

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ

اللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰى مُحَمَّدٍ وَآلِ مُحَمَّدٍ وَعَجِّلْ فَرَجَهُمْ



# الكترونيک پایه

پایه دهم

دوره دوم متوسطه

شاخه: کاردانش

زمینه: صنعت

گروه تحصیلی: برق و رایانه

رشته های مهارتی: الکترونیک صنعتی، اتوماسیون صنعتی، سیستم های صوتی و تصویری،  
تعمیر ابزار دقیق، تعمیر تلفن های رومیزی و همراه  
نام استاندارد مهارتی مینا: الکترونیک کار صنعتی  
کد استاندارد متولی: ۱/۵-۵۳/۵۲-۸

عنوان و نام پدیدآور: الکترونیک پایه: شاخه کاردانش، زمینه صنعت، گروه تحصیلی برق و رایانه، رشته های مهارتی الکترونیک صنعتی و ... / مؤلفان فتح الله نظریان، ...  
[او دیگران]؛ برنامه ریزی محتوا و نظارت بر تألیف: دفتر تألیف کتاب های درسی فنی و حرفه ای و کاردانش.

مشخصات نشر: تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران.

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

شابک: ۹۷۸-۸-۰۵-۲۲۵۷-۸

یادداشت: مؤلفان فتح الله نظریان، محمود صموئی، شهرام تصیری سادگوhei، ...

موضوع: برق

موضوع: برق -- راهنمای آموزشی (متوسطه)

موضوع: برق -- مسائل، تمرین ها وغیره (متوسطه)

شناسه افزوده: نظریان، فتح الله، ۱۳۹۸، گردآورنده

شناسه افزوده: سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی. دفتر تألیف کتاب های درسی فنی و حرفه ای و کاردانش

رده بندی کنگره: الف/ QC ۵۳۲

رده بندی دیوی: ۳۷۳/۶۰۹ ک۵

شماره کتابشناسی ملی: ۲۳۷۶۶۲۸





وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

الکترونیک پایه - ۱۵۵

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کارداش

فتح‌النظریان، سید محمود صفوی، شهram نصیری‌سجادکوهی، فرشته داودی‌لعل‌آبادی و سهیلا ذوالفقاری (اعضای گروه تألیف)

اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

منیره کاظم‌زاده، مهدی براتی (صفحه آرا) - مهدی براتی (طرح جلد) - فاطمه رئیسیان فیروزان‌آباد و طویی عطائی (رسام)

تهران: خیابان ابراشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)

تلفن: ۰۹۲۶۶ - ۸۸۳۰۱۱۶۱، دورنگار: ۰۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وب‌گاه: www.irtextbook.ir و www.chap.sch.ir

شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران-کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج- خیابان ۶۱ (دارو پخش)

تلفن: ۰۴۹۸۵۱۶۱ - ۰۵۱۳۹، صندوق سنتی: ۳۷۵۱۵

شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

چاپ هشتم ۱۴۰۲

نام کتاب:

پدیدآورنده:

مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف:

شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف:

مدیریت آماده‌سازی هنری:

شناسه افزوده آماده‌سازی:

نشانی سازمان:

ناشر:

چاپخانه:

سال انتشار و نوبت چاپ:

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، نایش، اقتصادی، تحقیق، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان منوع 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 نباشد و از اتکای به اجانب بپرهیزید.

امام خمینی (قدس سرہ)

همکاران محترم و دانشآموزان عزیز:

پیشنهادات 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.

پیام نگار (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 مت加وز از ۵ درصد تألیف مجدد و بازسازی شد.

## مقدمه‌ای بر چگونگی برنامه‌ریزی کتاب‌های پومنی

برنامه‌ریزی تأليف «پومن مهارت» یا «کتاب‌های تخصصی شاخه‌ی کاردانش» برمبنای استانداردهای کتاب «مجموعه برنامه‌های درسی رشته‌های مهارتی شاخه‌ی کاردانش، مجموعه هشتم» صورت گرفته است. براین اساس ابتدا توانایی‌های هم خانواده به صورت واحدهای کار تحت عنوان (Unit) دسته‌بندی می‌شود. در نهایت واحدهای کار هم خانواده با هم مجدداً دسته‌بندی شده و پومن 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 تأليف پومن های مهارت نظارت دائمی دارد.

به منظور آشنایی هر چه بیشتر مریان، هنرآموزان و هنرجویان شاخه‌ی کاردانش و سایر علاوه‌مندان و دست اند کاران آموزش‌های مهارتی با روش تدوین، «پومن های 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 «پومن» به عنوان کتاب درسی مورد تأیید وزارت آموزش و پرورش در «شاخه‌ی کاردانش» چاپ سپاری می‌شود.

به طور کلی هر استاندارد مهارت به تعدادی پومن مهارت (مانند M۱ و M۲) و هر پومن نیز به تعدادی واحد کار (مانند U۱ و U۲) و هر واحد کار نیز به تعدادی توانایی ویژه (مانند P۱ و P۲) 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 پومن و در نمون برگ شماره (۳) اطلاعات کامل مربوط به هر پومن 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 پومن که برای توسعه آموزش‌های مهارتی تدوین شده است رهنمون و یاور باشند.

### سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

دفتر تأليف کتاب‌های درسی  
فنی و حرفه‌ای و کاردانش

## مقدمه‌ی مؤلفان

از اواخر قرن بیستم تا به امروز دانش الکترونیک با سرعتی بسیار به پیش‌رفته 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 به ویژه مدارهای مجتمع یا IC به کار رفته است. از طرف دیگر نرم‌افزارهای کامپیوترا، طراحی و استفاده از مدارهای الکترونیکی بسیار پیچیده را برای همه امکان پذیر ساخته است. هر کس می‌تواند با این نرم افزارها 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 فوق العاده 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، تقویت کننده 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 آموخته اید 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

# فهرست

۶۶ ۲-۹ آزمایش شماره‌ی (۳)

۲-۱۰ محاسبه‌ی جریان و توان در مدار سری و

۷۰ مدار موازی

۷۵ ۲-۱۱ دستگاه اندازه‌گیری جریان «میلی‌آمپر متر»

۷۶ ۲-۱۲ آزمایش شماره‌ی (۳)

۸۰ ۲-۱۳ پیل‌ها و باتری‌ها

۸۳ ۲-۱۴ اتصال پیل‌ها

۸۷ ۲-۱۵ آزمایش شماره‌ی (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 شماره‌ی (۱)

۱۰۷ ۳-۶ اطلاعات مقدماتی

۱۰۹ ۳-۷ وسائل لحیم کاری

۱۱۴ ۳-۸ قلع کش

۱۱۵ ۳-۹ طریقه‌ی لحیم کاری

۱۱۷ ۳-۱۰ نکات اینمنی این آزمایش

۱۱۹ ۳-۱۱ آزمایش شماره‌ی (۲)

۱۲۲ آزمون پایانی فصل (۳)

## فصل چهارم: قوانین تونن و نورتن

۱۲۶ ۴-۱ عناصر فعل مدارهای الکتریکی

۱۲۸ ۴-۲ قضایای تونن و نورتن

۱۳۲ ۴-۳ آزمایش شماره‌ی (۱)

۱۳۶ آزمون پایانی فصل (۴)

## بخش اول : مبانی الکتریسیته

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

۱-۱ آشنایی با اصول الکتریسیته ساکن

۱-۲ ساختمان اتم

۱-۳ طبقه بندی از نظر هدایت الکتریکی

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

۱-۵ آشنایی با میدان الکتریکی

۱-۶ کمیت‌های الکتریکی

۱-۷ آشنایی با قانون کولن

۱-۸ اشدت میدان الکتریکی

۱-۹ تبدیل واحد‌های یکدیگر

۱-۱۰ مدار الکتریکی

۱-۱۱ قانون اهم

۱-۱۱ توان و انرژی در جریان مستقیم

۱-۱۲ نکات اینمنی

۱-۱۳ اطلاعات اولیه

۱-۱۴ آزمایش شماره‌ی (۱)

آزمون پایانی فصل (۱)

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

۲-۱ آشنایی با مقاومت و انواع آن

۲-۲ مشخصه‌های مقاومت

۲-۳ اهم متر

۲-۴ آزمایش شماره‌ی (۱)

۲-۵ اتصال مقاومت‌ها به یکدیگر

۲-۶ آزمایش شماره‌ی (۲)

۲-۷ افت ولتاژ دو سر مقاومت‌ها در مدارهای

سری و موازی

۲-۸ منع تغذیه DC

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

- ۲۱۴ ۷-۱۰ مشخصات خازن  
۲۱۶ ۷-۱۱ به هم بستن خازن‌ها  
۲۲۰ ۷-۱۲ روش آزمایش سلامت خازن با اهم‌تر عقرهای  
۷-۱۳ نحوه‌ی اندازه‌گیری ظرفیت خازن با دستگاه

- ۲۲۱ ۷-۱۴ آزمایش شماره‌ی (۲)  
۲۲۴ ۷-۱۵ آزمایش شماره‌ی (۳)  
۲۳۰ ۷-۱۶ خازن در جریان متناوب  
۷-۱۷ اندازه‌گیری زاویه‌ی اختلاف فاز توسط اسیلوسکوپ  
۲۳۴ ۷-۱۸ آزمایش شماره‌ی (۴)  
۲۳۶ ۷-۱۹ مدار RC سری  
۲۳۸ ۷-۲۰ مدار RC موازی  
۲۴۰ ۷-۲۰ آزمایش شماره‌ی (۵)  
۲۴۴ آزمون پایانی فصل (۷)

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

#### متناوب

- ۲۵۱ ۸-۱ خطوط نیروی مغناطیسی و میدان مغناطیسی  
۲۵۴ ۸-۲ سلف  
۲۵۵ ۸-۳ جریان القابی  
۲۵۵ ۸-۴ ضریب خود القابی سلف  
۲۵۶ ۸-۵ ولتاژ القابی  
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 اهم‌تر  
۲۵۸ ۸-۹ سلف(سیم پیچ) در جریان متناوب  
۲۶۲ ۸-۱۰ آزمایش شماره‌ی (۱)  
۲۶۳ ۸-۱۱ ضریب خود القابی 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 پنجم: جریان و ولتاژ متناوب

- ۱-۵ منابع تولید الکتریسیته  
۲-۵ انواع موج‌های متناوب  
۳-۵ مشخصات شکل موج سینوسی  
۴-۵ رفتار مقاومت اهمی (R) در جریان متناوب  
۵-۵ توان تلف شده در یک مقاومت اهمی در جریان متناوب  
۶-۵ قوانین کریشهف در جریان متناوب  
۷-۵ بردار  
۸-۵ جریان‌های سه‌فازه  
۹-۵ آزمون پایانی فصل (۵)

#### فصل ششم: دستگاه‌های اسیلوسکوپ و انواع منبع

#### تجذیه آزمایشگاهی

- ۱-۶ نکات ایمنی فصل (۶)  
۱-۶ اسیلوسکوپ  
۲-۶ آزمایش شماره (۱)  
۳-۶ مولدهای سیگنال (signal Generators)  
۴-۶ آزمایش شماره‌ی (۲)  
۵-۶ آزمون پایانی فصل (۶)

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

- ۱-۷ ساختمان داخلی خازن  
۱-۷ مفهوم ظرفیت  
۳-۷ شارژ و دشارژ خازن در جریان مستقیم  
۴-۷ انرژی ذخیره شده در خازن  
۵-۷ ثابت زمانی  
۶-۷ آزمایش شماره‌ی (۱)  
۷-۷ عوامل موثر در ظرفیت خازن  
۸-۷ انواع خازن‌ها  
۹-۷ 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 ۱۱۰/۲۲۰	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 کلپر قیچی کننده (Clipper)	۲۹۵	۹-۲ مدار RLC سری
۳۶۹	۱۱-۱۱ مدار کلمپر یا مهار کننده (clamp)	۲۹۸	۹-۳ مدار RLC موازی
۳۷۰	۱۱-۱۲ آشکار ساز نوک به نوک	۳۰۰	۹-۴ رزونанс 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 زنر	۳۰۹	۹-۸ آزمایش شماره‌ی (۲)
۳۷۹	۱۲-۲ تنظیم کننده ولتاژ با استفاده از دیود زنر	۳۱۳	۹-۹ فیلترها (Filters)
۳۸۰	۱۲-۳ آزمایش شماره (۱)	۳۱۷	۹-۱۰ آزمایش شماره‌ی (۳)
۳۸۱	۱۲-۴ انواع دیودها	۳۲۲	۹-۱۱ آزمون پایانی فصل (۹)
۳۸۸	۱۲-۵ نام‌گذاری دیودها		
	۱۲-۶ نحوه استخراج مشخصات دیودها از کتاب‌های		
۳۸۹	مرجع		
۳۹۲	۱۲-۷ ساختمان و طرز کار ترانزیستور معمولی (BJT)	۳۳۰	<b>فصل دهم: مشخصات و خصوصیات دیود</b>
	۱۲-۸ تعیین پایه‌ها و نوع ترانزیستور توسط مولتی‌متر	۳۳۱	نکات اینمنی (۱)
۳۹۳	دیجیتالی		۱۰-۱ دیود Diode
۳۹۵	۱۲-۹ آزمایش شماره (۲)	۳۳۹	۱۰-۲ تشخیص پایه‌های دیود و سالم بودن آن
۳۹۷	۱۲-۱۰ آزمایش شماره (۳)	۳۴۲	به وسیله‌ی اهم‌متر
	آزمون پایانی فصل (۱۲)	۳۴۵	۱۰-۳ آزمایش شماره (۱)
			آزمون پایانی فصل (۱۰)
			<b>فصل یازدهم: تجزیه و تحلیل مدارهای دیودی</b>
۳۵۰	۱۱-۱ یکسوسازها یا رکتی فایرها (Rectifiers)		
۳۵۷	۱۱-۲ ترانسفورماتور تغذیه		





## بخش اول

### مبانی الکترونیکی

هدف کلی :

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

ردیف	عنوان توانایی	نمایش شماره	توانایی کار	تعداد جمع	نمایش نظری	نمایش عملی	زمان آزمایش
۱	توانایی شناخت اصول و مبانی الکترونیکی	۱	۱	۵	۱	۴	
۳۷	توانایی به کارگیری ضوابط ایمنی و بهداشت در محیط کار	۱	۱	۱۴	۱۰	۴	
۲	توانایی شناخت قطعات الکتریکی و کار با آنها	۱	۱	۳۵	۱۸	۱۷	
۳	توانایی تجزیه و تحلیل و بستن مدارهای سری و موازی	۱	۱	۱۶	۸	۸	
۴	توانایی شناخت قوانین تونن و نورتن و به کارگیری آنها در مدارها	۱	۱	۸	۴	۴	

# فصل اول

## آشنایی با اصول و مبانی الکتریسیته

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

هدف های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراغیرنده انتظار می رود که:



### هدف های رفتاری در حیطه عاطفی:

- ۱- الکتریسیته ساکن را شرح دهد.
- ۲- ساختمان اتم را شرح دهد.
- ۳- تقسیم بندی اجسام از نظر هدایت الکتریکی را شرح دهد. را رعایت کند.
- 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 واحد های الکتریکی به یکدیگر را با حل چند مثال اجرا کند.
- ۱۰- واحد کمیت های جریان، ولتاژ و مقاومت را تعریف کند.
- ۱۱- شکل های مختلف قانون اهم را بیان کند.
- ۱۲- مسئله های 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 واحد های آن بیان کند.
- ۱۷- مدار الکتریکی را با استفاده از لامپ و باتری بینند.

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

بیش آزمون فصل ((1))






این جریان معادل چند میلی آمپر است؟

- لف(5) ب) ٥٠ ج) ٥٠٥ د) ٥٠

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

$$I = \frac{V}{R} \quad (\text{بـ})$$

الف)  $V = R \times I$

- د) هر سه مورد

$$R = \frac{V}{I}$$

۱۲- توان الکتریکی را تعریف کنید و روابط آن را بنویسید.



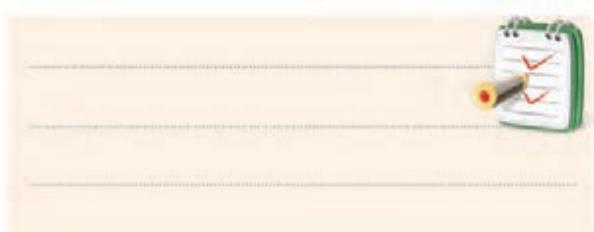
- ۱- در ساختمان اتم کدام ذره باردار نیست؟

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 بیریل.



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 نت.

۵- به اجسامی که الکترون آزاد زیادی دارند و به راحتی جریان برق را عبور می دهند ..... می گویند.

- الف) عایق** ج) هادی ب) نیمه هادی

**۶- باردار شدن اجسام از کدام روش ممکن است؟**

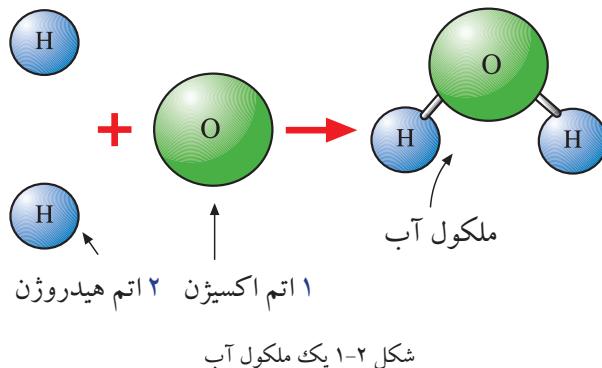
**الف) اصطکاک** ب) تماس

**ج) القاء** د) تمام موارد

## ۱-۱ آشنایی با اصول الکتریسیته ساکن

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.



### ۱-۲ ساختمان اتم

ساختمان اتم از دو قسمت تشکیل شده است.

الف) هسته

ب) پوسته یا مدارهای 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 اتم لایه های بیضوی شکل قرار دارند. این لایه ها اوربیتال نامیده می شوند. ذرات بسیار ریزی به نام الکترون در اوربیتالها دوران می کنند. الکترون حامل بار منفی است و جرم بسیار کمی دارد. نحوه قرارگرفتن الکترونها روی مدارها و پروتونها و نوترونها در

الکتریسیته پدیده ای است که دیده نمی شود، ولی قادر است پدیده های فیزیکی بسیاری مانند حرارت، روشناختی، 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 الکتریسیته 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.

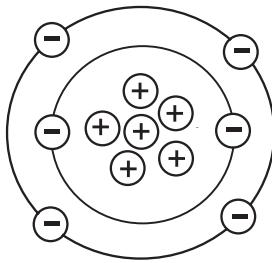


شکل ۱-۱ یکی از روش های تولید الکتریسیته

### ۱-۱ ساختمان ماده

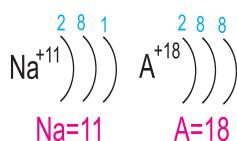
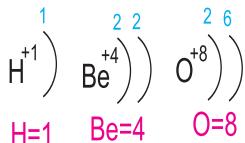
هوایی که تنفس می کنیم، یک قطره آب، یک قطعه فلز و هر آن چه در طبیعت وجود دارد برخلاف تفاوت های ظاهری بسیاری که دارند همه از ذرات بسیار ریزی تشکیل می شوند. این ذرات را ملکول می نامند. ملکول خواص ماده را دارد. ملکول ها، از ذرات ریزتری به نام اتم ساخته می شوند. اتم قابل تقسیم به ذره کوچک تری نیست ولی از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

هسته، در شکل ۱-۴ نشان داده است.



شکل ۱-۶ عدد اتمی کربن برابر ۶ است

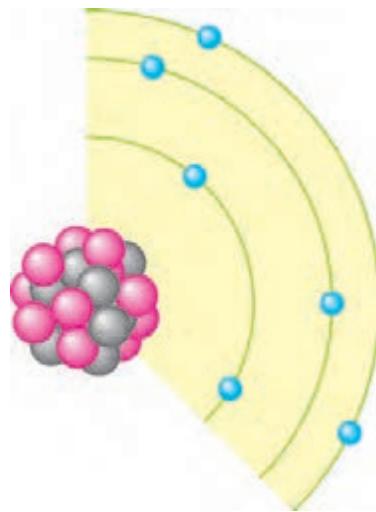
حداکثر تعداد الکترون های موجود در هر لایه نیز ثابت است. اولین لایه تا ۲، دومین تا ۸، سومین تا ۱۸ و چهارمین تا ۳۲ الکtron را در خود جای می دهد. وقتی تعداد الکترون های یک لایه افزایش می یابد، آن لایه پس از پر کردن اوربیتال های خود الکترون های اضافی را به لایه بعدی می فرستد، شکل ۱-۷.



شکل ۱-۷ تعداد الکترون های روی هر مدار

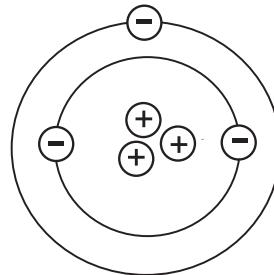
همان طور که گفته شد اتم از نظر بار الکتریکی خنثی است یعنی در یک اتم تعداد بار های الکتریکی مثبت (پروتون ها) و تعداد بارهای الکتریکی منفی (الکترون ها) با هم برابر است. حال اگر یک اتم به علت اعمال انرژی به آن، الکترون از دست بدهد تعداد الکترون ها کم می شود. به عبارت دیگر بار منفی اتم کاهش می یابد. کاهش بار منفی اتم به معنی این است که اتم دارای بار مثبت شده است.

بر عکس اگر اتم الکترون دریافت کند، تعداد الکترون های (بار منفی) آن زیاد می شود و اتم را از نظر بار الکتریکی،



شکل ۱-۴ نحوه قرار گرفتن الکترون های روی مدارها

ذراتی که به آنها اشاره شد بنای اصلی مواد را تشکیل می دهند. در هر اتم بار مثبت پروتون ها از نظر مقدار، با بار منفی الکترون های برابر است. در اتم لیتیوم  $^3$  پروتون و  $^3$  الکترون وجود دارد، شکل ۱-۵.

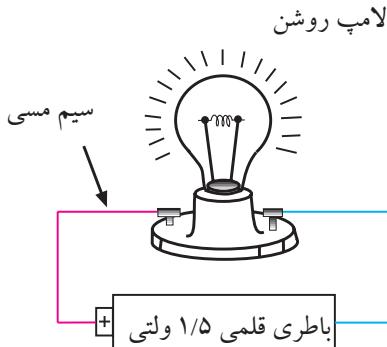


شکل ۱-۵ اتم لیتیوم دارای سه الکترون و سه پروتون است.

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

وزن کل هسته که شامل وزن پروتون ها و نوترون های است را **وزن اتمی** می گویند.

منفی می کند، شکل ۱-۸.

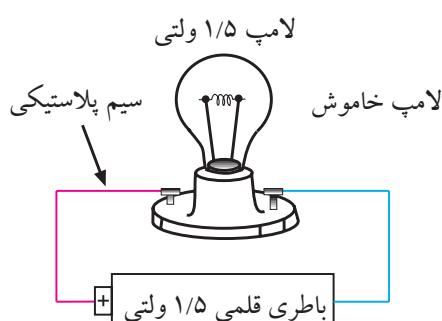


شکل ۱-۱۰ سیم منی به راحتی جریان برق را از خود عبور می دهد لذا هادی خوبی است.

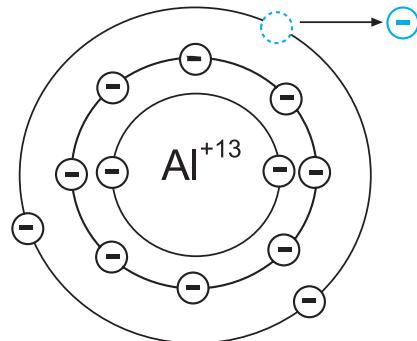
به طور کلی اجسامی که الکترون آزاد زیادی دارند به راحتی جریان برق را از خود عبور می دهند. فلزات یکی تا سه ظرفیتی که الکترون آزاد زیادی دارند، هادی های بسیار خوبی به شمار می آیند.

### ۱-۳-۲ 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 ۱-۱۱.

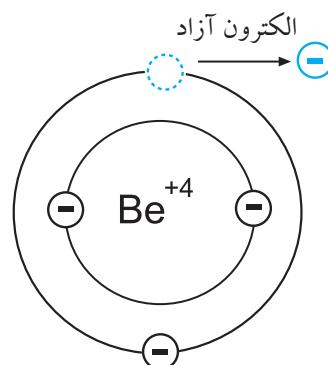


شکل ۱-۱۱ سیم از جنس پلاستیک جریان برق را به راحتی از خود عبور نمی دهد لذا عایق است.



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

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

### ۱-۳ 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 ۱-۱۰.

بدهنده کترون 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 کترون خواهد داد. در این حالت میله به علت کمبود کترون دارای بار مثبت و ابریشم به علت افزایش کترون دارای بار منفی می‌شود، شکل ۱-۱۳.



شکل ۱-۱۳ باردار کردن اجسام از طریق اصطکاک

**ب- باردار کردن از طریق تماس:** با استفاده از یک میله کائوچوبی باردار، می‌توان جسم دیگری مانند مس را فقط با تماس دادن این دو جسم با یکدیگر باردار کرد. در این حالت کترون‌های روی سطح کائوچو وارد مس می‌شود و مس را دارای بار منفی می‌کند، شکل ۱-۱۴.

### ۳-۳ نیمه هادی‌ها

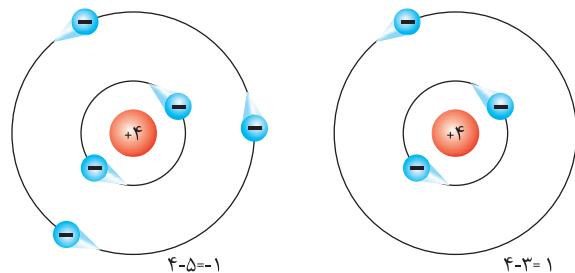
موادی مانند ژرمانیوم و سیلیسیوم وجود دارند که هادی یا عایق خوبی نیستند. این مواد ۴ ظرفیتی هستند و نیمه هادی نام دارند.

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

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

#### ۱-۴-۱ اتم‌های باردار

در شرایط عادی در هر اتم تعداد کترون‌ها 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 کترون‌ها ممکن است تغییر کند. اگر در اتمی تعداد کترون‌ها از پروتون‌ها کم‌تر باشد، اتم بار مثبت دارد و چنان‌چه تعداد کترون‌های اتمی از پروتون‌های آن بیش‌تر باشد، اتم بار منفی دارد، شکل ۱-۱۲.



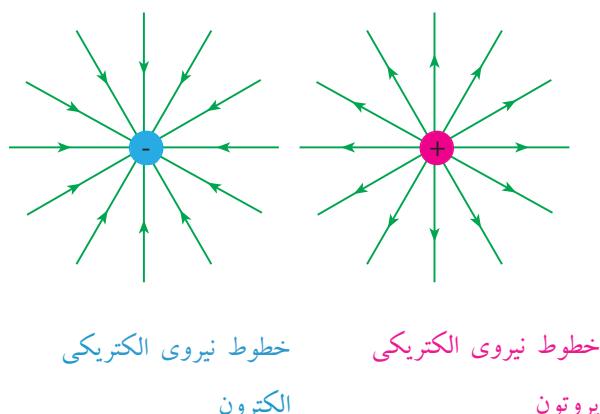
شکل ۱-۱۲ اتم با بار مثبت و اتم با بار منفی

#### ۱-۴-۲ باردار شدن اجسام

اگر اتم‌های یک جسم، کترون‌های خود را از دست

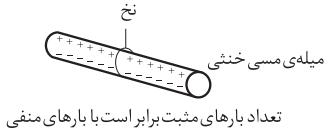
## ۱-۵ آشنایی با میدان الکتریکی

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 صورتشعاعی 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 ۱-۱۶.

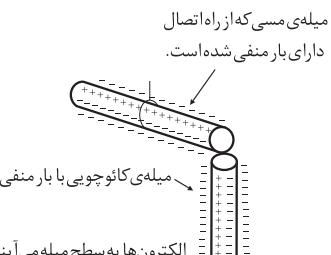


شکل ۱-۱۶ خطوط نیروی الکتریکی پروتون و الکترون

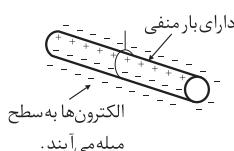
خطوط نیروی هر یک از این بارها، میدان های الکتریکی تولید می کنند. به علت اثر متقابل این دو میدان، ذرات باردار یکدیگر را جذب یا دفع می کنند، شکل ۱-۱۷.



### قبل از تماس

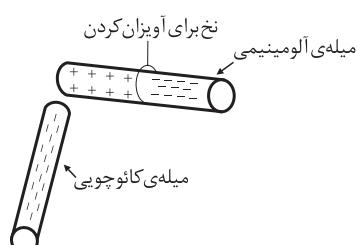


### در حالت تماس



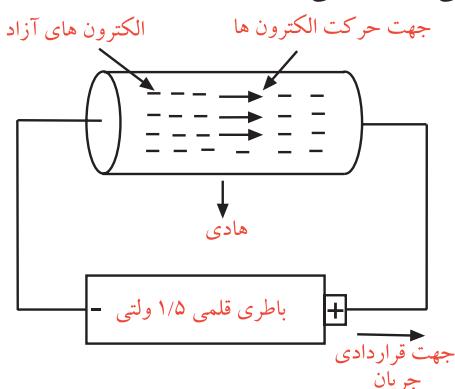
شکل ۱-۱۴ بار دارشدن اجسام از طریق تماس

**ج- باردار کردن اجسام از طریق القاء: چون الکترون‌ها و پروتون‌ها نیروی جاذبه و دافعه دارند، اگر یک میله کائوچویی باردار منفی را به یک میله‌ی آلومینیومی، خیلی نزدیک کنیم ولی به آن نچسبانیم، نیروی بارهای منفی کائوچو، الکترون‌های میله‌ی آلومینیوم را دفع می کند و به سر دیگر میله می راند. در نتیجه یک سر میله‌ی آلومینیومی مثبت و سر دیگر آن منفی می شود. حال اگر میله کائوچویی را کنار بگذاریم، الکترون‌های میله‌ی آلومینیومی دوباره تغییر آرایش می دهند و میله را به حالت خنثی در می آورند، شکل ۱-۱۵.**



شکل ۱-۱۵ باردار کردن اجسام از طریق القاء

جایه جایی بارهای الکتریکی در طول یک هادی (جریان الکتریکی) را نشان می دهد.



شکل ۱-۱۸ جریان الکتریکی در یک هادی

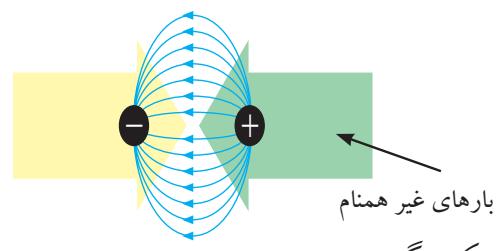
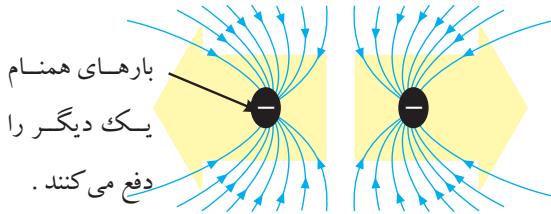
واحد شدت جریان الکتریکی آمپر است که با

حرف A نشان داده می شود. اگر در یک هادی تعداد 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 میلیونیم آمپر است. واحد های بزرگتر از آمپر را کیلو آمپر یا ۱۰۰۰ آمپر می نامند.

شدت جریان الکتریکی را با حرف I نشان می دهند. برای اندازه گیری جریان الکتریکی در یک هادی از دستگاهی به نام آمپر متر استفاده می کنند، شکل ۱-۱۹.



شکل ۱-۱۹ یک نمونه آمپر متر



را جذب می کنند.

شکل ۱-۱۷ میدان های الکترواستاتیکی

میدان های الکترواستاتیکی در هنگام دفع (بارهای همان) با هم مخالفت می کنند و در هنگام جذب (بارهای غیر همان) 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.

## ۶-۱ کمیت های الکتریکی

### ۶-۱-۱ شدت جریان الکتریکی

به طور کلی الکتریسیته بر دو نوع ساکن و جاری تقسیم می شود. الکتریسیته ساکن را در قسمت قبل توضیح داده ایم. در این قسمت به الکتریسیته جاری می پردازیم.

اگر بارهای الکتریکی (هکترون 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 ۱-۱۸

حل :

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

اگر بار الکتریکی را با  $I$  (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:

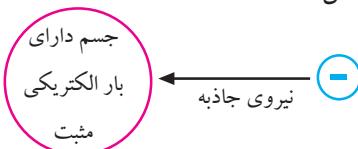
$$I = \frac{q}{t} \Rightarrow \frac{(C)}{(S)} \xrightarrow{\text{آمپر}} \frac{\text{کولن}}{\text{ثانیه}}$$

### ۱-۶-۲ 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 گوییم دارای پتانسیل مثبت است و آن را با علامت  $(+)$  نشان می دهیم ، شکل ۱-۲۱ .



شکل ۱-۲۱ 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

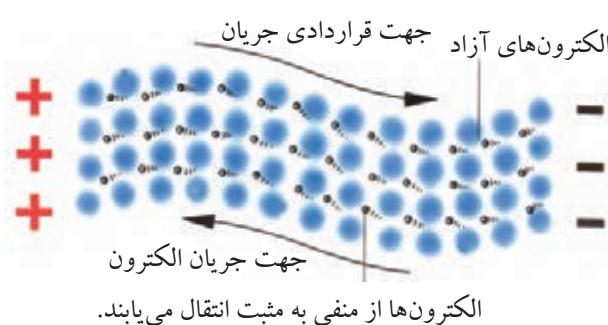
برای جهت جریان الکتریکی دو تعریف وجود دارد:

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

### نکته هی مهم: معمولا در کتاب های

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

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



الکترون ها از منفی به مثبت انتقال می یابند.

شکل ۱-۲۰ جهت حرکت اصلی و قراردادی جریان الکتریکی

**مثال ۱:** اگر باری برابر با  $6$  کولن در مدت  $2$  ثانیه از سیمی

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

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



ولت متر عقربه ای

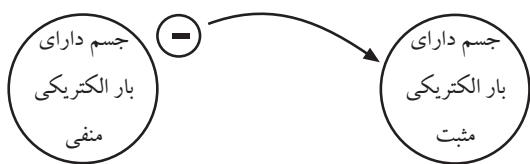
شکل ۱-۲۴ دو نمونه ولت متر

### ۱-۶-۳ 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 ۱-۲۵.

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



شکل ۱-۲۲ انتقال بارهای الکتریکی بین دو جسم

وقتی روی موکت راه می روید، بدنه 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 بدنه شما و زمین است. وقتی شما درب را لمس می کنید، جریان الکتریکی از طریق بدنه شما و دستگیره درب و زمین برقرار می شود، شکل ۱-۲۳.



شکل ۱-۲۳ ایجاد جریان الکتریکی بین بدنه و دستگیره درب اختلاف پتانسیل (ولتاژ) را معمولاً با حرف E و گاهی با V نمایش می دهد. اختلاف پتانسیل الکتریکی را با دستگاهی به نام ولت متر اندازه می گیرند.

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

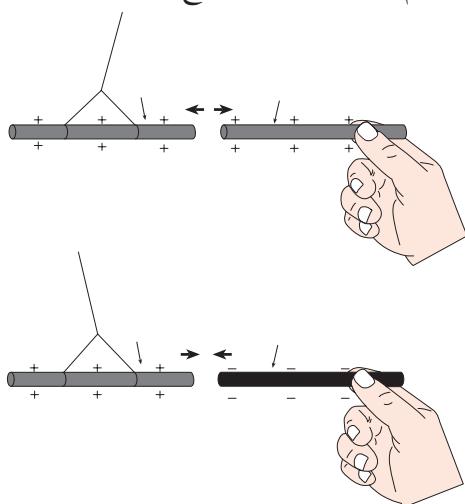


شکل ۱-۲۸ نمایش شماره و مقدار مقاومت روی نماد آن

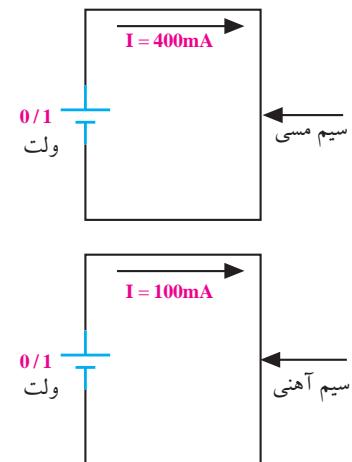
### ۱-۷ آشنایی با قانون کولن

#### ۱-۷-۱ اثر اجسام باردار بر یکدیگر

اگر یک میله‌ی شیشه‌ای را به پارچه‌ای مالش دهیم، میله‌ی شیشه‌ای دارای بار مثبت می‌شود. چنان‌چه میله‌کائوچو را به یک تکه پشم مالش دهیم، دارای بار منفی می‌شود. حال اگر میله‌شیشه‌ای باردار مثبت را به میله‌کائوچوبی باردار منفی نزدیک کنیم، چون این دو جسم بارهای مخالف دارند، یکدیگر را جذب می‌کنند. در صورتی که دو میله‌شیشه‌ای که بار مثبت دارند را در مجاورت هم قرار دهیم، چون بار این دو جسم همنام است، یکدیگر را دفع می‌کنند، شکل ۱-۲۹.



شکل ۱-۲۹ اثر اجسام باردار بر یکدیگر



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

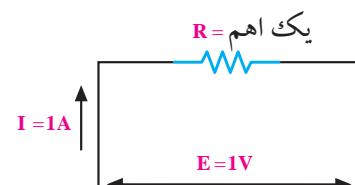
جسم، ماده‌ی قطعه‌ای که در برابر عبور جریان الکتریکی ایستادگی می‌کند را مقاومت می‌نامند و آن را با حرف R نشان می‌دهند. نماد مقاومت را در شکل ۱-۲۶ (Resistor) ملاحظه می‌کنید.



شکل ۱-۲۶ نماد مقاومت

واحد مقاومت الکتریکی اهم است. اگر به دو سر مقاومتی اختلاف پتانسیل یک ولت اتصال دهیم، چنان‌چه 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 می‌دهند.



شکل ۱-۲۷ مقاومت یک اهم

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

## ۱-۷-۲ قانون کولن

$$\text{بر حسب متر باشد، } k \text{ تقریباً } \frac{\text{Nm}^{\circ}}{\text{C}^{\circ}} \text{ خواهد شد.}$$

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؟  $(K = 9 \times 10^9)$

**حل :**

$$q_1 = q_2 = 1\text{ C}$$

$$d = 1\text{ km} = 1000\text{ m}$$

$$F = k \frac{q_1 \times q_2}{d^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 1}{(1000)^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1}{(10^3)^2}$$

$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{1}{10^6} = 9 \times 10^3 = 9000\text{ (N)}$$

### کولن (۱۸۰۶-۱۷۳۶)

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 الکتریسیته موفق به کشف قانون جاذبه و دافعه الکتریکی شد.

دنیای علم به پاس خدمات کولن واحد مقدار الکتریسیته را کولن نامید.

## ۱-۸ اشدت میدان الکتریکی

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

## ۱-۷-۲ 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 مجدور 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  $\frac{1}{4}$  برابر می شود.

**ب-** در مرحله بعد، کولن بارهای متفاوتی را به دو کره داد و نیروهای آنها را در فاصله  $d$  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

الکتریکی واقع شود و بر آن نیروی  $F$  اثر کند، شدت میدان (I)، ولتاژ (V) و مقاومت (R) به ترتیب دارای واحد های آمپر (A)، ولت (V)، و اهم ( $\Omega$ ) هستند.

این واحد ها 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.**

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

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

## ۹-۱ تبدیل واحد ها به یکدیگر

همان گونه که اشاره شد، کمیت های الکتریکی جریان

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

مقدار ضریب	شکل نمایی ضریب	نام ضریب	حرف اختصاری	چگونگی تبدیل ضرایب
$10^{12}$		ترا	T	از زیر آن به بالا
$10^9$		گیگا	G	مثبت
$10^6$		مگا	M	منفی
$10^3$		کیلو	K	
$10^2$		هکتو	H	
$10^1$		دکا	da	
$10^{-1}$		واحد اصلی		
$10^{-2}$		دسی	d	
$10^{-3}$		سانتی	c	
$10^{-4}$		میلی	m	
$10^{-5}$		میکرو	$\mu$	
$10^{-6}$		نانو	n	
$10^{-12}$		پیکو	p	

**مثال ۳:** شدت جریان عبوری از یک سیم  $0.005$  آمپر

**نکته مهم:** هنگام ضرب اعداد با پایه های یکسان، نمادهای مثبت و یا منفی آنها با هم جمع می شوند.

است. این جریان معادل چند میلی آمپر است؟

**حل:**

$$I = 0.005(A) \times 10^{-3} = 5 \times 10^{-2} \times 10^{-3}$$

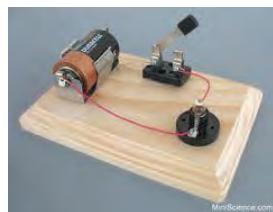
$$I = 5 \times 10^{(-2+3)} = 5 \times 10^{+1} = 50 \text{ mA}$$

## ۱-۱۰ مدار الکتریکی

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

- منبع تغذیه
- سیم‌های رابط
- مصرف کننده

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.

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

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  $20 \text{ میلی آمپر}$  معادل چند میکروآمپر است؟

**حل:**

$$I = 20 / 10^3 (\text{mA}) \times 10^{-3} = 2 \times 10^{-1} \times 10^{-3} \mu\text{A}$$

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

**مثال ۵:** شدت جریان  $10 \text{ میکرو آمپر}$  معادل چند آمپر است؟

**حل:**

$$I = 10 / 10^6 (\mu\text{A}) \times 10^{-6} = 1 / 10^6 \text{ A}$$

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

**حل:**

$$V = 5 / 10^3 = 5 \times 10^{-3} \text{ mv}$$

**نکته 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:**

$$V = 1 / 10^3 = 10^{-3} \text{ V} = 0.001 \text{ V}$$

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

**حل:**

$$R = 10 / (k\Omega) \times 10^3 = 1000 \Omega$$

**مثال ۹:** مقاومت  $500$  اهم معادل چند کیلو اهم است؟

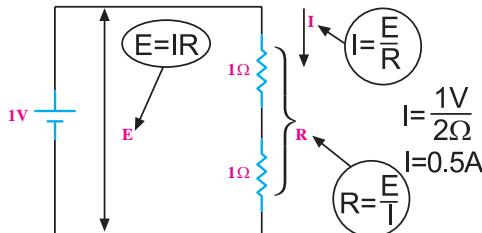
**حل:**

$$R = 500 / (\Omega) \times 10^3 = 500 / 10^3 \Omega = 0.5 k\Omega$$

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

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

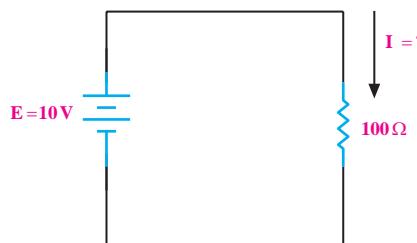
با ۲ برابر شدن مقاومت جریان نصف می‌شود،  
شکل ۱-۳۲-ج.



شکل ۱-۳۲-ج دو برابر شدن مقاومت در مدار

**مثال ۱۰:** به دو سر یک مقاومت  $100\Omega$  یک ولتاژ  $10$

ولت اعمال می‌کنیم، جریان گذرنده از مدار چند آمپر است؟



شکل ۱-۳۳

حل :

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

**تمرین کلاسی ۱ :** به دو سر یک مقاومت  $500\Omega$ ، ولتاژ  $20$  ولت اعمال می‌کنیم، 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 می‌شود.

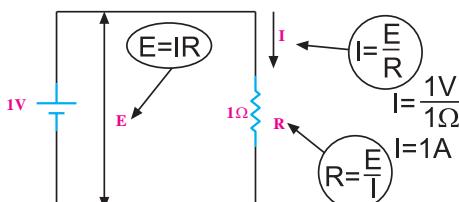
رابطه قانون اهم را به سه صورت شکل ۱-۳۱ می‌توانیم

بنویسیم.



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

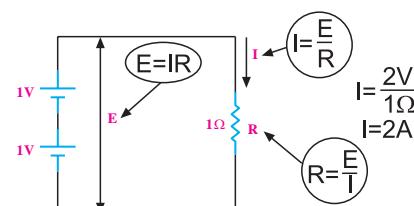
شکل ۱-۳۱ نمودار دایره‌ای قانون اهم در حالت‌های مختلف در مداری که اختلاف پتانسیل یک ولت بین دو سر مقاومت یک اهمی برقرار باشد؛ جریانی باشدت یک آمپر از مدار می‌گذرد، شکل ۱-۳۲-الف.



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

شکل ۱-۳۲-الف نمایش قانون اهم

با ۲ برابر شدن ولتاژ (اختلاف پتانسیل) و ثابت ماندن مقاومت، شدت جریان ۲ برابر می‌شود، شکل ۱-۳۲-ب.



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

شکل ۱-۳۲-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  $1 \text{ mA}$ ، جریان  $1 \text{ mA}$  عبور می‌کند، افت ولتاژ دو سر مقاومت چند ولت است؟



## ۱-۱۱ توان و انرژی در جریان مستقیم

### ۱-۱۱ 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 تراز وات، میلی وات (یک هزارم) وات و میکرو وات، یک میلیونیوم وات است. واحد های بزرگ تراز وات را کیلو وات (هزار وات) و مگا وات (یک میلیون وات) می‌نامند.

### ۱-۱۱ حرف اول کلمه Power به معنی توان است.

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

به دست می‌آید:

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

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

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

**حل :**

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

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

**تمرین کلاسی ۴:** اگر ۵ لامپ ۱۰۰ واتی روزانه ۵ ساعت روشن باشد، در صورتی که قیمت هر کیلو وات ساعت ۱۰۰ ریال باشد، هزینه‌ی انرژی مصرف کننده‌ها در یک ماه چه قدر است؟

### تحقیق کنید:

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

توان الکتریکی را با دستگاهی به نام وات‌متر اندازه می گیرند.

### ۱-۱۱-۲ انرژی الکتریکی

همان‌طور که می‌دانید منبع تغذیه الکتریکی مانند برق شهر یا باتری، انرژی مورد نیاز وسائل الکتریکی را تامین می‌کند.

وقتی یک اطوی برقی را به برق وصل می‌کنید، اطو انرژی الکتریکی را از شبکه برق دریافت می‌کند و آن را به انرژی حرارتی تبدیل می‌نماید. هر قدر مدت زمان وصل اطوی برقی به شبکه بیشتر باشد، گرمای بیشتری در اطو تلف می‌شود و انرژی بیشتر را از شبکه برق دریافت می‌کند. پس انرژی مصرفی رابطه مستقیم با زمان دارد و به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$\text{زمان} \times \text{توان الکتریکی} = \text{انرژی الکتریکی}$$

$$W = p \cdot t$$

$$\text{ثانیه} \times \text{وات}$$

واحد انرژی الکتریکی، وات-ثانیه یا ژول است. یک ژول عبارت است از تلفات توان یک وات در مدت یک ثانیه. واحد بزرگ‌تر و کاربردی‌تر 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.

## ۱-۱۲-۲ انتخاب ابزار کار مناسب و استفاده از آن‌ها

یکی دیگر از نکات ایمنی عمومی است، شکل ۱-۳۵.

### اول ایمنی، بعد کار

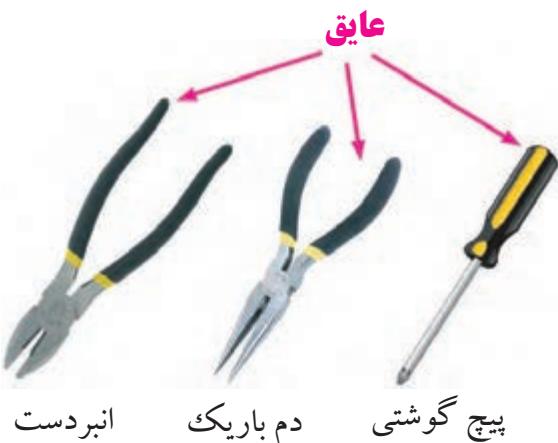


شکل ۱-۳۵ انتخاب درست ابزار کار و نحوه‌ی کاربرد صحیح آن

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 ۱-۳۶.



