱۲ اندازه گیری ولتاژ بین پایه ها

■ ولتاژهای خواسته شده را هنگام اتصال ترانزیستور به

مولتی متر از روی صفحه نمایش مولتی متر بخوانید و در

## ۱۰-۱۲ آزمایش شماره (۳)

زمان اجرا: ۲ ساعت آموزشی

### ۱۰-۱۲ هدف آزمایش:

استخراج مشخصه‌های دیود با استفاده از کتاب اطلاعات  
مشخصه‌های دیود

### ۱۰-۱۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد/ مقدار
۱	دیود ۱N۴۱۴۸	یک عدد
۲	دیود ۱N۴۰۰۱	یک عدد
۳	دیود ۱N۴۰۰۷	یک عدد
۴	دیودهای موجود در کارگاه	از هر یک، یک عدد
۵	کتاب مشخصه‌های دیود	یک جلد

### ۱۰-۱۲-۳ مراحل اجرای آزمایش:

■ یک دیود را در اختیار بگیرید.

■ با استفاده از کتاب اطلاعات (Data book)

مشخصه‌های دیودها را استخراج کنید و در جدول ۹-۱۲  
یادداشت کنید.

نکته:



پایه‌های کلکتور و امیتر در هیچ جهتی از خود جریان قابل ملاحظه‌ای عبور نمی‌دهند. بنابراین در یک ترانزیستور، ابتدا دو پایه‌ای را که در هیچ جهتی از خود جریان عبور نمی‌دهند تشخیص می‌دهیم. این دو پایه یکی کلکتور و دیگری امیتر است و پایه سوم نیز با فرض سالم بودن ترانزیستور قطعاً بیس است.

### ۹-۱۲ نتایج آزمایش:

آن چه در این آزمایش فرا گرفته اید به اختصار شرح دهید.





جدول ۹-۱۲

TYPE	Manufacturer	Germanium Silicon	$V_R$	$I_F$	$I_{FRM}$	$T_j$	$R_{thj-a}$	$I_F$ at	$V_F$	$C_D$ at	$V_R$	$t_{rr}$ from to	$I_F$	$V_R$	$R_L$ at	USE	CASE
1N4148	Ph	S	75	150	450	200		10	1	2	0	4n	10	6	100	7	27
شماره دیود																	شکل ظاهری و ابعاد
نام کارخانه سازنده																	دیود که در ذیل
جنس دیود																	همین صفحات با
S سیلیسیم																	توجه به شماره ای
G ژرمانیم																	که قید شده است،
ماکزیمم ولتاژ معکوس مجاز																	رسم شده اند.
مقدار متوسط جریان مجاز																	کاربرد مراجعه به
مقدار ماکزیمم جریان مجاز تکراری																	جدول ۶-۱۲
ماکزیمم درجه حرارت قابل تحمل محل پیوند PN																	مقاومت بار ↑
مقاومت حرارتی دیود از محل پیوند PN به محیط																	ولتاژ معکوس ↑
به ازای عبور این جریان از دیود																	جریان عبوری از مدار به ازای ↑
افت ولتاژ دو سر دیود به وجود می آید																	زمان بازیابی دیود ↑
																	این مقدار ولتاژ معکوس
																	ظرفیت خازن محل اتصال PN به ازای



## آزمون پایانی فصل (۱۲)

۱- شرط هدایت یک دیود زبر کدام است؟

- الف) ولتاژ کاتد به اندازه  $V_z$  از آند بیش تر باشد.  
 ب) ولتاژ آند به اندازه  $V_z$  از کاتد بیش تر باشد.  
 ج) جریان در مدار حداکثر به اندازه  $10\text{mA}$  باشد.  
 د) ولتاژ آند به اندازه  $0.6\text{V}$  ولت از کاتد بیشتر باشد.

۲- شکل ۱۲-۵۳ نماد کدام نوع دیود است؟

- الف) LED ☐ ☐ خازنی  
 ج) اتصال نقطه ای ☐ ☐ زبر



شکل ۱۲-۵۳

۳- یک دیود زبر  $10\text{V}$  ولتی با توان  $0.5\text{W}$  وات حداکثر چند

میلی آمپر را می تواند تحمل کند؟

- الف) ۵ ☐ ☐ ۵۰  
 ج) ۱۰۰ ☐ ☐ ۲۰۰

۴- در مدارهای مختلف، دیود زبر در بایاس ..... و دیود

نور دهنده (LED) در بایاس ..... به کار می رود.

- الف) مستقیم - معکوس ☐  
 ب) معکوس - مستقیم ☐  
 ج) معکوس - معکوس ☐  
 د) مستقیم - مستقیم ☐

۵- در دیود ..... با تغییر ولتاژ معکوس دو سر آن، ظرفیت

خازنی آن تغییر می کند.

- الف) اتصال نقطه ای ☐ ☐ شاتکی

- ج) خازنی ☐ ☐ وریستور

۶- به علت قابلیت هدایت الکتریکی زیاد فلز، زمان تاخیر

در دیود ..... بسیار کم است.

۷- دیود تونلی دارای خاصیت مقاومت منفی است.