شکل ۱-۳۶ استفاده از ابزار با دسته‌ی عایق

## 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 ۱-۳۴.

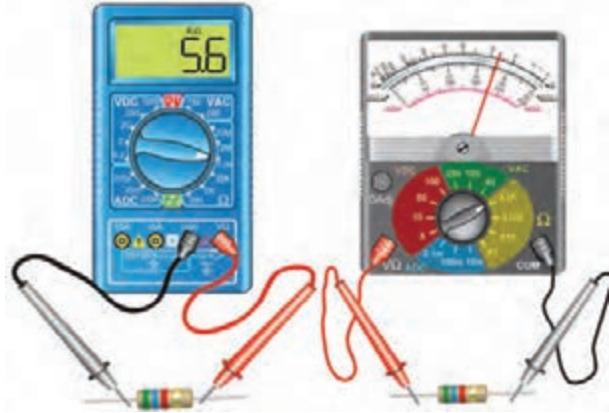


شکل ۱-۳۴ نظم و ترتیب در کارگاه

رعایت این توصیه، مهارت دقیق نظر، سرعت کار

و کیفیت آموزشی را در فرد افزایش می‌دهد.

**۱-۱۲-۶ هنگام اندازه‌گیری کمیت‌های الکترونیکی، توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری، از حوزه صحیح کار و گستره مناسب آن استفاده کنید ، شکل ۱-۳۹.**



شکل ۱-۳۹ استفاده صحیح از حوزه‌ی کار صحیح دستگاه اندازه‌گیری این مهارت علاوه بر جلوگیری از بروز حادثه باعث افزایش دقت نظر، کیفیت و سرعت در انجام کار می‌شود.

**۱-۱۲-۷ از تردد بی‌دلیل در محیط کارگاه و حضور بی‌مورد در محل میزهای کاری دیگران، جدا خودداری کنید، شکل ۱-۴۰.**



شکل ۱-۴۰ بی‌دلیل در کارگاه تردد نکنید.

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



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

به طور کلی حفاظت از وسایل، مهارت ارزش‌گذاری بر ثروت عمومی، مسئولیت‌پذیری و توجه به هزینه‌هایی را که برای تحصیل هر فرد صرف می‌شود به وجود می‌آورد.

**۱-۱۲-۵ هنگام جازدن و یا کشیدن دو شاخه برق، از سیم‌های 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 دقتنظر و توجه بیشتر را در فرد ایجاد می‌کند و مانع بروز حادثه می‌شود.



شکل ۱-۴۲ نشستن هنرجو روی صندلی درست نیست

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



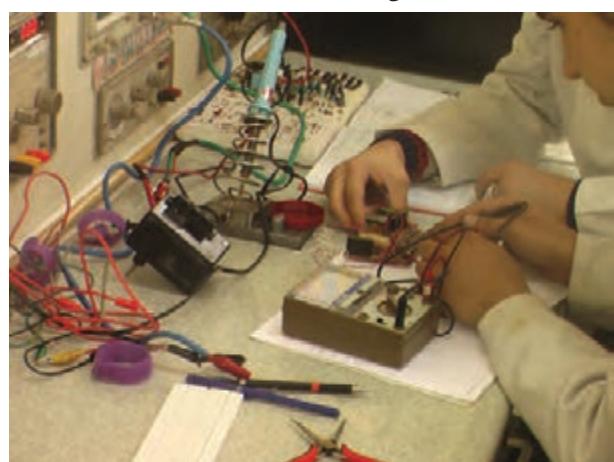
شکل ۱-۴۳ ایجاد حس تملک نسبت به محیط کار با پوشیدن لباس کار ۱-۱۲-۱۱ تشکیل گروه های کاری باعث ایجاد مهارت در کار جمیعی، برنامه ریزی صحیح و ارتباط موثر با دیگران می شود، شکل ۱-۴۴ .



شکل ۱-۴۴ تشکیل گروه های کاری

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

۱-۱۲-۸ از گذاشتن وسایل اضافی روی میز کار جدا 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 کارگاهها

۱-۱۲-۹ 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 ۱-۴۶ تهیه‌ی دفتر گزارش کار

رعايت اين توصيه، مهارت تبديل نقاط ضعف به نقاط قوت را ايجاد می‌کند.

**۱۴-۱۲-۱** خواندن دستورهای اجرایی قبل از شروع کار، مهارت اعتماد به نفس و داشتن آرامش را در اجرای آزمایش امکان پذیر می‌کند، شکل ۱-۴۷.



شکل ۱-۴۷ خواندن دستورالعمل قبل از شروع کار

**۱۵-۱۲-۱** استفاده از آزمایشگاه مجازی (Virtual lab) به عنوان پیش آزمایش، آموزش و صرفه جویی در ابزار، قطعات و تجهیزات و زمان را در فرد عمیق تر می سازد.

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 مربيان، از مهم‌ترین وظایيفی است که به ارشد دوره‌ای کارگاه واگذار می‌شود، شکل ۱-۴۵.

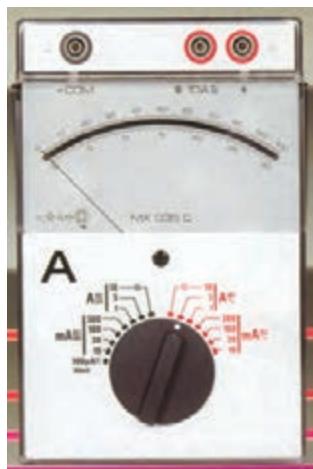


شکل ۱-۴۵ تعیین ارشد کلاس

ارشد کلاس در هر هفته تغيير می‌کند. با اين هدف حس مسئوليت‌پذيری، رشد مهارت مدريديتی، هدایت گروه و مهارت اعتماد به نفس در همه تقويت می‌شود.

**۱۳-۱۲-۱** تهیه دفتر گزارش کار و تنظيم آن برای هر آزمایش کمک می‌کند تا مهارت بازييني فعالیت‌های انجام شده و توجه به هدف و نتیجه و پيدا کردن اشکالات و رفع آنها در فرد ايجاد شود، شکل ۱-۴۶.

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



شکل ۱-۴۹ یک نمونه آمپر متر آزمایشگاهی

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

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



شکل ۱-۵۰ یک نمونه ولت متر آزمایشگاهی

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

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

## ۱۱-۱۳ اطلاعات اولیه

### منبع تغذیه

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



شکل ۱-۴۸ 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 ۱-۴۹ یک نمونه آمپر متر آزمایشگاهی را نشان می دهد. امروزه

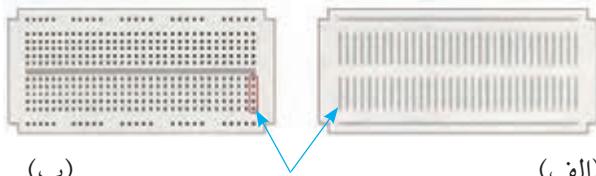
می‌کنند. شکل ۱-۵۱ یک نمونه اهم متر آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

مولتی‌متر به معنی چند اندازه‌گیر است و به دستگاه‌هایی اطلاق می‌شود که چند کمیت را می‌توانند اندازه بگیرند.

### بردبرد

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

در شکل ۱-۵۳ تصویر یک نمونه بردبرد را مشاهده می‌کنید. سوراخ‌های تعییه شده روی بردبرد برای نصب قطعات مدار روی آن است. سوراخ‌های هر ستون طبق شکل ۱-۵۳-الف به هم اتصال دارند. شکل ۱-۵۳-ب نمایی از روی بردبرد را نشان می‌دهد که در آن اتصال‌های مربوط به سوراخ‌ها نشان داده شده است.



هر ردیف پنج تایی سوراخ‌ها به وسیله یک نوار مشترک از پشت به هم وصل شده‌اند.

شکل ۱-۵۳ صفحه آزمایش یا بردبرد

### مترا LC

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



شکل ۱-۵۴ یک نمونه LC متر



شکل ۱-۵۱ یک نمونه اهم متر آزمایشگاهی

### اهم متر

آزمایشگاهی گران قیمت است. برای اجرای آزمایش از مولتی‌متر استفاده کنید.

### مولتی‌متر

در اغلب آزمایشگاه‌ها و کارگاه‌ها از وسیله‌ای به نام «مولتی‌متر» یا «آومتر» استفاده می‌شود. این وسیله قادر به اندازه‌گیری کمیت‌هایی مانند ولتاژ، جریان و مقاومت است.

شکل ۱-۵۲ دو نمونه مولتی‌متر عقربه‌ای و دیجیتالی را نشان می‌دهد. امروزه مولتی‌مترهای دیجیتالی فراوان‌تر، ارزان‌تر و مرغوب‌تر از مولتی‌مترهای عقربه‌ای است. لذا در اجرای آزمایش‌ها از مولتی‌متر دیجیتالی استفاده می‌کنیم.



دیجیتالی

عقربه‌ای

شکل ۱-۵۲ دو نمونه مولتی‌متر

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.



ب - فانکشن ژنراتور

الف - سیگنال ژنراتور

شکل ۱-۵۷ ۱- 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 دقیقت انجام کار را افزایش می‌دهد. در شکل ۱-۵۹ یک نمونه میز آزمایشگاهی نشان داده شده است.

در برخی از مولتی‌مترهای دیجیتالی و عقرهای 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 بویین‌ها
- بعداً صحبت
- خواهیم کرد.

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

### باتری

شکل ۱-۵۶ ۱- 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 ۱- دو نمونه باتری

### سیگنال ژنراتور

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

## ۱-۱۴ آزمایش شماره (۱)

اصول بستن مدار ساده با لامپ و باتری و کلید

زمان اجرا: ۱ ساعت آموزشی

### ۱-۱۴-۱ هدف آزمایش:

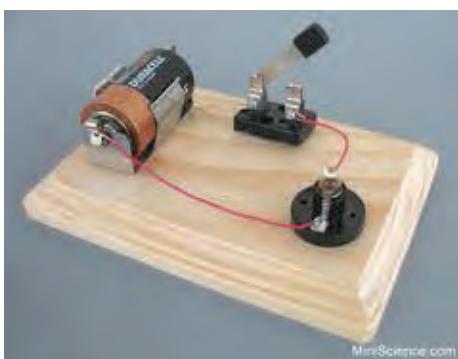
یک مدار ساده الکتریکی را با استفاده از لامپ و باتری و کلید و سیم‌های رابط بیندید.

### ۱-۱۴-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

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

### ۱-۱۴-۳ مراحل اجرای آزمایش:

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



شکل ۱-۶۱



شکل ۱-۵۹ یک نمونه میز آزمایشگاهی

### جعبه ابزار

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



شکل ۱-۶۰ دو نمونه جعبه ابزار

#### ۱-۱۴-۴ نتایج آزمایش:

آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح

■ سر دیگر کلید رانیز با سیم‌های رابط به سرپیچ وصل

کنید.

دهید.

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

سرسوسмарی به سرپیچ لامپ که هنوز آزاد است، وصل

کنید.

■ کلید یک پل را بیندید.

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



■ کلید یک پل را به حالت باز درآورید.

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

دهید.



یادگیری بدون انگیزه و تنکر، مانع کشف و بروز  
استعداد خلاقیت و نوآوری در فرآگیران 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 می‌گیرند.  
ب) منفی- مثبت الف) منفی- منفی  
۹- ایستادگی در مقابل عبور جریان الکتریکی را می‌گویند.  
ب) مقاومت الکتریکی الف) اختلاف پتانسیل  
د) کار الکتریکی ج) توان الکتریکی  
۱۰- نیروی بین دو بار الکتریکی با اندازه بارهای الکتریکی دو جسم رابطه مستقیم دارد.

غلط

صحیح

- ۱۱- کدام گزینه واحد شدت میدان الکتریکی است؟  
الف) کولن بر ثانیه ب) نیوتون بر کولن  
ج) ولت بر آمپر متر د) ولت بر ابراهیم  
۱۲- به دو سر یک مقاومت ۱۰ اهم، ولتاژی برابر با ۱۰ ولت می‌دهیم. جریان گذرنده از مدار چند آمپر است؟  
الف) ۱۰۰ ب) ۱ ج) ۲۰ د) ۰/۱۰  
۱۳- از یک مقاومت ۵ اهمی، جریانی برابر با ۲ آمپر عبور می‌کند، چند وات توان در مقاومت تلف می‌شود؟  
الف) ۱۰ ب) ۲/۵ ج) ۵۰ د) ۲۰

- ۱۴- یک لامپ ۴۰ وات در مدت ۲ دقیقه چند ژول انرژی مصرف می‌کند؟  
الف) ۸۰ ب) ۲۴۰۰ ج) ۴۸۰۰ د) ۲۲۰۰  
۱۵- جریان  $0.2$  آمپر معادل چند میلی آمپر است؟  
الف)  $0.002$  ب)  $200$  ج)  $200$  د)  $0.0002$   
۱۶- ولتاژ ۵ میلی ولت معادل چند ولت است؟  
الف)  $500$  ب)  $50$  ج)  $0.005$  د)  $0.05$

۱- کدامیک از ذرات اتم (به ترتیب از راست به چپ) دارای بار منفی و مثبت هستند؟

- الف) پروتون- الکترون  
ب) نوترون- الکترون  
ج) نوترون- پروتون

۲- جمله «در حالت عادی یک اتم از نظر بار الکتریکی خنثی است» با کدام گزینه انطباق دارد؟

- الف) الکترون‌ها و پروتون‌ها بدون بار هستند.  
ب) الکترون‌ها و نوترون‌ها باز خود را از دست داده‌اند.  
ج) بارهای مثبت و منفی یکدیگر را خنثی می‌کنند.  
د) اتم در حالت عادی به یک اندازه پروتون و الکترون دارد.

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

- الف) پروتون‌ها و الکترون‌ها  
ب) پروتون‌ها و نوترون‌ها  
ج) نوترون‌ها و الکترون‌ها  
د) نوترون‌ها

۴- هسته هر اتم از دو ذره کوچک به نام‌های پروتون و الکترون تشکیل شده است.

غلط

صحیح

- ۵- کدامیک از موارد زیر نیمه‌هادی است؟  
الف) طلا ب) مس ج) پلاستیک  
د) ژرمانیوم

۶- مقدار بار الکتریکی که در هر جسم وجود دارد بر حسب ..... بیان می‌شود.

۷- واحد بار الکتریکی کدام است؟

## 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 فراغیرنده 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- نحوه 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- نحوه محاسبه مقاومت معادل در مدار موازی را محاسبه کند.
- ۱۱- جریان و ولتاژ در یک مدار موازی را محاسبه کند.
- ۱۲- نحوه اندازه گیری ولتاژ را شرح دهد.

ساعت آموزش			توانایی شماره
جمع	عملی	نظری	
۳۵	۱۸	۱۷	۲

## پیش آزمون فصل (۲)



۸- برای اندازه‌گیری جریان در مدارهای الکتریکی از استفاده می‌شود، که با سایر قطعات .... قرار می‌گیرد.

ب) ولت‌متر- موازی

الف) ولت‌متر- سری

د) آمپر‌متر- موازی

۹- پیلهای اولیه قابل شارژ نیستند.

غلط

صحیح

۱۰- پیلهای قلیایی..... و نیکل- کادمیوم..... هستند.

۱- واحد بار الکتریکی کولن بر ثانیه است.

غلط

صحیح

۲- تولرانس مقاومت‌های سری  $E_{12} \pm 10\%$  است.

غلط

صحیح

۳- ترمیستوری را که تغییر مقاومت آن با افزایش دما نسبت مستقیم دارد ..... می‌گویند.

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

الف) حرارت      ب) نور      ج) ولتاژ      د) دما

۵- مقاومت معادل در یک مدار سری، از همه‌ی

مقاومت‌های موجود در مدار (بزرگ‌تر- کوچک‌تر) است.

۶- کدامیک از جملات زیر صحیح نیست؟

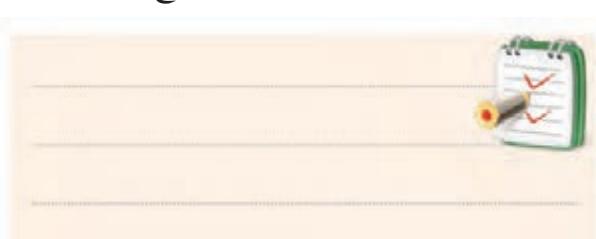
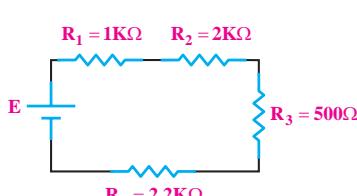
الف) در مدار موازی، جریان شاخه‌ها مساوی است.

ب) در مدار موازی، توان کل مدار برابر مجموع توان‌های مصرف کننده‌ها است.

ج) در مدار سری، ولتاژ کلیه‌ی مصرف کننده‌ها برابر با ولتاژ منبع است .

د) در مدار سری، توان کل مدار برابر مجموع توان‌های مصرف کننده‌ها است.

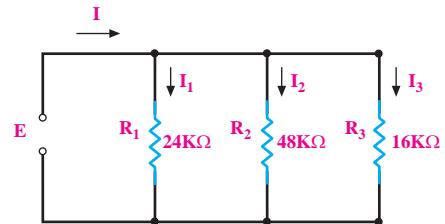
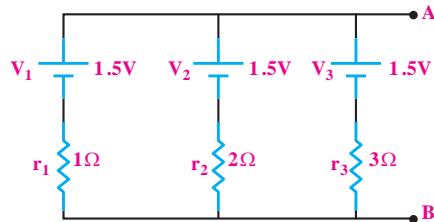
۷- ساختمان داخلی ولت‌متر DC را شرح دهید.



۱۳- مقاومت معادل را در شکل زیر محاسبه کنید.

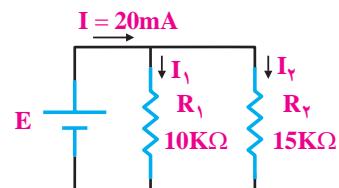
الف- کاربرد مدار

ب- مقاومت داخلی کل پیلهای 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

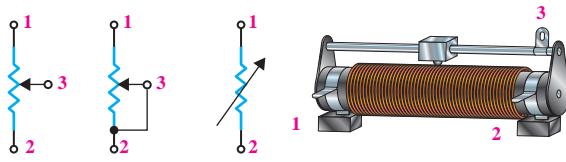
«مقاومت الکتریکی» خاصیتی است که در مقابل عبور جریان الکتریکی از خود مخالفت نشان می‌دهد. این مخالفت گاهی مانند مقاومت الکتریکی سیم‌های رابط، به صورت ناخواسته و مزاحم در مدارهای الکتریکی وجود دارد و گاهی به عنوان عاملی از پیش تعیین شده به صورت یک مصرف کننده در مدارهای الکتریکی قرار می‌گیرد.



شکل ۲-۲ یک نمونه مقاومت متغیر

### ۲-۱-۲ رُؤستا و پتانسیومتر

رُؤستا و پتانسیومتر، هر دو مقاومت متغیر هستند که می‌توان با جایه‌جا کردن یا چرخاندن یک اهرم مکانیکی، مقدار مقاومت اهمی آن‌ها را تغییر داد. به مقاومت‌های متغیر سیمی بزرگ اصطلاحاً رُؤستا 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

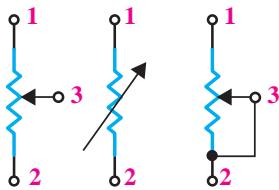
در اصطلاح به مقاومت‌های متغیر کوچک‌تر، پتانسیومتر می‌گویند. مقدار مقاومت اهمی این نوع مقاومت‌های متغیر را می‌توان با اهرمی که روی آن‌ها قرار دارد، تغییر داد. در شکل ۴-۲ نمونه‌هایی از پتانسیومتر نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۲-۴ دیده می‌شود، مقاومت‌های متغیر از نظر ابعاد و شکل ظاهری از تنوع نسبتاً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



شکل ۲-۱ 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



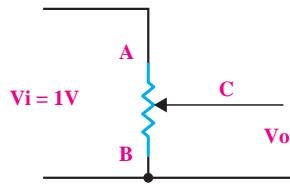
شکل ۲-۶ علامت قراردادی مقاومت متغیر



شکل ۲-۴ چند نمونه پتانسیومتر پر کاربرد در الکترونیک

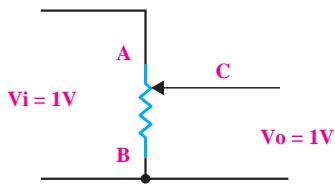
### بیشترین کاربرد مقاومت‌های متغیر در تقسیم ولتاژ است.

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.



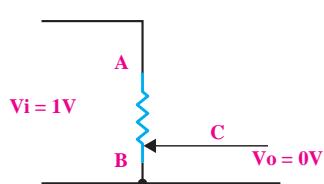
شکل ۲-۷ اتصال مقاومت متغیر به صورت پتانسیومتر

اگر سر وسط پتانسیومتر در وضعیت A قرار داشته باشد، ولتاژ خروجی برابر با یک ولت می‌شود، شکل ۲-۸.



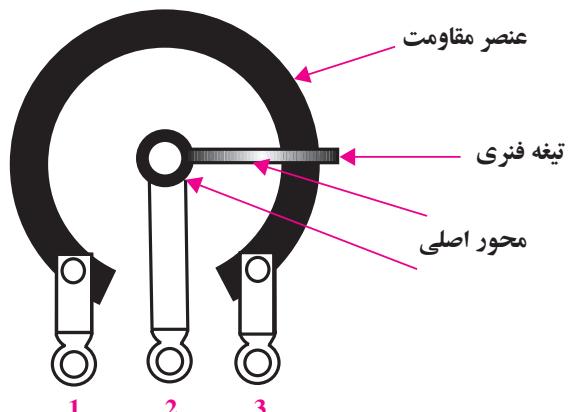
شکل ۲-۸ سر وسط پتانسیومتر در وضعیت A

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

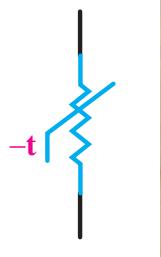
مقاومت متغیر سه سر دارد که مقاومت اهمی بین دو سر آن همیشه ثابت است و مقاومت اهمی سر سوم و یکی از دو سر دیگر را می‌توان با تغییر اهرم مکانیکی تغییر داد. ساختمان داخلی یک نمونه مقاومت متغیر در شکل ۲-۵ نشان داده شده است. در این شکل مقاومت اهمی بین پایه ۱ و ۳ ثابت و مقاومت بین پایه ۱ و ۲ و ۳ با تغییر اهرم قابل تغییر است.



شکل ۲-۵ ساختمان داخلی مقاومت متغیر

علامت قراردادی برای نمایش یک مقاومت متغیر را در

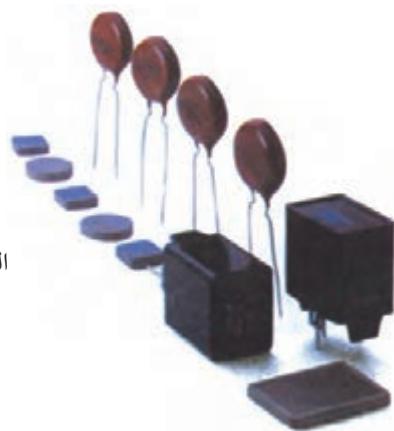
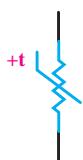
شکل ۲-۶ ملاحظه می‌کنید.



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

#### • مقاومت حرارتی PTC: PTC Thermistor است

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



الف - علامت اختصاری

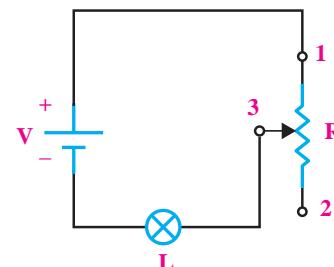
ب- شکل ظاهری

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

#### ۲-۱-۴ مقاومت وابسته به نور «فتوریزیستور» (Photo Resistor)

مقدار مقاومت تابع نور (LDR) وابسته به شدت نور تاییده شده به آن است. هر قدر شدت نور بیشتر شود، مقدار مقاومت فتو رزیستور کاهش می یابد.  
در شکل ۲-۱۳ 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 رئوستات است. در حالت رئوستاتی جریان مدار قابل تنظیم است. در این حالت تنها از دو پایه مقاومت متغیر استفاده می شود، شکل ۲-۱۰.



شکل ۲-۱۰ اتصال مقاومت متغیر به صورت رئوستات

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

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

(Thermistor – Thermally sensitive Resistor)

این مقاومت ها تابع حرارت هستند و تغییرات دما روی مقدار مقاومت آنها اثر می گذارد.  
ترمیستورها در دو نوع:

(Negative Temperature Coefficient) NTC و

(Positive Temperature Coefficient) PTC وجود دارند.

#### ۲-۱-۵ مقاومت حرارتی NTC: NTC Thermistor است

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

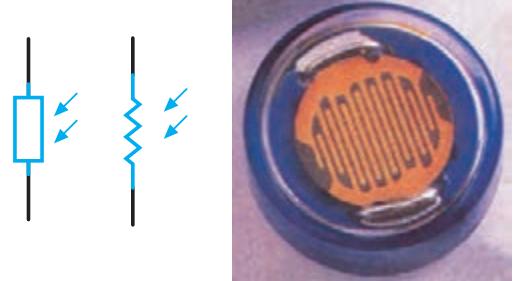
می نامند. تولرانس قابل قبول در مقاومت به نوع کاربرد مقاومت ها در مدارهای الکتریکی یا الکترونیکی بستگی دارد. مقاومت ها را در عمل با تولرانس های  $\pm 20\%$ ،  $\pm 10\%$  و  $\pm 5\%$  می سازند. برای دستگاه های اندازه گیری حساس، مقاومت هایی با تولرانس  $\pm 2.5\%$ ،  $\pm 2\%$ ،  $\pm 1\%$  و  $\pm 0.5\%$  نیز وجود دارد. یک مقاومت  $10\Omega$  با تولرانس  $\pm 10\%$  مقاومتی بین  $9\Omega$  تا  $11\Omega$  دارد. اگر فرض کنیم که در مدارهای الکترونیکی تولرانس  $\pm 20\%$  (در صد خطای) قابل قبول است و ما نیاز به یک مقاومت  $9.5\Omega \pm 10\%$  داشته باشیم، می توانیم از یک مقاومت  $10\Omega$  استفاده کنیم. اگر قرار باشد هر مقاومت با هر مقدار دلخواه که ما نیاز داشته باشیم را بسازند، تعداد مقاومت های ساخته شده بی نهایت زیاد می شوند که در عمل امکان پذیر نیست. ولی با پذیرش درصد خطای مجاز معینی، تعداد مقاومت ها از نظر مقدار به شدت کاهش می یابد. برای مثال اگر تولرانس  $\pm 20\%$  را پذیریم، در یک فاصله ده تایی ( $1\Omega$  تا  $10\Omega$ ) تعداد مقاومت ها به ۶ عدد کاهش می یابد. این ۶ مقاومت می توانند تمام محدوده یک تا ده اهم را با  $\pm 20\%$  خطای پوشش دهند، (جدول ۲-۱).

جدول ۲-۱

۱	$1/5$	$2/2$	$3/3$	$4/7$	$6/8$
---	-------	-------	-------	-------	-------

در جدول ۲-۱ هر مقاومتی که لازم داشته باشیم را می توانیم حداقل  $\pm 20\%$  کمتر یا  $\pm 20\%$  بیشتر از یکی از اعداد جدول انتخاب کنیم. به مقاومت های جدول ۲-۱ مقاومت های سری E6 می گویند. یا به عبارت دیگر در سری مقاومت های E6 تولرانس مقاومت ها  $\pm 20\%$  است.

اگر تولرانس را  $\pm 10\%$  در نظر بگیریم، تعداد مقاومت های مطابق سطر دوم جدول ۲-۲ در فاصله یک ده تایی ( $1\Omega$  تا



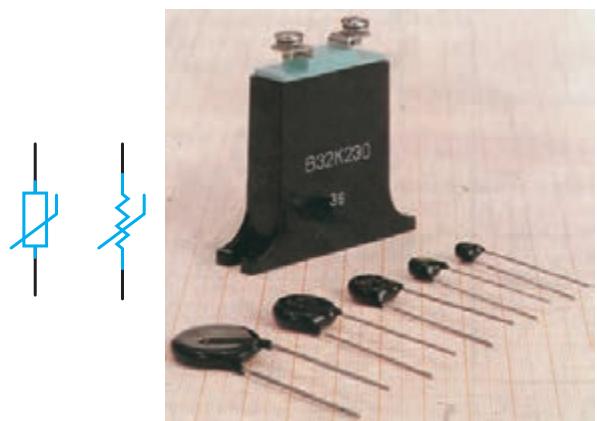
الف - شکل ظاهری  
ب - علامت اختصاری

شکل ۲-۱۳ تصویر ظاهری و علامت اختصاری مقاومت LDR

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

(Voltage Dependent Resistor)

مقایمت های متغیری هستند که مقدار مقاومت آنها، در برابر ولتاژ های مختلف ثابت نیست و تغییر می کند. در این مقاومت ها که به VDR معروف هستند، هر قدر ولتاژ داده شده بیشتر شود، مقدار مقاومت کاهش می یابد، شکل ۲-۱۴.



شکل ۲-۱۴ شکل ظاهری واریستور و نماد آن

## ۲-۲ مشخصه های مقاومت

هر مقاومت ثابت یا متغیر، دارای مشخصه هایی است که به شرح تعدادی از آنها می پردازیم.

### ۲-۲-۱ مقدار مقاومت و تولرانس

هر مقاومت، دارای یک مقدار ثابت همراه با تولرانس است. در صد خطایی که مقدار یک مقاومت دارد را تولرانس

۱۰٪ است. این سری مقاومت‌ها پرکاربردترین مقاومت‌ها در الکترونیک هستند. اگر تولرانس را ۵٪ در نظر بگیریم تعداد مقاومت‌ها در فاصله یک دهتایی ( $1\Omega$  تا  $10\Omega$ ) مطابق سطر سوم جدول ۲-۲ برابر با ۲۴ عدد می‌شود. به اعداد سطر سوم

جدول ۲-۲ مقاومت‌های سری E24 می‌گویند.

$10\Omega$  برابر با ۱۲ عدد می‌شود. در جدول ۲-۲ هر مقاومتی را که در یک دهه لازم داشته باشیم می‌توانیم حداکثر با ۱۰٪ کمتر یا ۱۰٪ بیشتر انتخاب کنیم. به مقاومت‌های سطر دوم جدول ۲-۲ سری E12 می‌گویند.

به عبارت دیگر در سری مقاومت‌های E12، تولرانس

جدول ۲-۲ جدول سری‌های استانداردی 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

به جای ممیز نیز به کار می‌رود.

اعداد جدول ۱-۲ و ۲-۲ را اعداد پایه می‌گویند.

با تقسیم کردن این اعداد بر ۱۰، ۱۰۰ یا ضرب کردن

آنها در ۱۰، ۱۰۰، ۱K، ۱۰K و یا ۱M مقاومت‌های جدیدی به دست می‌آید. مثلاً برای عدد ۲/۲ مقاومت‌هایی مانند  $22\Omega$ ،  $2/2\Omega$ ،  $220\Omega$ ،  $2/20\Omega$ ،  $22K$ ،  $2/2K$ ،  $220K$  و  $2/2M$  ساخته می‌شود.

جدول ۲-۳ حروف اختصاری تولرانس برای مقاومت‌های سیمی

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

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

### مثال ۱: مقدار مقاومت و تولرانس مقاومت‌های نشان داده شده در شکل ۲-۱۶ چه قدر است؟

الف  $10Rj = 10\Omega \pm 5\%$

ب  $33KK = 33K\Omega \pm 10\%$

ج  $4K7M = 4.7K\Omega \pm 20\%$

شكل ۲-۱۶ سه نمونه مقاومت

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

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

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



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

**ب:** مقدار مقاومت را مستقیماً می‌نویسند و به جای واحد اهم از حرف R و به جای تولرانس 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  $\pm 20\%$  است.

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



## توجه

در مقاومت‌هایی که دارای پنج نوار رنگی هستند:

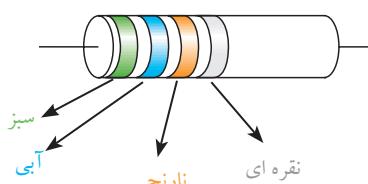
۱- اگر حلقه‌ی رنگی پنجم وجود نداشته باشد(بدون رنگ)، مقدار تولرانس  $\pm 20\%$  است.

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.

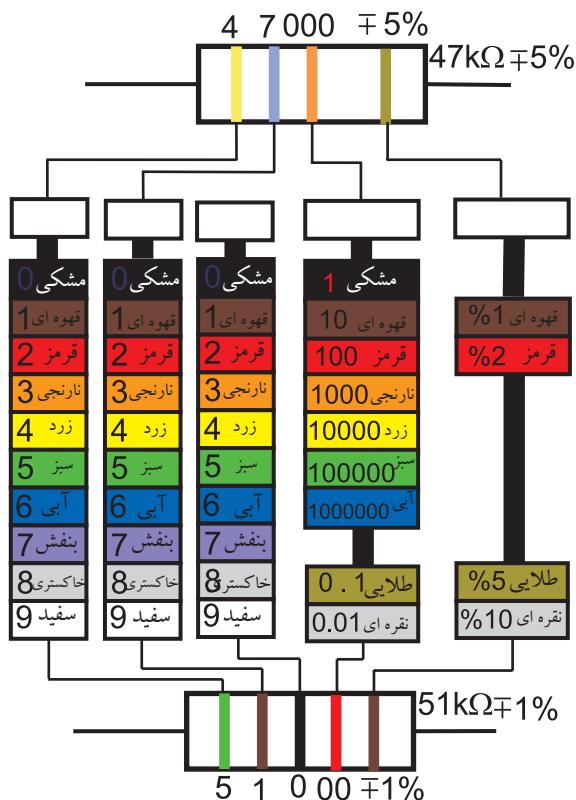
**مثال ۲:** در شکل ۲-۱۸ مقدار مقاومت و تولرانس آن چقدر است؟



شکل ۲-۱۸

را معمولاً برای مقاومت‌های کوچک که امکان نوشتند 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 ۲-۱۷ رنگ نوار اول و دوم نماد اعداد صحیح و رنگ نوار سوم نماد ضربی 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 ضربی و رنگ نوار پنجم نماد تولرانس است.

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



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

حل:

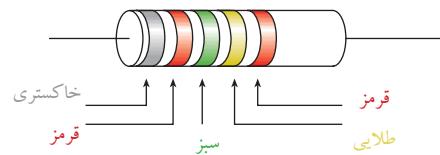
نقره ای - نارنجی - آبی - سبز

$$R = 5 \text{ } 6 \text{ } \dots \text{ } \% 10$$

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

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

آن چقدر است؟



شکل ۲-۱۹

حل:

قرمز - طلایی - سبز - قرمز - خاکستری

$$R = 8 \text{ } 2 \text{ } 5 \text{ } \% 2 \text{ } \Omega = 825 \Omega \pm 2\%$$

$$R = 825 \times 0.1 = 82.5 \Omega \pm 2\%$$

## 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 بینند. مقاومتها را با توان های  $\frac{1}{4}W$ ،  $\frac{1}{2}W$ ،  $1W$ ،  $2W$ ،  $5W$  و  $10W$  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 کمتر یا بیشتر، 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، ۰.۰۴ 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.

## ۲-۲-۳ اهمتر

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

برای اندازه گیری مقاومت با اهمتر، کافی است که ابتدا به کمک سیم رابط، دو پایانه (ترمینال) محل اتصال مقاومت اهمی را به هم اتصال کوتاه کنیم و لوم 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

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

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



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

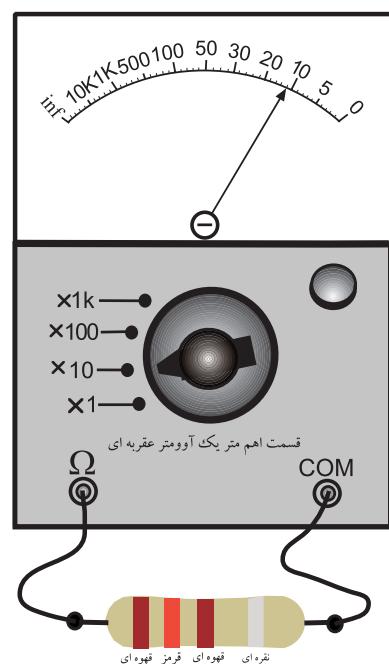
هر مولتی متر دارای تعدادی کلید سلکتور دورانی یا کشویی است. با تنظیم این کلیدها می توان از دستگاه به عنوان ولت متر، آمپر متر یا اهم متر مستقل استفاده کرد. برای خواندن مقادیر ولتاژ و جریان می توانیم از ضربی ثابت سنجش استفاده کنیم. در شکل ۲-۲۳ یک نمونه اهم متر عقرهای را مشاهده می کنید.

کنیم. عقرهای مقداری را نشان می دهد، آن مقدار را در عدد کلید رنج حوزه کار ضرب می کنیم و مقدار مقاومت را به دست می آوریم.



شکل ۲-۲۰ یک نمونه اهم متر آزمایشگاهی

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



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

به انتخاب رنج ندارند. برای اندازه‌گیری ولتاژ، کلید سلکتور اصلی را روی رنج ولتاژ (V) قرار می‌دهیم و ولتاژ را بدون توجه به مقدار آن به پایانه‌های مربوط به ولتاژ وصل می‌کنیم. برای اندازه‌گیری مقاومت، کلید سلکتور اصلی را روی حوزه کار (رنج) اهم ( $\Omega$ ) قرار می‌دهیم و پایانه‌های مولتی‌متر را به مقاومت اتصال می‌دهیم. در این حالت، مقاومت همراه با واحد آن روی صفحه نمایش (Display) مولتی‌متر نشان داده می‌شود. در شکل ۲-۲۵ یک نمونه دیگر مولتی‌متر دیجیتالی را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲-۲۵ یک نمونه دیگر از مولتی‌متر دیجیتالی

**نکته:** هنگام اندازه‌گیری ولتاژ توسط مولتی‌متر دیجیتالی باید به مقدار مجاز ولتاژ که توسط کارخانه سازنده داده می‌شود توجه کنید. مثلاً چنان‌چه مقدار ماکریم قبل از اندازه‌گیری توسط دستگاه ۱۰۰۰ ولت است، باید آن را به ولتاژ بیشتر از ۱۰۰۰ ولت متصل نمایید.

حفاظت از دستگاه‌های اندازه‌گیری و استفاده بهینه از آن‌ها، عامل مؤثر در حفاظت از ثروت ملی است.



شکل ۲-۲۳ یک نمونه مولتی‌متر عقربه‌ای (آنالوگ)

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



شکل ۲-۲۴ دو نمونه مولتی‌متر دیجیتالی

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

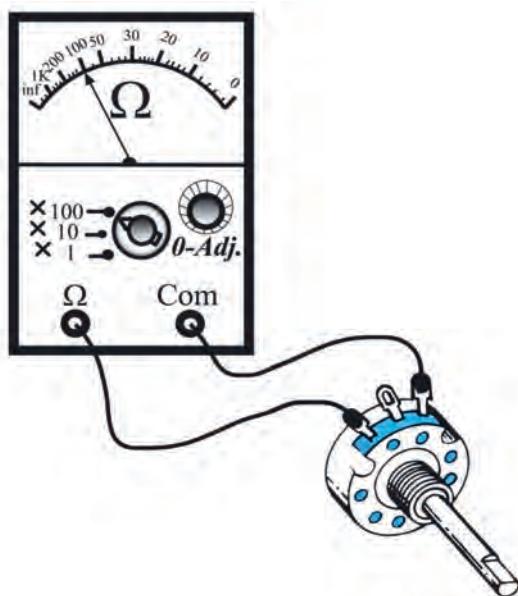
## ۲-۴ آزمایش شماره (۱)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

### ۲-۴-۱ هدف آزمایش:

تحلیل عملی رفتار مقاومت‌های متغیر، وابسته به نور و

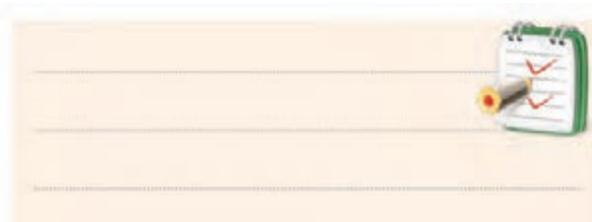
وابسته به حرارت در فضای آزمایشگاهی



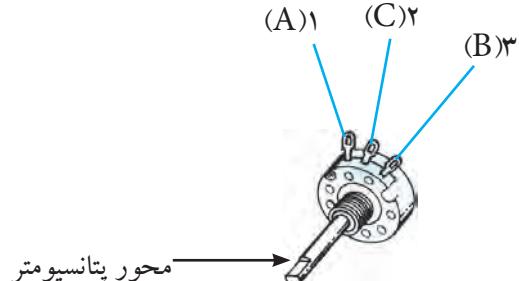
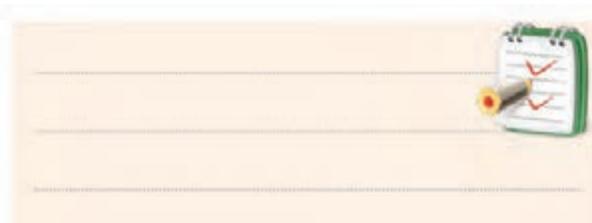
شکل ۲-۲۷ اندازه‌گیری مقاومت متغیر

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

اهم متر 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 اهم متر نشان می‌دهد، بخوانید و مقدار آن را یادداشت کنید.



شکل ۲-۲۶ یک نمونه مقاومت متغیر

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

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	منبع تغذیه ۰-۱۵ V	یک دستگاه
۲	مولتی متر عقربه‌ای یا دیجیتالی	یک دستگاه
۳	هویه قلمی	یک عدد
۴	مقاومت متغیر ۱۰ kΩ	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

### ۲-۴-۳ مراحل اجرای آزمایش:

#### موضوع الف- بررسی تغییرات مقاومت اهمی مقاومت متغیر

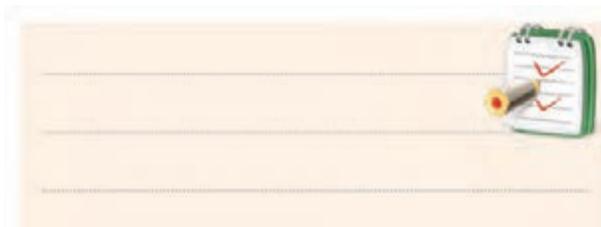
وسایل مورد نیاز را آماده کنید.

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

۲-۲۷ با اهم متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

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

**سؤال 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 دهد.

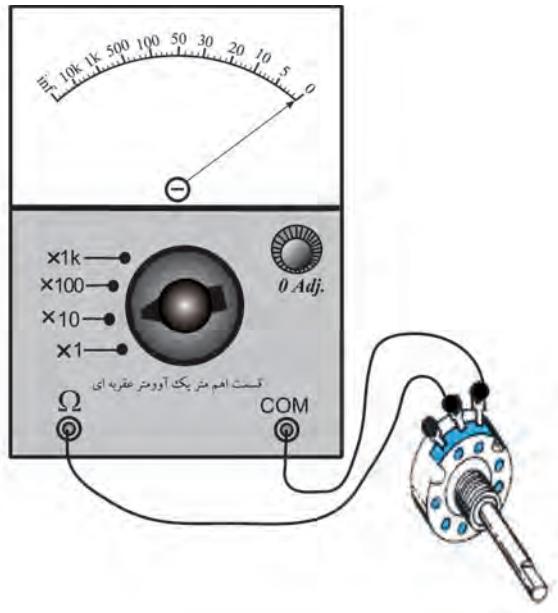


در این آزمایش نوع مقاومت‌های وابسته‌ی VDR، LDR، PTC و NTC تعیین نشده است. نوع قطعات با توجه به امکانات هنرستان و بازار تعیین می‌شود.

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

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

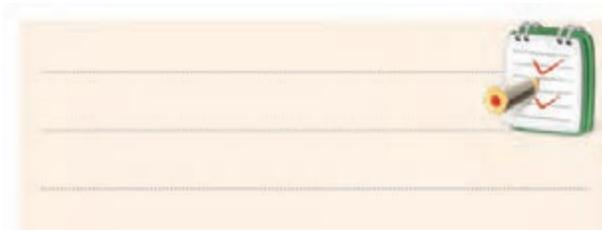
$$R = \dots \Omega$$



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

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

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



## موضوع ج- اثر تغییر نور روی مقدار اهمی

**مقاومت وابسته به نور (LDR)**

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

■ مقدار اهمی مقاومت را بخوانید و یادداشت کنید.

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

■ سطح LDR را کمی پوشانید و مقدار نور تاییده شده به LDR را کاهش دهید.

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

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

■ سطح LDR را کاملاً پوشانید.

■ نور تاییده به LDR را کاملاً قطع کنید.

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

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

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

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

$$R = \dots \Omega$$

**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.

■ اهم متر را به دو سر مقاومت NTC وصل کنید.

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

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

■ 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 اهم متر مقدار مقاومت NTC را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

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

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

## ۲-۵ اتصال مقاومت‌ها به یکدیگر

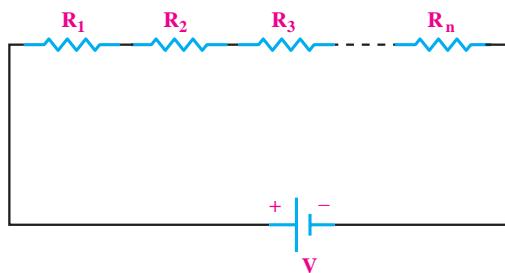
### ۲-۵ سری بستن مقاومت‌ها:

اگر در یک مدار الکتریکی دو یا چند مصرف کننده به گونه‌ای به هم بسته شوند که جریان عبوری از هر یک از آن‌ها یکسان باشد، می‌گوییم مصرف کننده‌ها با هم سری بسته شده‌اند. مصرف کننده‌ها می‌توانند مقاومت‌های مساوی یا غیر مساوی نیز باشند. در شکل ۲-۲۹ دو عدد لامپ با یکدیگر به صورت سری بسته شده‌اند.



شکل ۲-۲۹ مدار واقعی دو لامپ به صورت سری

در یک مدار سری، مقاومت‌ها (مصرف کننده‌ها) طوری به هم متصل می‌شوند که انتهای مقاومت اول به ابتدای مقاومت دوم و انتهای مقاومت دوم به ابتدای مقاومت سوم وصل می‌شود و به همین ترتیب تا آخرین مقاومت ادامه می‌یابد، شکل ۲-۳۰.



شکل ۲-۳۰ نقشه‌ی فنی مدار سری

## سوال ۵: مقدار مقاومت LDR با تغییر شرایط نوری چه

تغییری می‌کند؟ شرح دهید.



الف-

### ۴-۴ نتایج آزمایش:

آن‌چه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

الف-

ب-

ب-

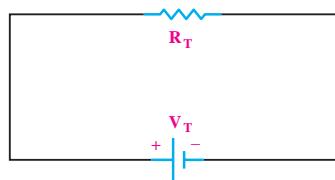
ج-

## توجه

ابتدا و انتهای مقاومت انتخابی  
است و توسط ما انتخاب می‌شود.

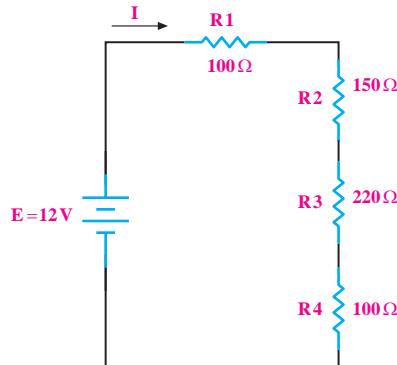


شکل ۲-۳۲ مدار معادل شکل ۲-۳۲ را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳۳ مدار معادل شکل ۲-۳۲

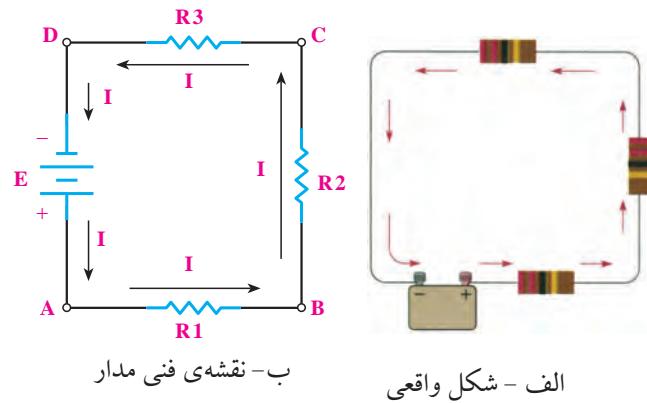
**مثال ۴:** مقاومت معادل در شکل ۲-۳۴ چند اهم است؟



شکل ۲-۳۴

در مدار سری فقط یک مسیر برای عبور جریان الکتریکی

وجود دارد، شکل ۲-۳۱



شکل ۲-۳۱

**مقادیر معادل در مدار سری:**

- مقاومت کل در مدار سری برابر با مجموع مقاومت‌های

مدار است، شکل ۲-۳۲.

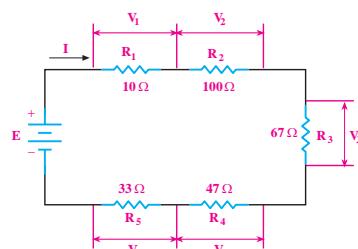
$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

: اعداد را جایگزین می‌کنیم:

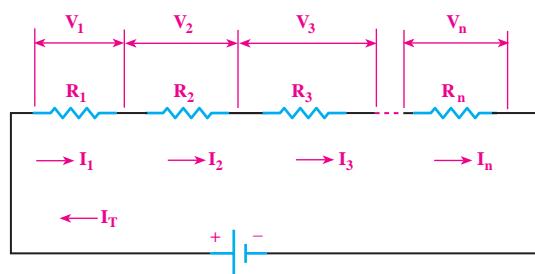
$$R_T = 100 + 150 + 220 + 100$$

$$R_T = 570 \Omega$$

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



شکل ۲-۳۵



شکل ۲-۳۲ جریان‌ها و ولتاژها در مدار سری

همیشه می‌توانیم مقاومت معادل  $R_T$  را جایگزین کلیه مقاومت‌های سری موجود در مدار نماییم.

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

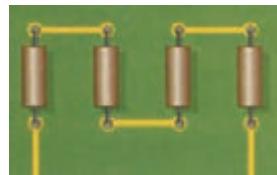
**حل:**

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

رابطه‌ی مقاومت معادل در مدار سری را می‌نویسیم:

است؟

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



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

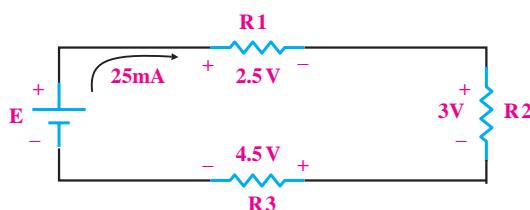
بنویسیم:

$$R_T = n \cdot R$$

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

**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 دوسر هریک از مقاومت‌ها را داریم. با استفاده از قانون اهم، مقدار هر مقاومت را محاسبه می‌کنیم.

اعداد را جایگزین می‌کنیم:

$$R_T = 10 + 100 + 67 + 47 + 33$$

$$R_T = 257 \Omega$$

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

چند اهم است؟

$$R_1 = 100 \Omega$$



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

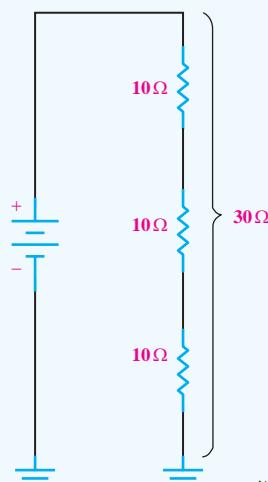


سری به یکدیگر اتصال یابند، مقدار مقاومت معادل از

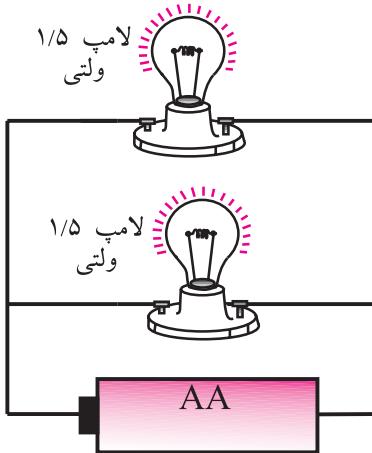
حاصل ضرب تعداد مقاومت‌ها در مقدار یک مقاومت به

دست می‌آید، شکل ۲-۳۷.

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



شکل ۲-۳۷



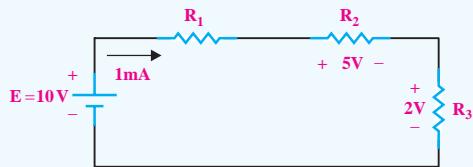
شکل ۲-۴۱ مدار موازی

$$R_1 = \frac{V_1}{I} = \frac{2/5V}{25mA} \Rightarrow R_1 = 10\Omega$$

$$R_2 = \frac{V_2}{I} = \frac{3V}{25mA} \Rightarrow R_2 = 12\Omega$$

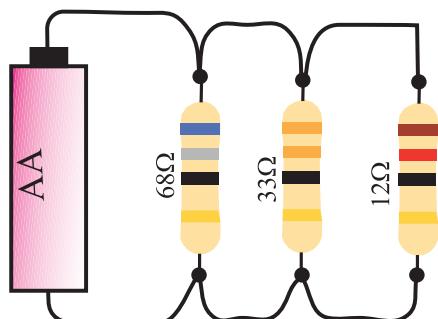
$$R_r = \frac{V_r}{I} = \frac{4/5V}{25mA} \Rightarrow R_r = 18\Omega$$

**تمرین کلاسی ۱:** مقدار مقاومت هر یک از مقاومت‌های  $R_1$ ،  $R_2$ ،  $R_r$  را در شکل ۲-۴۰ به دست آورید.

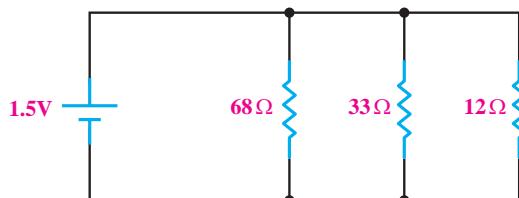


شکل ۲-۴۰

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 قراردادی 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 بسته شده اند



شکل ۲-۴۳ نقشه‌ی فنی مدار شکل ۲-۴۲

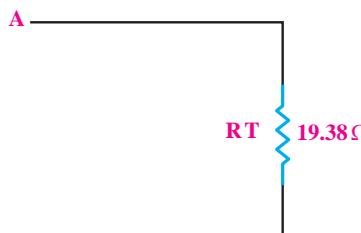
## ۲-۵-۲ موازی بستن مقاومت‌ها

### تعريف 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 شده اند. شکل ۲-۴۱ دو عدد لامپ ۱/۵ ولتی را نشان می‌دهد که با یکدیگر موازی بسته شده‌اند.

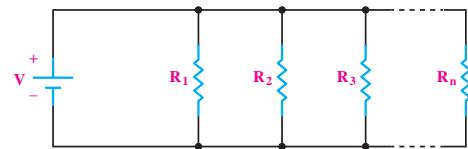
## مقاومت معادل در یک مدار موازی

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



شکل ۲-۴۶

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.



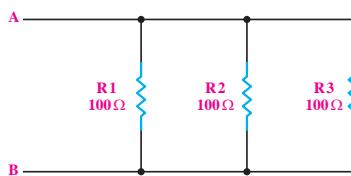
شکل ۲-۴۴ بررسی معادل در مدار موازی

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

## مثال ۹: مقاومت معادل $R_T$ را در مدار شکل ۲-۴۵ به دست آورید.

**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:

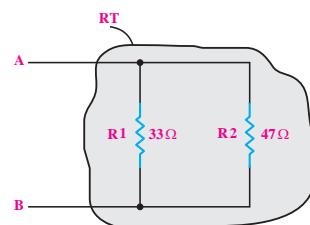
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

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

می‌آوریم:

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

$$R_T = \frac{100}{3} = 33 / 33 \Omega$$



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:

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

$$R_T = \frac{1551}{80} = 19 / 38 \Omega$$

توجہ

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

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



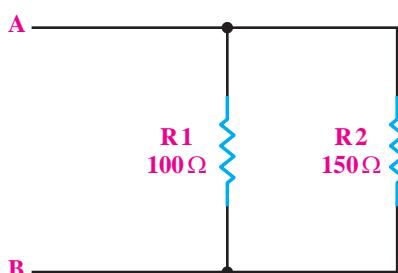
٢٥

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

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

**مثال ۱۲:** مقاومت معادل  $R_T$  را در مدار شکل ۴-۴۹

بہ دست آور یہ.



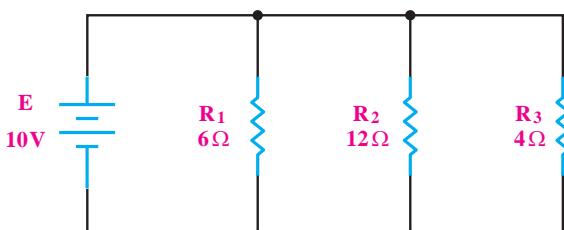
۲-۴۹ شکل

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

دست آورده.



٢-٥٠ شکل

حل:

$$R_T = \frac{R}{n} = \frac{68}{5} = 13.6 \Omega$$

۴۹ بخش اول

حل:

مقادیر موزای هستند، رابطه‌ی مقاومت معادل در مدار  
موازی را می‌نویسیم:

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

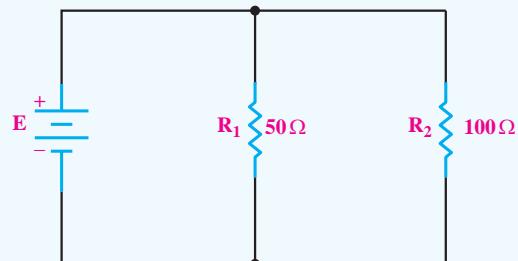
اعداد راجایگرین می‌کنیم و مقدار  $R_T$  را بدست می‌آوریم:

$$\begin{aligned}\frac{1}{R_T} &= \frac{1}{6} + \frac{1}{12} + \frac{1}{4} = \frac{2+1+3}{12} = \frac{6}{12} \\ R_T &= \frac{12}{6} = 2\Omega\end{aligned}$$

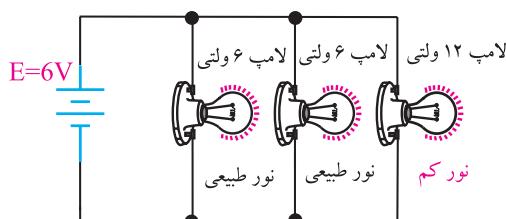


تمرین کلاسی ۲: مقدار مقاومت معادل

را در شکل ۲-۵۱ به دست آورید.

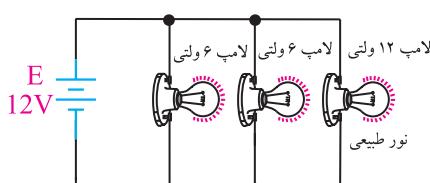


شکل ۲-۵۱



شکل ۲-۵۲ نور لامپ ۱۲ ولتی کم است

- هر سه لامپ را به صورت موازی بینیم 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 ۲-۵۳.

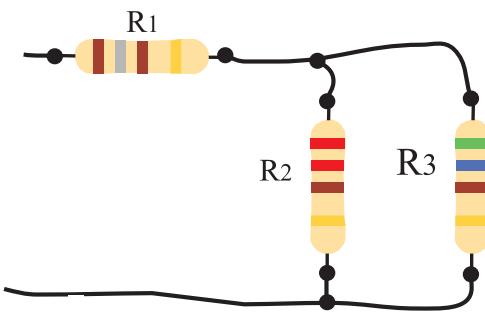


شکل ۲-۵۳ در این مدار لامپ‌های ۶ ولتی می‌سوزند.

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:

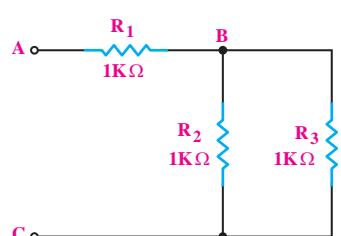
۱- برای ساده کردن مدار از قسمتی شروع می کنیم که منبع تغذیه وجود ندارد یا نقاط باز مشخص شده در مدار هستند.

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.

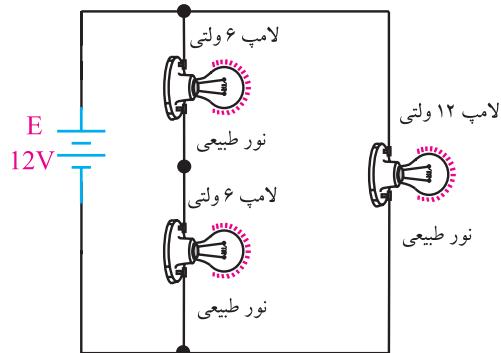
**مثال ۱۴:** مقاومت معادل مدار شکل ۲-۵۶ را به دست آورید.



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.

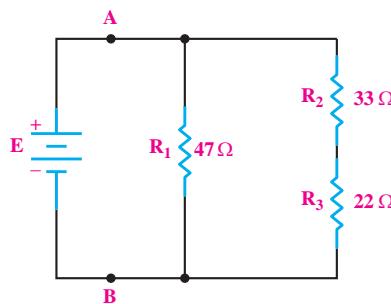


شکل ۲-۵۴ هر سه لامپ نور طبیعی دارند.

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  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  با یکدیگر موازی هستند و مجموعه این مقاومت ها با  $R_T$  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:

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



شکل ۲-۵۹

چون مقاومت های  $R_1$ ،  $R_2$  موازی هستند و منبع تغذیه ای به آن وصل نیست و در انتهای مدار قرار دارند از این مقاومت ها شروع می کنیم:

$$R_{\text{v}} \parallel R_{\text{r}} = \frac{R_{\text{v}} \times R_{\text{r}}}{R_{\text{v}} + R_{\text{r}}} = \frac{1 \times 1}{1 + 1} = 0.5 \text{ k}\Omega$$

حال مدار ساده تر شده را رسم می کنیم و به جای دو

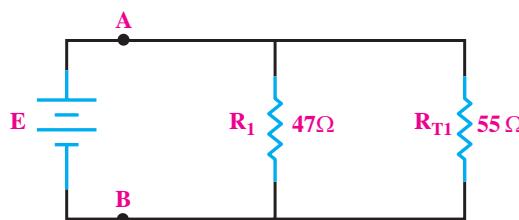
مقاومت  $R_{\text{v}}$ ،  $R_{\text{r}}$  مقاومت معادل موازی آن یعنی  $R_{\text{v}} \parallel R_{\text{r}}$  را می گذاریم، شکل ۲-۵۷

چون دو مقاومت  $R_{\text{v}}$ ،  $R_{\text{r}}$  به صورت مستقل با هم سری بسته شده اند و در بیرونی ترین نقطه مدار قرار دارند از آن ها شروع می کنیم.

ابتدا دو مقاومت  $R_{\text{v}}$ ،  $R_{\text{r}}$  را تبدیل به یک مقاومت معادل  $R_{\text{v,r}}$  (می خوانیم آر و سه) می کنیم:

$$R_{\text{v,r}} = R_{\text{v}} + R_{\text{r}} = 33 + 22 = 55 \Omega$$

مدار ساده شده را ترسیم می کنیم:



شکل ۲-۶۰

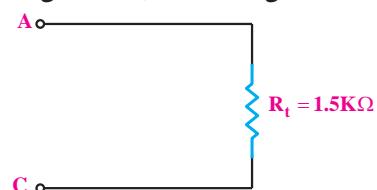
با توجه به شکل ۲-۶۰ مقاومت معادل  $R_{\text{v,r}}$  با مقاومت  $R_{\text{v,r}}$  به صورت موازی قرار دارند. مقاومت معادل را به دست می آوریم:

$$R_T = R_{\text{v}} \parallel R_{\text{v,r}} = \frac{R_{\text{v}} \times R_{\text{v,r}}}{R_{\text{v}} + R_{\text{v,r}}} = \frac{47 \times 55}{47 + 55} = 25 / 34 \Omega$$

در مدار شکل ۲-۵۷ مقاومت  $0.5$  کیلو اهم و  $R_{\text{v}}$  با هم سری هستند. مقاومت معادل  $R_T$  را به دست می آوریم.

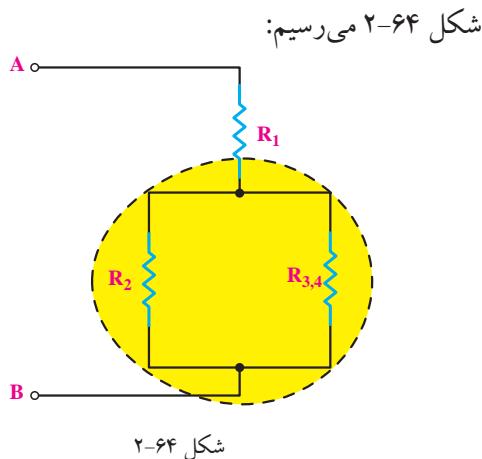
$$\begin{aligned} R_T &= R_{\text{v}} + (R_{\text{v}} \parallel R_{\text{r}}) \\ R_T &= 1 + 0.5 \Rightarrow R_T = 1 / 5 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

مدار معادل شکل ۲-۵۷ به صورت شکل ۲-۵۸ در می آید:



شکل ۲-۵۸

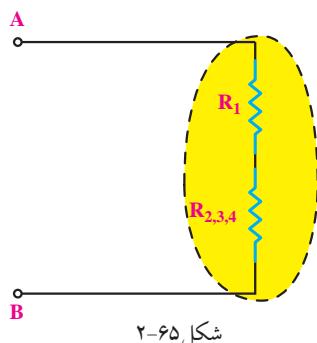
(می خوانیم آر<sub>۱</sub> سه و چهار) می باشد، قرار می دهیم و به



مقاومت معادل مقاومت های  $R_1$  و  $R_{2,3,4}$  را که به صورت موازی هستند و مقدار آن ها نیز مساوی است، به دست می آوریم. این مقاومت ها را  $R_T$  (می خوانیم آر<sub>۱</sub> و  $R_{2,3,4}$ ) می نامیم:

$$R_{T,2,3,4} = R_1 \parallel R_{2,3,4} = \frac{12}{2} = 6\Omega$$

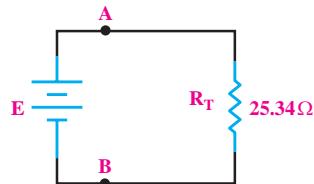
با قرار دادن  $R_T$  به جای مقاومت  $R_1$  و  $R_{2,3,4}$  به شکل ۲-۶۵ خواهیم رسید:



چون مقاومت معادل به دست آمده در مرحله‌ی قبل با  $R_T$  مقاومت  $R_1$  به صورت سری بسته شده است، مقاومت معادل از مجموع آنها به دست می آید.

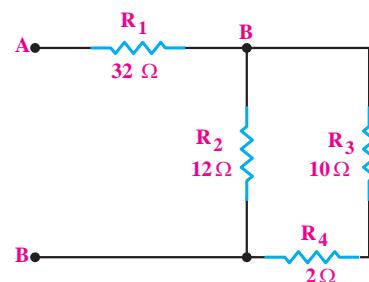
$$R_T = R_1 + R_{T,2,3,4} = 3 + 12 = 15\Omega$$

مدار شکل ۲-۵۹ به صورت شکل ۲-۶۱ در می آید:



شکل ۲-۶۱

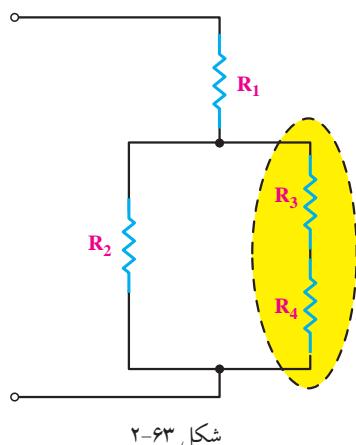
**مثال ۱۶:** مقدار مقاومت معادل شکل ۲-۶۲ را به دست آورید.



شکل ۲-۶۲

**حل:**

ابتدا مدار را به صورت شکل ساده شده شکل ۲-۶۳ در می آوریم و معادل دو مقاومت سری شده  $R_1$  و  $R_T$  را محاسبه می کنیم.

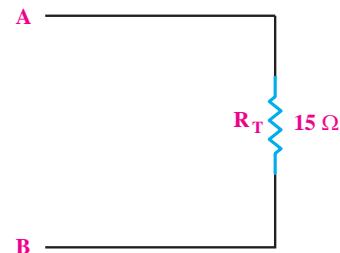


$$R_{T,2,3,4} = R_1 + R_2 = 10 + 2 = 12\Omega$$

به جای دو مقاومت  $R_1$  و  $R_T$  مقدار معادل آن هارا که

مقاومت به دست آمده برابر با مقاومت کل مدار است و

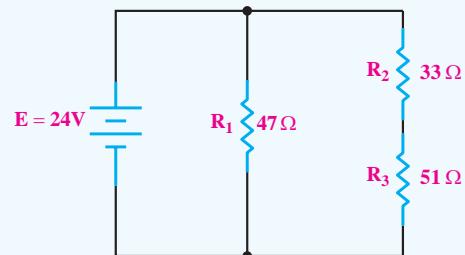
مدار معادل شکل ۲-۶۶ به صورت شکل ۲-۶۶ در می آید:



شکل ۲-۶۶

### تمرین کلاسی ۳: مقاومت معادل مدار

شکل ۲-۶۷ را به دست آورید.



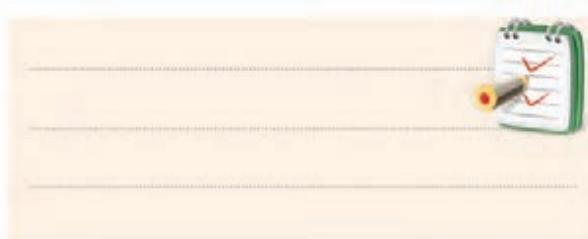
شکل ۲-۶۷



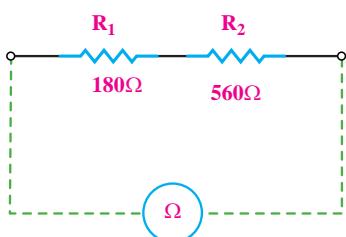
جدول ۲-۴

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

**سؤال ۶:** آیا مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر خوانده شده  
انطباق دارد؟ شرح دهید.



■ مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  را به صورت سری بیندید و  
سپس مقاومت اهمی مجموعه سری را به کمک اهم‌متر مطابق  
شکل ۲-۶۸ اندازه گرفته و یادداشت کنید.



شکل ۲-۶۸

$$R_T = \dots \Omega$$

**سؤال ۷:** آیا  $R_T$  اندازه گیری شده به کمک اهم‌متر با  
 $R_T = R_1 + R_2$  که از طریق محاسبه به دست می‌آید یکی  
است؟ توضیح دهید.

$$R_T = R_1 + R_2 = \dots \Omega$$

## ۶-۲ آزمایش شماره (۲)

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

### ۱-۶ هدف آزمایش:

اندازه گیری مقاومت‌ها به صورت سری و موازی.

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

ردیف	نام و مشخصات تجهیزات	تعداد / مقدار (برای هر گروه کلاسی)
۱	مولتی‌متر عقربه‌ای یا دیجیتالی	یک دستگاه
۲	برد بُرد	یک قطعه
۳	مقاومت یک کیلو اهم یک واحد	پنج عدد
۴	مقاومت $180\Omega$ وات	یک عدد
۵	مقاومت $560\Omega$ وات	یک عدد
۶	سیم‌های رابط معمولی (تلفنی)	به مقدار کافی
۷	سیم‌های دو سر گیره سوسناری	به مقدار کافی

### ۳-۶ مراحل اجرای آزمایش:

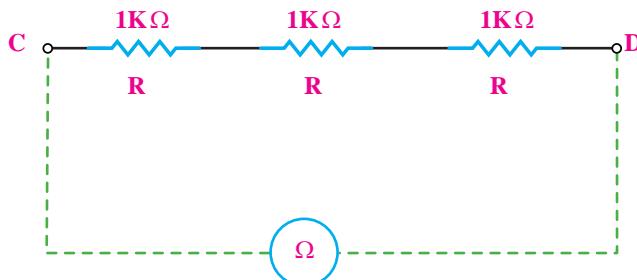
#### الف - به دست آوردن مقاومت معادل در یک مدار سری

■ مقدار و درصد خطای مقاومت‌های  $180\Omega$  و  $560\Omega$  و  
 $1K\Omega$  را با توجه به نوارهای رنگی بخوانید و در جدول ۴  
بنویسید.

■ اگر نوع مولتی‌متر شما عقربه‌ای (آنالوگ) است، قبل  
از هر اندازه گیری ابتدا صفر آن را تنظیم کنید.

■ به کمک مولتی‌متر مقدار دقیق مقاومت‌های  $180\Omega$  و  
 $560\Omega$  و  $1K\Omega$  را اندازه بگیرید. مقاومت  $180\Omega$  را با  $R_1$  و  
مقایمت  $560\Omega$  را با  $R_2$  و مقایمت  $1K\Omega$  را با  $R_3$  نام‌گذاری  
و در جدول ۴ یادداشت کنید.

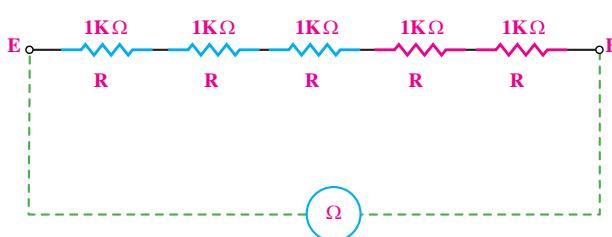
سری اتصال دهید و توسط مولتی متر مقاومت معادل بین دو نقطه C و D را اندازه گیری و یادداشت کنید.



شکل ۲-۷۰

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

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



شکل ۲-۷۱

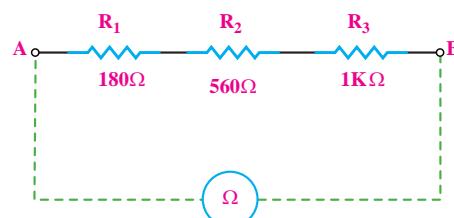
با استفاده از مولتی متر، مقاومت معادل بین دو نقطه E و F را اندازه گیری و یادداشت کنید.

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

**سوال ۹:** آیا می توان نتیجه گرفت که اگر مقدار مقاومت های سری مساوی باشند، مقاومت معادل از رابطه

$$R_T = n \cdot R \quad \text{قابل محاسبه است؟}$$

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



شکل ۲-۶۹

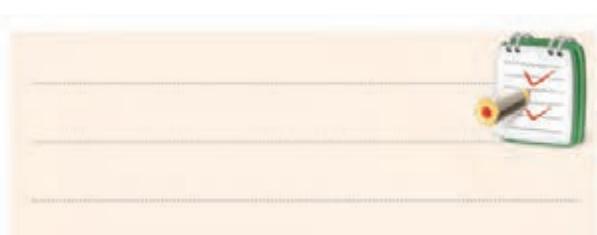
■ مقدار  $R_T$  در مدار شکل ۲-۶۹ را با استفاده از رابطه  $R_T = R_1 + R_2 + R_3$  بدست آورید و یادداشت کنید.

$$R_T = \dots \Omega$$

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

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

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



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

$$R_T = \dots \Omega$$

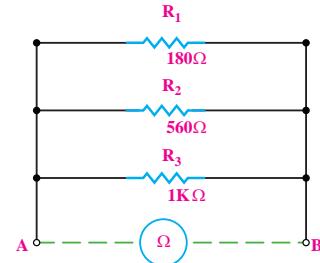
**سوال ۱۰:** آیا  $R_T$  اندازه‌گیری شده به کمک مولتی‌متر با

محاسبه شده یکی است؟ توضیح دهید.

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

قبل از هر اندازه‌گیری، صفر اهم‌متر عقربه‌ای را تنظیم کنید.

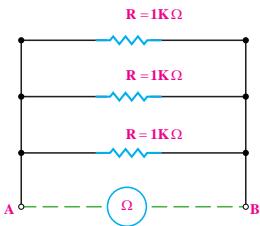
■ مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  را مطابق شکل ۲-۷۲ به صورت موازی روی بردبرد بیندید.



شکل ۲-۷۲

■ مقاومت معادل شکل ۲-۷۲ را از رابطه‌ی:

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



شکل ۲-۷۴

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

$$R_T = \dots K\Omega$$

■ با توجه به مقدار مقاومت بدست‌آمده، رنج مناسبی برای مولتی‌متر انتخاب کنید.

■ مقاومت معادل بین دو نقطه‌ی A و B را با استفاده از مولتی‌متر اندازه‌بگیرید و یادداشت کنید.

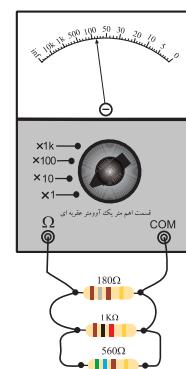
$$R_T = \dots K\Omega$$

**سوال ۱۱:** آیا مقادیر به دست‌آمده از طریق محاسبه با مقادیر اندازه‌گیری شده انطباق دارد؟ توضیح دهید.

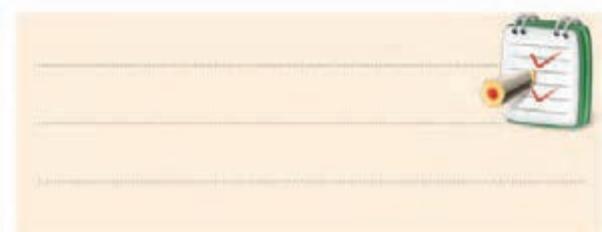
$$R_T = \dots \Omega$$

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

■ مقاومت اهمی مجموعه‌ی اتصال موازی را مطابق شکل ۲-۷۳ به کمک مولتی‌متر اندازه‌بگیرید و یادداشت کنید.



شکل ۲-۷۳

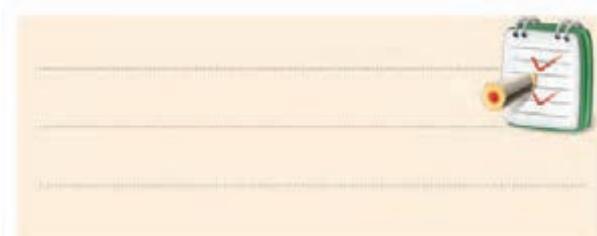


■ با توجه به مقدار به دست آمده رنج مناسبی برای مولتی متر انتخاب کنید.

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

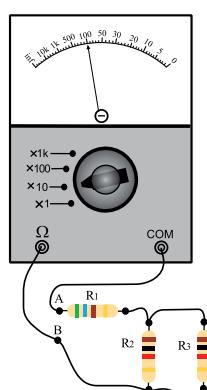
$$R_T = \dots \Omega$$

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



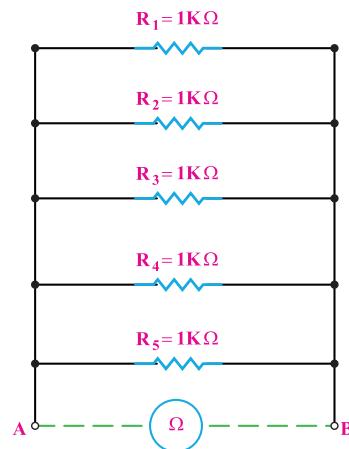
**موضوع ج- اندازه‌گیری مقاومت معادل یک مدار ترکیبی سری- موازی با مولتی متر**

■ مداری مطابق شکل ۲-۷۶ روحی بردبرد بیندید.



شکل ۲-۷۶

■ پنج مقاومت  $1K\Omega$  را مطابق شکل ۲-۷۵ به صورت موازی روی بردبرد بیندید.



شکل ۲-۷۵

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

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

■ مقدار مقاومت معادل را از رابطه‌ی

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots \text{ محاسبه و یادداشت کنید.}$$

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

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

دھید.

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

الف -

به دست آورید.

موازی هستند:

$$R_{T_1} = R_1 \parallel R_2$$

$R_{T_1}$  با  $R_1$  سری است.

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

ب -

$$R_T = ..... K\Omega$$

■ 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

عقربهای استفاده می کنید قبل از اندازه گیری صفر آن را تنظیم

کنید.

ج -

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

و B را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

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

سوال ۱۴: آیا مقدار مقاومت معادل محاسبه شده با مقدار

مقاومت معادل اندازه گیری شده توسط مولتی متر برابر است؟



استفاده‌ی بهینه از وسایل و تجهیزات، مهارت  
الگوی صحیح مصرف را در فرد ایجاد می‌کند و طول  
عمر وسایل را افزایش می‌دهد.

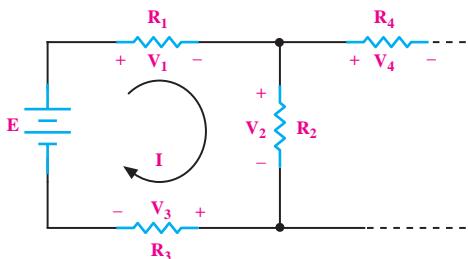
#### ۴-۶ نتایج آزمایش :

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

## ۲-۷-۲ قانون ولتاژ کریشهف (KVL)

طبق قانون ولتاژ کریشهف 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 محركه	-V <sub>۱</sub> افت ولتاژ دوسر	-V <sub>۲</sub> افت ولتاژ دو	-V <sub>۳</sub> = افت ولتاژ دو
	R <sub>۱</sub> مقاومت	R <sub>۲</sub> سر مقاومت	R <sub>۳</sub> سر مقاومت

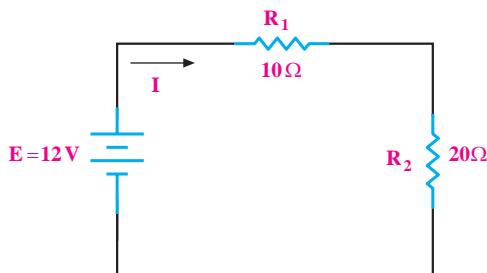


شکل ۲-۷۸

### مثال: ۱۶

در شکل ۲-۷۹ افت ولتاژ دو سر مقاومت‌های R<sub>۱</sub> و R<sub>۲</sub>

را به دست آورید.



شکل ۲-۷۹

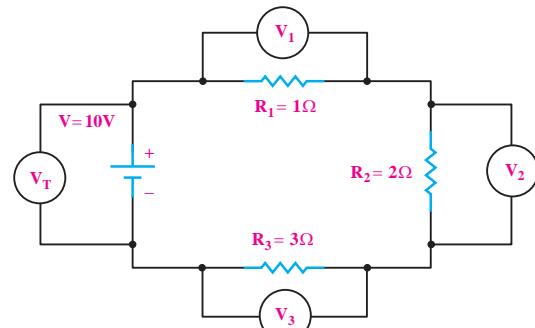
## ۲-۷-۳ افت ولتاژ دو سر مقاومت‌ها در مدارهای سری و موازی

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  $V = IR$  محاسبه می‌شود.

### ۲-۷-۴ 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 ببندیم، ولت‌مترها مقادیر ولتاژهای متفاوتی را در دو سر مقاومت‌ها نشان می‌دهند. ولت‌مترهای V<sub>۱</sub>، V<sub>۲</sub> و V<sub>۳</sub> مقادیر ولتاژ دو سر مقاومت‌های R<sub>۱</sub>، R<sub>۲</sub> و ولت‌متر V<sub>T</sub> 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:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

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

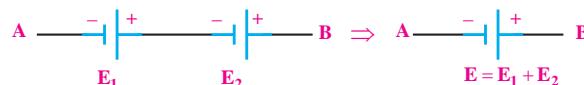
حل:

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

هر مقاومت می نویسیم:

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

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



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

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

منبع می‌توان منبع معادل منابع موجود را براساس رابطهٔ

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

طبق قانون KVL داریم:

$$E - V_1 - V_2 = 0$$

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

می‌نویسیم و مقدار  $I$  را محاسبه می‌کنیم:

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

$$12 - 30I = 0$$

$$12 = 30I$$

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

در رابطهٔ  $V_1$  و  $V_2$  به جای  $I$  عدد می‌گذاریم:

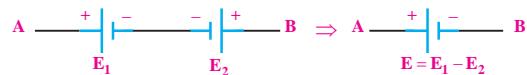
$$V_1 = 10I = 10 \times 0.4 = 4V \Rightarrow V_1 = 4(V)$$

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

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

کنیم، منبع معادل برابر با جمع ولتاژهای دو منبع با قطب‌های

نشان داده شده در شکل ۲-۸۰ است.



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 قطب‌های

نشان داده شده در شکل ۲-۸۱ به دست می‌آید.

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

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

مقادیر را در رابطه جایگزین می کنیم و مقدار  $I$  را به دست

می آوریم:

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

$$-6 + 15 + 100I + 150I = 0$$

$$+9 = -250I$$

$$I = \frac{9}{250} = -0.036A \Rightarrow I = -0.036A$$

علامت منفی نشان می دهد که جهت اصلی جریان برخلاف جهت جریان انتخابی است، لذا جهت جریان باید اصلاح شود.

$$V_1 = R_1 I = 100 \times (-0.036) = -3.6V$$

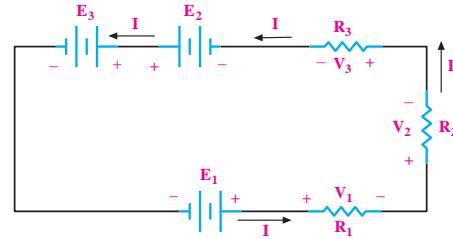
$$V_2 = R_2 I = 150 \times (-0.036) = -5.4V$$

علامت منفی  $V_1$  و  $V_2$  به این معنی است که قطب های انتخاب شده مثبت (+) و منفی (-) باید معکوس شوند.

**مثال ۱۹:** در شکل ۲-۸۴ ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت های مدار را به دست آورید.

در مدارهای موازی چون دو سر هر مقاومت مستقیماً به دو سر بااتری متصل است، بنابراین ولتاژ دو سر همه مقاومت ها با هم مساوی است.

ولت متر  $V_1$  و  $V_2$  افت ولتاژ دو سر مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  را در شکل ۲-۸۵ نشان می دهد و ولت متر  $V_s$  مقدار ولتاژ دو سر منبع تغذیه را مشخص می کند. در مدار موازی تمام این ولتاژ ها مساوی هستند و همه می ولت مترها در این شکل یک عدد را نشان می دهند.



شکل ۲-۸۳

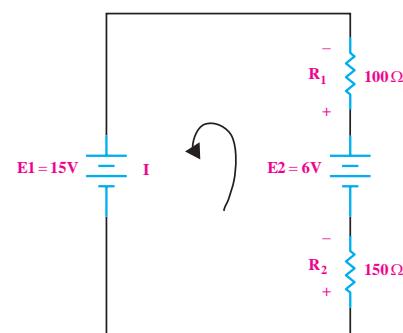
**حل:**

$+E_1$	$+E_2$	$-E_3$	$-V_1 - V_2 - V_3 = 0$
جریان به	جریان از قطب	جریان به	پایه ای که برای
مثبت مثبت	مثبت آن خارج	مثبت آن خارج	مقاومت، مثبت
می شود	وارد می شود	می شود	در نظر گرفته ایم
			وارد می شود

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

مقاومت های مدار را به دست آورید.



شکل ۲-۸۴

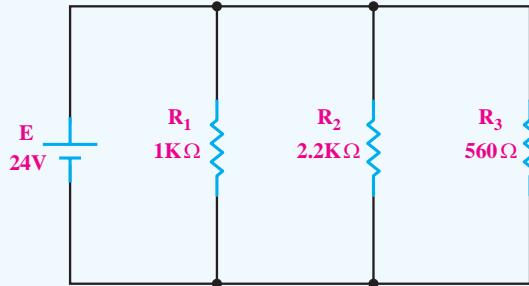
**حل:**

ابتدا یک جهت جریان دلخواه برای مدار در نظر می گیریم

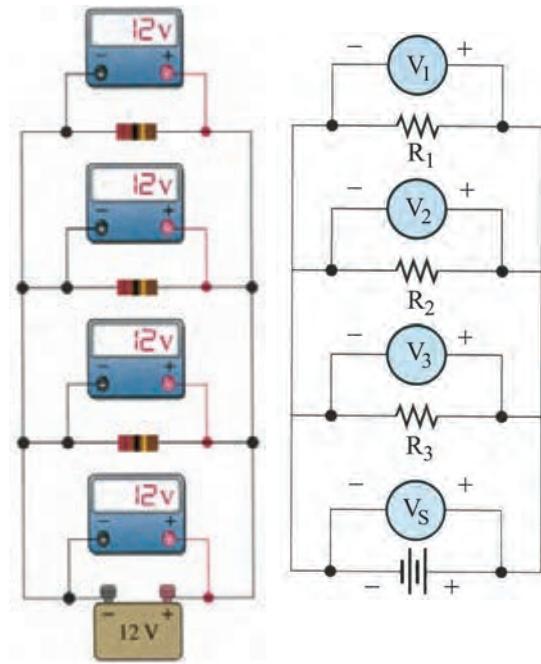
همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد، برای اندازه‌گیری افت ولتاژ دو سر مقاومت‌ها از دستگاه اندازه‌گیری ولت‌متر استفاده می‌شود. قبل از به کار گیری عملی دستگاه اندازه‌گیری ولت‌متر، آن را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

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

ولتاژ دو سر مقاومت‌های  $R_1$ ,  $R_2$  و  $R_3$  را به دست آورید.



۲-۸۷



شکل ۲-۸۵ مدار با چهار مقاومت موازی

بنابراین برای مدارهای موازی می‌توانیم رابطه‌ی زیر را

بنویسیم:

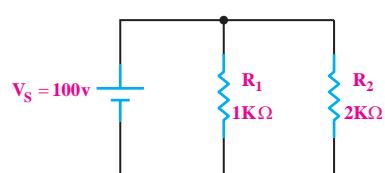
$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_S$$

یعنی:

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

**مثال ۲۰:** ولتاژ دو سر مقاومت‌های  $R_1$ ,  $R_2$  در مدار

شکل ۲-۸۶ را به دست آورید.



شکل ۲-۸۶

**حل:**

مقاومت‌های  $R_1$ ,  $R_2$  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 (معمولًاً ولتاژ ۲۲۰ ولت برق شهر) را دریافت و آن را تبدیل به ولتاژ DC مورد نیاز برای مدارهای الکترونیکی می‌کند.

خروجی منبع تغذیه می‌تواند ثابت یا متغیر باشد. در صورتی که منبع تغذیه دارای ولتاژ خروجی متغیر باشد روی پانل دستگاه، یک ولوم قرار می‌دهند. با تغییر این ولوم می‌توان ولتاژ خروجی را به مقدار دلخواه تنظیم کرد. در شکل ۲-۸۸

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



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



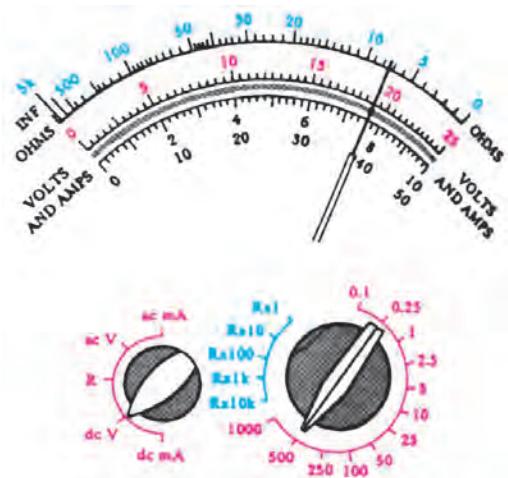
شکل ۲-۸۹ نحوه تنظیم جریان خروجی یک منبع تغذیه

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 منبع تغذیه‌ی آزمایشگاهی، دارای یک ولت‌متر و یک آمپر‌متر هستند تا ولتاژ دو سر خروجی منبع تغذیه و جریان مصرف کننده 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 ۲-۹۰ 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 ۲-۹۱ یک نمونه ولت‌متر آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۹۱ ولت‌متر عقربه‌ای

داخلی دستگاه و مواردی دیگر است. این علامت با توجه به توانایی‌های دستگاه‌های مختلف، متفاوت است. ولت‌متر یکی از حوزه‌های کار مولتی متر است. در مولتی مترهای عقربه‌ای برای خواندن دقیق ولتاژ، باید به کلید سلکتور اصلی مولتی متر، که ماکریم 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 بینیم که عقربه چند قسمت منحرف شده است. سپس تعداد تقسیمات را در ماکریم مقدار رنج روی صفحه (بزرگ‌ترین عدد روی صفحه‌ی مندرج) 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:

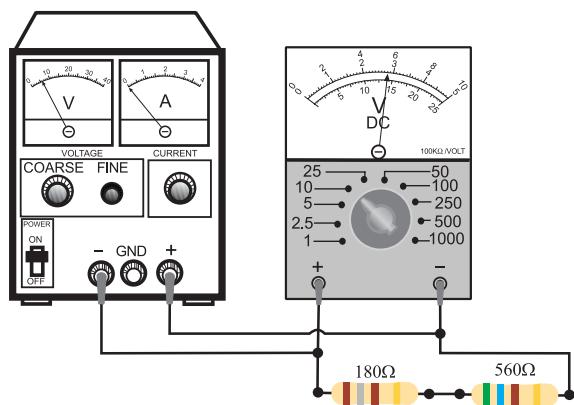
$$\frac{500}{50} = 10 = \text{ضریب صفحه}$$

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.

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

## ۲-۹ آزمایش شماره‌ی (۳)

- منبع تغذیه را روشن کنید.
- سعی کنید به کمک ولت‌متر جداگانه‌ای که به منبع تغذیه وصل کرده‌اید، ولتاژ خروجی را روی  $1/25V$   $3/85V$ ,  $5/1V$ ,  $4/5V$ ,  $6/85V$  ولت تنظیم کنید.
- هنگام اندازه‌گیری ولتاژ، رنج کلید ولت‌متر را طوری انتخاب کنید که انحراف عقره، بیشترین مقدار ممکن را داشته باشد به عنوان مثال اگر می‌خواهید ولتاژ  $4/5$  ولت را اندازه‌بگیرید رنج ولت‌متر را روی  $5V$  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 ۲-۹۳ بیندید.



شکل ۲-۹۳

- رنج مولتی‌متر را روی  $10$  ولت قرار دهید.
- منبع تغذیه را طوری تنظیم کنید که ولت‌متری که مانند شکل ۲-۹۳ در مدار قرار دارد، مقدار  $6$  ولت را نشان دهد.
- ولت‌متر را یک بار به دو سر مقاومت  $180$  اهم و یک

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

### ۲-۹-۱ هدف آزمایش:

آشنایی با منبع تغذیه و اندازه‌گیری ولتاژها در مدار سری

و موازی و تحقیق عملی قانون ولتاژ KVL

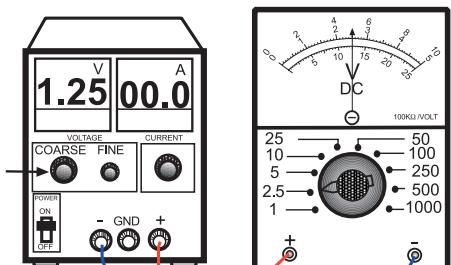
### ۲-۹-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و موارد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	منبع تغذیه $1A$ , $0-15V$	یک دستگاه
۲	مولتی‌متر عقربه‌ای یا دیجیتالی	یک یا دو دستگاه
۳	مقاومت $0.5-180\Omega$ وات	یک عدد
۴	مقاومت $0.5-560\Omega$ وات	یک عدد
۵	سیم‌های یک سر گیره سوسмарی	چهار رشته
۶	سیم‌های دو سر گیره سوسмарی	دو رشته
۷	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

### ۲-۹-۳ مراحل اجرای آزمایش:

#### موضوع الف - آشنایی با منبع تغذیه

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



شکل ۲-۹۲

■ در شکل ۲-۹۳ 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 ۵۶۰ اهم وصل کنید. مقدار ولتاژ دو سر این مقاومت‌ها را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

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

مقدار ولتاژ را که مولتی‌متر برای کل مدار نشان می‌دهد.	$V_1 = 6 \text{ V}$
مقدار ولتاژ را که ولت متر در دو سر مقاومت ۱۸۰ اهم نشان می‌دهد.	$V_2 = ..... \text{ V}$
مقدار ولتاژ را که ولت متر در دو سر مقاومت ۵۶۰ اهم نشان می‌دهد.	$V_3 = ..... \text{ V}$

**سوال ۱۵:** آیا مقدار  $V_1 = V_2 + V_3$  است؟ چرا؟ توضیح دهید.



مقدار ولتاژ را که مولتی‌متر در دو سر مقاومت  $180\Omega$  نشان می‌دهد.