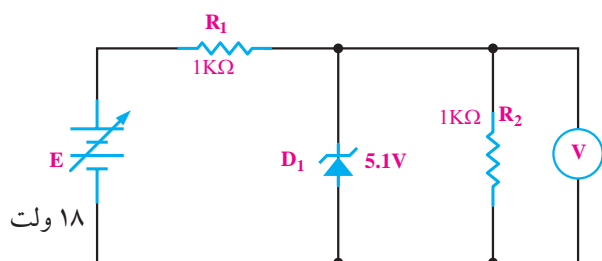
- صحيح ☐ ☐ غلط

۸- ولتاژ  $V_{RRM}$ ، ولتاژ معکوسی است که به صورت

متناوب می توان به دیود اعمال کرد.

- صحيح ☐ ☐ غلط

۹- ولتاژ خروجی مدار شکل ۱۲-۵۴ چند ولت است؟



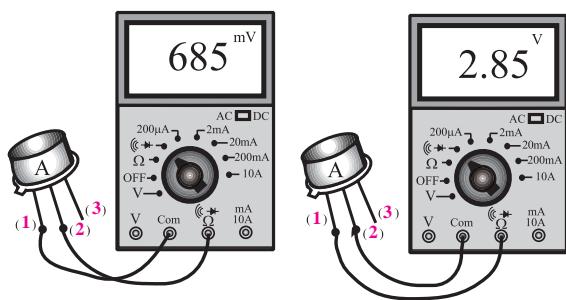
شکل ۱۲-۵۴

- الف) ۸ ☐ ☐ ۱۳/۱  
 ج) ۳/۱ ☐ ☐ ۵/۱

۱۰- در شکل ۱۲-۵۵ نوع ترانزیستور A کدام است؟

- الف) PNP ☐ ☐ NPN

ج - با این دو آزمایش نمی توان تشخیص داد.



شکل ۱۲-۵۵

۱۱- منحنی مشخصه‌ی "ولت - آمپر" دیود زنر را رسم

کنید.



۱۵- چگونگی تعیین پایه‌های کلکتور و امیتریک

ترانزیستور را شرح دهید.



۱۲- توان دیود زنری ۱۰ وات و ولتاژ شکست دو سر

آن ۱۰ ولت می‌باشد، جریان ماکزیمم مجاز دیود زنر چند میلی‌آمپر است؟



۱۶- یک دیود در اختیار بگیرید و با استفاده از کتاب

اطلاعات و مشخصه‌ی دیود (Data book) مشخصه‌های

مهم دیود را استخراج کنید.



۱۳- مداری رسم کنید که توسط آن بتوانید نور سبز تولید

کنید.



۱۴- عملکرد زوج نوری یا اپتو کوپلر را با رسم شکل

شرح دهید.

محتوای کتاب «الکترونیک پایه» و کتاب «مدارهای پایه در الکترونیک» استانداردهای مهارتی الکترونیک کار صنعتی ۵۲/۵۳/۱/۵ - ۸، تعمیر کار رادیو ضبط صوت ۵۴/۲۵/۱/۴ - ۸ را به طور کامل پوشش می دهد.

از آن جا که استانداردهای مهارتی تعمیر کار ابزار دقیق ۴۲/۳۲/۱/۲ - ۸، تعمیر کار ماشین حساب ۵۴/۴۹/۱/۳ - ۸، طراح و تحلیلگر مدارات دیجیتال ۳۲/۹۰/۱/۳ - ۰، تعمیر دستگاه های پزشکی بیمارستانی ۵۲/۳۲/۱/۲ - ۸ محتوای کمتری در مقایسه با دو استاندارد ذکر شده دارند، هنگام تدریس مباحث الکترونیک عمومی به توانایی های مندرج در استاندارد مورد تدریس توجه کنید و مباحث اضافی بیان شده در این دو جلد کتاب را حذف نمایید.

## فهرست منابع و مآخذ

- ۱- مدارهای الکتریکی ۴۸۷/۸ علی عراقی و فریدون علومی
- ۲- مقاومت سلف خازن در جریان متناوب ۶۰۵/۵ فتح اله نظریان
- ۳- مقاومت سلف خازن در جریان مستقیم ۶۰۵/۴ فتح اله نظریان
- ۴- مبانی الکتريسيته ۶۰۴/۷ شهرام خدادادی
- ۵- الکترونیک کاربردی ۴۸۸/۳ شهرام نصیری سوادکوهی
- ۶- ابزار مقدماتی ۶۰۵/۳ فتح اله نظریان
- ۷- کارگاه الکترونیک عمومی ۴۸۸/۷ سید محمود صموتی - شهرام نصیری  
سوادکوهی - یداله رضازاده و غلامحسین  
نصری
- ۸- الکترونیک عمومی (۱) ۳۵۹/۴۲ سید محمود صموتی - شهرام نصیری  
سوادکوهی - ابوالقاسم جاریانی - فتح اله  
نظریان و محمود همتایی
- ۹- مبانی برق ۳۵۸/۱۸ فریدون قیطرانی و دیگران
- ۱۰- اصول الکترونیک (۱) مجتمع فنی سعید خرازی زاده  
تهران
- ۱۱- دیود و ترانزیستور ۶۰۵/۶ فتح اله نظریان
- ۱۲- آزمایشگاه مبانی مخابرات و رادیو ۴۷۲/۱ یداله رضازاده - سید محمود صموتی - شهرام  
نصیری سوادکوهی و محمود شبانی