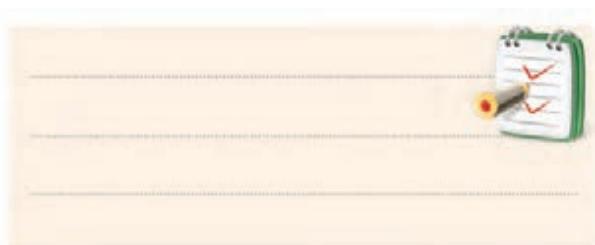
$$V_1 = ..... \text{ V}$$

مقدار ولتاژ را که مولتی‌متر در دو سر مقاومت  $560\Omega$  نشان می‌دهد.

$$V_3 = ..... \text{ V}$$

**سوال ۱۶:** مقادیر  $V_1 = 6 \text{ V}$  و  $V_3 = 12 \text{ V}$  را به ازای  $V_2$  دقیقاً توضیح دهید.

با یکدیگر مقایسه کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



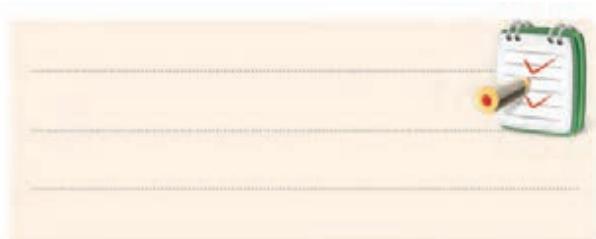
**توجه**  
استفاده از مولتی‌متر عقربه‌ای یا دیجیتالی تفاوتی ندارد، هر کدام را که در اختیار دارید، استفاده کنید.



- 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 کنندهی حالت های اندازه گیری است. برای هر اندازه گیری باید سیم های رابط مولتی متر را جایه جا کنید.

**سوال ۱۷:** آیا می توان نتیجه گرفت که در هر دو مرحله‌ی آزمایش که انجام شد، رابطه‌ی  $V_1 = V_2 + V_3$  برقرار است؟ به عبارتی دیگر آیا جمع جبری افت ولتاژها در حلقه‌ی بسته‌ی مدار سری، صفر است،  $V_1 - V_2 - V_3 = 0$  توضیح دهید.



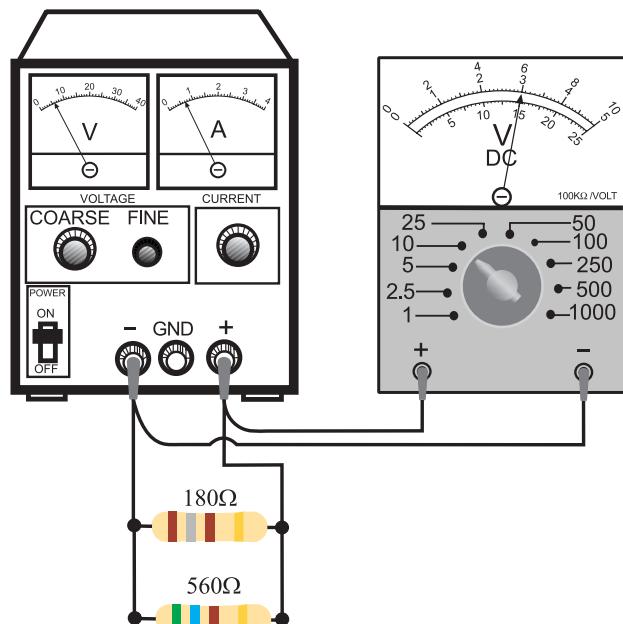
- مولتی متر در شکل ۲-۹۴ چه عددی را نشان می دهد؟
- یادداشت کنید.

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

### موضوع ج- اندازه گیری ولتاژ دو سر مقاومت‌ها

#### در مدار موازی

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



شکل ۲-۹۴

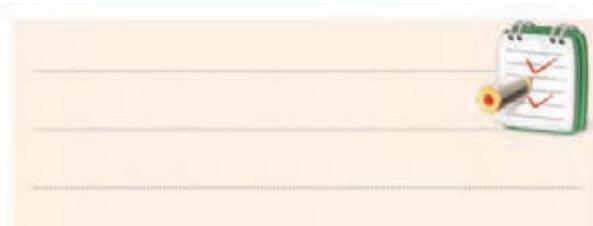
- مولتی متر را در حالت (۲) در شکل ۲-۹۵ قرار دهید و به دو سر مقاومت  $\Omega$  ۱۸۰ وصل کنید و مقدار ولتاژ نشان داده شده را بخوانید و یادداشت کنید.
- یادداشت کنید.

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

ولتاژ را که مولتیمتر در  
حالت (۳) نشان می‌دهد.

$$V_3 = \dots \text{ (V)}$$

**سوال ۱۸:** آیا هر سه ولتاژ اندازه‌گیری شده‌ی  $V_1$  و  $V_2$  یکسان هستند؟ چرا؟ توضیح دهید.



#### ۲-۹-۴ نتایج آزمایش:

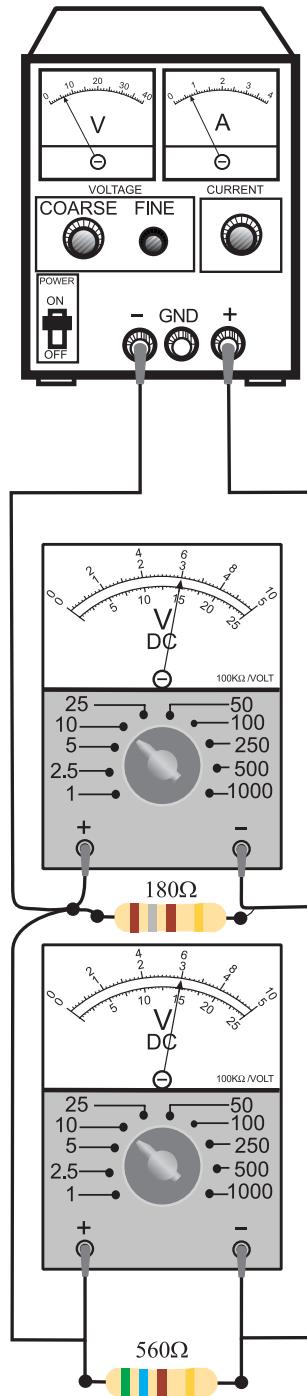
آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

- الف

- ب

- ج

حافظت از وسایل، مهارت ارزش‌گذاری بر ثروت عمومی را ایجاد می‌کند و میزان هزینه‌هایی که برای تحصیل هر فرد از طرف خانواده و دولت صرف می‌شود را کاهش می‌دهد.



حالت (۲)

حالت (۳)

شکل ۲-۹۵

■ مولتیمتر را در حالت (۳) به دو سر مقاومت  $560\Omega$  اهم به صورت موازی وصل کنید و ولتاژ را بخوانید و یادداشت کنید.

برای جریان در مدار سری می‌توانیم رابطه‌ی زیر را

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

بنویسیم:

موازی

$$I_{A_1} = I_{A_2} = I_{A_3} = I_{A_4} = I_T$$

يعني :

$$I_{R_1} = I_{R_2} = I_{R_3} = I_T$$

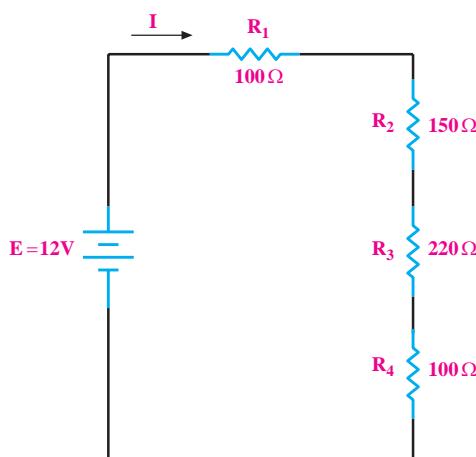
طبق قانون اهم، جریان کل در مدار سری شکل ۲-۹۶

برابر است با:

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

**مثال ۲۱:** در شکل ۲-۹۷ جریان هر یک از مقاومت‌های

مدار و جریان کل مدار چند میلی‌آمپر است؟



شکل ۲-۹۷ محاسبه‌ی جریان در مدار سری

حل:

مقاومت معادل را به دست می‌آوریم:

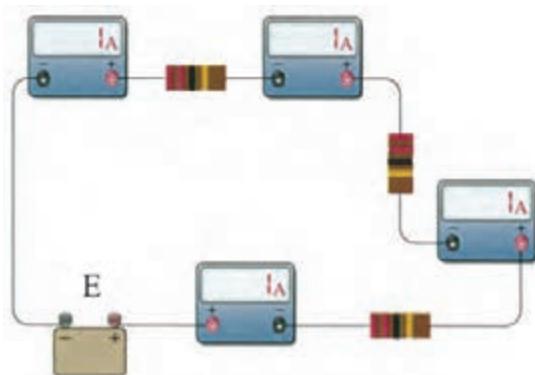
$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

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

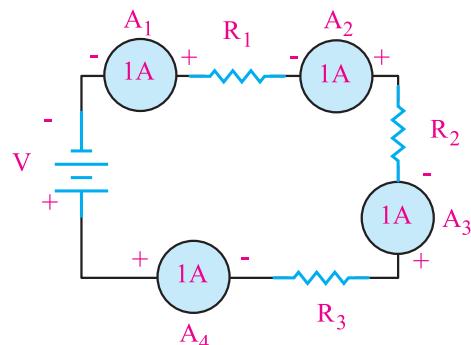
با استفاده از قانون اهم، جریان مدار را محاسبه می‌کنیم:

## ۲-۱۰-۱ 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 ۲-۹۶ در یک مدار سری هر یک از آمپرتمترها جریان‌های مساوی را نشان می‌دهند.



الف - مدار واقعی



ب - نقشه‌ی فنی

شکل ۲-۹۶ جریان مدار سری همواره ثابت



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 برابر 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  $P = EI$  ابتدا مقاومت

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

محاسبه می‌کنیم:

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

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

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

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

مقدار مقاومت کل را محاسبه می‌کنیم:

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

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

$$I = \frac{E}{R_T} = \frac{12}{57} = 0.21 \text{ A} \Rightarrow I = 0.21 \text{ A}$$

برای تبدیل جریان بر حسب میلی‌آمپر، مقدار جریان بر

حسب آمپر را در عدد ۱۰۰۰ ضرب می‌کنیم:

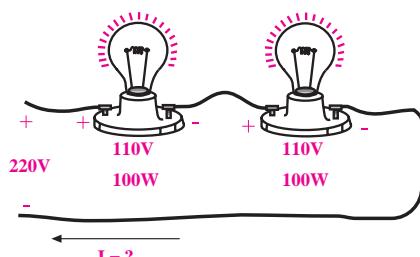
$$1 \text{ A} = 1000 \text{ mA} = 10^3 \text{ mA}$$

$$I = 0.21 \times 1000 = 21 \text{ mA} \Rightarrow I = 21 \text{ mA}$$

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

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

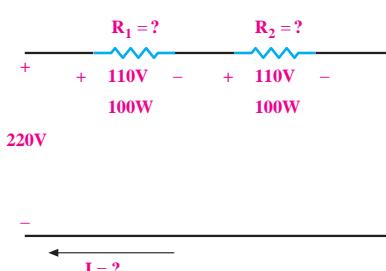
جریان عبوری از هر لامپ چند آمپر است؟



شکل ۲-۹۸

**حل:**

می‌توانیم به جای دو عدد لامپ، دو عدد مقاومت در نظر بگیریم و به جای مدار عملی شکل ۲-۹۸ از نقشه‌ی فنی مدار شکل ۲-۹۹ برای محاسبات استفاده کنیم.



شکل ۲-۹۹

برای حل مسئله سه روش وجود دارد، روش اول استفاده

جريان مدار را به دست می‌آوریم:

$$V_1 = R_1 \cdot I = 10 \times 0.1 = 1V$$

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

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

محاسبه می‌کنیم:

$$E - V_1 - V_r = 0$$

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

با استفاده از قانون اهم مقدار  $R_r$  را به دست می‌آوریم:

$$V_r = R_r \cdot I \Rightarrow 11 = R_r \times 0.1$$

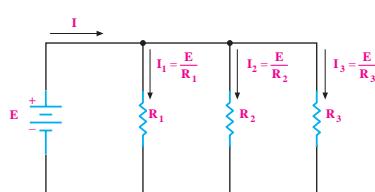
$$R_r = \frac{11}{0.1} = 110\Omega \Rightarrow R_r = 110\Omega$$

## 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 می‌شود، زیرا طبق قانون اهم،  $I = \frac{V}{R}$  است. در مدار موازی جریانی که از منبع کشیده می‌شود، بین مقاومت‌ها تقسیم می‌شود. یا به عبارت دیگر داریم:

$I =$	$I_1$	$+I_r$	$+I_n$
جریانی که از منبع	جریان	جریان	جریان
کشیده می‌شود	عنصر اول	عنصر دوم	عنصر nام

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



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

راه حل سوم: می‌دانیم جریان در مدار سری یکسان

است:

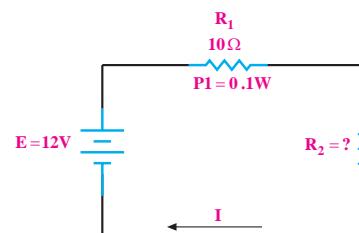
$$I = I_1 = I_r$$

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

$$I = \frac{P_1}{V_1} = \frac{0.1}{11} = 0.0091A \Rightarrow I = 0.0091A$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار جریان از سه روش یکسان است.

مثال ۲۳: در شکل ۲-۱۰۰ مقاومت  $R_2$  چند اهم است؟



شکل ۲-۱۰۰

حل:

رابطه‌ی توان را برای  $R$  می‌نویسیم:

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

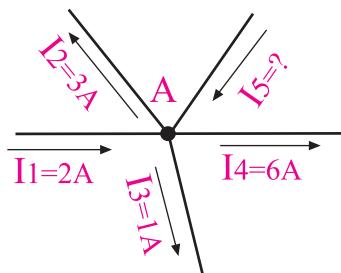
مقادیر  $R$  و  $P$  را در رابطه قرار می‌دهیم و مقدار  $I$  را

محاسبه می‌کنیم:

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

$$I = 0.1A$$

**مثال ۲۴:** در شکل ۲-۱۰۴ جریان  $I_5$  چند آمپر است؟



شکل ۲-۱۰۴

**حل:**

قانون KCL را در گره A می‌نویسیم:

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

به جای جریان‌ها مقدار عددی می‌گذاریم:

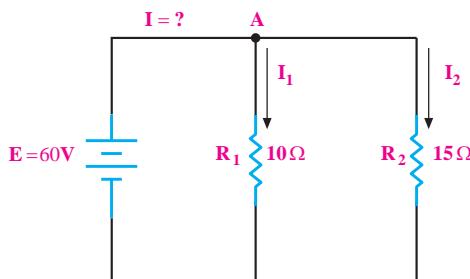
$$2 - 3 - 1 + 6 = 0$$

جریان  $I_5$  را به دست می‌آوریم:

$$2 - 1 + I_5 = 0$$

$$I_5 = 1 \text{ A}$$

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



شکل ۲-۱۰۵

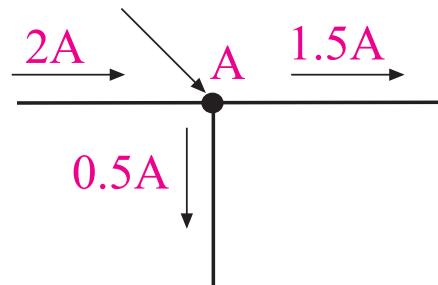
**حل:**

قانون KCL را در گره A می‌نویسیم:

$$I - I_1 - I_2 = 0$$

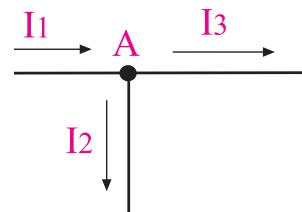
### ۲-۱۰-۳- قانون جریان کریشهف (KCL)

طبق این قانون (KCL) جمع 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 نقطه A وارد می‌شود و جریان‌های  $0/5$  و  $1/5$  آمپری ( $0.5$  A +  $0.5$  A) از آن نقطه خارج می‌شود. جریان‌های وارد 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 A ۲A و جریان خارج شده از گره زیر 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.

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

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

$$\Rightarrow I_1 = 6 / 875 mA$$

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

$$\Rightarrow I_2 = 3 / 125 mA$$

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

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{6}{15} = 4 A \Rightarrow I_2 = 4 A$$

مقادیر  $I_1$  و  $I_2$  را در رابطه‌ی KCL قرار می‌دهیم و مقدار

$I$  را حساب می‌کنیم:

$$I - 6 - 4 = 0$$

$$I - 10 = 0 \Rightarrow I = 10 A$$

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

بین دو شاخه‌ی موازی مشهور است می‌توانیم جریان‌های  $I_1$  و  $I_2$  را محاسبه کنیم:

ابتدا مقدار  $I_1$  را محاسبه می‌کنیم:

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

ابتدا مقدار  $I_1$  را محاسبه می‌کنیم:

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

$$\Rightarrow I_1 = 6 / 875 mA$$

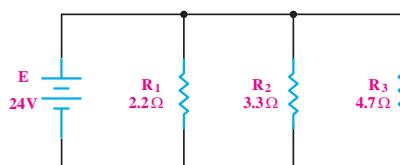
مقدار جریان  $I_2$  را محاسبه می‌کنیم:

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

$$\Rightarrow I_2 = 3 / 125 mA$$

**مثال ۲۷:** توان تلف شده در هر مقاومت شکل ۲-۱۰۷ و

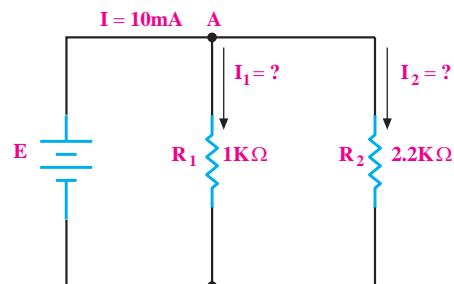
توان مصرفی کل مدار چند وات است؟



شکل ۲-۱۰۷

**مثال ۲۶:** در شکل ۲-۱۰۶ مقدار جریان‌های  $I_1$  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 می‌کنیم:

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

ولتاژ  $E$  را محاسبه می‌کنیم:

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

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:

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

$$P_2 = \frac{E^2}{R_2} = \frac{(24)^2}{3/3} = 174/5 \text{W} \Rightarrow P_2 = 174/5 \text{W}$$

$$P_3 = \frac{E^2}{R_3} = \frac{(24)^2}{4/7} = 122/5 \text{W} \Rightarrow P_3 = 122/5 \text{W}$$

توان کل برابر است با مجموع توان‌های مصرفی در هر مقاومت:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

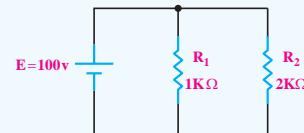
$$P_T = 261/8 + 174/5 + 122/5 = 558/8 \text{W}$$

$$R_T = 558/8 \text{W}$$



تمرین کلاسی ۵: توان تلف شده در

هر مقاومت در شکل ۲-۱۰۸ و توان مصرفی کل مدار چند وات است؟



شکل ۲-۱۰۸



هر آمپر متر مقداری مقاومت داخلی دارد که به علت وجود مقاومت، ممکن است مقدار جریان اندازه‌گیری شده در دو رنج مختلف، تفاوت داشته باشد.

انتخاب رنج مناسب در اندازه‌گیری جریان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

اندازه‌گیری جریان در مولتی‌مترهای 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.



## ۲-۱۲ آزمایش شماره‌ی (۳)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

### ۲-۱۲-۱ هدف آزمایش:

اندازه‌گیری جریان در مدارهای سری و موازی و تحقیق عملی قانون KCL، تأثیر تغییر ولتاژ روی مقاومت VDR

### ۲-۱۲-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات تجهیزات	تعداد / مقدار
۱	منبع تغذیه ۰-۱۵V-۱A	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

### ۲-۱۲-۳ مراحل اجرای آزمایش

#### موضوع الف- اندازه‌گیری جریان در مدار سری

- ولتاژ منبع تغذیه را صفر کنید.
- مداری مطابق شکل ۲-۱۱۰ را روی بردبرد بیندید.

### توجه

برای اندازه‌گیری جریان، فقط از یک مولتی‌متر و به صورت مرحله‌ای استفاده کنید.



مقدار ماکریم قرار دهد. 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.

در ضمن 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 آمپر متر را در بیش‌ترین مقدار خود قرار دهید.

در شکل ۲-۱۰۹ یک نمونه میلی‌آمپر متر مالتی رنج با ۱۰ رنج مختلف نشان داده شده است.

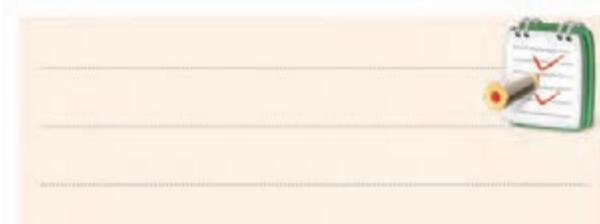


شکل ۲-۱۰۹ یک نمونه میلی‌آمپر متر آزمایشگاهی

این نمونه میلی‌آمپر متر آزمایشگاهی است و گران قیمت است. برای اندازه‌گیری از مولتی‌متر استفاده کنید.

## سوال ۱۹: آیا هر سه جریان یکسان هستند؟ چرا؟

توضیح دهید؟



### توجه

آمپرmetr در مدار به صورت سری به قطعات وصل می شود.



### توجه

هنگام تغییر رنج آمپرmetr حتما آن را از مدار جدا کنید، یا جریان برق را قطع کنید.



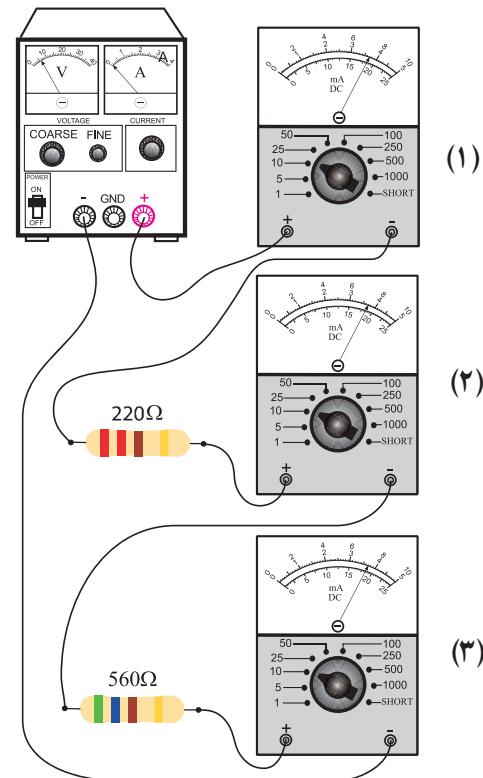
## موضوع ب- تحقیق روی قانون KCL و اندازه‌گیری جریان در مدار موازی

ولتاژ منبع تغذیه را صفر کنید.

مداری مطابق شکل ۱۱۱-۲ بیندید.

میلیآمپر متر را ابتدا مطابق شکل ۱۱۱-۲ به صورت سری به ورودی منبع تغذیه‌ی حالت (۱) اتصال دهید و مقدار جریان مدار را اندازه‌گیری و یادداشت کنید.

$$I_{\text{کل}} = I_1 = \dots \text{mA}$$



شکل ۲-۱۱۰

■ رنج میلیآمپرmetr را روی  $10 \text{ mA}$  بگذارید.

■ منبع تغذیه را روی  $6 \text{ Volt}$  تنظیم کنید.

■ جریانی که میلیآمپرmetr در حالت‌های مختلف نشان می‌دهند را بخوانید و یادداشت کنید.

$I_{\text{کل}} = I_1 = \dots \text{mA}$  جریانی که میلیآمپر در حالت (۱) نشان می‌دهد.

$I_{\text{کل}} = \dots \text{mA}$  جریانی که میلیآمپر در حالت (۲) نشان می‌دهد.

$I_{\text{کل}} = \dots \text{mA}$  جریانی که میلیآمپر در حالت (۳) نشان می‌دهد.

طبق شکل ۲-۱۱۱ (حالت ۳) میلیآمپر متر را به طور سری به مقاومت  $\Omega$  وصل کنید و جریان را اندازه گیری و یادداشت کنید.

$$I_3 = \dots \text{mA}$$

- رنج میلیآمپر متر حالت (۱) را روی  $50 \text{ mA}$  قرار دهید.
- ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی  $5 \text{ Volt}$  تنظیم کنید.

مقادیری که میلیآمپر متر نشان می دهد را بخوانید و یادداشت کنید.

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots \text{mA}$$

حالت (۱) نشان می دهد.

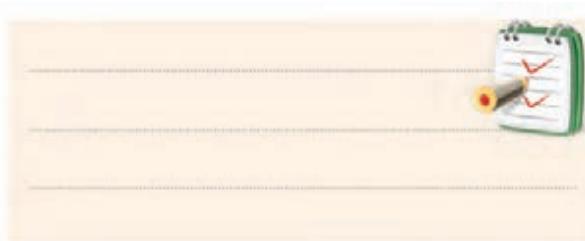
$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots \text{mA}$$

حالت (۲) نشان می دهد.

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots \text{mA}$$

حالت (۳) نشان می دهد.

**سؤال ۲۰:** با توجه به نتایج آزمایش بالا، رابطه  $I_1 = I_2 + I_3$  تأیید می شود؟ چرا؟ توضیح دهید.

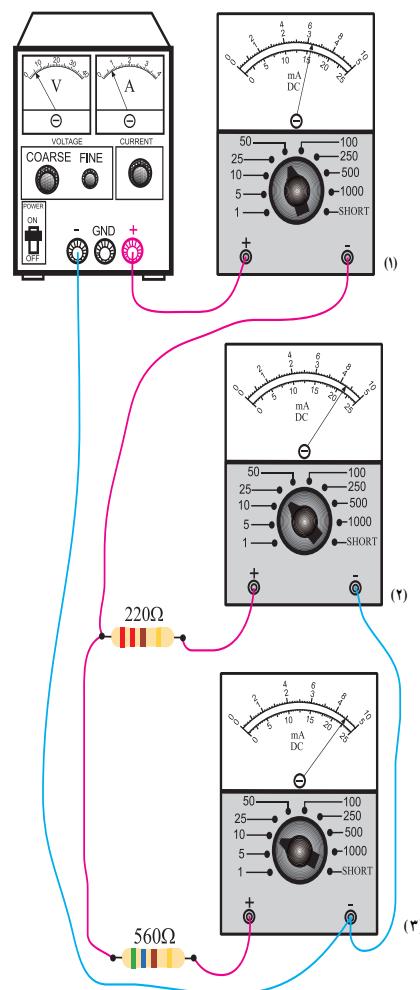


ولتاژ منبع تغذیه را کمی کم کنید تا میلیآمپر متر در حالت (۱) جریان  $10 \text{ mA}$  را نشان دهد.

جریان های مقاومت  $\Omega$  (حالت ۲) و  $560 \Omega$  (حالت ۳) را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

### توجه

در هر مرحله که مولتی متر (میلیآمپر متر) را از مدار جدا می کنید، محل اتصال دو سیم مولتی متر را با یک قطعه سیم، اتصال کوتاه کنید.



شکل ۲-۱۱۱

طبق شکل ۲-۱۱۱ (حالت ۲)، میلیآمپر متر را به طور سری به مقاومت  $\Omega$  وصل کنید و جریان را اندازه گیری و یادداشت کنید.

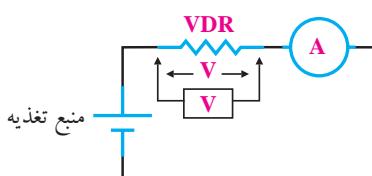
$$I_1 = \dots \text{mA}$$

## 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 برد بیندید.



۲-۱۱۲

■ یک ولت متر به طور موازی به دو سر مقاومت VDR وصل کنید و ولتاژ دو سر آن را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{VDR} = \dots \text{ (V)}$$

■ 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			

كل  $I_1 = I_2 = 10 \text{ mA}$  جریانی که میلی آمپر متر در

حالت (۱) نشان می‌دهد.

جریانی که میلی آمپر متر در  $I_2 = \dots \text{ mA}$

حالت (۲) نشان می‌دهد.

جریانی که میلی آمپر متر در  $I_2 = \dots \text{ mA}$

حالت (۳) نشان می‌دهد.

**سوال ۲۱:** آیا رابطه  $I_1 - I_2 = 0$  (قانون KCL) با توجه به مقادیر به دست آمده در مدار شکل ۲-۱۱۱ صادق است؟ توضیح دهید.



**سوال ۲۲:** آیا رابطه تقسیم جریان به دو شاخه موازی در مدار شکل ۲-۱۱۱ صادق است؟ توضیح دهید.

$$\left[ \begin{array}{l} I_r = I_1 \frac{R_1}{R_1 + R_2} \\ I_2 = I_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \end{array} \right]$$

روابط تقسیم جریان بین دو شاخه موازی



## ۲-۱۳ 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.

### ۲-۱۳-۱ 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 دور از داشت. 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.

### ۲-۱۳-۲ پیل‌های اولیه

پیل‌های اولیه در صنعت اصطلاحاً تحت عنوان «پیل‌های خشک» معروف هستند. و مهم ترین 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  $1/5$  ولت است و به ابعاد پیل بستگی ندارد. به پیل روی-کربن پیل لکلانشه نیز

■ با استفاده از رابطه‌ی  $R = \frac{V}{I}$  مقدار مقاومت VDR

را در هر مرحله محاسبه کنید و در جدول ۲-۵ بنویسید.

**سوال ۲۳:** مقادیری را که برای مقاومت VDR

هر مرحله به دست آورده‌اید، مقایسه کنید و درباره‌ی نتیجه توضیح دهید.



### ۲-۱۲-۴ نتایج آزمایش:

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

الف -

ب-

ج-

### ج: پیل‌های لیتیوم(Lithium)

نوع دیگری از پیل‌های یک بار مصرف، پیل‌های لیتیوم هستند که اخیراً نوع قابل شارژ آن نیز ساخته شده است. از ویژگی این نوع پیل‌ها، ولتاژ خروجی زیاد (۲/۹ تا ۳/۷ ولت) بستگی به الکترولیت آن، طول عمر زیاد (۵ تا ۷ سال)، وزن کم و حجم کم آن است. از این روز این باتری در ساعت‌های مچی و کاربردهای ویژه مشابه استفاده می‌شود. شکل ۱۱۵-۲ نمونه‌هایی از انواع پیل و باتری لیتیوم را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱۵-۲ انواع پیل و باتری لیتیوم

پیل‌های لیتیوم را به صورت باتری نیز می‌سازند.

### د: پیل اکسید نقره

این نوع پیل از تولیدات دهه‌ی اخیر است که ولتاژی برابر ۱/۵ ولت دارد. پیل اکسید نقره در ابعاد بسیار کوچک تولید می‌شود، به همین جهت در ساعت‌های مچی یا دستگاه‌های مشابه کوچک که با باتری ۱/۵ ولت کار می‌کنند مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پیل‌های اکسید نقره در وسایل الکترونیک با ابعاد کوچک مانند ماشین حساب جیبی نیز کاربرد دارد. شکل ۱۱۶-۲ شکل ظاهری چند نمونه پیل و ساختمان داخل آن را نشان می‌دهد.

می‌گویند. شکل ۱۱۳-۲ نمونه‌هایی از پیل‌های روی-کربن را نشان می‌دهد.

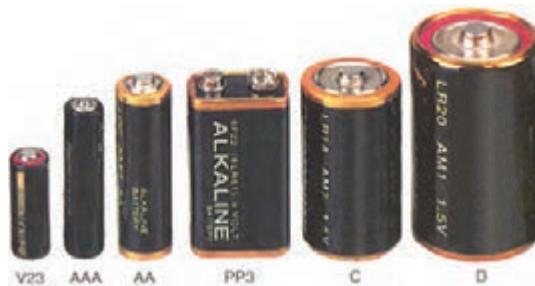


شکل ۱۱۳-۲ پیل‌های روی - کربن

در بازار به این نوع پیل‌ها به غلط باتری می‌گویند.

### ب: پیل قلیایی (آلkalین)

ولتاژ پیل قلیایی مانند پیل روی-کربن ۱/۵ ولت است. با ابعاد مشابه، پیل قلیایی می‌تواند 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 بیشتر، مورد نظر باشد می‌توان از باتری قلیایی به جای باتری روی-کربن استفاده کرد. شکل ۱۱۴-۲ چند نمونه از باتری قلیایی را نشان می‌دهد.

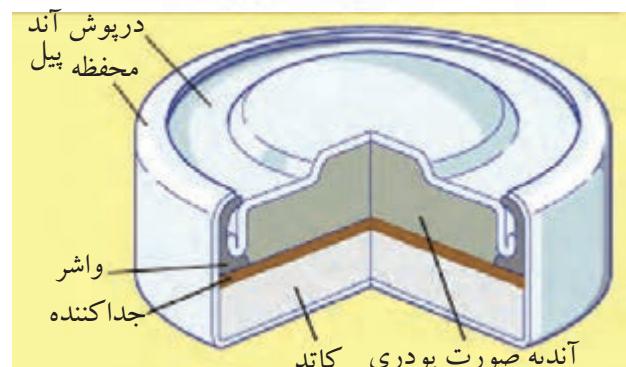
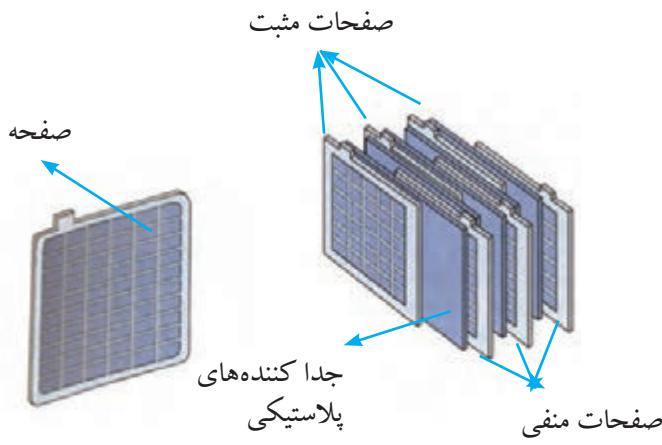


شکل ۱۱۴-۲ چند نمونه پیل قلیایی

## پیل سرب- اسید

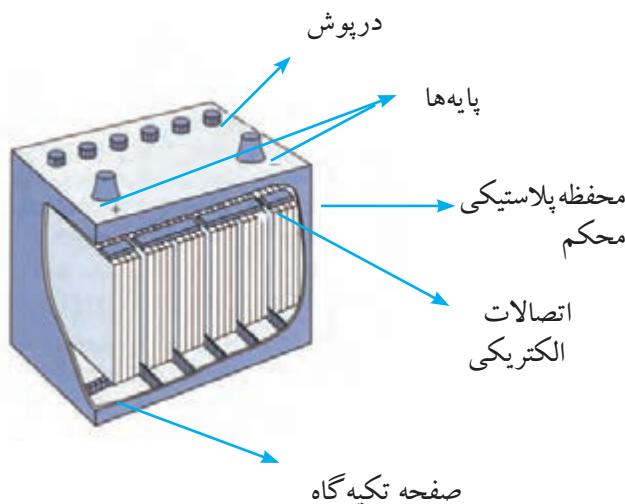
پیل سرب- اسید یکی از قدیمی‌ترین و رایج‌ترین پیل‌ها و از نوع ثانویه و قابل شارژ شدن است. در باتری‌های به کار رفته در اکثر اتومبیل‌ها از این نوع پیل استفاده می‌شود.

در شکل ۲-۱۱۷ ساختمان داخلی باتری سرب- اسید را مشاهده می‌کنید که معمولاً در اتومبیل به کار می‌رود.



شکل ۲-۱۱۶- شکل ظاهری چند نمونه پیل اسید نقره و ساختمان داخلی آن

الساندرو ولتا (۱۷۴۵-۱۸۲۷) واحد اختلاف پتانسیل (ولتاژ) به نام اوست و پیل روی- کربن (ولتا) را ساخته است.



شکل ۲-۱۱۷ ساختمان باتری سرب- اسید

## ۲-۱۳-۳ پیل‌های ثانویه

پیل‌های ثانویه، قابلیت پرشدن (شارژ) و خالی شدن (دشارژ) مکرر را دارند.

از انواع این نوع پیل‌ها می‌توان پیل‌های سرب- اسید و نیکل- کادمیوم را نام برد.

### پیل‌های نیکل- کادمیوم

این پیل نیز از انواع پیل‌های ثانویه است و قابلیت شارژ شدن را دارد. ولتاژ نامی این پیل دربار کامل  $1/2$  ولت و در حالت بی‌باری  $1/3$  تا  $1/38$  ولت است. میزان جریان دهی لحظه‌ای

## ۲-۱۴ اتصال پیل‌ها

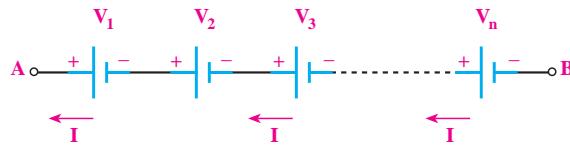
### ۲-۱۴-۱ اتصال سری پیل‌ها

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 پیل‌ها می‌نامند، شکل ۲-۱۲۰.



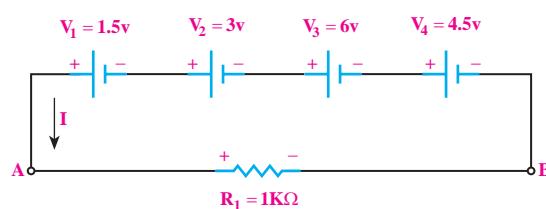
شکل ۲-۱۲۰ اتصال سری پیل‌ها

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

**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

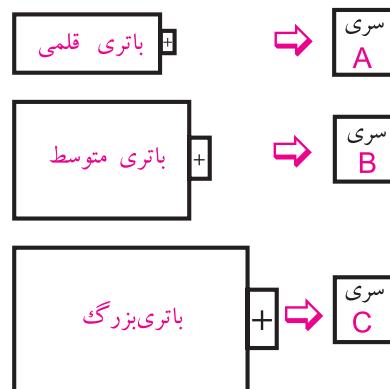
این پیل خیلی زیاد است به دفعات بسیار زیاد می‌تواند شارژ شود. این پیل را می‌توان به طور کامل تخلیه و مجدد شارژ کرد. باتری بسیاری از اتومبیل‌های جدید و همچنین بعضی از تلفن‌های همراه از ترکیب پیل‌های نیکل-کادمیوم است. معمولاً بر روی پیل‌های نیکل-کادمیوم واژه «RECHARGEABLE» به معنی قابل شارژ شدن را می‌نویسن. 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 محاسبه ولتاژ کل باید ولتاژ هر یک از پیل‌ها را با هم جمع کنیم.

$$V_{AB} = V_1 + V_r + V_r + V_r$$

$$V_{AB} = 1/5 + 3 + 6 + 4/5$$

$$V_{AB} = V_T = 15 \text{ V}$$

در صورتی که بخواهیم ولتاژ کل را افزایش دهیم، پیل‌ها را به طور سری با هم می‌بندیم.



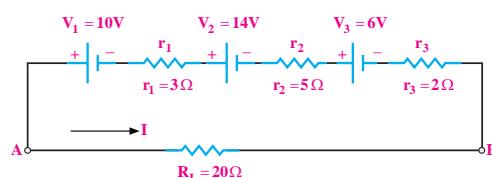
اگر پیل‌های سری شده را به صورت واقعی یعنی با مقاومت داخلی  $r$ ، در نظر بگیریم، اثر مقاومت پیل‌ها در مدار مانند چند مقاومت ظاهر می‌شود.

**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  $R_L$



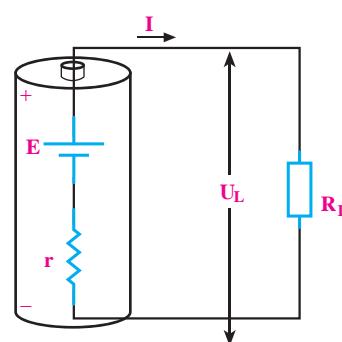
شکل ۲-۱۲۴

ولتاژ کل را بدون در نظر گرفتن مقاومت‌های داخلی پیل‌ها محاسبه می‌کنیم:

## حل:

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 اندازه‌گیری می‌گیریم. از مقایسه 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 این گونه 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 مصرف کننده به صورت سری قرار می‌گیرد.



ب) چون مقاومت داخلی پیل‌ها به صورت سری با هم بسته شده‌اند، مقاومت معادل آن را به دست می‌آوریم.

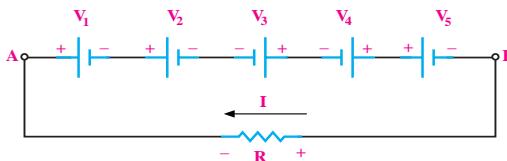
$$I_T = I_1 + I_r + I_r$$

$$I_T = 3 + 5 + 2 = 10 \Omega$$

شکل ۲-۱۲۳ مقاومت داخلی باتری

پیل‌ها و قطب‌های مثبت و منفی افت و لتاژ دو سر مقاومت‌ها

مشخص باشد. معمولاً قطب‌های مولد یا منابع از ابتدام مشخص است. یک جهت قراردادی رابرای جریان مدار در نظر می‌گیریم و براساس جهت قراردادی جریان، قطب‌های افت و لتاژ را در مصرف کننده‌ها تعیین می‌کنیم. در نقطه‌ای که جریان وارد مصرف کننده می‌شود براساس جهت قراردادی جریان، آن نقطه مثبت است. در حلقه بسته حرکت می‌کنیم و  $V_L = n \cdot V_T$  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 معادله 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 قراردادی جریان برای نوشتمن KVL توجه شده است.



#### ۲-۱۴-۴ 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.

ج) طبق قانون اهم جریان از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} I_L &= \frac{V_{AB}}{R_L + r_T} = \frac{30}{20+10} \\ \Rightarrow I_L &= 1A \end{aligned}$$

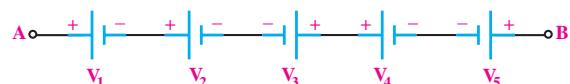
#### توجه

اگر و لتاژ پیل‌های سری شده با هم برابر باشند، و لتاژ کل آن‌ها از رابطه‌ی  $V_T = n \cdot V$  محاسبه می‌شود.



#### ۲-۱۴-۳ 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 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 و لتاژ یا افزایش جریان چند پیل را به صورت سری یا موازی بیندیم، باید مشخصات پیل‌ها، کاملاً با هم مشابه باشد. برای محاسبه و لتاژ کل مدار، باید قطب‌های مثبت و منفی

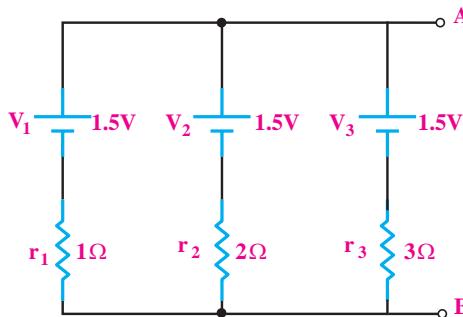
از طرفی چون پیل ها مساوی هستند، می توانیم از رابطه‌ی زیر نیز استفاده کنیم:

$$r_{AB} = r_T = \frac{r}{n}$$

**مثال ۳۰:** در مدار شکل ۲-۱۲۹ مطلوب است:

(الف) کاربرد مدار

(ب) مقاومت داخلی کل پیل ها از دو نقطه‌ی A و B



شکل ۲-۱۲۹

(الف) چون پیل ها موازی هستند، جریانی بیشتر از جریان یک پیل به بار می‌رسد.

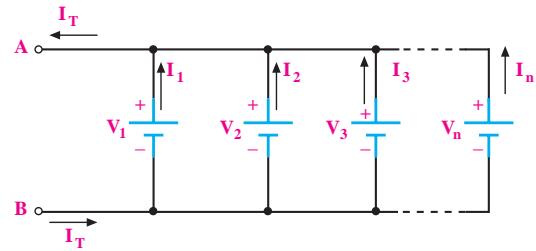
(ب) مقاومت داخلی از رابطه‌ی مقاومت‌های موازی به

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$$

دست می‌آید:

مقادیر مقاومت‌های داخلی پیل ها 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 ۲-۱۲۷

از اتصال موازی پیل ها زمانی استفاده می‌شود که جریان مورد نیاز بیشتر از میزان جریان دهی یک پیل باشد. در اتصال موازی پیل ها، ولتاژ دو سر مدار ثابت است.

در اتصال موازی پیل ها داریم:

$$V_{AB} = V_T = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n = \text{ولتاژ مدار}$$

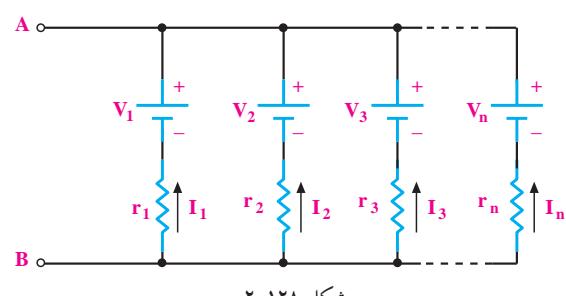
$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n = \text{جریان دهی کل پیل ها}$$

از طرفی چون پیل ها از نظر ولتاژ یکسان هستند پس

می توانیم 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 ۲-۱۲۸ به دست می‌آید. در این مدار، مقاومت معادل پیل ها، مشابه مقاومت های موازی قابل محاسبه است و از رابطه‌ی زیر حساب می‌شود:

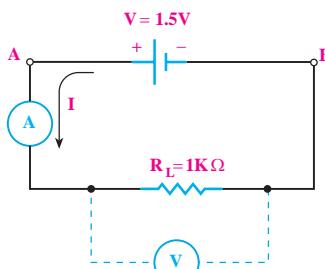


شکل ۲-۱۲۸

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n}$$

## ۲-۱۵ آزمایش شماره (۴)

■ مدار شکل ۲-۱۳۱ را روی برد بیندید.



شکل ۲-۱۳۱

■ ابتدا به کمک مولتی مترا دیجیتالی، ولتاژ دو سر مقاومت  $R_L$  را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{R_L} = \dots \text{V}$$

■ رنج دستگاه اندازه گیری را جهت اندازه گیری جریان آمده کنید.

■ مولتی مترا دیجیتالی را در حوزه کار آمپر متر به صورت سری در مدار قرار دهید و جریان را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$I_{R_L} = \dots \text{A}$$

**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.

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

### ۲-۱۵-۱ هدف آزمایش:

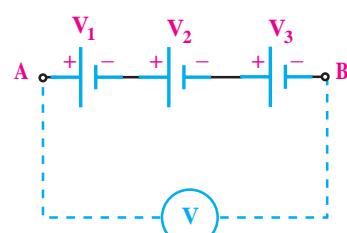
اتصال سری و موازی پیل‌ها به صورت عملی.

### 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 ولت	سه عدد
۳	مقاومت $1\text{K}\Omega$ ، $1\text{W}$	یک عدد
۴	بردبرد	یک قطعه
۵	سیم‌های دو سر گیره سوسناری	پنج رشته
۶	سیم رابط تلفنی	به مقدار لازم
۷	سیم چین	یک عدد
۸	سیم لخت کن	یک عدد

### ۲-۱۵-۳ مراحل اجرای آزمایش:

■ موضوع الف- به هم بستن سری پیل‌ها با استفاده از ولت متر دیجیتالی، ولتاژ DC پیل‌ها را اندازه بگیرید و یادداشت کنید، شکل ۲-۱۳۰.



شکل ۲-۱۳۰

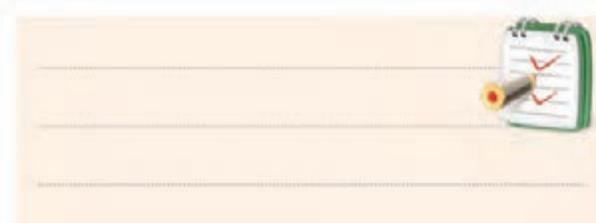
$$V_1 = \dots \text{V}$$

$$V_2 = \dots \text{V}$$

$$V_3 = \dots \text{V}$$

## سوال ۲۶: آیا بین مقدار این ولتاژ و $V_{AB}$ که قبل از

اندازه‌گیری کردید، تفاوتی وجود دارد؟ چرا؟

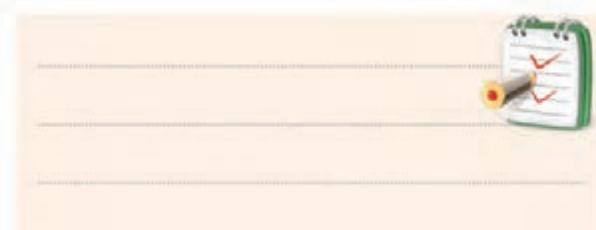


مولتی‌متر دیجیتالی را برای اندازه‌گیری جریان در حوزه کار آمپرمتر قرار دهید.

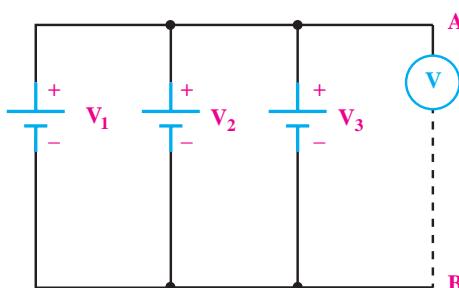
جریان مدار شکل ۲-۱۳۳ را اندازه‌گیرید و یادداشت کنید.

$$I_{AB} = \dots\dots\dots\dots A$$

**سوال ۲۷:** جریان در این مرحله که سه پیل در مدار وجود دارد نسبت به مرحله‌ای که فقط یک پیل در مدار وجود داشت، چه تغییری کرده است؟ شرح دهید.

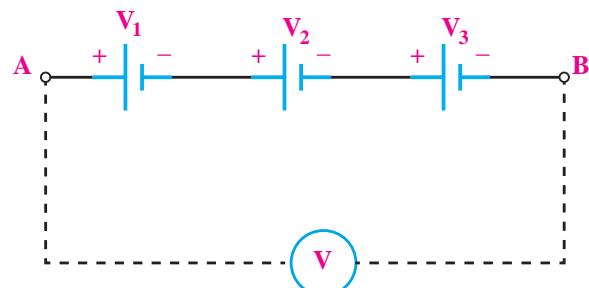


موضوع ب- اتصال موازی پیلهای و اندازه‌گیری مقادیر ولتاژ و جریان مدار شکل ۲-۱۳۴ را بیندید.



شکل ۲-۱۳۴

سه پیل را به صورت مدار شکل ۲-۱۳۲ اتصال دهید.



شکل ۲-۱۳۲

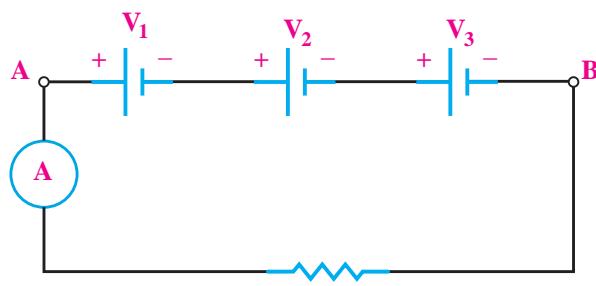
با ولت‌متر dc، ولتاژ دو نقطه‌ی A و B را اندازه‌گیرید و یادداشت کنید.

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

**سوال ۲۵:** از مقدار ولتاژ به دست آمده چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



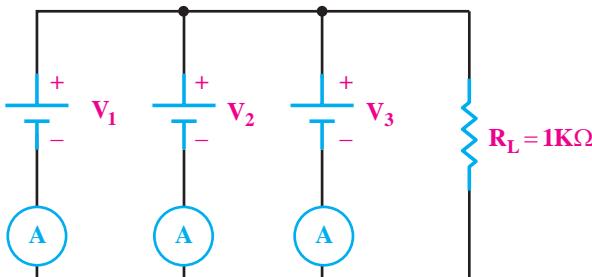
یک مقاومت  $1K\Omega$  را مانند شکل ۲-۱۳۳ به مدار اضافه کنید.



شکل ۲-۱۳۳

با مولتی‌متر دیجیتالی، ولتاژ دو سر مقاومت را اندازه‌گیرید و یادداشت کنید.

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



شکل ۲-۱۳۶

■ 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 1KΩ را با پیلهای موازی کنید.

■ ولتاژ دو سر مقاومت  $R_L$  را با استفاده از مولتی‌متر DC

اندازه بگیرید و یادداشت کنید، شکل ۲-۱۳۵.

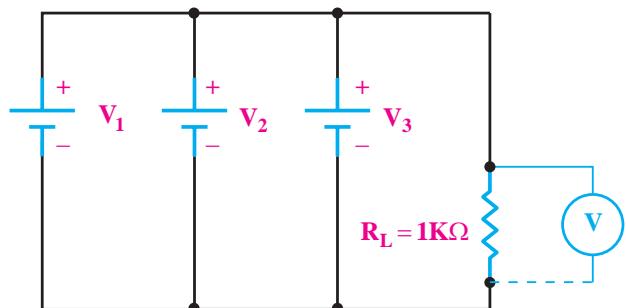
$$I_1 = \dots\dots\dots$$

$$I_2 = \dots\dots\dots$$

$$I_3 = \dots\dots\dots A$$

**سوال ۲۹:** از مقایسه‌ی جریان‌ها در این دو مرحله چه

نتیجه‌ای می‌گیرید؟ توضیح دهید.



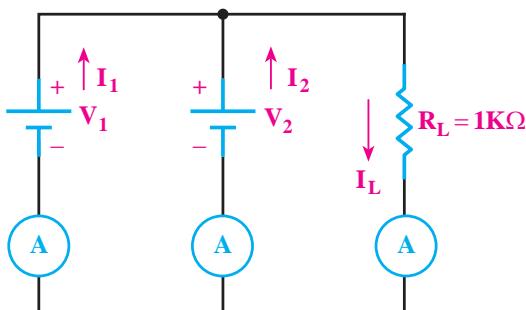
شکل ۲-۱۳۵

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

**سوال ۲۸:** ولتاژ اندازه گیری شده در این دو مرحله یکی

هستند؟ چرا؟ توضیح دهید.

■ مدار شکل ۲-۱۳۷ را با دو پیله و یک مقاومت بیندید.



شکل ۲-۱۳۷

■ 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 پیلهای قرار دهید و مانند شکل ۲-۱۳۶، جریان هر یک از پیلهای را یادداشت کنید.

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

#### ۲-۱۵-۴ نتایج آزمایش :

آنچه را که در این آزمایش فراگرفته اید به طور اختصار شرح دهید.

- الف -

- ب -

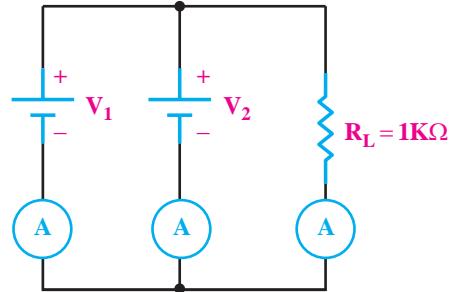
- ج -

#### 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 آمپرmetr DC جریان هر یک از شاخه ها را مانند شکل ۲-۱۳۸ اندازه بگیرید و یاداشت کنید.



شکل ۲-۱۳۸

$$I_1 = \dots \text{A}$$

$$I_r = \dots \text{A}$$

$$I_{R_L} = \dots \text{A}$$

#### سوال ۳۱: جریان های هر یک از پیل ها و جریان عبوری

مقاومت بار در این مرحله چه تفاوتی با جریان های اندازه گیری شدهی مرحلهی قبل دارد؟ توضیح دهید.



صاحب نظران علم مدیریت معتقدند: اگر ۲۰ درصد زمان خود را صرف برنامه ریزی کنیم، با اطمینان بیشتری در مورد ۸۰ درصد زمان باقی مانده قدم برمی داریم.

## آزمون پایانی فصل (۲)



- الف)  $220\Omega \pm 10\%$   
ب)  $220\Omega \pm 5\%$   
ج)  $2200\Omega \pm 5\%$   
د)  $220\Omega \pm 10\%$

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.

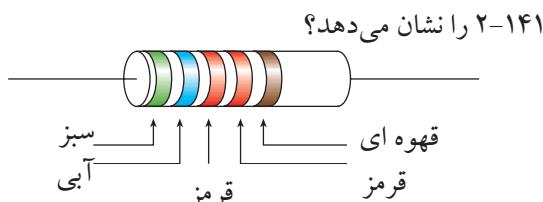
۹- مقاومت هایی که در اثر افزایش دما، مقدار مقاومت شان  
کاهش می یابد، NTC نام دارد.

□ صحیح □ غلط

۱۰- ترانس مقاومت های سری E۱۲ برابر  $10\Omega \pm 10\%$  است.

□ صحیح □ غلط

۱۱- کدام گزینه مقدار اهم و ترانس مقاومت شکل



شكل ۲-۱۴۱

- الف)  $684\Omega \pm 2\%$       ب)  $562\Omega \pm 10\%$   
ج)  $684K\Omega \pm 1\%$       د)  $562K\Omega \pm 20\%$

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)  $1/5$       ب)  $1/3$   
ج)  $2$       د)  $3/5$

۱- پیل های لیتیوم چند ولتی هستند؟

- الف)  $1/2$       ب)  $1/5$

- ج)  $3$       د)  $6$

۲- پیل های  $1/5$  ولت کوچک (مخصوص ساعت مچی)  
معمول از کدام نوع پیل ساخته می شوند؟

- الف) آلکالین      ب) روی - کربن  
ج) لیتیوم      د) اکسید نقره

۳- پیل های اولیه 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 بیشتر

- ج) جریان دو تا ۵ برابر      د) جریان دهی تا صد برابر

۵- مقدار مقاومت شکل ۲-۱۳۸ کدام است؟

۴ 7 0 R M

شكل ۲-۱۳۹

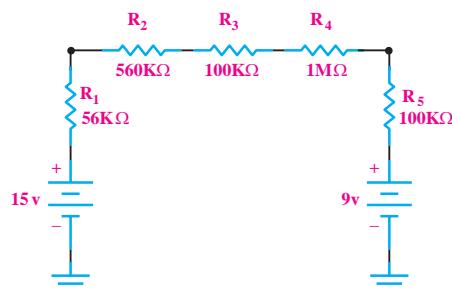
- الف)  $470\Omega \pm 20\%$       ب)  $470\Omega \pm 10\%$

- ج)  $470M\Omega \pm 20\%$       د)  $470M\Omega \pm 10\%$

۶- مقاومت معادل شکل ۲-۱۴۰ چند اهم است؟



شكل ۲-۱۴۰



۱۴- الکترود مثبت کدام یک از باتری‌های زیر از جنس اکسید منگنز است؟

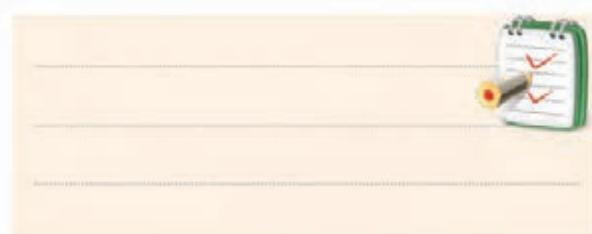
- الف) سرب- اسید      ب) روی- کربن  
ج) قلیایی      د) جیوه‌ای

۱۵- ولتاژ دو سر مقاومت در مدار شکل ۲-۱۴۲ چند ولت است؟

شکل ۲-۱۴۳

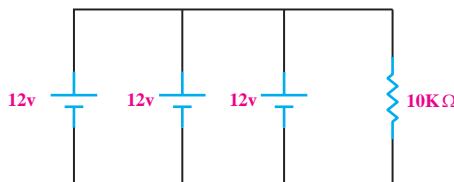
مراحل محاسبه را بنویسید.

- الف)  $\frac{2}{3}$       ب)  $0.02$   
ج)  $0.045$       د)  $10$

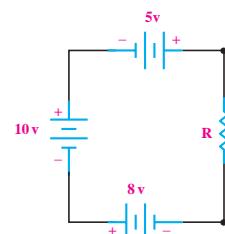


۱۶- توان مصرفی در مدار شکل ۲-۱۴۴ چقدر است؟

- الف)  $14/4\text{mw}$       ب)  $1/44\text{mw}$   
ج)  $1/44\text{W}$       د)  $14/4\text{W}$



شکل ۲-۱۴۴



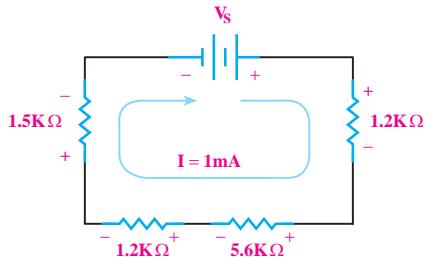
شکل ۲-۱۴۲



۱۷- جریان عبوری از مقاومت بار شکل ۲-۱۴۵ چند

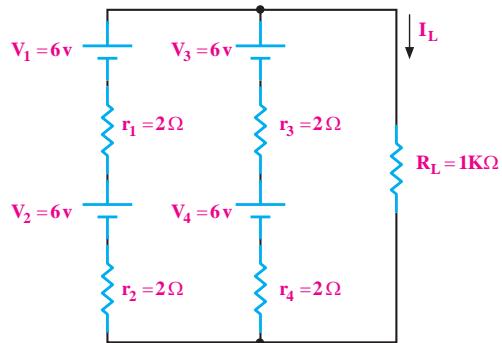
۱۸- جریان در مدار شکل ۲-۱۴۳ چند میکرو آمپر است؟ میلی آمپر است؟

- الف)  $11/9$       ب)  $6$   
ج)  $3$       د)  $12/4$



شکل ۲-۱۴۷

- ۰/۰۹۵ د) ۹۵ ب) ۹/۵ ج) ۹۵



شکل ۲-۱۴۵

۱۹- جریان عبوری از مدار شکل ۲-۱۴۶ چند میلیآمپر است؟

مراحل محاسبه را بنویسید.

الف) ۱۹۴

ب) ۴/۸

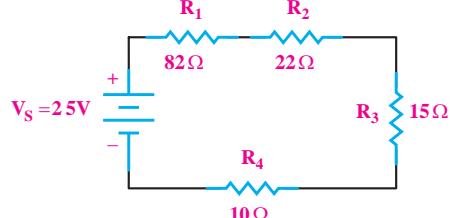
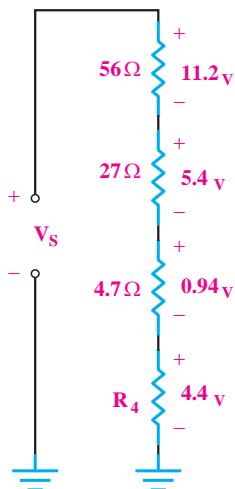
ج) ۶/۲

د) ۵/۶

۲۱- مقدار مقاومت R در شکل ۲-۱۴۸ چند اهم است؟

مراحل محاسبه را بنویسید.

- ۰/۸۸ الف) ۲۲۰ ج) ۲/۲ ب) ۲/۲ د) ۲۲



شکل ۲-۱۴۶



۲۰- در مدار شکل ۲-۱۴۷ ولتاژ Vs 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 پستن پل و تستون و اصول کار با هویه

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فرآگیرنده 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، C را توضیح دهد.
- ۷- چگونگی تشخیص لحیم‌کاری خوب را از بد شرح دهد.
- ۸- مدار پل و تستون را به طور عملی بررسی کند.
- ۹- اصول کار با هویه و قلع کش را به طور عملی تجربه کند.
- ۱۰- کلیه‌ی اهداف رفتاری در حیطه‌ی عاطفی که در فصل اول به آن اشاره شده است را در این فصل نیز به کار بینند.

ساعت آموزش			توانایی شماره
جمع	عملی	نظری	
۱۶	۸	۸	۳

## پیش آزمون فصل (۳)



- ج) مساوی بودن ولتاژ در مدار موازی به عنوان عامل غیر مشترک در نظر گرفته می‌شود.
- د) آمپر متر به صورت سری با مصرف کننده‌ها قرار می‌گیرد.
- ۸- اساس کار پل و تستون را شرح دهید.



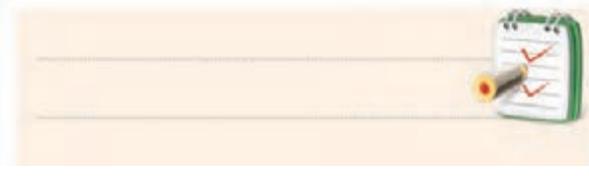
۹- روغن لحیم چه خصوصیاتی دارد؟



- ۱۰- چگونه می‌توان یک لحیم کاری خوب را از لحیم کاری بد تشخیص داد؟ شرح دهید.



- ۱۱- دو مورد مهم در تعمیر و نگهداری هویه‌ی قلمی را شرح دهید.



۱۲- انواع هویه‌های قلمی را نام ببرید.



۱- در یک مدار سری، عامل مشترک کدام است؟

الف) ولتاژ

ج) مقاومت

د) هیچ‌کدام

۲- ولتاژ منبع در یک مدار سری به نسبت ..... مقدار مقاومت‌های آن مدار تقسیم می‌شود.

۳- در یک مدار سری با افزایش تعداد مقاومت‌ها، توان

صرفی مدار چه تغییری می‌کند؟

الف) افزایش می‌یابد.

ج) تغییر نمی‌کند.

۴- در مدار سری، جریان صفر خواهد شد اگر.....

الف) منبع تغذیه قطع شود.

ب) سیم‌های رابط قطع شود.

ج) مقاومت مصرف کننده قطع شود.

د) هر سه مورد.

۵- قانون تقسیم جریان در چه مداری استفاده می‌شود؟

الف) سری

۶- کدام یک از روابط زیر صحیح نیست؟

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{الف) } I = \frac{R}{V}$$

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{ج) } V = R \cdot I$$

۷- کدامیک از جملات زیر در یک مدار موازی صحیح نیست؟

الف) جریان در هر شاخه به نسبت عکس مقاومت‌های هر شاخه تقسیم می‌شود.

ب) توان تولید شده‌ی منبع، با مجموع توان‌های مصرفی

هر شاخه برابر است.

### ۱-۳ یادآوری مدار سری

با توجه به خصوصیت‌های ذکر شده در مورد مدارهای

سری، رابطه‌ی نهایی مقاومت معادل  $R_T$  از رابطه‌ی زیر به

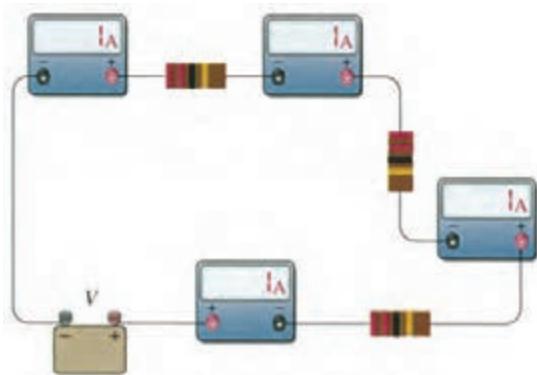
$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

دست می‌آید:

#### ۳-۱-۲ عامل مشترک در مدار سری

چنان‌چه مداری را مطابق شکل ۳-۳ اتصال دهید، مشاهده

می‌کنید که هر یک از آمپرتمترها 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:

$$I_{R_1} = I_{R_2} = I_{R_3} = I_{R_4} = I_T$$

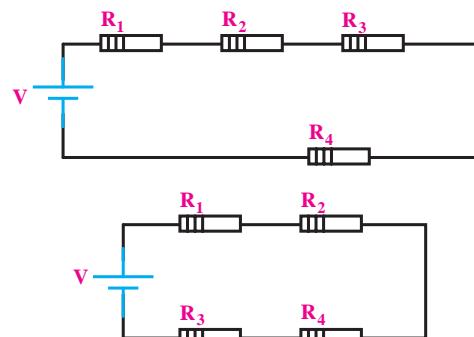
#### ۳-۱-۳ عامل غیرمشترک در مدار سری

اگر به دو سر یک مقاومت ولتاژ مشخصی داده شود،

تمام آن ولتاژ در دو سر مقاومت افت می‌کند، شکل ۳-۴

همان‌گونه که قبله 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.

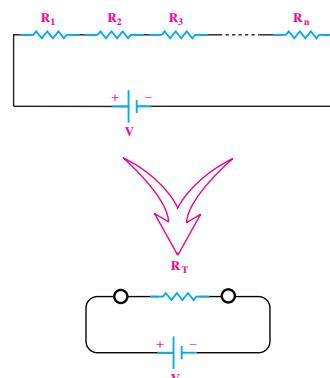
ترتیب قرار گرفتن مقاومت‌ها در مدار سری، در مقدار مقاومت معادل مدار تاثیری ندارد. چون دو طرف مقاومت از نظر قرار گرفتن در مدار با یکدیگر تفاوتی ندارد، برای آن‌ها ابتدا یا انتهایی فرضی در نظر می‌گیرند، شکل ۱-۳.



شکل ۱-۳ ترتیب قرار گرفتن مقاومت‌ها در دو نمونه مدار سری

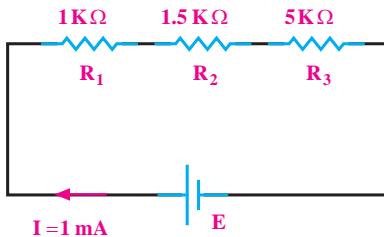
#### ۱-۳ مقاومت معادل در مدار سری

مقاومت کل یا « مقاومت معادل » به مقاومتی گفته می‌شود که بتواند به تنها ی ی 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

**تمرین کلاسی ۱:** در مدار شکل ۳-۶، ولتاژ منبع تغذیه و افت ولتاژ دو سر مقاومت ها را به دست آورید.

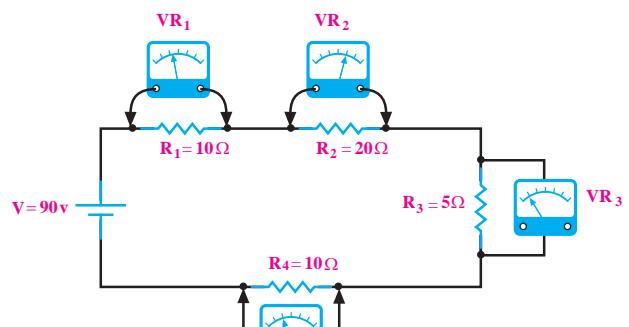


شکل ۳-۶

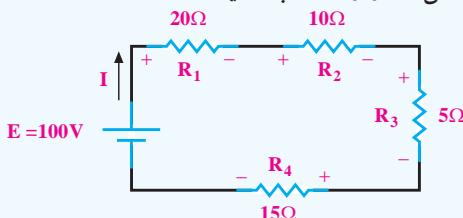
شکل ۳-۴ ولتاژ در دو سر مقاومت

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.

چنان چه 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 ولتاژ های دو سر هر یک از مقاومت ها را اندازه بگیریم و با هم جمع کنیم، ولتاژ منبع به دست می آید، شکل ۳-۵.



**تمرین کلاسی ۲:** در مدار شکل ۳-۷، جریان کل مدار را حساب کنید.



شکل ۳-۷

شکل ۳-۵ ولتاژ در مدار سری

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

نکته: ولتاژ منبع در یک مدار سری به نسبت مستقیم مقدار مقاومت های آن مدار تقسیم می شود، یعنی مقاومت بیشتر ولتاژ بیشتر و مقاومت کمتر دارای ولتاژ کمتری است.

### ۳-۱-۵ مفهوم توان در مدار سری

توان کل در یک مدار سری، از مجموع توان های مصرف شده در هر یک از مقاومت ها به دست می آید. اگر مداری شامل  $n$  مقاومت سری باشد، توان کل برابر است با:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

برای محاسبه توان هر یک از مقاومت ها 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

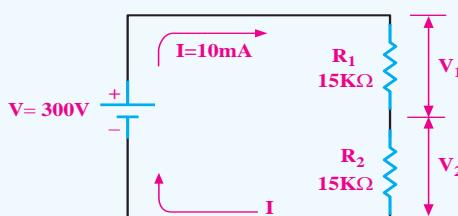


مطلوب است:

الف) افت ولتاژ مقاومت ها

ب) توان مصرفی هر یک از مقاومت ها

ج) توان کل مدار



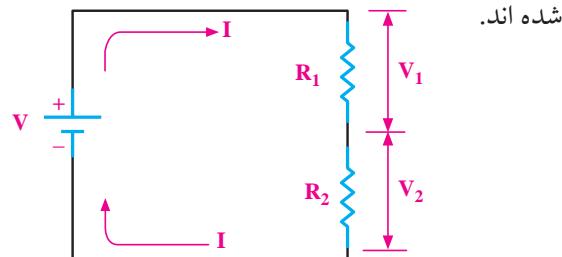
شکل ۳-۹

در یک مدار سری، جریان به عنوان یک عامل مشترک

برای تمام عناصر موجود در مدار فرض می شود.

### ۳-۱-۶ تقسیم ولتاژ در مدار سری

دو مقاومت طبق شکل ۳-۸ به صورت سری بسته



شکل ۳-۸ افت ولتاژ در یک مدار سری

مقدار ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت ها را از روابط زیر

می توان محاسبه کرد:

$$V_1 = V \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

بنویسیم:

$$V_2 = V \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

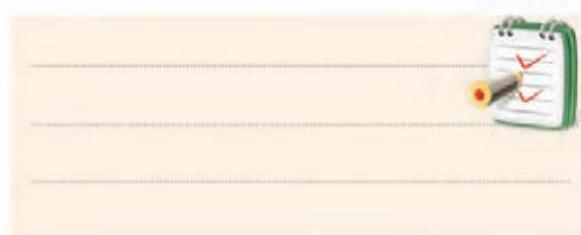
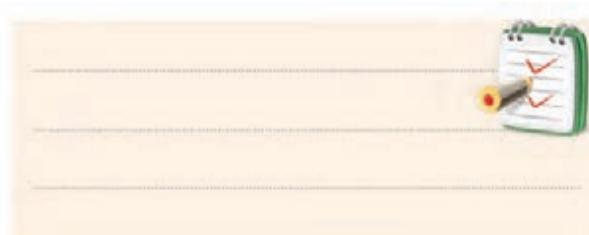
بر همین اساس برای محاسبه ولتاژ  $V_1$  نیز می توانیم

### تمرین کلاسی ۳: در صورتی که دو لامپ

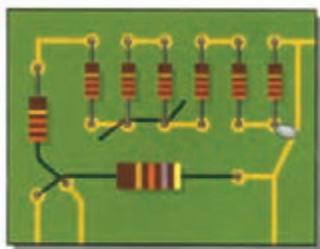


با مقاومت  $4\Omega$  به صورت سری به باتری  $1/5$  ولت اتصال

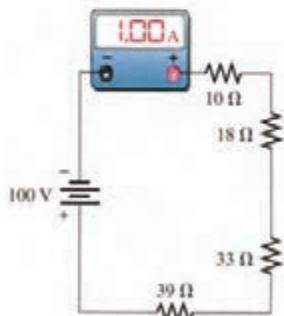
یابند، افت ولتاژ در سر هر لامپ چند ولت است؟



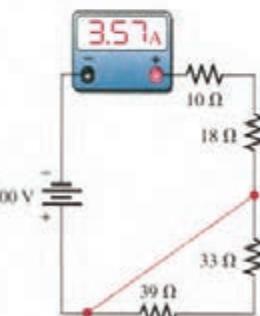
این حالت را نشان می‌دهد.



الف- حالت‌های مختلف اتصال کوتاه روی برد مدار چاپی



ج- جریان مدار در  
حالت عادی



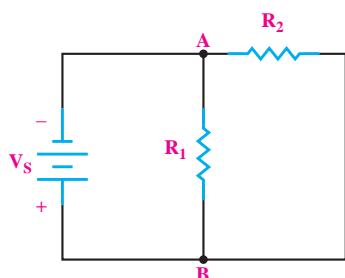
ب- جریان مدار در  
حالی که دو مقاومت  
اتصال کوتاه شده‌اند.

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.

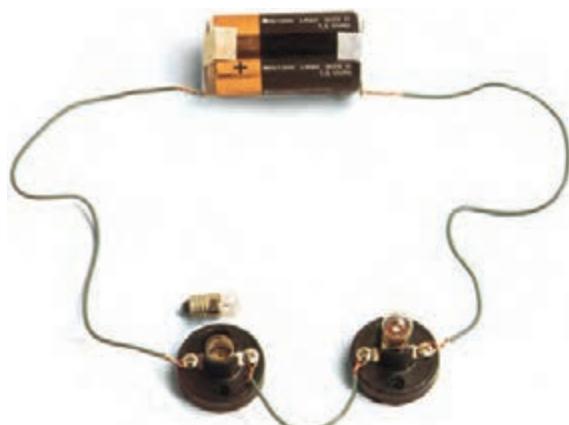


## ۳-۳ خرابی در مدارهای سری

**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 (حالی 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.



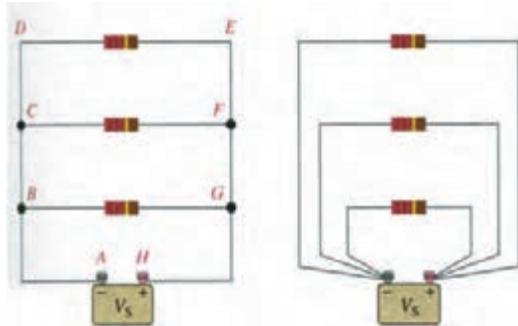
شکل ۳-۱۰ قطع سیم یا لامپ موجب قطع شدن مدار سری می‌شود.

## ۳-۴ 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 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 باطری متصل است، بنابراین ولتاژ دو سر همهٔ 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، رابطهٔ زیر صدق می‌کند:

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

به بیانی دیگر:

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

### 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 شاخهٔ 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 آمپرmetr قرار

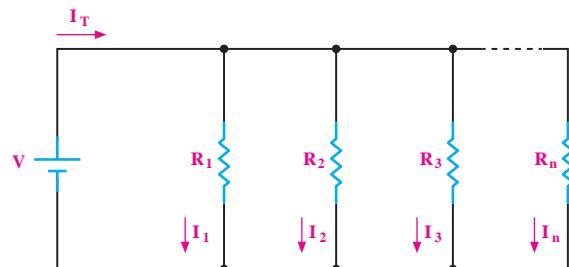
داده شده است:

در مدار شکل ۳-۱۲ یک طرف مقاومت‌ها در نقطهٔ A و طرف دیگر مقاومت‌ها در نقطهٔ B به هم وصل شده‌اند.

### ۳-۲-۱ مقاومت معادل در مدار موازی

برای محاسبهٔ مقاومت معادل در مدار موازی شکل ۳-۱۳ می‌توان از رابطهٔ نهایی  $R_T$  که در زیر آمده است استفاده کرد:

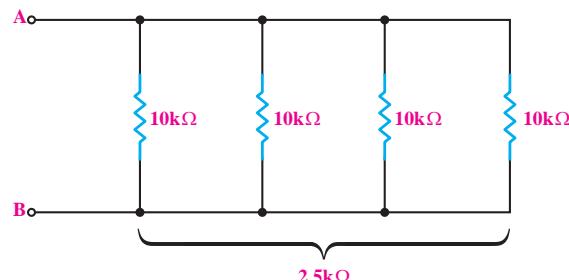
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$



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 رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

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



شکل ۳-۱۴ چند مقاومت مساوی به صورت موازی

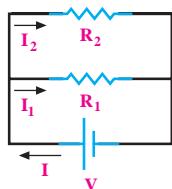
در رابطهٔ بالا،  $R$  مقدار یکی از مقاومت‌ها، و  $n$  تعداد مقاومت‌ها می‌باشد.

$$R_T = \frac{R}{n} = \frac{10}{4} = 2.5 \text{ K}\Omega$$

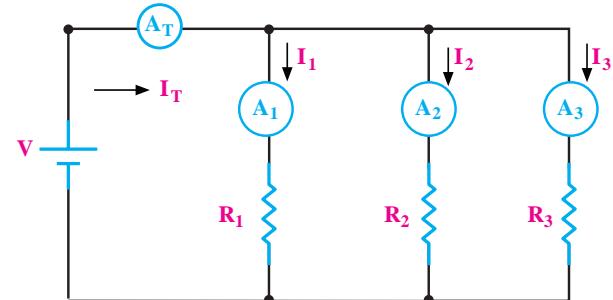
### ۳-۲-۴ تقسیم جریان در مدار موازی

با توجه به شکل ۳-۱۸ و استفاده از قانون اهم برای هر شاخه از مدار موازی و مقاومت معادل در مدار موازی می‌توان

روابط زیر را به دست آورد:



شکل ۳-۱۸



شکل ۳-۱۶ بررسی جریان‌ها در مدار موازی

جریان کل  $I_T$  که به وسیلهٔ آمپرmetr  $A_T$  نشان داده می‌شود. از قانون KCL پیروی می‌کند و مقدار آن از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

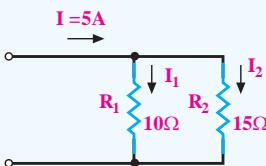
$$I_{A_T} = I_{A_1} + I_{A_2} + I_{A_3}$$

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

طبق قانون تقسیم جریان، جریان کل در شاخه‌های موازی به نسبت عکس مقاومت‌های شاخه‌ها تقسیم می‌شود.

#### تمرین کلاسی ۶: شدت جریان هر شاخه

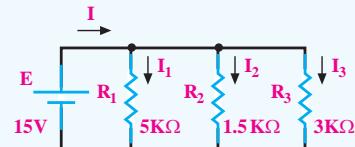
از مدار شکل ۳-۱۹ را به دست آورید.



شکل ۳-۱۹

#### تمرین کلاسی ۵: در مدار شکل ۳-۱۷

شدت جریان هر شاخه و شدت جریان کل را به دست آورید.

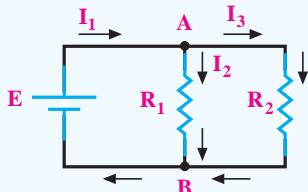


شکل ۳-۱۷

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

### ویژه‌ی هنرجویان علاقه‌مند: نحوه‌ی

به دست آوردن رابطه‌ی  $I_1 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$  را در شکل ۳-۱۸ تحقیق کنید.

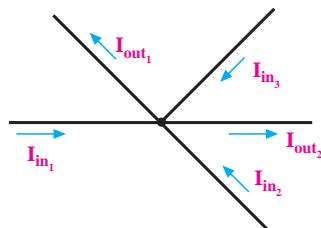
### ۳-۲-۳ جهت جریان در شاخه‌های موازی

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

$$I_{in1} + I_{in2} + I_{in3} = I_{out1} + I_{out2} + I_{out3}$$

رابطه‌ی بالا را می‌توانید به صورت رابطه‌ی زیر بنویسید:

$$I_{in1} + I_{in2} + I_{in3} - I_{out1} - I_{out2} = 0$$

### ۳-۲-۴ توان معرفی در مدار موازی

با استفاده از روابط محاسبه‌ی توان که قبل گفته شده است، می‌توانیم مقدار توان را در مدارهای موازی به دست آوریم این روابط عبارتند از:

براساس رابطه‌ی بالا، جمع جبری جریان‌ها در یک گره،

برابر صفر است.

### ۳-۲-۷ خرابی در مدارهای موازی

در مدارهای موازی نیز دو نوع خرابی متبادل 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.

همان طور که می‌دانید، در سیم‌کشی منازل و اماکن

تجاری، مصرف کننده‌ها به صورت موازی متصل می‌شوند.

فرض کنید در داخل منزل مشغول تماشی 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، بلا فاصله فیوز کنتور اصلی یا تابلوی برق قطع می‌شود و کل سیستم مرتبط با آن مجموعه را ز کار می‌اندازد، شکل ۳-۲۳.

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

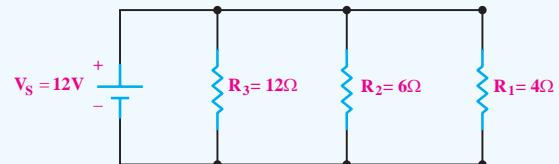
نکته: توان تولید شده توسط منبع با مجموع

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.



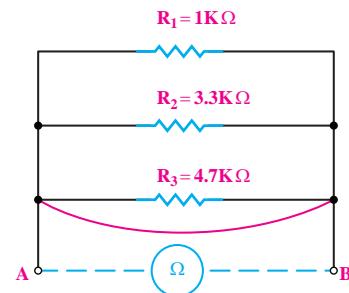
شکل ۳-۲۲



**تحقیق کنید:**

حالاتی اتصال کوتاه و قطع را در مدار موازی بررسی کنید و مثال‌های دیگری را در این زمینه بیان کنید.



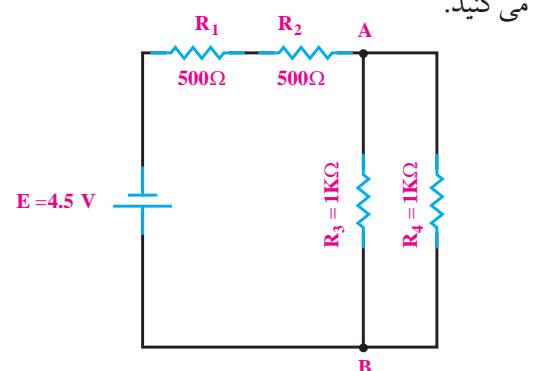


شکل ۳-۲۳ اتصال کوتاه در مدار موازی

### ۳-۳ مدارهای سری-موازی

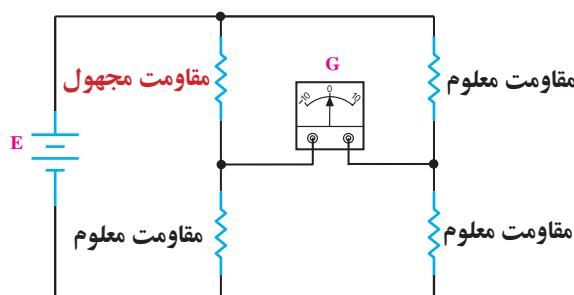
مدار سری-موازی به مداری گفته می‌شود که در آن ترکیبی از مقاومت‌های سری و موازی وجود داشته باشد.

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.



شکل ۳-۲۵-۱ 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:

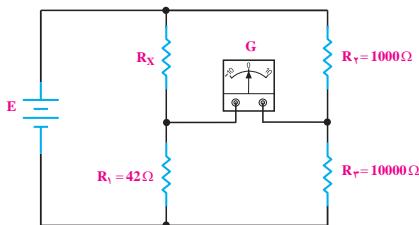
الف- مقاومت معادل مدار.

ب- جریان کل مدار.

بودن  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_x$  می‌توان مقدار  $R_x$  را محاسبه کرد.

**مثال ۱۰:** در شکل ۳-۲۸ از گالوانومتر جریانی عبور

نمی‌کند.  $R_x$  چند اهم است؟



شکل ۳-۲۸- پل وتسنون در حالت تعادل

**حل:**

اگر از گالوانومتر جریانی عبور نکند می‌گوییم پل در حالت تعادل قرار دارد. اگر پل در حالت تعادل باشد. رابطه زیر در آن صادق است:

$$R_x \cdot R_r = R_1 \cdot R_r$$

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_r}{R_r}$$

مقادیر را در رابطه قرار می‌دهیم و  $R_x$  را محاسبه می‌کنیم:

$$R_x = \frac{42 \times 1000}{10000} = 4.2 \Omega$$



- 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 وتسنون از

مولتی متر دیجیتالی

استفاده کنید.



شکل ۳-۲۶- یک نمونه گالوانومتر صفر وسط

با توجه به جهت جریان اعمالی به گالوانومتر (صفر وسط)،

عقربهای از وسط به سمت چپ یا راست منحرف می‌شود.

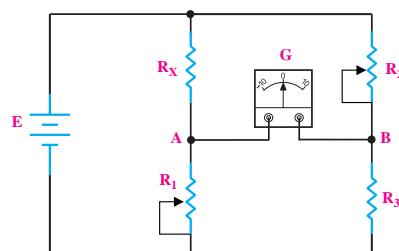
در شکل ۳-۲۷، اگر پتانسیل نقطه A با پتانسیل نقطه B

برابر باشد جریانی از گالوانومتر عبور نمی‌کند. در این حالت

پل در حال تعادل بوده و رابطه زیر برقرار است:

$$R_x \cdot R_r = R_1 \cdot R_r$$

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_r}{R_r}$$



شکل ۳-۲۷- مدار الکتریکی پل وتسنون

در عمل مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  را متغیر انتخاب می‌کنند و

این مقاومت را به قدری تغییر می‌دهند تا از گالوانومتر جریانی

عبور نکند (عقربه گالوانومتر دقیقاً روی عدد صفر باشد) در

ضمن مقادیر مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  به وسیله صفحه مدرج و

یا وسایل مشابه در هر لحظه مشخص می‌شود. بنابراین با معلوم

### ۳-۵-آزمایش شماره ۱

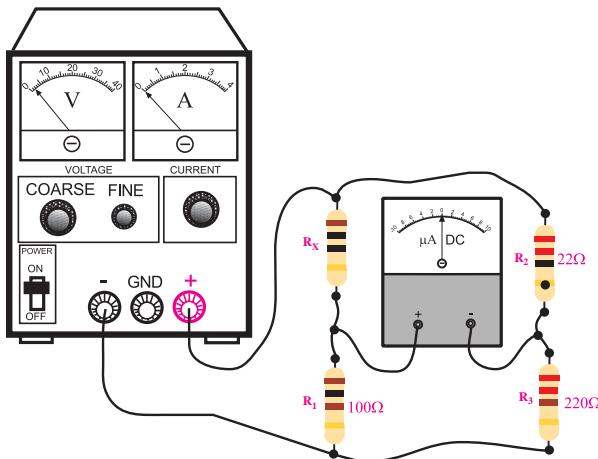
زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

#### پل مقاومتی و تستون

##### ۳-۵-۱ هدف آزمایش:

بررسی طرز کار پل مقاومتی و تستون

##### ۳-۵-۲-تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:



ب) مدار عملی  
شکل ۳-۲۹

■ منبع تغذیه را روی  $1/5$  ولت تنظیم کنید.

■ در پل و تستون شکل ۳-۲۹ رابطه  $R_x = R_1 \cdot R_3 / R_2$  برقرار است. لذا مولتی متر دیجیتالی باید صفر را نشان دهد.  
■ منع تغذیه را قطع کنید.

■ مقدار  $R_x$  را از مقدار  $10\Omega$  به  $15\Omega$  تغییر دهید.

■ ولتاژ منع تغذیه را روی  $1$  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 می‌دهد.  
■ منع تغذیه را قطع کنید.

**سوال ۱:** چرا وقتی به جای  $R_x = 10\Omega$  مقاومت  $R_x$  را

$15\Omega$  قرار می‌دهیم، مولتی متر مقداری را نشان می‌دهد؟  
توضیح دهید.



ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	منبع تغذیه $15V$	یک دستگاه
۲	گالوانومتر صفر وسط	یک دستگاه
۳	مقاومت های $10\Omega$ ، $22\Omega$ ، $100\Omega$ ، $220\Omega$ و $5/6\Omega$	از هر کدام یک عدد
۴	سیم های دو سر گیره سوسناری	شش رشته
۵	سیم های یک سر گیره سوسناری	شش رشته
۶	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

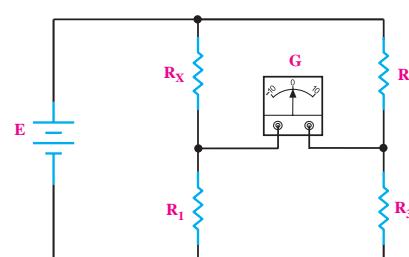
##### ۳-۵-۳-مراحل اجرای آزمایش:

■ مقاومت  $\Omega$  را  $R_x$  و مقاومت  $\Omega$  را  $R_1$ ، مقاومت

$22\Omega$  را  $R_2$  و  $220\Omega$  را  $R_3$  نام گذاری کنید.

■ مدار شکل ۳-۲۹ را بینندید.

■ در صورت عدم دسترسی به گالوانومتر صفر وسط، از مولتی متر دیجیتالی استفاده کنید و آن را روی رنج میکروآمپر متر قرار دهید.



الف) نقشه فنی مدار

### ۳-۶ اطلاعات مقدماتی لحیم کاری

■ به جای مقاومت  $R_x = 15\Omega$ ، مقاومت  $5/6\Omega$  را قرار

دهید.

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 فنزات 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 فنزاتی 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 پاک کننده (روغن لحیم) استفاده می‌شود. این مواد علاوه بر آن که آلودگی سطوح قطعات را پاک می‌کنند مانع از اکسیده شدن محل اتصال در خلال عمل لحیم کاری نیز می‌شوند، لذا تمام مواد پاک کننده‌ای 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

■ 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 نتایج آزمایش:

آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.



- 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 باقی بماند و در ضمن عمل لحیم کاری از اکسید شدن سطح اتصال جلوگیری کند.

#### ۳-۶-۴ 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 ۰/۰ میلی‌متر می‌سازند. در داخل اغلب این سیم‌ها معمولاً سوراخی سرتاسری وجود دارد که روغن لحیم در داخل آن فرار می‌گیرد. (سیم لحیم با معزی روغن). نسبت قلع و سرب در آلیاژ لحیم بین ۴۰ تا ۶۰ درصد تغییر می‌کند.

در عمل، سیم‌های لحیم را معمولاً با آلیاژهای ۴۰/۶۰، ۵۰/۵۰ و ۴۰/۴۰ می‌سازند. لحیم ۶۰/۴۰ آلیاژی است که در آن به نسبت ۶۰ درصد قلع و ۴۰ درصد سرب وجود دارد. هرچه درصد قلع بیش تر باشد لحیم در درجه حرارت کمتری ذوب می‌شود. مثلاً لحیم ۶۰/۴۰ در درجه حرارت حدود ۱۹۰°C ذوب می‌شود. در صورتی که لحیم ۴۰/۶۰ برای ذوب شدن به حداقل ۲۳۵°C حرارت نیاز دارد. چون حرارت زیاد سبب معیوب شدن و سایل نیمه‌هادی نظری دیود، ترانزیستور و آئی‌اسی و خرابی مدارهای چاپی می‌شود لذا برای انجام لحیم کاری قطعات الکترونیکی لحیم با درصد قلع بیش تر (حداکثر ۶۰ درصد) مناسب‌تر است که البته گران‌تر

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 راحت‌تر 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 خوردگشتن محل اتصال می‌شود.

در کارهای الکترونیکی (لحیم کاری نرم) از روغن‌های نان کروسیو 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.

#### ویژه‌ی هنرجویان علاقمند:

در صورتی که تمایل دارید، ترکیب روغن لحیم نان کروسیو را پیدا کنید و درباره‌ی آن توضیح دهید.

#### ۳-۶-۳ خواص روغن لحیم

روغن لحیم باید دارای خصوصیاتی به شرح زیر باشد:

- ۱- نقطه‌ی ذوب روغن لحیم باید کم تر و پایین تر از نقطه‌ی ذوب لحیم باشد تا زودتر ذوب شود و سطح فلز را پاک کند.

آلیاژ لحیم ممکن است دارای ۶۰ درصد قلع و ۳۸ درصد سرب و ۲ درصد مس باشد. قطر سیم لحیم ممکن است ۱mm، ۰.۸mm، ۰.۶mm، ۰.۵mm و بیشتر 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 بیشتر می‌توانید با استفاده از کلمات Soldering، Desoldering، Rework جست‌وجو در اینترنت به اطلاعات بیشتری دسترسی پیدا کنید.

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°C تا ۱۹۰°C است.



شکل ۳-۳۱ میله‌ی 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

### ۳-۷ وسائل 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.

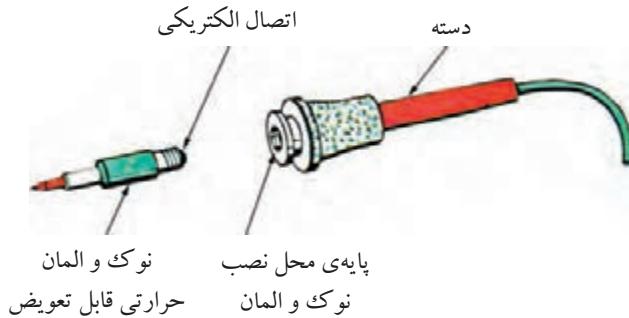
#### ۳-۷-۱ هویه‌ی ساده:

هویه‌ی ساده از سه قسمت تشکیل شده است.

- الف- سر هویه، که شبیه چکش و از جنس مس است.
- ب- دسته‌ی هویه که مفتوی 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.

در بعضی از انواع هویه‌های قلمی نوک و المان حرارتی آن قابل تعویض است. شکل ۳-۳۵ این نوع هویه را نشان می‌دهد.



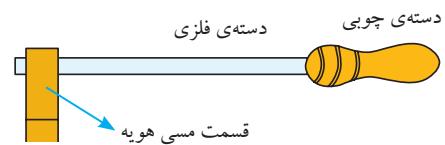
شکل ۳-۳۵ هویه‌ی قلمی با نوک و المان حرارتی قبل تعویض

**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

**هویه‌ی قلمی کوچک:** برای لحیم کاری بسیار طریق 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.

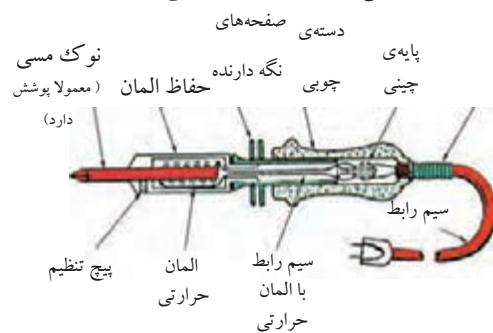
## ۳-۷-۲ هویه‌ی برقی

هویه‌ی برقی بر دو نوع است، هویه‌ی قلمی (مقاومتی) و هویه‌ی هفت تیری.

**هویه‌ی 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 می‌بیچند. 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

### 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 هویه نشان داده شده در این شکل از ۲۰۰ تا ۴۴۰ درجه سانتی‌گراد قابل تغییر است.



شکل ۳-۳۹ هویه با کنترل الکترونیکی

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 ساخته‌می‌شوند و با ولتاژ کم مانند باتری ۶ ولتی یا ترانسفورماتور ۶ ولتی کار می‌کنند.

### ۳-۷-۶- هویه 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 وات است و مخزن گاز آن با گاز بوتان پر می‌شود. یک مخزن گاز می‌تواند تا ۱۸۰ دقیقه کار کند.



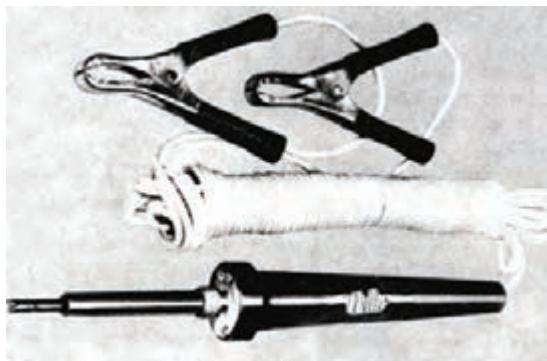
شکل ۳-۴۰ یک نمونه هویه‌ی گازی

تعمیر به کار می‌رود. با اتصال هویه به برق بلا فاصله 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 ۱۵۰ و در حالت گرم دارای توان ۶۰ وات است.



شکل ۳-۳۸ دو نمونه هویه‌ی سرعت بالا

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 ۳-۴۲ هویه‌ی قلمی باتری‌دار

### 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 نگهدارنده‌ی دارای اسفنج نرم نسوز نیز می‌باشند که می‌توان با نمدار کردن اسفنج، نوک هویه را تمیز کرد.

در شکل ۳-۴۳ چند نوع پایه‌ی نگهدارنده‌ی هویه‌ی قلمی نشان داده شده است.



شکل ۳-۴۳ چند نمونه پایه‌ی نگهدارنده‌ی هویه‌ی قلمی

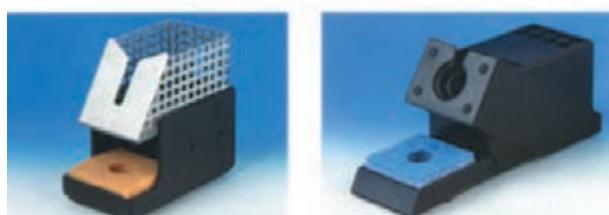


شکل ۳-۴۱ هویه‌ی گازی با نوک قابل تعویض

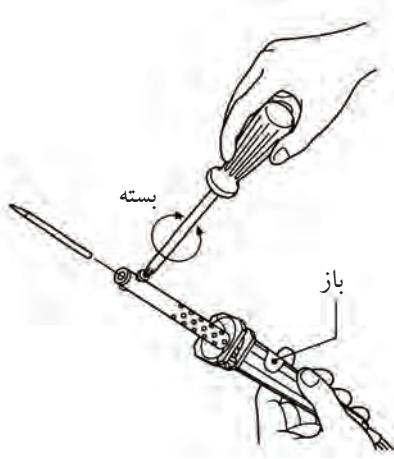
توان این نوع هویه‌ها معمولاً از ۲۵ تا ۱۲۵ وات است و با گاز بوتان کار می‌کند. یک مخزن گاز می‌تواند حداقل ۱۲۰ دقیقه سرویس دهد.

### ۳-۷-۹ هویه‌ی قلمی باتری دار

برای آن 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.



تعویض آن با یک قطعه گرم کننده سالم، هویه را تعمیر کنید. شکل ۳-۴۴ نحوه‌ی بیرون آوردن و تعویض قطعه‌ی گرم کننده را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴۴ نحوه‌ی بیرون آوردن و تعویض قطعه‌ی گرم کننده در هویه‌ی قلمی

### ۳-۷-۹ 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 اندوخت 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 اندوخت 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 قیل نوک‌ها نباید سطح نوک را سوهان زد.

■ هنگامی که از هویه استفاده نمی‌کنید دو شاخه‌ی آن را از برق بکشید زیرا اتصال مدام 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 رفت آن می‌شود. بعضی از هویه‌های قلمی دارای ترمومتر هستند. ترمومتر حرارت نوک هویه را به طور خودکار تنظیم می‌کند.

■ اگر دیده‌ی 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

### ۳-۷-۱۰ هویه‌ی هفت‌تیری (ترانسفورماتوری)

هویه‌ی هفت‌تیری بر اساس اصول کار ترانسفورماتور کار می‌کند. ترانسفورماتور یا ترانس دارای دو سیم پیچ به نام اولیه و ثانویه است. سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه بر روی هسته‌ی آهنی به شکل U یا E پیچیده شده‌اند. با توجه به رابطه‌ی

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

چنانچه دور سیم پیچ ثانویه کمتر باشد ترانسفورماتور از نوع کاهنده است و جریان در سیم پیچ ثانویه بیشتر می‌شود.

هویه‌ی هفت‌تیری بر اساس ترانسفورماتوری که سیم پیچ 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.

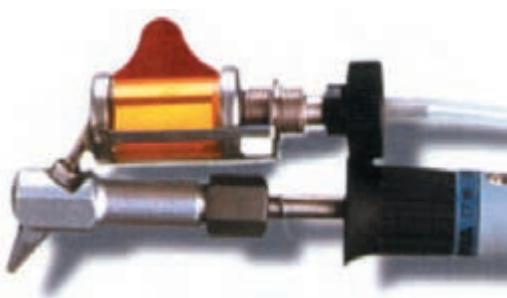
را به داخل سیلندر می‌مکد. شکل ۳-۴۶ چند نوع از این قلع کش‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴۶ چند نمونه از قلع کش پیستونی

### ۳-۸-۲ قلع کش حرارتی

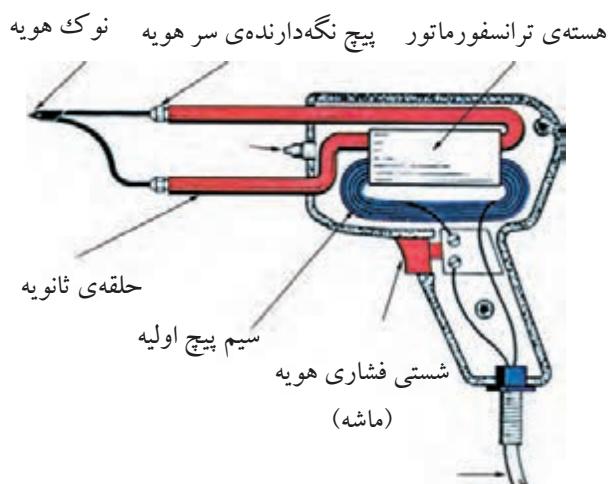
این قلع کش در واقع نوعی هویه است، که خود، لحیم محل اتصال را ذوب می‌کند. سپس آن را با پمپ دستی یا دستگاه مکنده‌اش می‌مکد. شکل ۳-۴۷ نوک این قلع کش را نشان می‌دهد.



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.



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، فرآزاد شده و پیستون به عقب کشیده می‌شود و لحیم

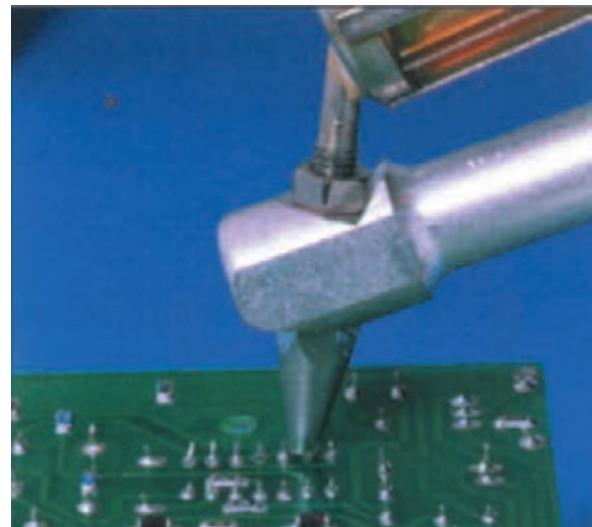
### ۳-۹ طریقه‌ی لحیم‌کاری

برای انجام لحیم‌کاری 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 لحیم‌کاری نکات زیر را رعایت کنید.

- ۱- از هویه با وات مناسب استفاده کنید. در الکترونیک هویه‌های ۱۰ وات تا ۴۰ وات برای لحیم‌کاری مناسب‌اند.
- ۲- نقطی را که می‌خواهید لحیم‌کاری کنید با سمباده‌ی نرم یا پارچه‌ی زبر تمیز کنید، زیرا عمل لحیم‌کاری 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 به طور جداگانه حرارت دهید و صبر کنید تا درجه حرارت محل اتصال افزایش یابد، سپس سیم لحیم را روی اتصال گرم شده قرار دهید تا ذوب شود و بتواند محل تقاطع دو سیم یا محل اتصال عناصر را کاملاً پوشاند.

۵- هویه را به طور پی‌درپی از سطح کار جدا نکنید، زیرا این عمل علاوه بر صرف وقت زیاد موجب لحیم بد در محل اتصال می‌شود، یعنی در این حالت لحیم در محل اتصال به طور کامل پخش نمی‌شود و یک اتصال بالحیم‌کاری سرد به وجود می‌آید. شکل ۳-۵۰ لحیم‌کاری صحیح و لحیم‌کاری سرد را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴۸ نحوه‌ی قرارگیری قلع کش حرارتی

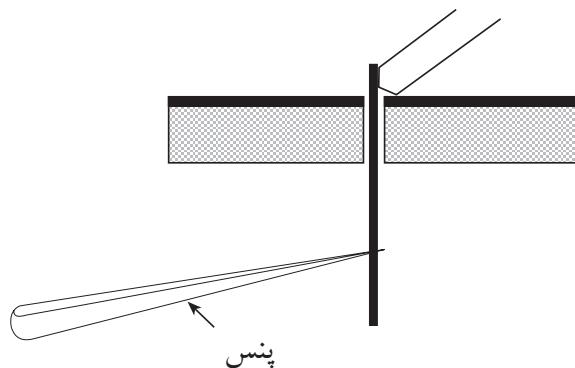


شکل ۳-۴۹ قلع کش با دستگاه مکنده

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 پرتاپ 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.

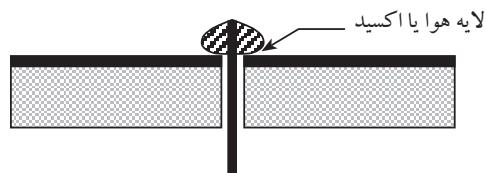
در شکل ۳-۵۱، پنس پایه‌ی قطعه را گرفته است. در این حالت حرارت پایه به پنس منتقل می‌شود و آسیبی به قطعه‌ی الکترونیکی نمی‌رسد.



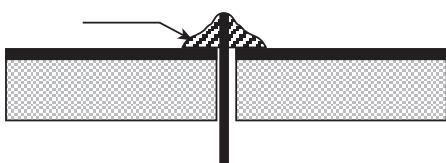
شکل ۳-۵۱ نحوه‌ی لحیم کاری قطعات الکترونیکی

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)



(ب) لحیم کاری صحیح

شکل ۳-۵۰ 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

۳-۱۰-۳ 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.



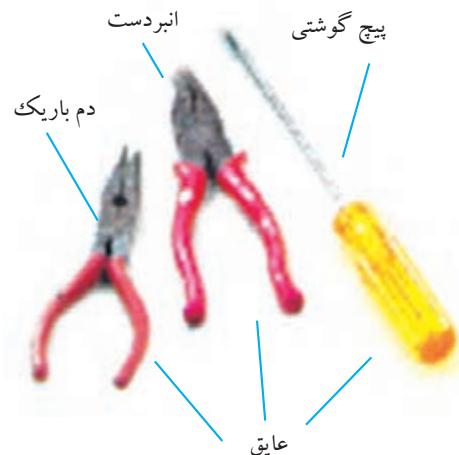
شکل ۳-۵۵ در دست گرفتن صحیح دوشاخه

۳-۱۰-۵ برای برداشتن قسمت عایق سیم‌ها به منظور لحیم کاری از سیم لخت کن استفاده کنید. شکل ۳-۵۶-الف و ب دو نوع سیم لخت کن ساده و اتوماتیک را نشان می‌دهد.



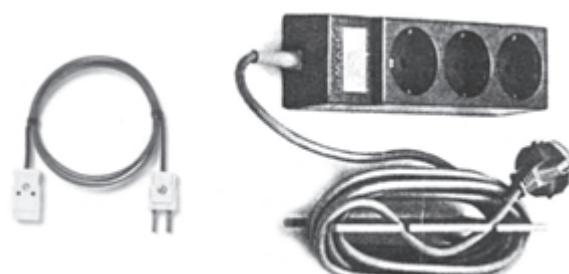
■ لازم است برای اجرای کارهای عملی به دستورات حفاظتی و ایمنی کاملاً توجه کنید تا از خطرات احتمالی برق گرفتگی یا آسیب رساندن به قطعات و تجهیزات جلوگیری به عمل آید.

۱-۱۰-۳ همیشه از ابزار کار استاندارد استفاده کنید. ابزار استاندارد نظیر پیچ گوشی، دم باریک و سیم چین باید دارای دسته‌ی عایق باشند، شکل ۳-۵۲.



شکل ۳-۵۲ تعدادی ابزار کار استاندارد

۲-۱۰-۳ سیم رابط 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 هویه‌ی 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 وسائل اطفاء حریق باشد و این وسائل باید به راحتی در دسترس قرار گیرد. شکل ۳-۵۸ وسائل اطفاء حریق را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵۸ وسائل اطفاء حریق

نکته‌ی مهم:

برای انجام کارهای عملی لحیم کاری، توصیه می‌کنیم از سیم‌های دورریز موجود در آزمایشگاه استفاده نمایید.



(الف)



(ب)

شکل ۳-۵۶ سیم لخت کن ساده و اتوماتیک

۳-۱۰-۶ هویه‌ی گرم را روی پایه‌ی مخصوص هویه قرار دهید تا مانع آتش‌سوزی یا سوانح دیگر شود. شکل ۳-۵۷ یک نمونه پایه‌ی هویه‌ی مناسب را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵۷

### ۳-۱۱ آزمایش شماره‌ی (۲):

اصول کار با هویه و قلع کش

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

#### ۳-۱۱-۱ هدف آزمایش:

مونتاژ (سوار کردن) و دموناژ (پیاده کردن) قطعات از روی برد مدار چاپی و لحیم کاری صحیح.

#### ۳-۱۱-۲ 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	پایه‌ی هویه	یک عدد
۸	سیم مفتولی	به مقدار لازم
۹	قلع کش پیستونی	یک عدد
۱۰	مدار چاپی	یک فیبر

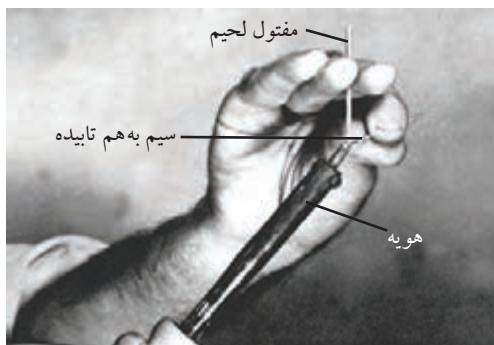
#### ۳-۱۱-۳ مراحل اجرای آزمایش:

##### الف - لحیم کاری صحیح

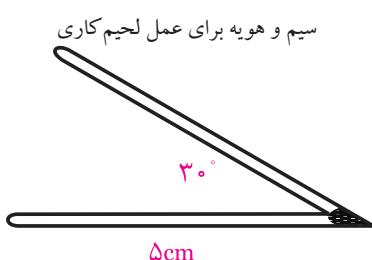
چند قطعه سیم مفتولی با سطح مقطع  $1/5$  میلی‌متر مربع روپوش دار انتخاب کنید.

دو سر سیم‌ها را، با استفاده از سیم لخت کن، به اندازه‌ی یک سانتی‌متر لخت کنید.

دو سر سیم‌ها را سمباده‌ی نرم بکشید و آن‌ها را قلع آندود کنید.

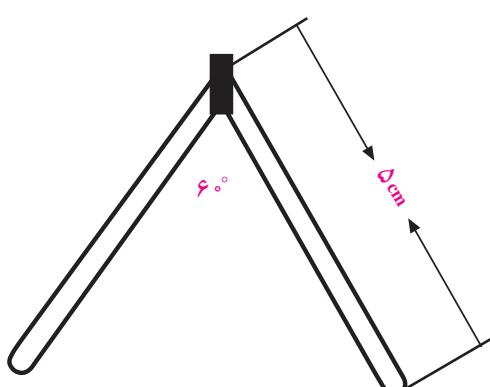


شکل ۳-۵۹ - نحوه‌ی صحیح در دست گرفتن



شکل ۳-۶۰ - نمونه‌ی صحیح ساختن زاویه‌ی ۳۰°

مراحل قبلی آزمایش را برای ساختن زاویه‌ی ۶۰° تکرار کنید. کار در این تمرین باید مطابق شکل ۳-۶۱ باشد.



شکل ۳-۶۱ - نمونه‌ی صحیح ساختن زاویه‌ی ۶۰°

## 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 هویه‌ی قلمی را بررسی کنید و از سالم بودن آن مطمئن شوید.

■ قلع کش را آزمایش کنید و از سالم بودن آن مطمئن شوید.

■ هویه را به برق بزنید تا گرم شود.

■ قطعه‌ی تعیین شده توسط مربی یا استاد کار را با استفاده از هویه 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 آورده‌ید از مربی یا استاد کار بخواهید کار شما را مورد ارزیابی قرار دهد.

## ج- سوار کردن قطعات روی فیبر مدار چاپی

■ نوک هویه را بررسی و در صورت نیاز آن را کاملاً تمیز کنید.

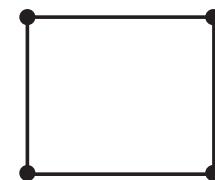
■ قطعاتی را که مربی یا استاد کار برای شما تعیین می‌کند روی یک فیبر اوراقی سوار کنید.

■ مرحله‌ی قبل را آنقدر تکرار کنید تا مهارت لازم را به دست آورید.

■ پس از اطمینان از کسب مهارت کافی از استاد کار بخواهید کار شما را مورد ارزیابی قرار دهد.

## ساختن مربع

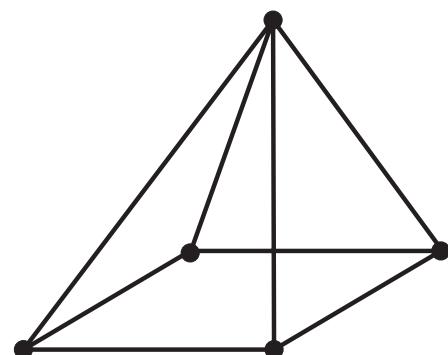
■ با استفاده از ۴ قطعه سیم طبق شکل ۳-۶۲ یک مربع بسازید.



شکل ۳-۶۲ نمونه‌ی صحیح ساختن مربع

## ساختن هرم

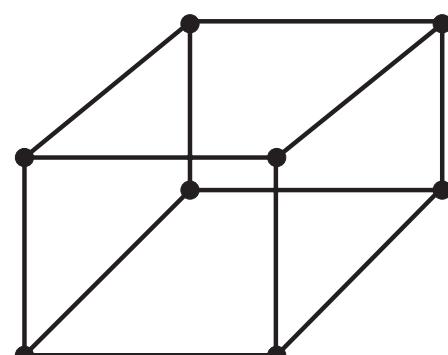
■ با استفاده از چند قطعه سیم، شکل ۳-۶۳ را بسازید.



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

### ۱۱-۳ نتایج آزمایش:

آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

الف:

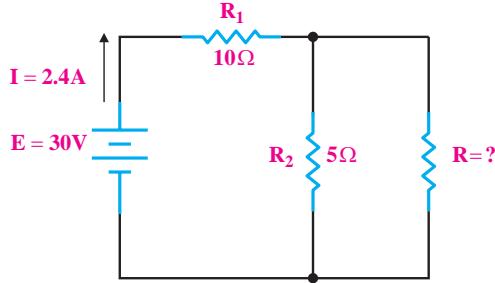
: ب

: ج

## آزمون پایانی فصل (۳)



۲- در شکل ۳-۶۶ مقدار  $R$  چند اهم باید باشد؟



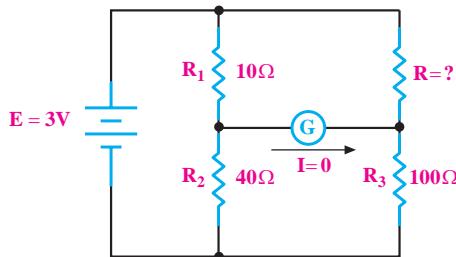
شکل ۳-۶۶

۳/۳۳۰ ب)

۱۰ د)

۱۵ ج)

۳- در شکل ۳-۶۷ مقدار  $R$  چند اهم است؟



شکل ۳-۶۷

۲۶ ب)

۲۹ د)

۲۵ الف)

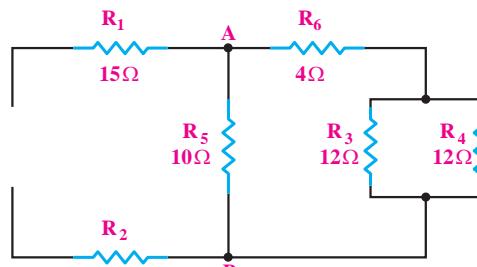
۲۸ ج)

۴- یک هویه‌ی ساده از چه قسمت‌هایی تشکیل شده

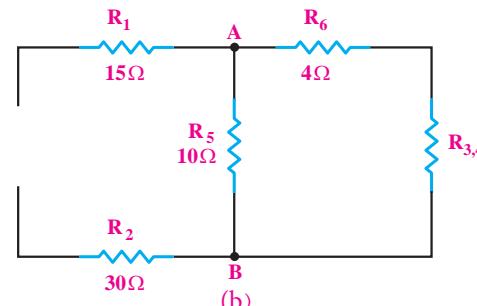
است؟ نام ببرید.



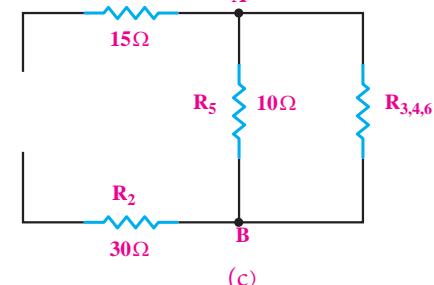
۱- در شکل ۳-۶۵ مدار (a) داده شده است. مدارهای (b) تا (e) ساده شده‌ی مدار (a) هستند. در روی این شکل‌ها، مقادیر مقاومت معادل‌هایی که مقدار آن‌ها نوشته نشده است را به ترتیب در هر شکل با توجه به شکل قبلی محاسبه کنید و بنویسید.



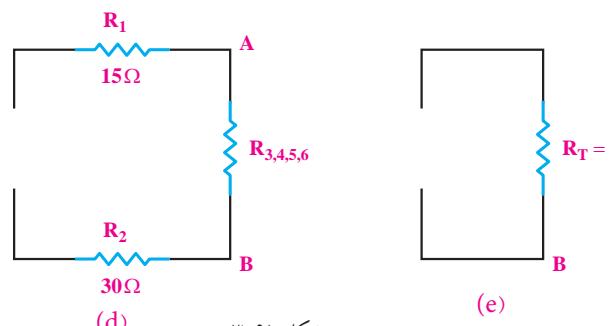
(a)



(b)



(c)



شکل ۳-۶۵

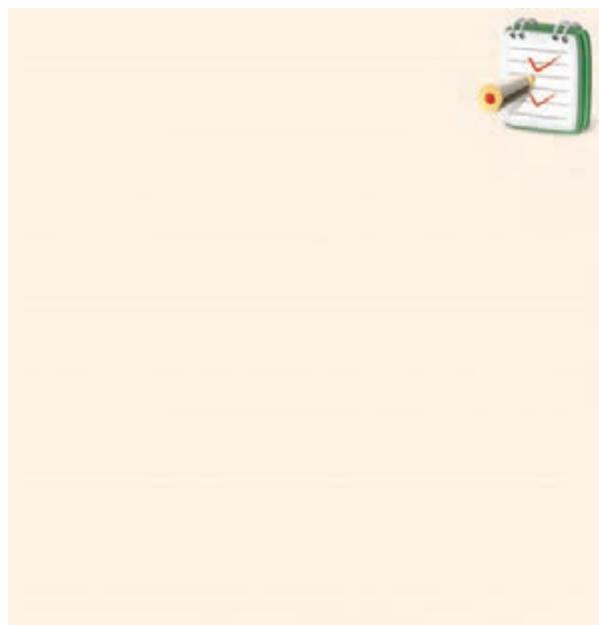
ج) قطع شدن سیم‌های رابط باعث صفر شدن جریان در مدار سری است.

د) توان مصرفی در مدار سری برابر با توان هر یک از مصرف کننده‌ها است.

۹- مدار سری- موازی را با رسم شکل شرح دهید.



۵- روش صحیح نگهداری هویه‌ی قلمی را شرح دهید.



۶- بهترین لحیم برای عمل لحیم‌کاری در الکترونیک، آلیاژ ۶۳/۳۷ است.

غلط

صحیح

۷- اساس کار پل و تستون 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 مصرف کننده‌ها 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

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



- ۷- مدار معادل نورتن مدارهای الکتریکی جریان مستقیم را به دست آورد.
- ۸- کلیه‌ی هدف‌های رفتاری در حیطه‌ی عاطفی که در فصل اول بخشن اول به آن‌ها اشاره شده است را اجرا کند.

- 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.

ساعت آموزش 08:00			توانایی
جمع	عملی	نظری	
۸	۴	۴	شماره ۴

## پیش آزمون فصل (۴)



۱- عناصر فعال به عناصری گفته می شود که انرژی مدار را ..... می کنند.

الف) مصرف

۲- منبع ولتاژ حقیقی را می توان منبع ولتاژ ایدهآلی دانست  
که یک مقاومت اهمی.....، با آن ..... شده باشد.

الف) کوچک- سری

ج) بزرگ- سری

۳- منابع جریان واقعی، منابع جریان ایدهآلی هستند که با  
یک مقاومت اهمی بزرگ به صورت موازی قرار گرفته اند.

غلط  صحیح

۴- کدامیک از جملات زیر صحیح نیست؟

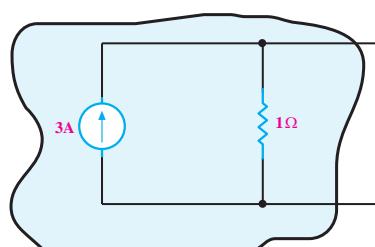
الف) منابع جریان ایدهآل، در بارهای مختلف، جریان ثابتی به مدار می دهند.

ب) منبع ولتاژ حقیقی منبعی است که با افزایش بار، ولتاژ خروجی آن کاهش می یابد.

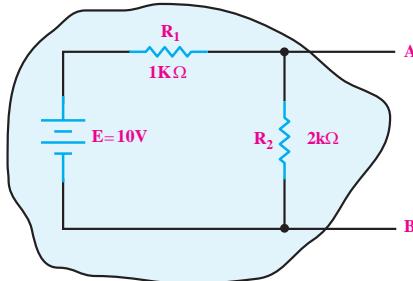
ج) منابع ایدهآل را می توان به یکدیگر تبدیل کرد و توان آن را افزایش داد.

د) برای تبدیل یک منبع ولتاژ به منبع جریان، مقاومت داخلی منبع ولتاژ با مقاومت داخلی منبع جریان برابر است.

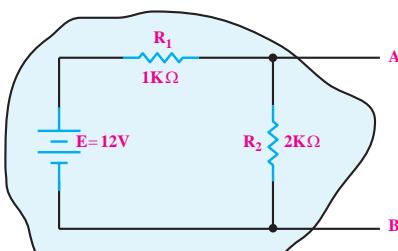
۵- منبع ولتاژ معادل منبع جریان شکل زیر را به دست آورید.



۶- مدار معادل نورتن شکل زیر را از دو نقطه‌ی A و B به دست آورید.

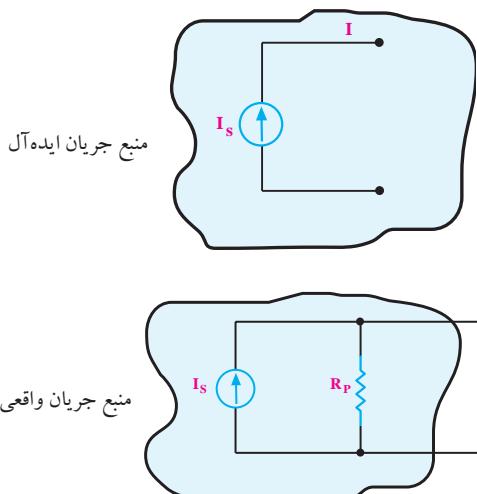


۷- مدار معادل تونن مدار زیر را از دو نقطه‌ی A و B به دست آورید.



## ۱-۴ عناصر فعال مدارهای الکتریکی

در این منابع به دلیل ثابت بودن جریان منبع، در صورت تغییر بار، جریان عبوری در مصرف کننده قدری تغییر می‌کند. در شکل ۴-۲ دو نمونه منبع جریان ایده‌آل و واقعی را مشاهده می‌کنید.



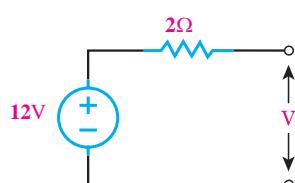
شکل ۴-۲ دو نمونه منبع جریان

### ۱-۴-۳ 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 بدست آورید.



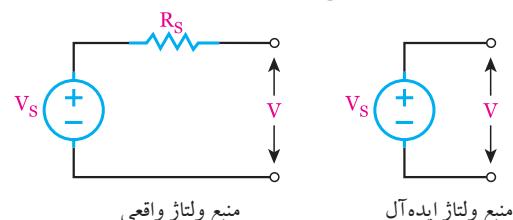
شکل ۴-۳

عناصر فعال به عناصری گفته می‌شود که انرژی مدار را تأمین می‌کنند. این عناصر منابع ولتاژ و منبع جریان هستند. هر یک از این دو منبع به دو گروه منابع ایده‌آل و منابع حقیقی تقسیم می‌شوند.

### ۱-۴-۴ منابع ولتاژ

منبع ولتاژ ایده‌آل منبی است که بتواند در بارهای مختلف، ولتاژ ثابتی را به مدار بدهد. منبع ولتاژ حقیقی، منبی 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 ۱-۴-۴ یک نمونه منبع ولتاژ ایده‌آل و یک نمونه منبع ولتاژ واقعی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴-۴ دو نمونه منبع ولتاژ

### ۱-۴-۵ 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. منبع جریان واقعی، منابع جریان ایده‌آلی هستند که با یک مقاومت بزرگ اهمی به صورت موازی قرار گرفته‌اند.

**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:

$$V_s = 12 \times 3 = 36 \text{ (V)}$$

$$R_s = R_p = 3\Omega$$

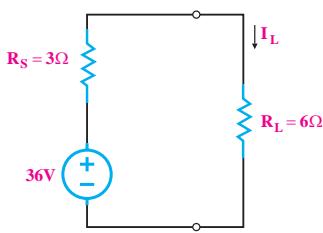
$$R_s = R_p = 2\Omega$$

مقدار جریان منبع جریان را از تقسیم ولتاژ منبع ولتاژ بر

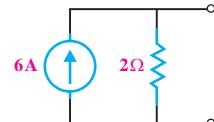
مقاومت سری با آن به دست می آوریم:

منبع ولتاژ معادل منبع جریان این مثال را در شکل ۴-۶ مشاهده می کنید.

$$I_s = \frac{V_s}{R_s} = \frac{12 \text{ (V)}}{2 \Omega} = 6 \text{ A}$$



پس منبع جریان معادل به صورت شکل ۴-۴ در می آید.



شکل ۴-۴ منبع جریان معادل

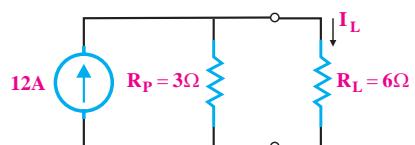
$$I_L = \frac{36 \text{ (V)}}{3 + 6} = 4 \text{ (A)}$$

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.

**تذکرہ:** منابع ایدهآل را نمی توان به یکدیگر تبدیل  
کرد.

**مثال ۲:** در شکل ۴-۵ منبع ولتاژ معادل منبع جریان مدار را محاسبه کنید و شکل مدار را رسم کنید. جریان مصرف کننده  $I_L$  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:

$$I_L = I_{\text{کل}} \times \frac{3\Omega}{3 + 6} = 12 \times \frac{3}{9} = 4 \text{ (A)}$$

به طور خلاصه برای تبدیل منبع جریان به منبع ولتاژ باید به  
طریق صفحه بعد عمل کنید:

آیا می‌دانید:

یک لامپ کم مصرف ۲۰ وات با بازدهی انرژی A در طول عمر خود معادل یک بشکه نفت خام صرفه‌جویی می‌کند.

## ۴-۶ طور خلاصه



### ۴-۲ قضایای تونن و نورتن

#### ۴-۲-۱ قضیه‌ی تونن

طبق قضیه‌ی تونن، هر شبکه‌ی الکتریکی از دو نقطه‌ی مشخص را می‌توان به صورت یک منبع ولتاژ و یک مقاومت سری شده با آن معادل نمود، شکل ۴-۸.

- همیشه مقاومت داخلی منبع ولتاژ با مقاومت داخلی منبع جریان برابر است.

$$R_S = R_P$$

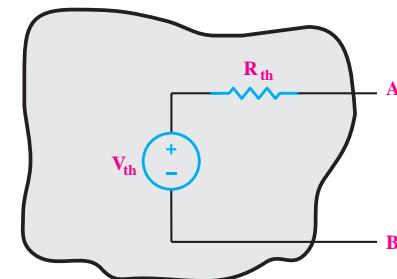
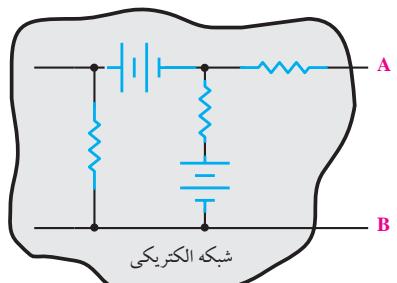
- ولتاژ منبع ولتاژ از حاصل ضرب جریان در مقاومت داخلی منبع جریان به دست می‌آید.

$$V_S = R_P \times I_S$$

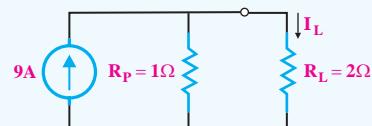


#### تمرین کلاسی ۱: در مدار شکل ۴-۷، منبع

ولتاژ معادل منبع جریان مدار را محاسبه کنید و مدار جدید را رسم کنید. همچنین جریان مصرف کننده‌ی  $R_L$  را در مدار منبع جریان و در مدار منبع ولتاژ محاسبه کنید.



شکل ۴-۸ مدار معادل یک شبکه از دو نقطه‌ی A و B



شکل ۴-۷

ولتاژ مدار معادل شده از دو نقطه‌ی A و B با ولتاژ شبکه‌ی اصلی دقیقاً برابر است. همچنین مقاومت اهمی شبکه‌ی اصلی با شبکه‌ی معادل شده نیز یکی است.

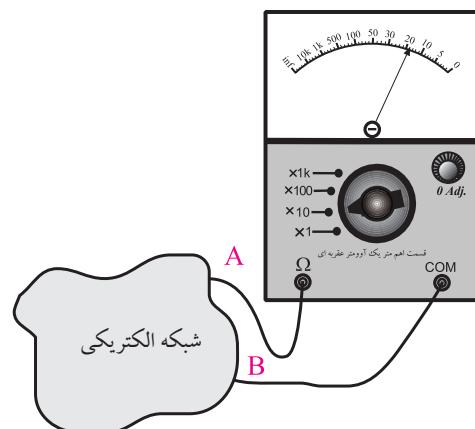
برای به دست آوردن مقاومت معادل تونن می‌توانیم مقاومت معادل از دو نقطه‌ی A و B را به کمک روابط محاسبه کنیم یا به کمک اهم متر مستقیماً اندازه‌بگیریم، شکل ۴-۹.



## توجه

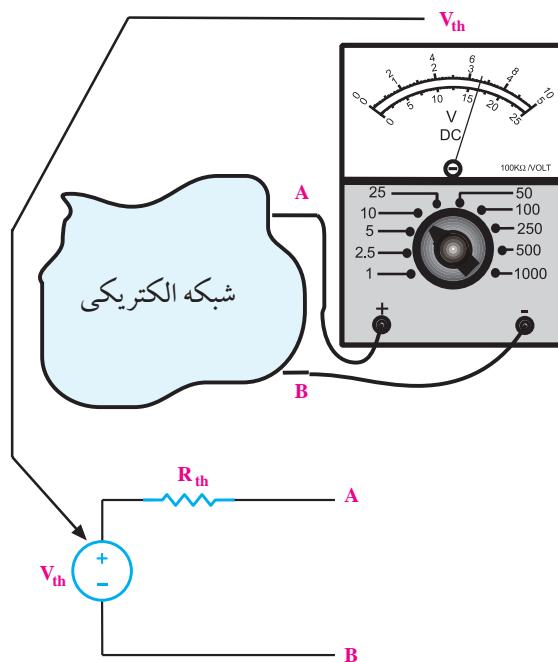
هنگام اندازه‌گیری مقاومت

معادل تونن با مولتی‌متر، باید منع ولتاژ را از مدار خارج کنیم و به جای آن مقاومت معادل داخلی آن را قرار دهیم.



برای اندازه‌گیری ولتاژ معادل تونن مدار، باید ابتدا ولتاژ

بین دو نقطه مشخص شده را محاسبه کنید یا با ولت‌متر مستقیماً ولتاژ را اندازه‌بگیرید، شکل ۴-۱۱.



شکل ۴-۱۱- نحوه‌ی به‌دست آوردن ولتاژ معادل تونن

**مثال ۳:** مدار معادل تونن شکل ۴-۱۲ را از دو نقطه‌ی A و B به‌دست آورید.

**حل:**

ولتاژ معادل تونن یا ولتاژ بین نقاط A و B در مدار شکل ۴-۱۲، همان ولتاژ دو سر مقاومت  $R$  است.

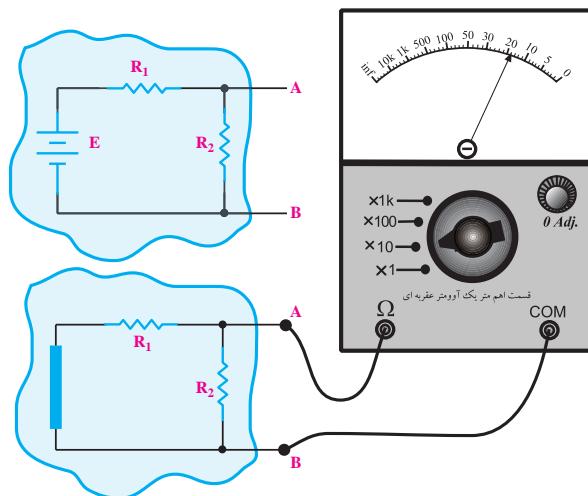
شکل ۴-۹- اهم‌متر مقاومت  $R_{th}$  را نشان می‌دهد.

برای به‌دست آوردن  $R_{th}$  به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

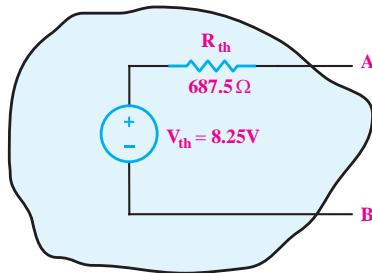
الف- بار را برابر می‌داریم.

ب- منابع ولتاژ را بی‌اثر می‌کنیم. برای این منظور منابع ولتاژ ایده‌آل را اتصال کوتاه می‌کنیم. در شکل ۴-۱۰ به جای منابع ولتاژ واقعی، مقاومت داخلی آن را در مدار قرار داده‌ایم.

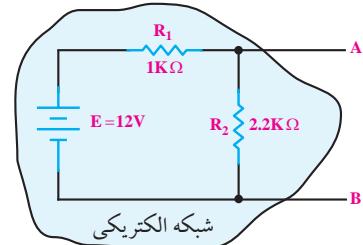
پ- از دو نقطه‌ای که بار قرار می‌گیرد (A و B) مقاومت معادل مدار را به‌دست می‌آوریم.



شکل ۴-۱۰- اندازه‌گیری مقاومت معادل تونن با مولتی‌متر



شکل ۴-۱۴ مدار معادل تونن



شکل ۴-۱۲

$$V_{AB} = V_{th} = R_{th} \cdot I$$

با داشتن آرامش می‌توانید از تمام توانایی‌های خود استفاده کنید. پس سعی کنید در هنگام بروز اضطراب از تکنیک‌های کسب آرامش استفاده کنید.

#### ۴-۲-۲ قضیه نورتن

بر اساس قضیه نورتن، می‌توانیم هر شبکه‌ی الکتریکی را از دو نقطه‌ی مشخص به صورت یک منبع جریان و یک مقاومت موازی با آن معادل کنیم.

منبع جریان عنصری است که می‌تواند 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 می‌سازند و با علامت قراردادی شکل ۴-۱۵ نشان می‌دهند.



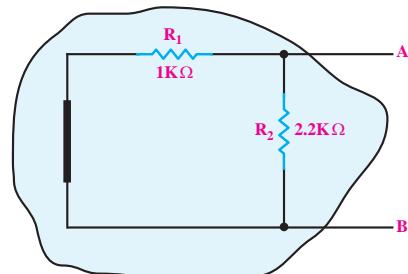
شکل ۴-۱۵ علامت قراردادی منبع جریان

شکل ۴-۱۶ مدار معادل نورتن یک شبکه‌ی الکتریکی را نشان می‌دهد.

$$I = \frac{E}{R_1 + R_\gamma} = \frac{12}{1000 + 2200} = \frac{12}{3200} = 0.00375A$$

$$V_{th} = 2200 \times 0.00375 = 8.25V$$

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 نقطه‌ی A و B، مقاومت معادل مدار را محاسبه کنید، شکل ۴-۱۳.



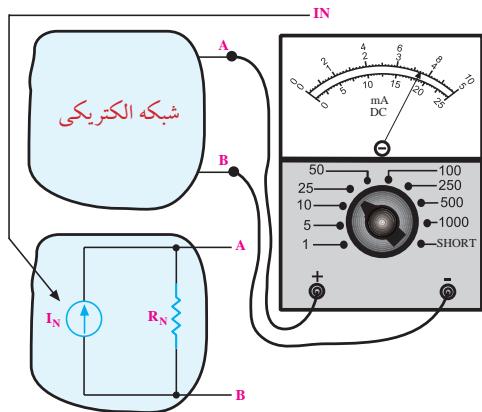
شکل ۴-۱۳ محاسبه مقاومت معادل تونن

همان‌طور که مشاهده می‌شود از دو نقطه‌ی A و B مقاومت‌های R<sub>1</sub> و R<sub>γ</sub> با یکدیگر موازی هستند. لذا داریم:

$$R_{AB} = R_{th} = \frac{R_1 \cdot R_\gamma}{R_1 + R_\gamma}$$

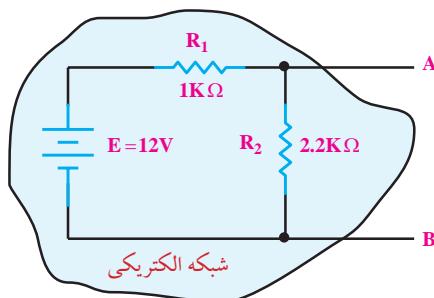
$$R_{th} = \frac{1000 \times 2200}{1000 + 2200} = 687.5\Omega$$

مدار معادل تونن مدار شکل ۱۱-۴ به صورت شکل ۴-۱۶ در می‌آید.



شکل ۴-۱۸ چگونگی به دست آوردن جریان معادل نورتن

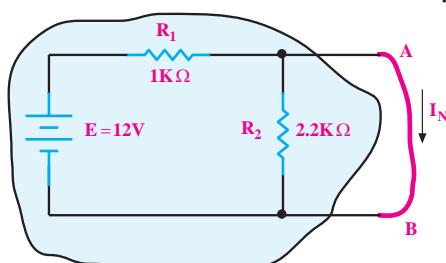
**مثال ۴:** مدار معادل نورتن شکل ۴-۱۹ را از دو نقطه‌ی A و B به دست آورید.



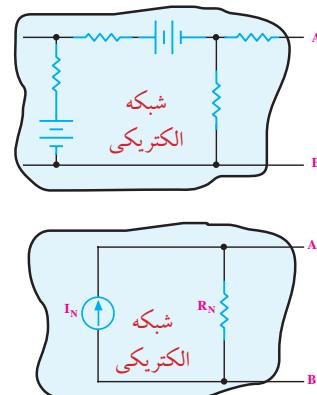
شکل ۴-۱۹

### حل:

برای به دست آوردن جریان نورتن، نقطه‌ی 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<sub>N</sub> جریانی عبور نمی‌کند.

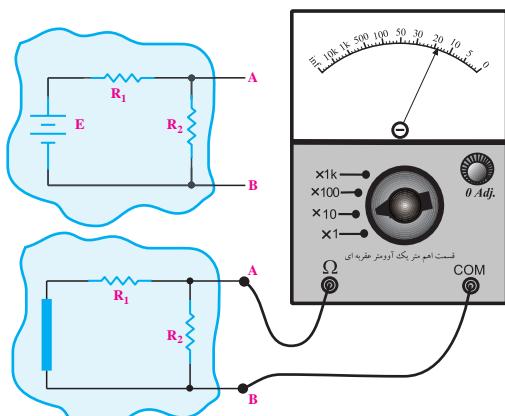


شکل ۴-۲۰ - محاسبه‌ی جریان معادل نورتن



شکل ۴-۱۶ مدار معادل نورتن یک شبکه‌ی الکتریکی

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 اهم متر 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 آمپرmetr که بین دو نقطه‌ی A و B قرار می‌دهید، جریان را اندازه بگیرید، شکل ۴-۱۸. توجه داشته باشید که آمپرmetr بین دو نقطه‌ی A و B را اتصال کوتاه می‌کند.

محاسبه و یا اندازه‌گیری آن‌ها نیز مشابه است. در مدار معادل نورتن و تونن روابط زیر همیشه برقرار است:

$$V_{th} = I_N \cdot R_N$$

$$I_N = \frac{V_{th}}{R_{th}}$$

بنابراین مدار معادل تونن و نورتن می‌توانند به هم تبدیل شوند.

### ۴-۳ آزمایش شماره‌ی (۱) :

زمان اجرا : ۴ ساعت آموزشی مدار تونن

#### 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:

تعداد / مقدار	نام و مشخصات دستگاه و قطعات	ردیف
یک دستگاه	منبع تغذیه ۰-۱۵V	۱
یک دستگاه	مولتی متر عقره‌ای یا دیجیتالی	۲
یک قطعه	بردبرد	۳
یک عدد	۲/۲KΩ مقاومت	۴
دو عدد	۱KΩ مقاومت	۵
چهار رشته	سیم دو سر گیره‌دار	۶
چهار رشته	سیم یک سر گیره‌دار	۷
به مقدار کافی	سیم رابط	۸

#### ۴-۳-۳ مراحل اجرای آزمایش:

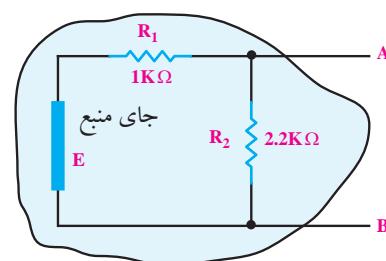
مدار شکل ۴-۲۳ را روی بردبرد بیندید.

از طرفی، چون دو سر مقاومت  $R$  اتصال کوتاه شده است، جریان  $I_N$  از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$I_N = \frac{E}{R} = \frac{12}{1K} = 0.012A = 12mA$$

یا:

برای به دست آوردن مقاومت معادل نورتن، منبع ولتاژ (E) را از مدار جدا می‌کنیم و به جای آن، اتصال کوتاه قرار می‌دهیم، شکل ۴-۲۱. سپس از دو نقطه‌ی A و B مقاومت معادل را محاسبه می‌کنیم.

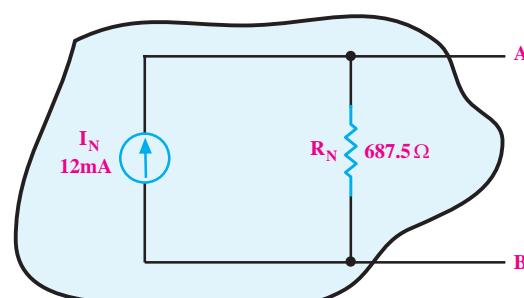


شکل ۴-۲۱ اتصال کوتاه منبع

بانگاه از دو نقطه‌ی A و B، مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  با هم موازی هستند لذا داریم:

$$R_N = R_{AB} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1000 \times 2200}{1000 + 2200} = 687.5\Omega$$

مدار معادل نورتن شکل ۴-۱۹ به صورت شکل ۴-۲۲ در می‌آید.

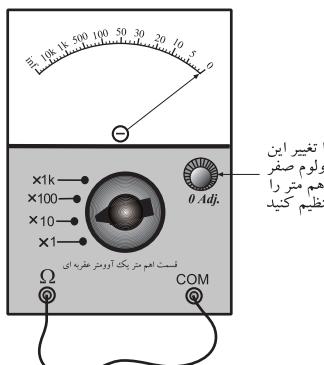


شکل ۴-۲۲ مدار معادل نورتن

توجه: همیشه  $R_N$  و  $R_{th}$  با یکدیگر برابرند و نحوه

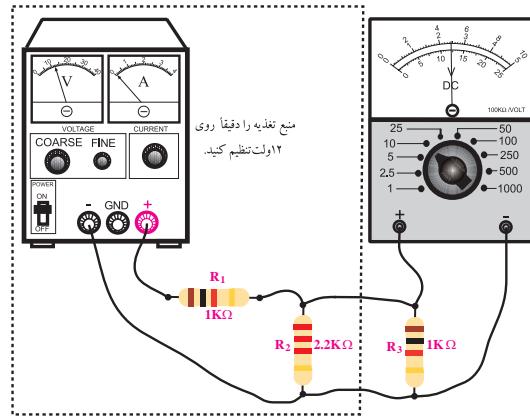
دهید.

■ 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.

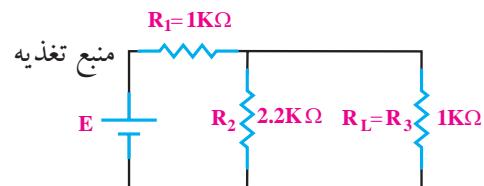


شکل ۴-۲۴- نحوه تنظیم صفر اهم متر عقربه‌ای

■ مدار شکل ۴-۲۵ را روی برد بندید.



الف) مدار عملی



ب) نقشه فنی مدار

شکل ۴-۲۳

■ ابتدا در حالی که مدار به صورت کامل روی برد بسته شده است، ولتاژ دو سر مقاومت بار را اندازه می‌گیریم.

■ ولت متر DC را به دو سر مقاومت بار  $1\text{K}\Omega$  وصل کنید و ولتاژ دو سر مقاومت بار را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{O_1} = V_{R_3} = \dots \text{ (V)}$$

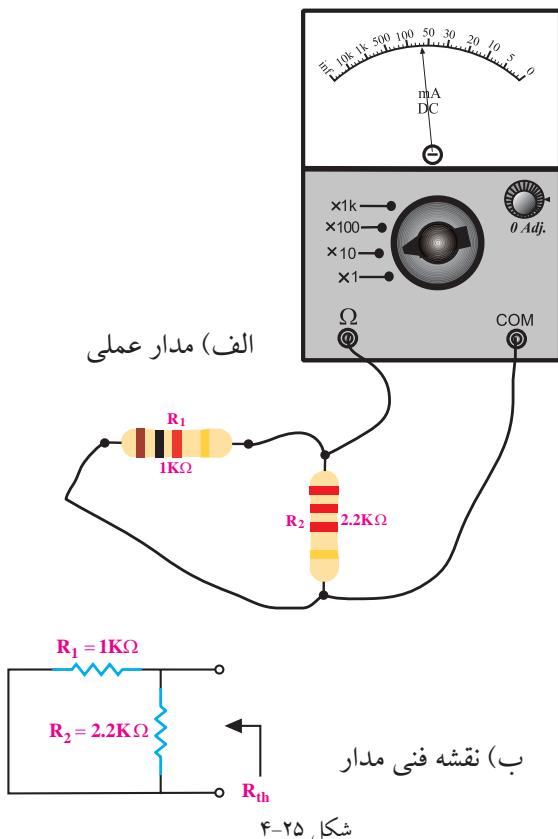
■ برای به دست آوردن مقاومت تونن مدار، ابتدا منبع تغذیه را از مدار جدا کنید.

■ به جای منبع ولتاژ، یک سیم اتصال کوتاه قرار دهید.

■ مقاومت بار  $R_2$  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



شکل ۴-۲۵

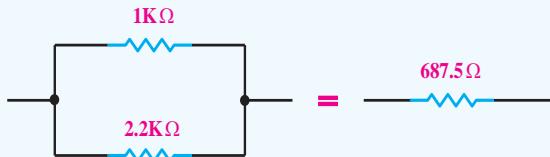
■ مقاومتی را که اهم متر اندازه می‌گیرد، مقاومت معادل

- رنج کلید ولت متر را روی ۱۰ ولت قرار دهید.
- منع تغذیه را روی ۱۲ ولت تنظیم کنید.
- مقدار ولتاژ را که ولت متر نشان می‌دهد بخوانید و یادداشت کنید.
- یادداشت کنید. این همان ولتاژ معادل تونن مدار مورد نظر است.

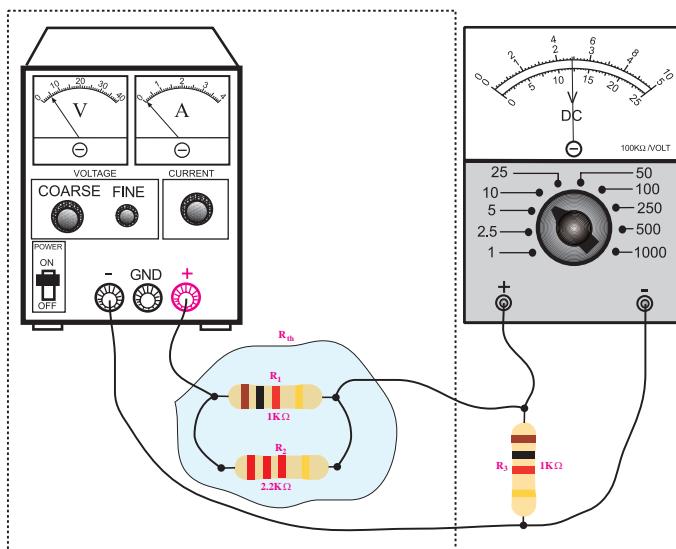
$$V_{th} = \dots\dots\dots\dots\dots V$$

- منبع تغذیه را دقیقاً روی مقدار  $V_{th}$  که در مرحلهٔ قبل به دست آورده‌اید، تنظیم کنید.
- به جای مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  مقاومت 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 بیندید.

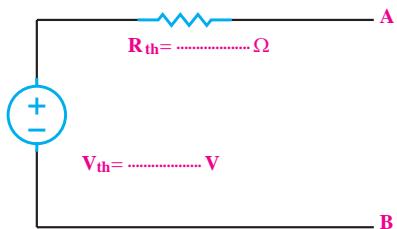


شکل ۴-۲۸

- تونن مدار شکل ۴-۲۵ است. مقدار آن را بخوانید و یادداشت کنید.

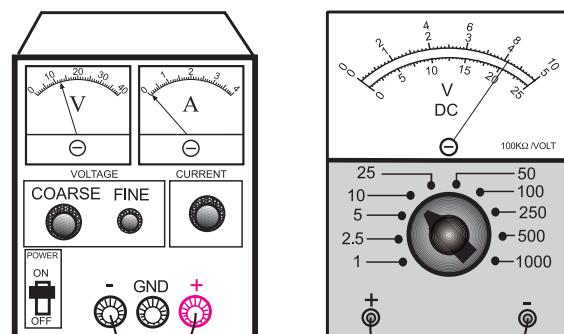
$$R_{th} = \dots\dots\dots\dots\dots \Omega$$

- معادل تونن مدار شکل ۴-۲۳ به صورت شکل ۴-۲۶ در می‌آید.

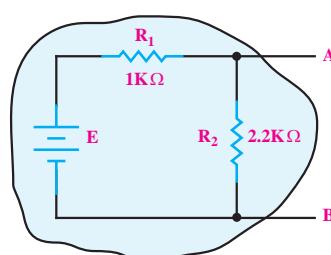


شکل ۴-۲۶ مدار معادل تونن شکل ۴-۲۳

- برای به دست آوردن ولتاژ تونن، باید مجدداً منبع تغذیه را به دو سر مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  وصل کنید.
- همچنان مقاومت بار  $R$  را در مدار قرار ندهید.
- مدار شکل ۴-۲۷ را روی بردبرد بیندید.



الف) مدار عملی



ب) نقشهٔ فنی مدار

شکل ۴-۲۷

**حل:**

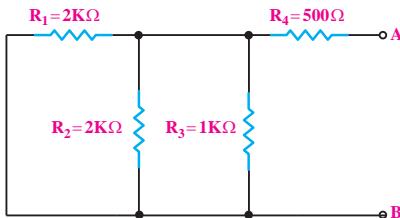
■ ولتاژ دو سر مقاومت  $R_1 (1K\Omega)$  را اندازه بگیرید و

برای به دست آوردن مقاومت معادل تونن، ابتدا منبع ولتاژ (E) را از مدار جدا می کنیم و جای آن را اتصال کوتاه می گذاریم.

یادداشت کنید.

$$V_{O_2} = V_{R_1} = \dots \text{ (V)}$$

**سوال ۱:** آیا مقدار  $V_{O_2}$  (خروجی مدار واقعی) با (خروجی معادل تونن) دقیقا برابرند؟ چرا؟ توضیح دهید.



شکل ۴-۳۰

همان طور که در شکل ۴-۳۰ مشاهده می شود، از دو نقطه‌ی A و B، مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_4$  و  $R_2$  و  $R_3$  موازی هستند، لذا داریم:

#### ۴-۳-۴ نتایج آزمایش:

آنچه را که در این آزمایش فراگرفته اید به اختصار شرح دهید.

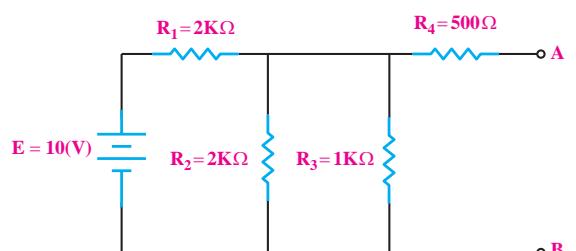
$$\begin{aligned} R_1 \parallel R_4 &= \frac{R_1 \times R_4}{R_1 + R_4} \\ R_1 \parallel R_4 &= \frac{2 \times 2}{2+2} = \frac{4}{4} = 1K\Omega \\ R_2 \parallel (R_1 \parallel R_4) &= \frac{R_2 \times (R_1 \parallel R_4)}{R_2 + (R_1 \parallel R_4)} = \frac{1 \times 1}{1+1} = \frac{1}{2} K\Omega \end{aligned}$$

مقاومت معادل تونن از دو نقطه‌ی A و B، از سری شدن

$R_{th}$  با معادل موازی  $R_1$  و  $R_4$  و  $R_2$  و  $R_3$  به دست می آید:

$$\begin{aligned} R_{th} &= R_{1\parallel 4} + R_2 \\ R_{th} &= 0.5K\Omega + 500\Omega \\ R_{th} &= (0.5 \times 10^3) \Omega + 500\Omega \\ R_{th} &= 500\Omega + 500\Omega = 1000\Omega \\ R_{th} &= 1000\Omega = 1000 \times 10^{-3} = 1K\Omega \end{aligned}$$

#### مثال ۵: مقاومت معادل تونن در شکل ۴-۲۹ از دو نقطه‌ی A و B را به دست آورید.



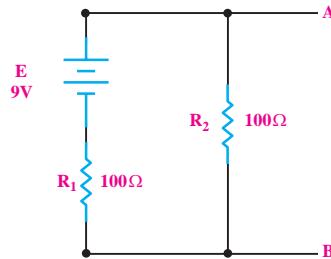
شکل ۴-۲۹

## آزمون پایانی فصل (۳)



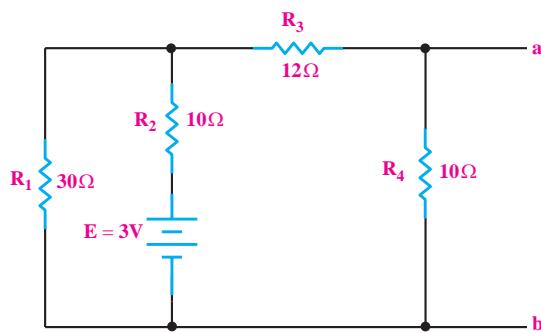
۱- مدار معادل تونن از دو نقطه‌ی A و B مدار شکل

۴-۳۱ را به دست آورید.



۲- مدار معادل نورتن از دو نقطه‌ی a و b مدار شکل

۴-۳۳ را به دست آورید.

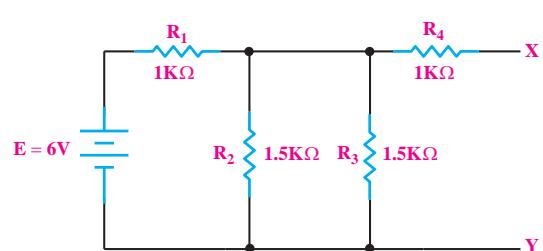


شکل ۴-۳۳

شکل ۴-۳۱



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 منبع ولتاژ شکل ۴-۳۴ را به دست آورید.  
..... ثابتی به مدار می‌دهد.

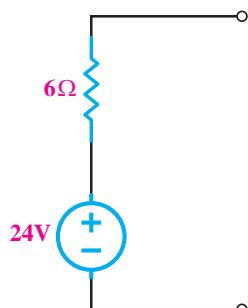
۵- منبع ولتاژ ایده‌آل منبعی است که در بارهای مختلف  
داخلی منبع ولتاژ با مقاومت داخلی منبع جریان برابر است.

غلط       صحیح

۶- برای تبدیل یک منبع ولتاژ به منبع جریان، مقاومت  
تبدیل کرد.

غلط       صحیح

۷- منابع ولتاژ و منابع جریان ایده‌آل را می‌توان به یکدیگر  
تبدیل کرد.



شکل ۴-۳۴

۸- منابع جریان ایده‌آل با یک مقاومت اهمی  
به صورت ..... قرار گرفته‌اند.

الف) کوچک-سری

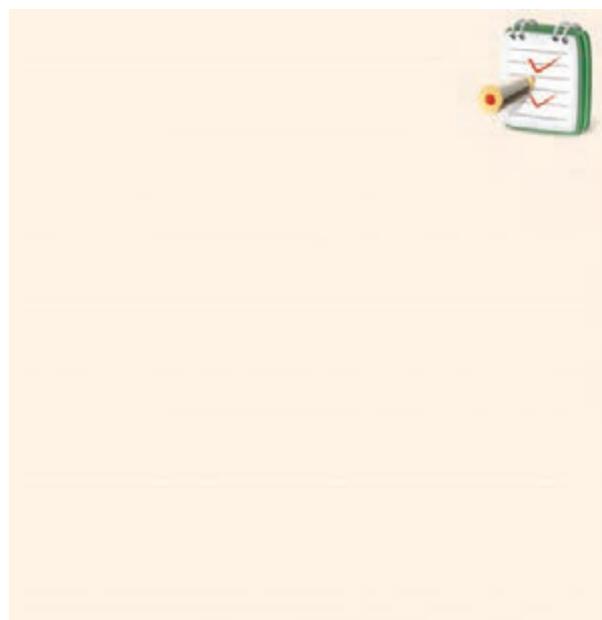
ب) کوچک-موازی

ج) بزرگ-سری

د) بزرگ-موازی

۹- طبق قضیه‌ی نورتن، هر شبکه‌ی الکتریکی را می‌توان  
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  
می‌توانید 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	واحد	شماره‌ی کار
نظری	عملی	جمع		توانایی	
۱۴	۸	۶	توانایی کار با دستگاه اسیلوسکوپ و انواع منابع تجزیه‌ی آزمایشگاهی	۵	۱۳۲
۹	۲	۷	توانایی اندازه‌گیری و محاسبه‌ی جریان و ولتاژ متناوب	۶	۱۳۲
۲۸	۱۶	۱۲	توانایی بررسی عملکرد خازن در جریان مستقیم و متناوب	۷	۱۳۲
۲۱	۹	۱۲	توانایی بررسی عملکرد سلف در جریان مستقیم و متناوب	۸	۱۳۲
۱۸	۱۲	۶	توانایی بررسی و تجزیه و تحلیل مدارهای هماهنگ	۹	۱۳۲
۹۰	۴۷	۴۳	جمع کل		

## فصل پنجم

### جريان و ولتاژ متناوب

**هدف کلی:** آشنایی با مشخصات موج متناوب

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



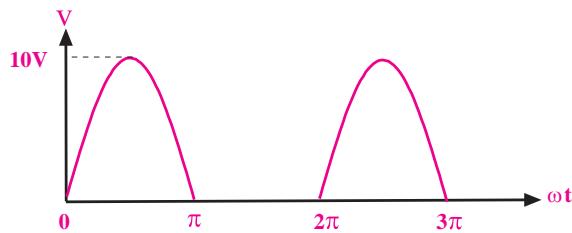
- ۱۳- توان تلف شده در یک مقاومت اهمی در جريان متناوب را محاسبه کند.
  - ۱۴- قانون جريان و ولتاژ کریشهف را در جريان متناوب از یکدیگر تمیز دهد.
  - ۱۵- مشخصه‌های یک موج سینوسی را نام برد و آن را شرح دهد.
  - ۱۶- هم‌سنگ یک بردار را رسم کند.
  - ۱۷- چگونگی نمایش برداری یک موج سینوسی را شرح دهد.
  - ۱۸- تفاصل و برآیند دو یا چند بردار را رسم کند.
  - ۱۹- ولتاژ متناوب سه‌فازه و شکل موج آن را تعريف کند.
  - ۲۰- نحوه 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.
- 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 برد و آن را شرح دهد.
- ۵- مقدار پیک، زمان تناوب و فرکانس یک موج متناوب را تعريف کند.
- ۶- اختلاف فاز را تعريف کند.
- ۷- اختلاف فاز بین دو موج سینوسی را تشخیص دهد.
- ۸- مقدار لحظه‌ای، متوسط و مؤثر یک موج سینوسی را تعريف کند.
- ۹- مقدار متوسط و مؤثر یک موج سینوسی را محاسبه کند.
- ۱۰- معادله‌ی ولتاژ یک موج متناوب سینوسی را بنویسد.
- ۱۱- چگونگی عبور جريان متناوب را از یک مقاومت اهمی توضیح دهد.
- ۱۲- اختلاف فاز بین جريان و ولتاژ را در یک مقاومت اهمی بیان کند.

ساعت آموزش			توانایی شماره
جمع	عملی	نظری	
۹	۲	۷	۵

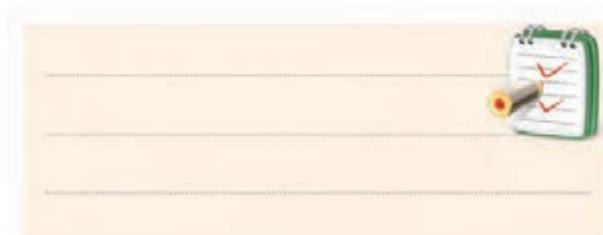
## پیش آزمون فصل (۵)



۶- مقدار متوسط موج نشان داده شده در شکل زیر چند ولت است؟ مراحل محاسبه را بنویسید.



۷- مقدار مؤثر یک شکل موج سینوسی چگونه به دست می‌آید؟ با ذکر روابط شرح دهید.



۱- ترموموکوپ از 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

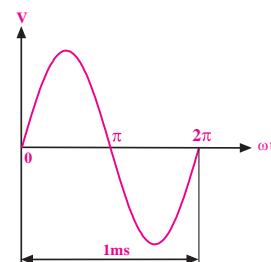
پس دادن، این انرژی به صورت ..... درمی آید.

الف) شیمیایی - الکتریکی      ب) الکتریکی - شیمیایی

ج) شیمیایی - شیمیایی      د) الکتریکی - شیمیایی

۳- فرکانس شکل موج نشان داده شده چند هرتز است؟

الف) ۱      ب) ۱۰۰      ج) ۱۰۰۰      د) ۱۰۰۰۰



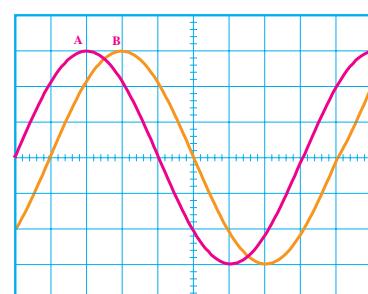
۴- رابطه‌ی بین فرکانس و زمان تناوب کدام است؟

$$f = T \quad \text{ب) } f = \frac{1}{T} \quad \text{الف) } f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{1ms} \quad \text{د) } f = \frac{1}{T} \quad \text{ج) } f = \frac{1}{T}$$

۵- اختلاف فاز در شکل زیر چند درجه است؟

الف) ۴۵      ب) ۹۰      ج) ۱۳۵      د) ۱۸۰



ذخیره می شود.

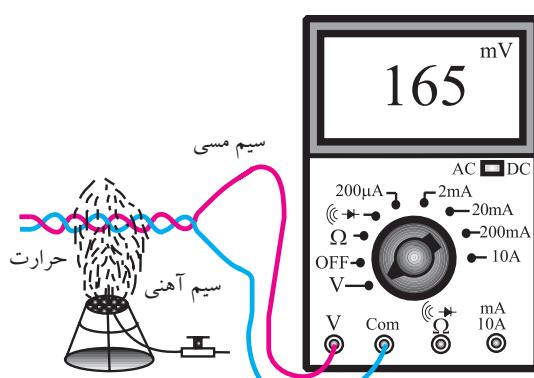
۸- بردار و همسنگ یک بردار را تعریف کنید.

یک پیل انرژی الکتریکی را به صورت شیمیایی در خود ذخیره می کند و هنگام پس دادن انرژی، آن را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند. با تری 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 می کند، شکل ۲-۵. این مولد نیز یک مولد DC است.



شکل ۲-۵ ترموموکوپل

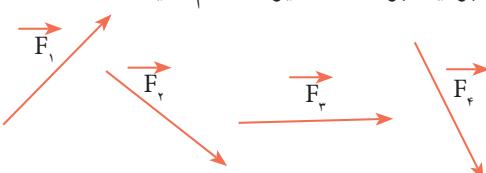
### تحقیق کنید :

در کدامیک از لوازم خانگی که در اختیار دارید، ترموموکوپل به کار رفته است؟

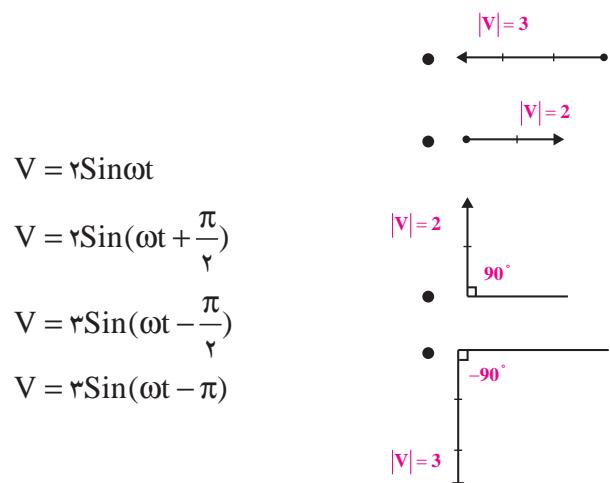
شکل ۳-۵ یک سلول خورشیدی را نشان می دهد که انرژی نورانی (مثلاً نور خورشید) را مستقیماً به انرژی الکتریکی (DC) تبدیل می کند. تولید الکتریسیته با استفاده از انرژی خورشید در مقیاس کم مقرن به صرفه است.

امروزه برای تولید انرژی الکتریکی در مقیاس بسیار وسیع طرح های گسترهای در دست اقدام و در حال فراگیر شدن

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.



### ۱-۵ منابع تولید الکتریسیته

#### ۱-۱-۵ ولتاژ مستقیم (DC)

منابع تولید الکتریسیته متنوع است ولی در همه این منابع، الکتریسیته از طریق تبدیل انرژی غیر الکتریکی به انرژی الکتریکی تولید می شود. تعدادی از روش های تولید الکتریسیته به شرح زیر است:

در پیل شکل ۱-۵، انرژی الکتریکی از طریق شیمیایی

است.

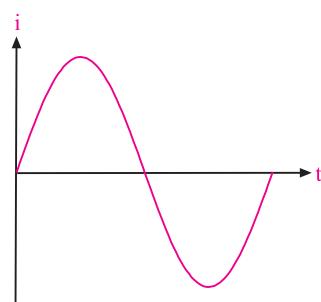
#### در شکل ۴-۵-الف، نمودار تغییرات ولتاژ DC بر حسب

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 دامنه می‌یابد.

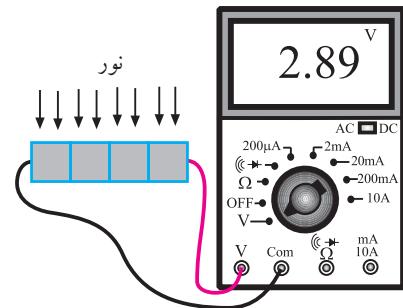
یکی از دلایل تولید ولتاژ به صورت شکل موج سینوسی تولید و انتقال آسان آن است.

این نوع ولتاژ در مدارهای الکتریکی که حاوی مقاومت اهمی است، جریانی را تولید می‌کند که مانند شکل ۴-۵ 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 دائمًا تکرار شود شکل موج متناوب می‌گویند. شکل



شکل ۳-۵ سلول خورشیدی

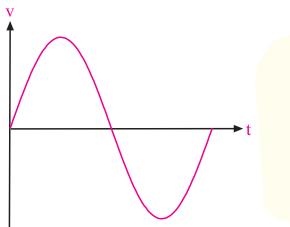
#### تحقیق کنید:

آیا از سلول خورشیدی در زندگی روزمره‌ی شما استفاده می‌شود؟ درباره‌ی آن توضیح دهید.

#### 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.

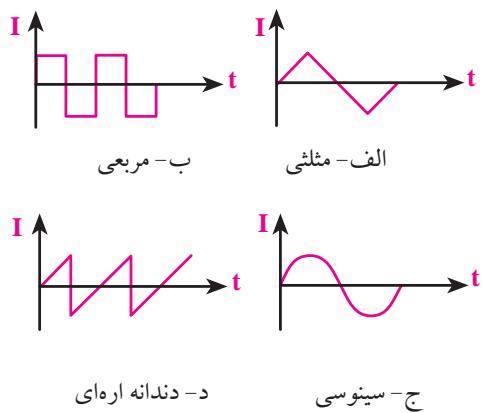


الف- ولتاژ مستقیم یا DC

شکل ۴-۵ ولتاژهای DC و AC

ب- ولتاژ متناوب سینوسی یا AC

الف- ولتاژ مستقیم یا DC



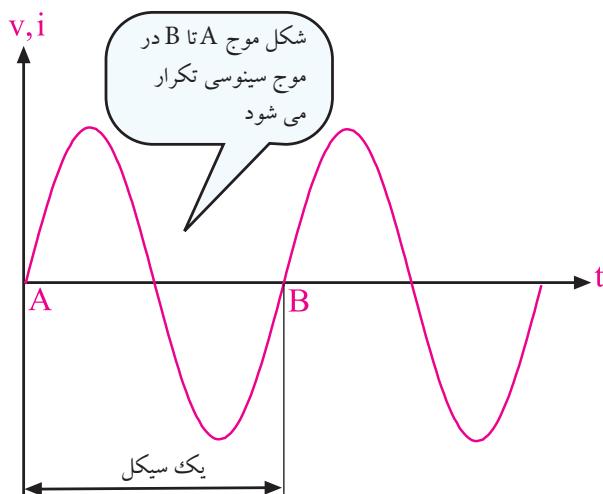
شکل ۵-۸ چهار نمونه شکل موج متناوب (AC)

### ۵-۳ مشخصات شکل موج سینوسی

شکل موج سینوسی ولتاژ یا جریان، دارای مشخصاتی است که در ادامه به بررسی آنها می‌پردازیم.

#### ۵-۳-۱ زمان تناوب

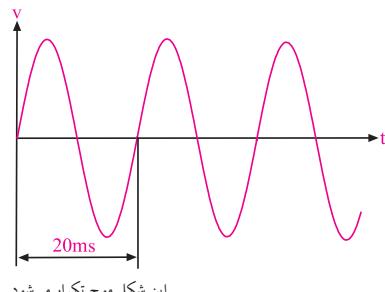
در شکل ۵-۹ شکل موج سینوسی نشان داده شده است.



شکل ۵-۹ موج سینوسی

همان‌طور که مشاهده می‌شود شکل موج ولتاژ بین دو نقطه‌ی A و B، در فواصل بعدی به طور دائم تکرار می‌شود. شکل موج بین دو نقطه‌ی A و B را یک سیکل (دوره) در شکل موج ولتاژ یا جریان می‌گویند. مدت زمانی که طول

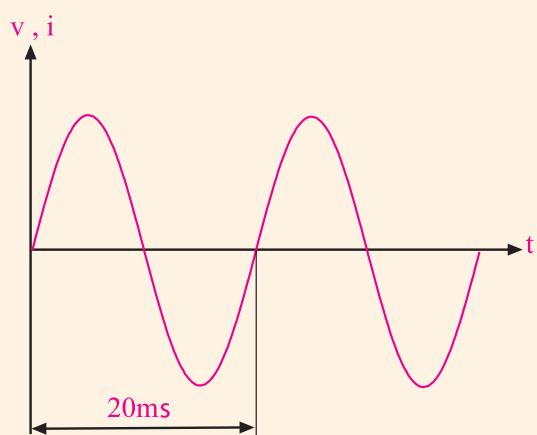
موج نشان داده شده در شکل ۶-۵ در فواصل زمانی ۲۰ ms (بیست میلی ثانیه) دائم تکرار می‌شود.



شکل ۶-۵ شکل موج ولتاژ متناوب

### ۵-۷ شکل موج ولتاژ برق شهر، مانند شکل ۷-۵ سینوسی

است. این موج سینوسی در فواصل زمانی ۲۰ ms (بیست میلی ثانیه) تکرار می‌شود.

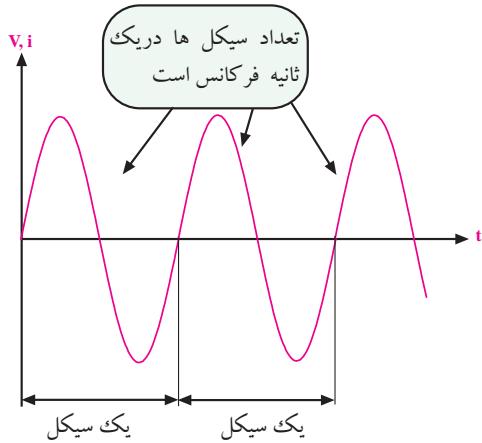


شکل ۷-۵ شکل موج سینوسی ولتاژ برق شهر

### ۵-۲ انواع موج‌های متناوب

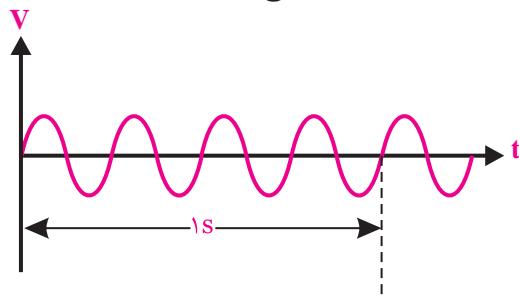
از انواع شکل موج‌های متناوب می‌توان شکل موج مربعی، مثلثی، دندانه ارهای و سینوسی را نام برد. در تولید جریان متناوب معمولاً شکل موج سینوسی از سایر انواع موج‌ها متمادی‌تر است. شکل ۵-۸ نمونه‌هایی از این امواج AC را نشان می‌دهد.

می کشد تا ولتاژ یا جریان از نقطه‌ی A به نقطه‌ی B برسد هرتز را با Hz نشان می‌دهند.



شکل ۵-۵ 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 می‌شود پس فرکانس برابر با  $F=4\text{Hz}$  است.

$$F=4\text{Hz}$$

زمان تناوب برق شهر  $T=20\text{ ms}$  و فرکانس

برق شهر  $Hz=50$  است. یعنی در هر ثانیه ۵۰ سیکل یا دوره‌ی تناوب تکرار می‌شود. شکل ۵-۱۳.

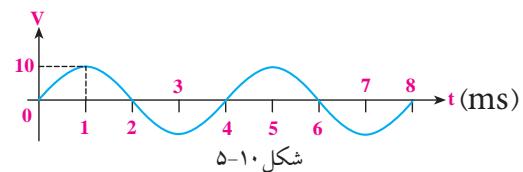
می کشد تا ولتاژ یا جریان از نقطه‌ی A به نقطه‌ی B برسد (طول مدت زمان یک سیکل) را زمان تناوب می‌گویند و آن را با حرف T نشان می‌دهند. واحد زمان تناوب، ثانیه (sec) است. واحدهای کوچکتر زمان تناوب میلی‌ثانیه و میکرو‌ثانیه است که آن‌ها را با ms و μs نشان می‌دهند. رابطه‌ی بین میلی‌ثانیه و میکرو‌ثانیه به شرح زیر است:

$$1\text{ ms} = \frac{1}{1000}\text{ sec} = 10^{-3}\text{ sec}$$

$$1\text{ μs} = \frac{1}{1000000}\text{ sec} = 10^{-6}\text{ sec}$$

به دوره‌ی تناوب پریود (period) گفته می‌شود.

**مثال ۱:** زمان تناوب موج در شکل ۵-۱۰ چند میلی‌ثانیه است؟



شکل ۵-۱۰

**حل:**

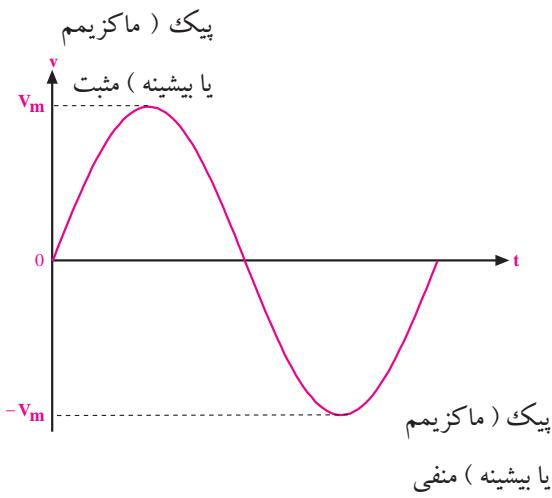
مدت زمان یک سیکل روی شکل برابر با  $T=4\text{ ms}$  است. زیرا برای کامل شدن یک سیکل ۴ میلی‌ثانیه طی می‌شود.

$$T=4\text{ ms}$$

### ۵-۳-۲ فرکانس

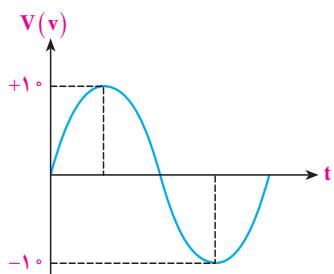
در شکل موج سینوسی سیکل‌ها دائم تکرار می‌شوند. تعداد سیکل در یک ثانیه را فرکانس می‌گویند و با حرف F نشان می‌دهند.

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

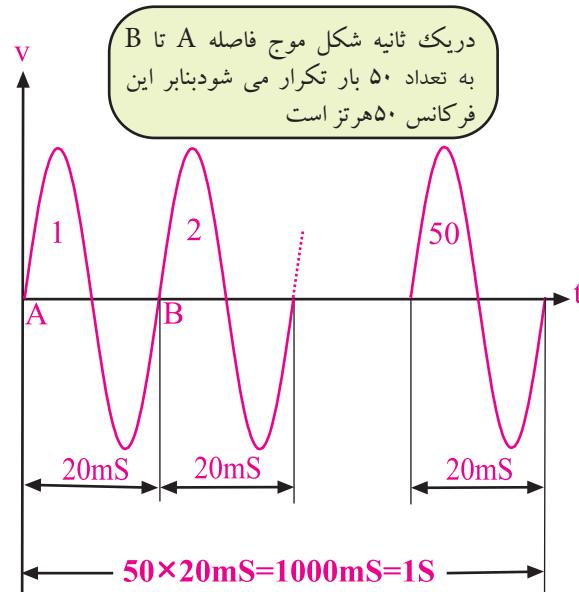
حل:

با توجه به شکل، دامنه‌ی پیک مثبت  $V_m = +10$  ولت و مقدار دامنه‌ی پیک منفی  $V_m = -10$  ولت است.

$$\text{پیک مثبت } V_m = +10$$

$$\text{پیک منفی } V_m = -10$$

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 «پریوود» 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

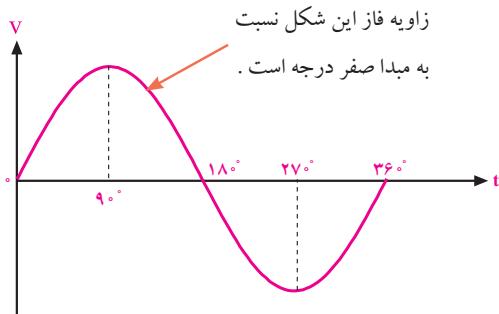
$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \times 10^{-3}} = 50 \text{ Hz}$$

است با: در این رابطه زمان را از میلی ثانیه به ثانیه تبدیل کرده‌ایم.

**۵-۳-۲ مقدار پیک یا دامنه‌ی ماکزیمم شکل موج سینوسی**

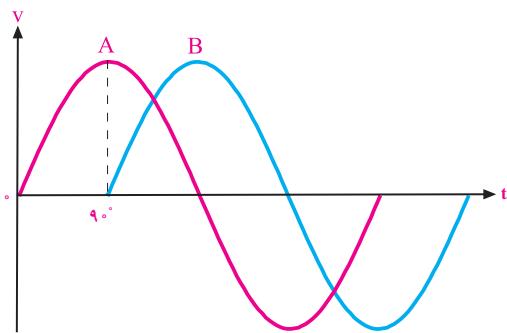
همان‌طور که در شکل ۵-۱۴ مشخص است به مقدار

حداکثر دامنه در جهت مثبت یا منفی دامنه‌ی ماکزیمم (پیک 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 ب وجود می‌آید. در شکل ۵-۱۷ موج سینوسی B به اندازه‌ی  $90^\circ$  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  $90^\circ$  درجه به وجود آمده است.



شکل ۵-۱۷ اختلاف فاز  $90^\circ$  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  $90^\circ$  درجه تأخیر فاز (پس فاز یا عقب افتادگی) دارد. به عبارت دیگر موج A نسبت به موج B  $90^\circ$  درجه تقدم فاز (پیش فاز یا جلوافتادگی) دارد. در شکل ۵-۱۸ شکل موج سینوسی B، به اندازه  $90^\circ$  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

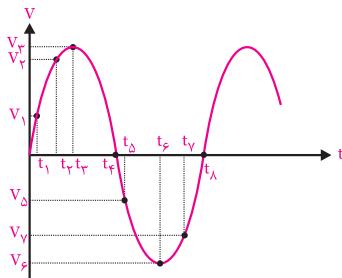
$$V_{P-P} = +20 = +20 - (-10)$$

$$V_{P-P} = +20$$

#### 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  $90^\circ$  درجه نقطه‌ی ماکزیمم دامنه‌ی شکل موج در جهت مثبت است. در نقطه‌ی  $180^\circ$  درجه مقدار دامنه به صفر می‌رسد، در نقطه‌ی  $270^\circ$  درجه مقدار ولتاژ در جهت منفی ماکزیمم می‌شود و در زاویه‌ی  $360^\circ$  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  $t$  برابر با  $V_0$  و در لحظه‌ی  $t$  برابر با  $V_0$  .... است. به مقادیری مانند  $V_0$  و  $V_0$  مقادیر لحظه‌ای می‌گویند. عموماً مقادیر لحظه‌ای را با حروف کوچک  $v$  برای ولتاژ و  $\dot{v}$  برای جریان نشان می‌دهند. مقادیر لحظه‌ای را فقط با دستگاه اسیلوسکوپ می‌توان اندازه گرفت.

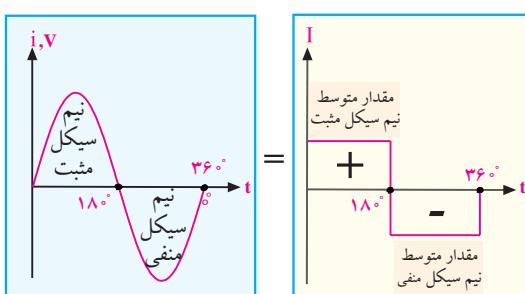


شکل ۵-۲۰ مقدار لحظه‌ای

٦-٣-٥ مقدار متوسط

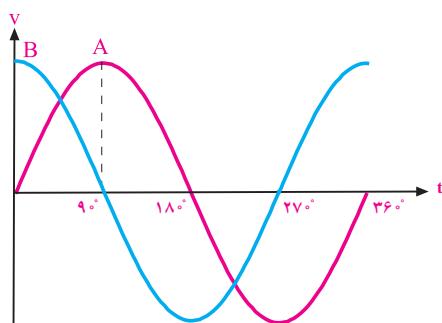
به میانگین مقادیر لحظه‌ای سیگنال متناوب، **متوسط موج** می‌گویند و معمولاً آن را برای یک دوره‌ی تناوب استفاده می‌کنند.

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 منع بر می‌گردند. بنابراین در یک سیکل کامل ولتاژ یا جریان سینوسی، مقدار متوسط ولتاژ یا جریان برابر با صفر است، شکل ۵-۲۱.



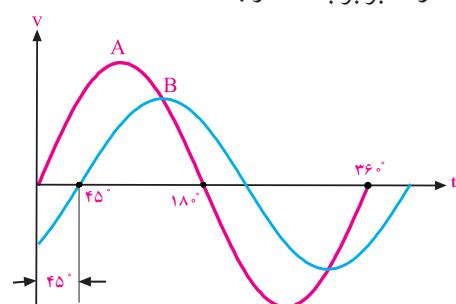
شکل ۵-۲۱ مقدار متوسط ولتاژ یا جریان سینوسی در یک سیکل کامل برای پا صفر است.

موج سینوسی B، زودتر از دامنه‌ی شکل موج سینوسی A به ماکریم رسیده‌است، لذا شکل موج سینوسی B نسبت به شکل موج سینوسی A به اندازه‌ی ۹۰ درجه تقدم فاز دارد. یا به عبارت دیگر شکل موج سینوسی A نسبت به شکل موج سینوسی B، ۹۰ 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 ۱۹-۵ اختلاف فاز بین دو شکل موج سینوسی، A و B برای نا ۴۵ درجه است.



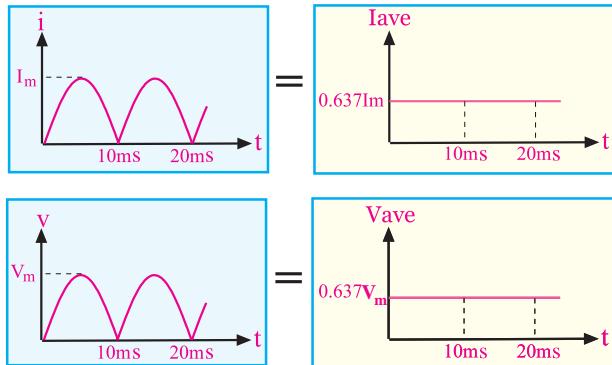
### شکا ۱۹-۵ اختلاف فاز ۴۵ درجه

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 از: مفهوم معنی: 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 ۲۰-۵ در

در شکل ۵-۲۴ شکل موج سینوسی یکسو شدهٔ تمام موج را مشاهده می‌کنید.



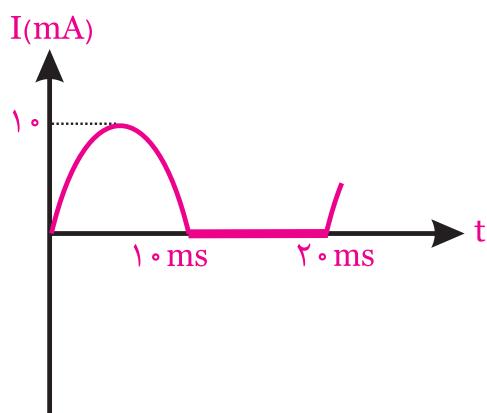
شکل ۵-۲۴ مقدار متوسط شکل موج سینوسی یکسو شدهٔ تمام موج برابر  $0.637I_m$  است.

مقدار متوسط شکل موج یکسو شدهٔ سینوسی تمام موج از روابط زیر به دست می‌آید.

$$I_{ave} = \frac{2I_m}{\pi} = 0.637I_m$$

$$V_{ave} = \frac{2V_m}{\pi} = 0.637V_m$$

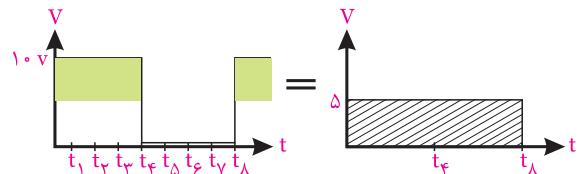
**تمرین کلاسی ۱:** مقدار متوسط شکل موج سینوسی نیم موج شکل ۵-۲۵ چند میلی آمپر است؟



شکل ۵-۲۵

مقدار متوسط ولتاژ را با  $V_{ave}$  یا  $V_{dc}$  (Average) و جریان متوسط را با  $I_{ave}$  یا  $I_{dc}$  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.

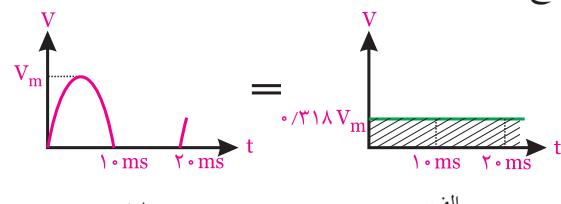


شکل ۵-۲۲ مقدار متوسط موج مربعی

$$V_{ave} = \frac{\text{جمع مقدار هر نمونه}}{\text{تعداد نمونه ها}} \text{ متوسط}$$

$$= \frac{1+1+1+1+0+0+0+0}{8} = 0.5 \text{ ولت}$$

مقدار متوسط یک نیم سیکل از موج سینوسی شکل ۵-۲۳-ب برای تمام دورهٔ تناوب  $T$ ، دارای مقدار مشخصی مطابق شکل ۵-۲۳-الف است. به سیگنال نشان داده شده در شکل ۵-۲۳-ب موج سینوسی یکسو شدهٔ نیم موج می‌گویند.



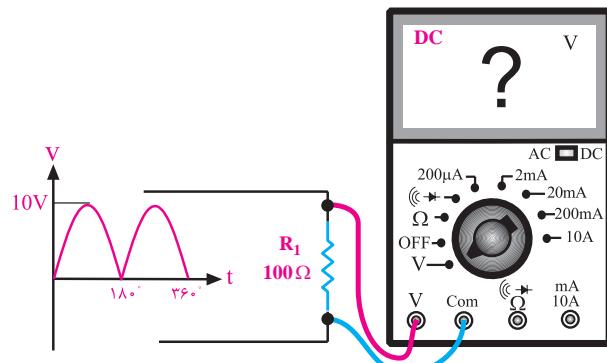
شکل ۵-۲۳ مقدار متوسط شکل موج سینوسی نیم موج

مقدار متوسط شکل موج یکسو شدهٔ نیم موج از رابطهٔ زیر به دست می‌آید.

$$V_{ave} = V = \frac{V_m}{\pi} = 0.318V_m \text{ متوسط}$$

## مثال ۵: در شکل ۵-۲۷ چند ولت متر DC چند ولت را نشان

می دهد؟



شکل ۵-۲۷ مثال

حل:

ولت متر DC ولتاژ متوسط را اندازه می گیرد. چون موج مورد نظر، یک سو شده تمام موج است بنابراین می توانیم

بنویسیم:

$$V_{DC} = V_{av} = \frac{2V_m}{\pi} = \frac{2 \times 10}{\pi} = 6.37V_m$$

$$V_{DC} = 6.37 \times 10 = 6.37 \text{ ولت}$$

$$V_{DC} = 6.37 \text{ ولت}$$

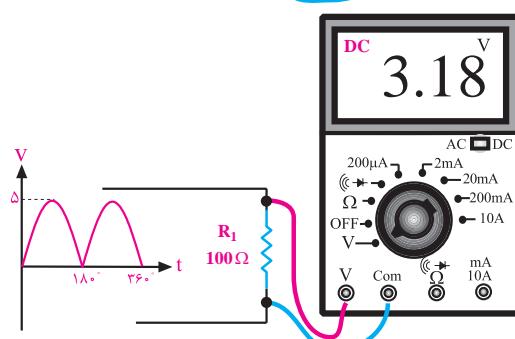
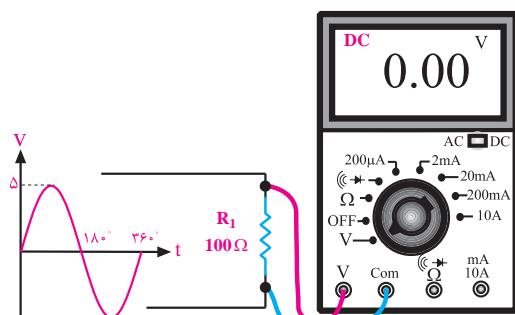
### ۵-۳-۷ مقدار مؤثر

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 گونه‌ای 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.



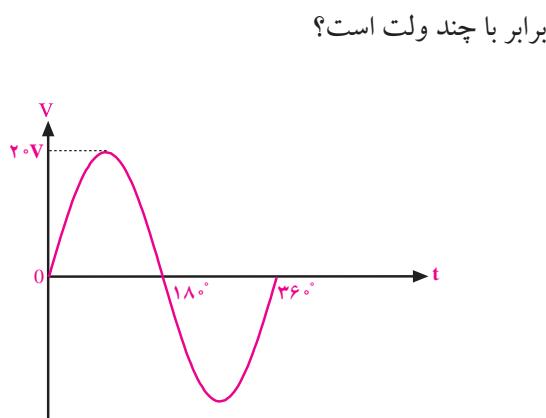
ولتمترهای DC عقربه‌ای یا دیجیتالی مقدار متوسط ولتاژ را اندازه می گیرند. بنابراین اگر ولتمتر را به ولتاژ AC متناوب وصل کنیم، ولتمتر مقدار صفر ولت را نشان می دهد، شکل ۵-۲۶.



شکل ۵-۲۶ ولتمتر DC مقدار AC را اندازه نمی گیرد.

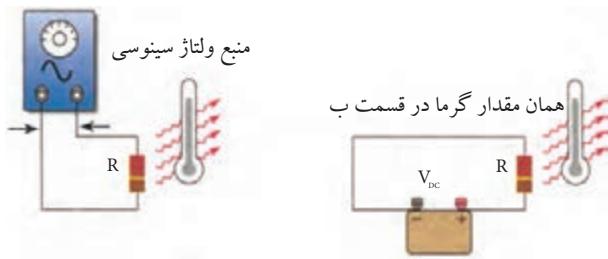
ولتمترهای DC فقط می توانند مقدار متوسط ولتاژ سینوسی را به طور صحیح اندازه بگیرند.

### مثال ۶: مقدار مؤثر شکل موج ولتاژ سینوسی شکل ۵-۳۰

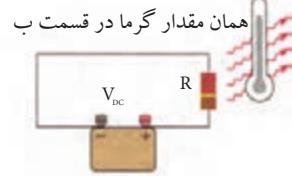


شکل ۵-۳۰ ولتاژ سینوسی

این مطلب در شکل ۵-۲۸ نشان داده شده است.



ب- مدار جریان متناوب



الف- مدار جریان مستقیم

شکل ۵-۲۸

مقدار ولتاژ مؤثر را با  $V_e = V_{rms}$  یا  $V_{eff}$  نشان می‌دهند.

مقدار مؤثر یک موج سینوسی از روابط زیر قابل محاسبه

است، شکل ۵-۲۹.

حل:

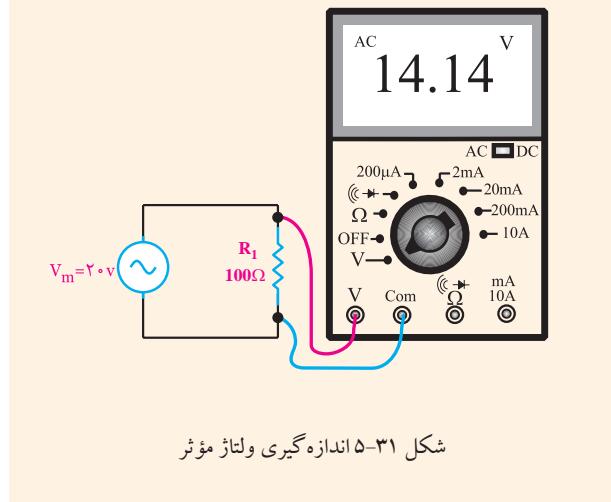
با استفاده از رابطه‌ی مربوط به ولتاژ مؤثر، مقدار ولتاژ مؤثر را به دست می‌آوریم.

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \sqrt{0.707} V_m = \sqrt{0.707 \times 20} = 14 / 14 \text{ V}$$

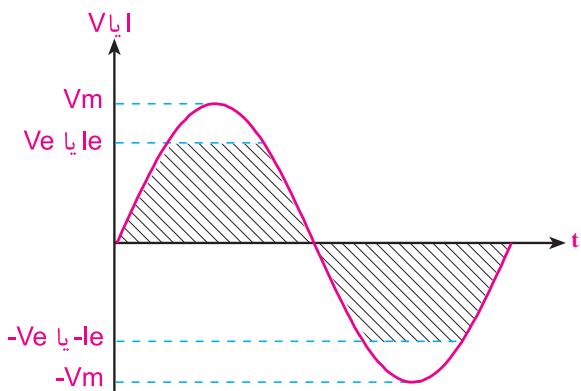
$$V_e = 14 / 14 \text{ V}$$

به مقدار مؤثر موج، مقدار  $V_{rms}$  نیز می‌گویند.

ولتمترهای AC مقدار مؤثر ولتاژ سینوسی را اندازه می‌گیرند، شکل ۵-۳۱.



شکل ۵-۳۱ اندازه‌گیری ولتاژ مؤثر



$$V_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \times V_m = \sqrt{0.707} V_m$$

$$I_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \times I_m = \sqrt{0.707} I_m$$

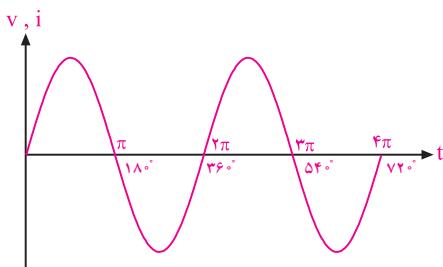
شکل ۵-۲۹ مقدار مؤثر موج سینوسی

**نکته:** این روابط فقط برای موج سینوسی

قابل قبول است.



برای جریان نیز مقادیر مؤثر وجود دارد و جریان مؤثر را با طی شده برابر با  $720$  درجه یا  $4\pi$  رادیان است.



شکل ۵-۳۳ دو سیکل کامل ولتاژ یا جریان

با توجه به اینکه یک سیکل کامل ولتاژ یا جریان  $360^\circ$  می‌باشد می‌توانیم روابط زیر را برای محاسبه  $1$  درجه بر حسب رادیان بنویسیم:

$$2\pi(\text{rad}) = 360^\circ \Rightarrow 1^\circ = \frac{2\pi}{360}$$

$$\text{رادیان} = \frac{\pi}{180}$$

**مثال ۷:**  $30^\circ$  درجه معادل چند رادیان است؟

**حل:**

با توجه به اینکه  $\text{رادیان} = \frac{\pi}{180}$  است، پس می‌توانیم

بنویسیم:

$$30^\circ = 30 \times \frac{\pi}{180} \Rightarrow 30^\circ = \frac{30\pi}{180} = \frac{\pi}{6} \text{ (rad)}$$

$$30^\circ = \frac{\pi}{6} \text{ رادیان}$$

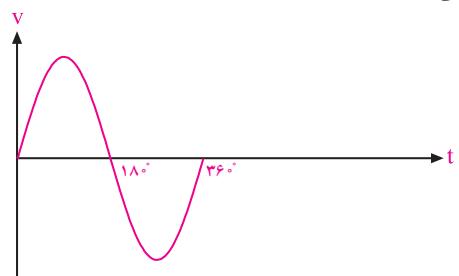
**تمرین کلاسی ۲:** زاویای  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$  و  $135^\circ$  را بر حسب رادیان بنویسید.

یا  $I_{\text{rms}}$  نشان می‌دهند.

### ۵-۳-۸ معادله ولتاژ سینوسی

**رابطهٔ زوایا بر حسب رادیان:**

همان‌طور که در مباحث قبلی مطرح شد، مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک سیکل کامل طی شود را «زمان تناوب» می‌گویند. در شکل ۵-۳۲ یک سیکل کامل ولتاژ  $360$  درجه را طی می‌کند.



شکل ۵-۳۲ یک سیکل کامل ولتاژ

در روابط ریاضی زاویهٔ  $360^\circ$  درجه معادل  $2\pi$  رادیان است. رادیان واحد دیگری برای سنجش زاویه به شمار می‌آید.

$$2\pi = 360^\circ \text{ (رادیان)}$$

در تئوری‌های مربوط به الکتریسیته اندازهٔ زوایا را بیشتر بر حسب رادیان بیان می‌کنند. ولتاژ یا جریان سینوسی در هر سیکل  $360^\circ$  یا  $2\pi$  رادیان را طی می‌کند. یک سیکل کامل مشابهٔ حالتی است که یک دور کامل دایره را طی کرده باشیم.

یک سیکل کامل ولتاژ یا جریان، زاویهٔ  $360^\circ$  درجه یا  $2\pi$  رادیان را طی می‌کند.

در شکل ۵-۳۳ در دو سیکل کامل ولتاژ یا جریان زاویه

## سرعت زاویه‌ای

**مثال ۸:** مقدار ماکریم و لتاژ یک موج سینوسی برابر با

۱۰ ولت است. مقدار و لتاژ را در زوایای  $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 180^\circ$  و  $270^\circ$  محاسبه کنید.

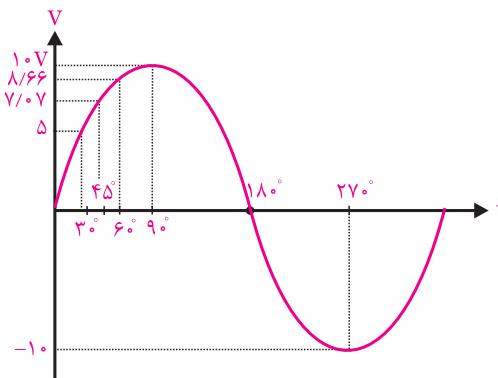
مقدار زاویه‌ی طی شده توسط و لتاژ یا جریان سینوسی در مدت زمان یک ثانیه را سرعت زاویه‌ای می‌نامند و آن را با  $\omega$  (آمگا) نشان می‌دهند.

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.



شکل ۵-۳۵

**حل:**

با توجه به رابطه‌ی مربوط به موج سینوسی می‌توانیم

بنویسیم:

$$V = 10 \sin \omega t$$

$$V = 10 \sin \theta$$

چون  $t = \theta / \omega$  است به جای  $\theta$  مقدار زوایا را در فرمول

قرار می‌دهیم و مقدار و لتاژ را محاسبه می‌کنیم.

$$V = 10 \sin 30^\circ \Rightarrow V = 10 \times \frac{1}{2} = 5 \text{ ولت}$$

$$V = 10 \sin 45^\circ \Rightarrow V = 10 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 5\sqrt{2} = 7.07 \text{ ولت}$$

$$V = 10 \sin 60^\circ \Rightarrow V = 10 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 5\sqrt{3} = 8.66 \text{ ولت}$$

$$V = 10 \sin 90^\circ \Rightarrow V = 10 \times 1 = 10 \text{ ولت}$$

$$V = 10 \sin 180^\circ \Rightarrow V = 10 \times 0 = 0 \text{ ولت}$$

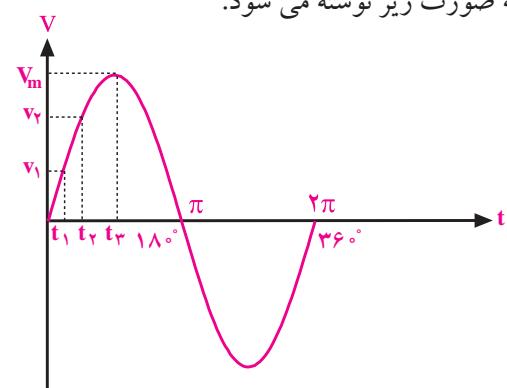
$$V = 10 \sin 270^\circ \Rightarrow V = 10 \times (-1) = -10 \text{ ولت}$$

مقدار سینوس زوایا از جدول مثبتاتی قابل استخراج است.

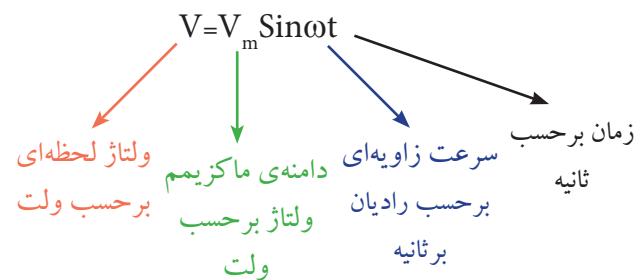
برای هر شکل موجی می‌توان رابطه‌ی ریاضی نوشت.

رابطه‌ی ریاضی شکل موج سینوسی نشان داده شده در شکل

۵-۳۴ به صورت زیر نوشته می‌شود.



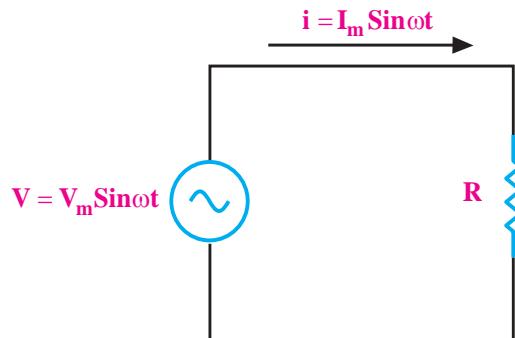
شکل ۵-۳۴ شکل موج و لتاژ سینوسی



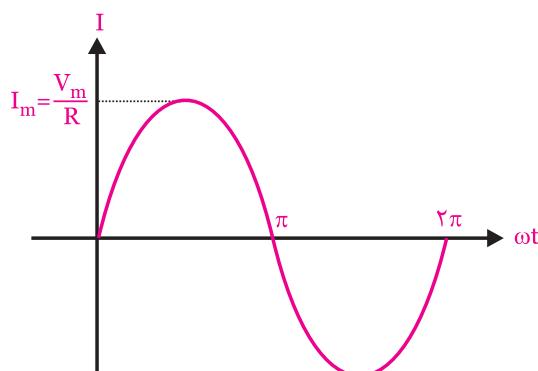
رابطه‌ی ریاضی هر موج را معادله‌ی آن موج می‌گویند.

$$i = \frac{V_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

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



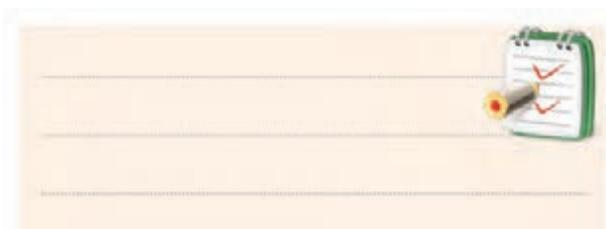
ب-شکل موج جریان سینوسی

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 می‌کند بین جریان و ولتاژ هیچگونه اختلاف فازی به وجود نمی‌آید. در شکل ۵-۳۸ شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت اهمی و شکل موج جریان عبوری از آن نشان داده شده است.

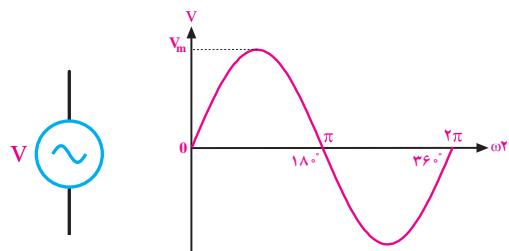
### تمرین کلاسی ۳: مقدار ماکزیمم جریان

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.



### ۴-۴ 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 می‌گویند. در شکل ۵-۳۶-الف شکل موج ولتاژ سینوسی و در شکل ۵-۳۶-ب نماد (علامت قراردادی) منع ولتاژ سینوسی را ملاحظه می‌کنید.



ب-نماد منع  
ولتاژ سینوسی

الف-ولتاژ سینوسی

شکل ۵-۳۶-ب شکل موج و نماد منع ولتاژ سینوسی جریانی که از مقاومت عبور می‌کند از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

مقاومت از رابطه زیر به دست می آید.

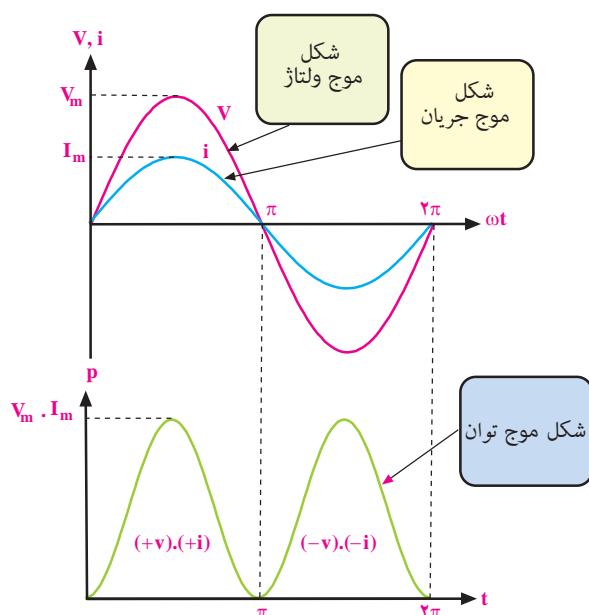
$$P = V_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

توان تلف شده  
ولتاژ مؤثر  
جریان مؤثر

می دانیم  $V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$  و  $I_{\text{eff}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$  است. مقدار توان از رابطه زیر نیز قابل محاسبه است.

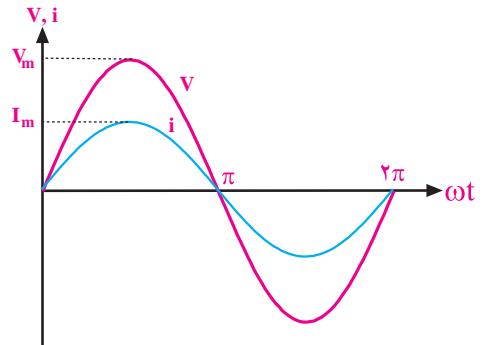
$$P = R \cdot I_{\text{eff}}^2 = \frac{(V_{\text{eff}})^2}{R}$$

در شکل ۵-۴۱، شکل موج های ولتاژ، جریان و توان تلف شده در مقاومت نشان داده شده است.



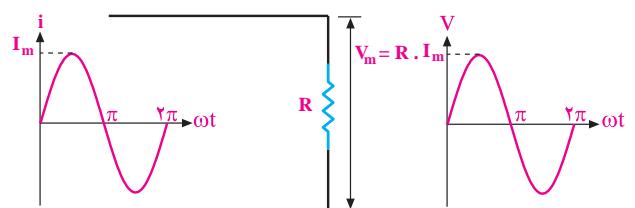
شکل ۵-۴۱ منحنی توان تلف شده در دو سر یک مقاومت اهمی

در نیم سیکل مثبت در فاصله‌ی صفر تا  $\pi$  مقادیر لحظه‌ای ولتاژ و جریان مثبت و در نتیجه حاصل ضرب آنها نیز مثبت است. در نیم سیکل منفی در فاصله‌ی  $\pi$  تا  $2\pi$  مقادیر لحظه‌ای ولتاژ و جریان هر دو منفی هستند که حاصل ضرب آنها مثبت



شکل ۵-۳۸ شکل موج ولتاژ و جریان در مقاومت اهمی

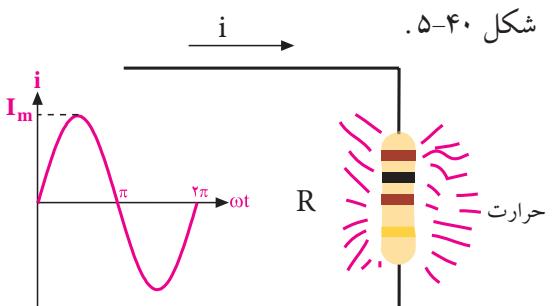
اگر جریان سینوسی از یک مقاومت اهمی عبور کند در دو سر مقاومت اهمی، یک ولتاژ سینوسی افت می کند که با جریان عبوری از مدار هم فاز است، شکل ۵-۳۹.



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

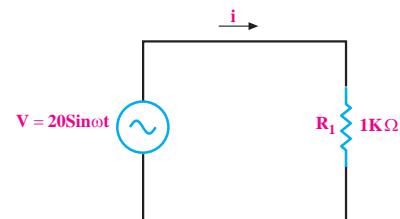
مقدار توان تلف شده بستگی به شکل موج جریان دارد. اگر جریان عبوری از مدار، سینوسی باشد توان تلف شده در

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  $P_{\text{eff}}$  نشان می دهند. مقدار  $P_{\text{eff}}$  از حاصل ضرب  $V_{\text{eff}}$  در  $I_{\text{eff}}$  به دست می آید.

یعنی:

$$P_{\text{eff}} = V_{\text{eff}} I_{\text{eff}}$$

**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:

$$V_m = 20 \text{ V}$$

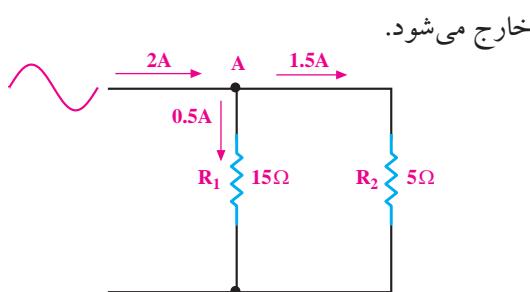
$$I_m = \frac{V_m}{R} = \frac{20}{1000} = 0.02$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{0.02}{\sqrt{2}} = 0.014 \text{ A} \Rightarrow I = 0.014 \text{ A}$$

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{20}{\sqrt{2}} = 14/\sqrt{2} \text{ V}$$

$$P = V_{\text{eff}} I_{\text{eff}} = 14/\sqrt{2} \times 0.014 = 0.2$$

$$P = 0.2 \text{ Wats}$$



شکل ۴۳-۵ بررسی قانون جریان کریشهف

معمولاً چندین جریان به یک نقطه وارد و یا از آن خارج می شوند. جریان های وارد شده را با علامت + و جریان های خارج شده را با علامت - مشخص می کنیم.

**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.

$$I_{1m} = \frac{V_m}{R_1} = \frac{12V}{1.0K\Omega} = 12mA$$

$$I_{2m} = \frac{V_m}{R_2} = \frac{12V}{15K\Omega} = 0.8mA$$

جریان  $I_T$  را از مجموع جریان‌های  $I_1$  و  $I_2$  به دست می‌آوریم.

$$I_T = I_{1m} + I_{2m} \Rightarrow$$

$$I_T = 12 + 0.8 = 12.8mA$$

بعد از محاسبه‌ی مقدار ماکزیمم جریان‌های  $I_1$  و  $I_2$  و  $I_T$

معادله‌ی جریان‌ها را می‌نویسیم:

$$I_1 = 12\sin\omega t$$

$$I_2 = 0.8\sin\omega t$$

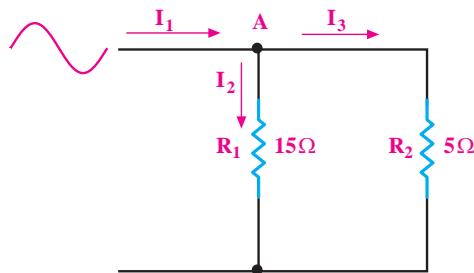
$$I_T = 12.8\sin\omega t$$

### 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 ۴۴-۱۵ گر جریان‌های (های) ورودی را با علامت  $(+)$  و جریان‌های (های) خروجی را با علامت  $(-)$  نشان دهیم، می‌توانیم در گره A رابطه‌ی زیر را بنویسیم.

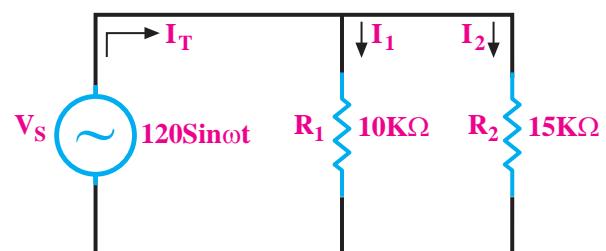
$$\left. \begin{aligned} & \text{جمع جبری جریان‌های ورودی و خروجی} \\ & +I_1 - I_2 - I_3 = 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow I_1 = I_2 + I_3$$



شکل ۴۴-۱۵ جمع جبری جریان‌های وارد شده و خارج شده گره A برابر با صفر است.

**مثال ۱۰:** در شکل ۴۴-۱۶ رابطه‌ی جریان عبوری از

مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  و جریان خروجی از منبع ولتاژ سینوسی را به دست آورید.



شکل ۴۴-۱۶

**حل:**

چون ولتاژ در مدار ثابت است جریان هر شاخه با استفاده

از قانون اهم محاسبه می‌شود.

$$I_1 = I_{1m} \sin\omega t \quad I_2 = I_{2m} \sin\omega t$$

ابتدا مقدار  $I_{1m}$  و  $I_{2m}$  را محاسبه می‌کنیم:

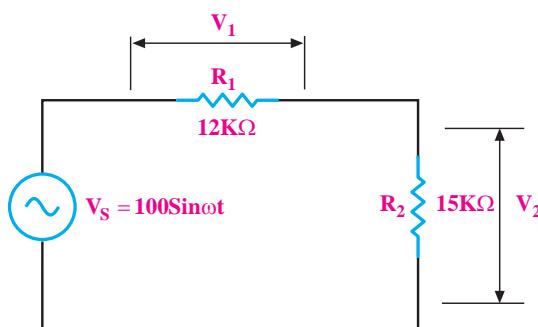
طبق قانون ولتاژ کریشهف، در یک مدار بسته با منبع ولتاژ متناظر یا مستقیم، جمع جبری ولتاژها برابر صفر است. به

**نکته‌ی 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 ۵-۴۷ رابطه‌ی ولتاژ دو سر مقاومت‌های

را به دست آورید.



شکل ۵-۴۷ محاسبه‌ی ولتاژ دو سر هر مقاومت

حل:

$$V_1 = V_{1\max} \cdot \sin \omega t, V_2 = V_{2\max} \cdot \sin \omega t$$

$$V_{1\max} = I_{m\max} \cdot R_1, V_{2\max} = I_{m\max} \cdot R_2$$

$$I_{m\max} = \frac{V_{\max}}{R_1 + R_2} = \frac{100}{12k + 15k} = 3/vmA$$

$$V_{1\max} = 3/v \times 12 = 44/44V$$

$$V_{2\max} = 3/v \times 15 = 55/56V$$

$$V_1 = 44/44 \sin \omega t$$

$$V_2 = 55/56 \sin \omega t$$

**تمرین کلاسی ۶:** رابطه‌ی ولتاژ دو سر

مقاومت‌های  $R_1 = 10K\Omega$  و  $R_2 = 12K\Omega$  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 ۵-۴۶ می‌توانیم رابطه‌ی زیر را بنویسیم.

$$R_s = \text{افت ولتاژ دو سر مقاومت}_1$$

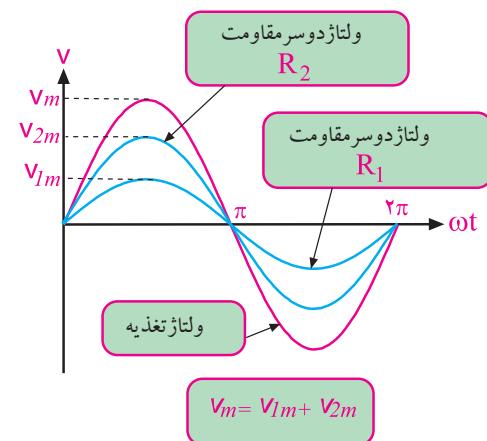
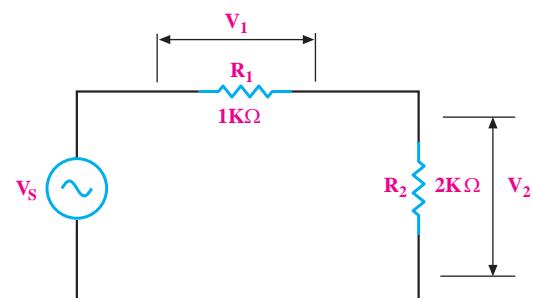
$$R_s = \text{افت ولتاژ دو سر مقاومت}_2$$

$$V_s = \text{ولتاژ منبع}$$

$$-V_s + V_1 + V_2 = 0$$

$$\text{افت ولتاژ دو سر مقاومت}_1 + \text{افت ولتاژ دو سر مقاومت}_2 = \text{ولتاژ منبع}$$

$$V_s = V_1 + V_2$$



شکل ۵-۴۶ قانون ولتاژ کریشهف

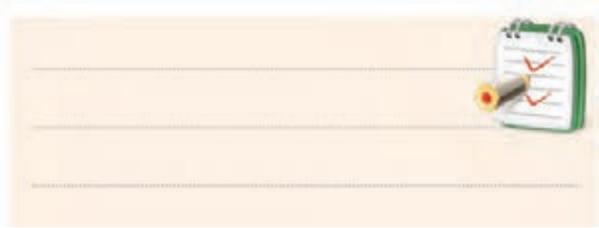
## ۵-۷-۱ همسنگ (هم ارز) بردار

همسنگ یک بردار، برداری هم جهت و هماندازه‌ی آن بردار است. برای رسم همسنگ یک بردار ابتدا از یک نقطه‌ی دلخواه خطی رابه موازات راستای بردار رسم می‌کنیم. سپس روی این خط، برداری هم طول و هم جهت با بردار اصلی می‌کشیم. در شکل ۵-۵۰ همسنگ بردار  $\vec{AB}$  را از نقطه‌ی دلخواه  $AB$  رسم کرده‌ایم و بردار  $\vec{MN}$  را که همسنگ بردار  $AB$  است به وجود آورده‌ایم.



شکل ۵-۵۰ بردار  $MN$  همسنگ بردار  $AB$  است.

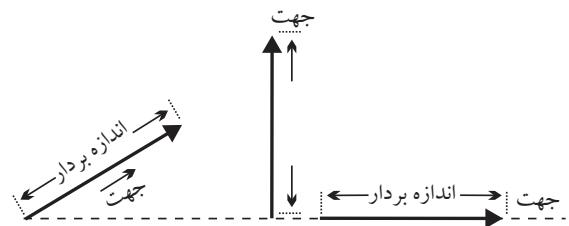
دو بردار همسنگ دارای اندازه (طول) و جهت یکسان هستند.



## ۵-۷-۲ بردار

بردار 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.

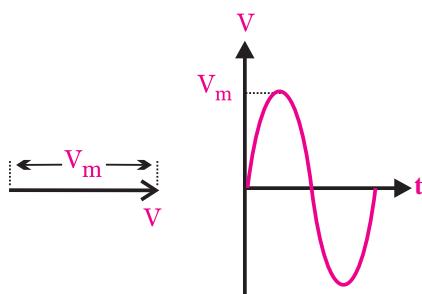
در شکل ۵-۴۸ چند نمونه بردار رسم شده است.



شکل ۵-۴۸ چند نمونه بردار

## 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.



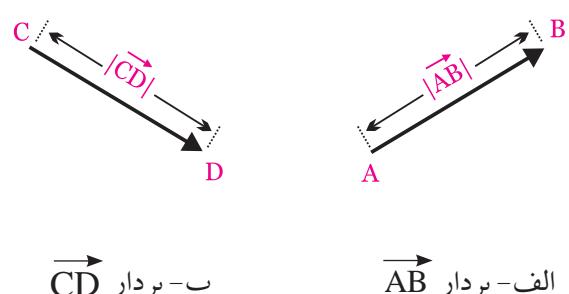
ب-نمایش برداری

الف-شکل موج ولتاژ سینوسی

$$V = V_m \sin \omega t \quad \text{ج-معادله‌ی ولتاژ سینوسی}$$

شکل ۵-۵۱ نمایش برداری موج سینوسی

اگر ابتدای برداری نقطه‌ی A و انتهای آن در نقطه‌ی B باشد آن را بردار  $\vec{AB}$  می‌نامند. اندازه‌ی بردار  $\vec{AB}$  را با  $|AB|$  نشان می‌دهند. در شکل ۵-۴۹ دو نمونه بردار  $\vec{AB}$  یا  $\vec{CD}$  رسم شده است.

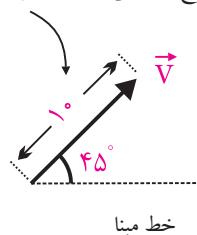


شکل ۵-۴۹ دو نمونه بردار

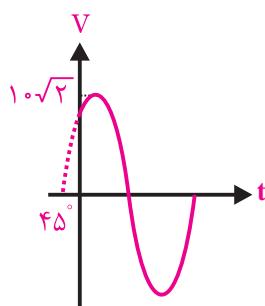
الف-بردار  $\vec{AB}$

ب-بردار  $\vec{CD}$

موج سینوسی با  $45^\circ$  درجه پیش فاز



ب-نمایش برداری

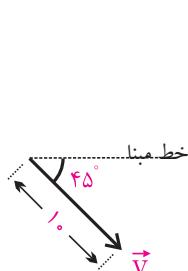


الف-شکل موج ولتاژ سینوسی

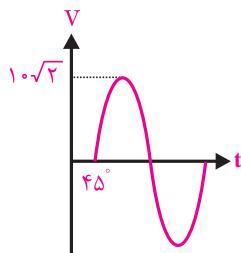
$$V = 10\sqrt{2} \sin(\omega t + 45)$$

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 داده ایم.



ب-نمایش برداری



الف-شکل موج ولتاژ سینوسی

$$V = 10\sqrt{2} \sin(\omega t - 45)$$

شکل ۵-۵۴ موج سینوسی با تأخیر فاز  $45^\circ$

**توجه**  
برای تعیین اندازه هی بردار موج سینوسی، مقدار مؤثر موج را در نظر می گیرند.



**مثال ۱۲:** معادلهی ولتاژ سینوسی مربوط به بردارهای

شکل ۵-۵۴ را بنویسید.

### توجه

در شکل ۵-۵۱ برای نشان



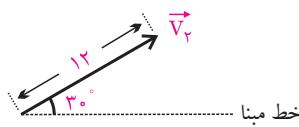
دادن جریان و ولتاژ سینوسی به صورت برداری، اندازه هی بردارها برابر دامنه هی ماکریم موج جریان یا ولتاژ رسم شده است. از آن جا که در محاسبه ها عموماً مقادیر مؤثر ولتاژ و جریان به کار می رود، می توان اندازه هی این بردارها را برابر با مقدار مؤثر امواج نیز رسم کرد. در این کتاب از مقدار مؤثر برای نمایش اندازه هی بردار استفاده خواهد شد.

برای کسب موفقیت، تنها به دست آوردن اطلاعات و دانش کفاایت نمی کند، بلکه به کارگیری و تمرین مستمر آن اطلاعات است.

در شکل ۵-۵۲ یک نمونه موج سینوسی که دارای تقدم فاز (پیش فاز) است را مشاهده می کنید. 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 عقربه های ساعت زاویه هی فاز را انتخاب نماییم و بردار را رسم کنیم. امواج با تاخیر فاز (پس فاز) نیز با زاویه های در جهت حرکت عقربه های ساعت رسم می شوند.

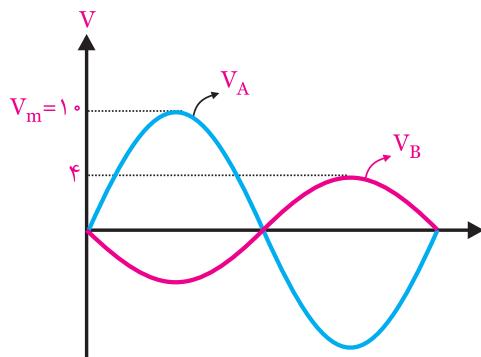
ب: در معادلهی (ب) چون علامت  $30^\circ$  درجه مثبت است، پس ولتاژ نسبت به خط مبنا تقدم فاز دارد (جلو افتاده و پیش فاز است). بنابراین بردار آن نیز باید تقدم فاز داشته باشد.

موج ولتاژ با  $30^\circ$  درجه تقدم فاز  $V_t$



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

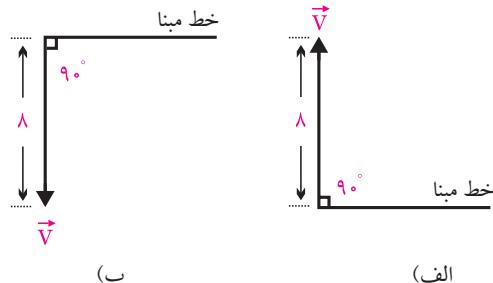
**حل:** با توجه به اینکه دو موج سینوسی رسم شده دارای  $180^\circ$  درجه اختلاف فاز هستند، بنابراین بردار آنها نیز باید  $180^\circ$  درجه نسبت به یکدیگر اختلاف فاز داشته باشد. اندازهی بردارها مقدار مؤثر موج سینوسی است.

$$V_B = V_{\text{Beff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{4}{\sqrt{2}} = 2\sqrt{2} \quad \text{مؤثر}$$

$$V_A = V_{\text{Aeff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} = 5\sqrt{2} \quad \text{مؤثر}$$

$$V_B \quad |V_B| = 2\sqrt{2} \quad V_A \quad |V_A| = 5\sqrt{2}$$

شکل ۵-۵۷ پاسخ مثال



شکل ۵-۵۶

## حل

الف: چون بردار به اندازهی  $90^\circ$  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  $90^\circ$  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:

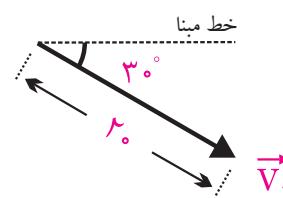
$$V_1 = 20\sqrt{2} \sin(\omega t - 30^\circ) \quad \text{الف}$$

$$V_2 = 12\sqrt{2} \sin(\omega t + 30^\circ) \quad \text{ب}$$

## حل:

الف: در معادلهی (الف) ولتاژ به اندازهی  $30^\circ$  درجه از خط مبنا عقب‌تر است (تأخير فاز دارد) پس بردار آن نیز باید تأخیر فاز داشته باشد.

موج ولتاژ با  $30^\circ$  درجه تأخیر فاز



شکل ۵-۵۵-الف پاسخ مثال

ب- موج A چون از مبدا شروع می‌شود اختلاف فازی ندارد و معادله‌ی آن به صورت زیر است.

$$V_A = 10 \sin \omega t$$

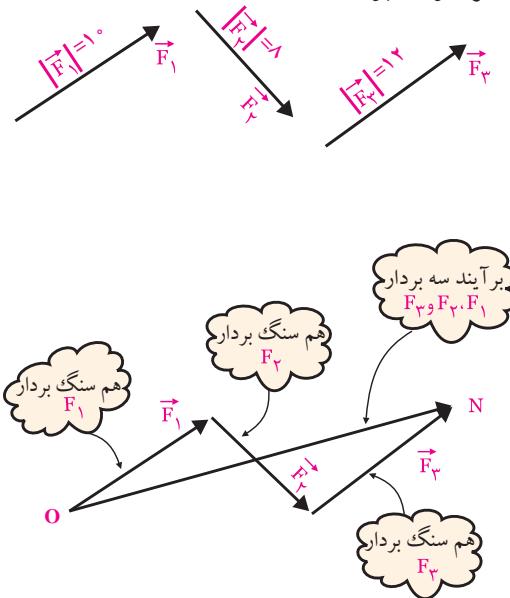
موج B به اندازه‌ی  $30^\circ$  درجه تقدم فاز دارد و معادله‌ی آن به صورت زیر است.

$$V_B = 5 \sin(\omega t + 30^\circ)$$

### ۵-۷-۳ برآیند دو یا چند بردار

برآیند دو یا چند بردار، برداری است که به تنها یک 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 همه بردارها ادامه می‌دهیم تا انتهای آخرین بردار هم‌سنگ (نقطه‌ی N) به دست آید. در شکل ۵-۶۰ اگر نقطه‌ی «O» را به نقطه‌ی «N» وصل کنیم، بردار  $\vec{ON}$  برآیند بردارهای مورد نظر خواهد بود.

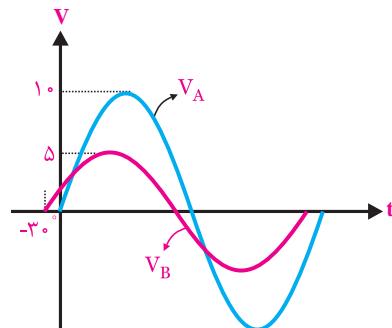


شکل ۵-۶۰ برآیند بردارهای  $F_1$ ،  $F_2$  و  $F_3$

**مثال ۱۵:** در شکل ۵-۵۸ دو موج A و B نشان داده شده است.

الف- امواج A و B را به صورت برداری نمایش دهید.

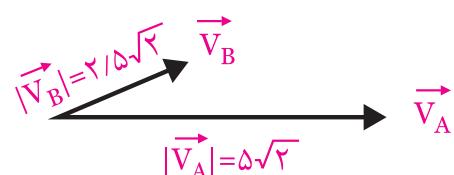
ب- روابط مربوط به معادله‌ی امواج سینوسی A و B را بنویسید.



شکل ۵-۵۸

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.



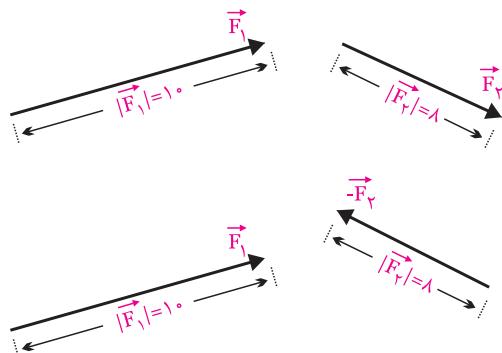
اندازه‌ی بردارها نیز مقدار مؤثر موج سینوسی می‌باشد.

$$|\vec{V}_B| = \frac{V_{Bm}}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 2/5\sqrt{2}$$

$$|\vec{V}_A| = \frac{V_{Am}}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} = 5\sqrt{2}$$

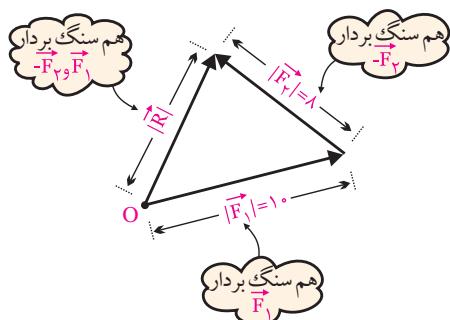
شکل ۵-۵۹ پاسخ قسمت الف

منفی بردار را رسم می‌کنیم. منفی یک بردار، همسنگ آن بردار در جهت مخالف است. در شکل ۵-۶۵ برای رسم بردار  $\vec{F}_r$  ابتدا برداری همان اندازه وله در جهت مخالف بردار  $\vec{F}_l$  رسم می‌کنیم.



شکل ۵-۶۵ تفاضل بردارهای  $\vec{F}_l$  و  $\vec{F}_r$

سپس طبق شکل ۵-۶۶ برآیند دو بردار  $\vec{F}_l$  و  $\vec{F}_r$  را به دست می‌آوریم:



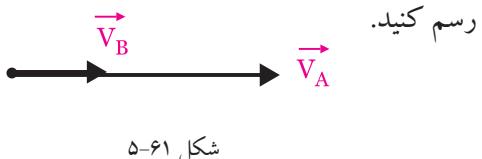
شکل ۵-۶۶ تفاضل بردارهای  $\vec{F}_l$  و  $\vec{F}_r$

**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 ۵-۶۷ هم جهت با بردار  $\vec{F}$  است و اندازه آن K برابر اندازه بردار  $\vec{F}$  خواهد شد. اگر K مثبت باشد بردار  $\vec{KF}$  هم جهت با بردار  $\vec{F}$  و اگر K منفی باشد، بردار  $\vec{KF}$  در خلاف جهت بردار  $\vec{F}$  است.

برآیند بردارهای  $\vec{F}_l$ ،  $\vec{F}_r$  و  $\vec{R}$  را با  $\vec{R}$  نشان می‌دهند و به صورت زیر نوشته می‌شود:

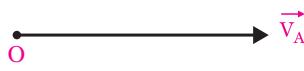
$$\vec{R} = \vec{F}_l + \vec{F}_r + \vec{F}_r$$

**مثال ۱۶:** برآیند بردارهای رسم شده در شکل ۵-۶۱ را رسم می‌کنیم.



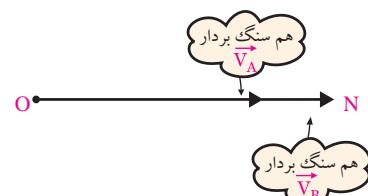
شکل ۵-۶۱

**حل:** برای رسم برآیند لازم است بردار همسنگ را رسم کنیم. به این منظور ابتدا همسنگ بردار  $\vec{V}_A$  را از نقطه O رسم می‌کنیم، شکل ۵-۶۲.



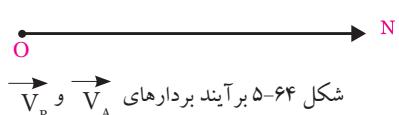
شکل ۵-۶۲ همسنگ بردار  $\vec{V}_A$

سپس از انتهای بردار  $\vec{V}_A$ ، همسنگ بردار  $\vec{V}_B$  را رسم می‌کنیم و نقطه انتهای را N نامیم، شکل ۵-۶۳.



شکل ۵-۶۳ همسنگ بردار  $\vec{V}_B$  و  $\vec{V}_A$

حال از نقطه O به N برداری رسم می‌کنیم، بردار ON برآیند دو بردار  $\vec{V}_B$  و  $\vec{V}_A$  است، شکل ۵-۶۴.



شکل ۵-۶۴ برآیند بردارهای  $\vec{V}_A$  و  $\vec{V}_B$

#### ۵-۷-۶ تفاضل بردارها

برای تعیین تفاضل بردارهای  $\vec{F}_l$  و  $\vec{F}_r$  ابتدا

بردار برآیند می‌نامند، شکل ۵-۷۲.



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.

$$\begin{aligned} |\vec{R}| &= |\vec{V}_A| - |\vec{V}_B| \\ |\vec{R}| &= 10 - 4 = 6 \\ |\vec{R}| &= 6 \end{aligned}$$

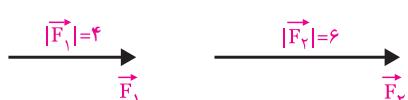
### توجه



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  
دو بردار از تفاضل اندازه‌ی دو بردار  
به دست می‌آید.

**مثال ۱۸:** اندازه‌ی برآیند دو بردار هم جهت  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}_2$  در شکل ۵-۷۳ را محاسبه کنید.

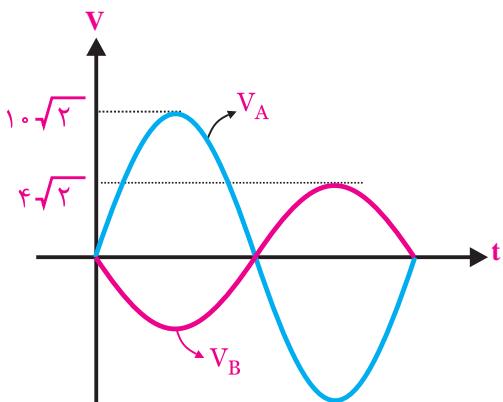


شکل ۵-۷۳

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

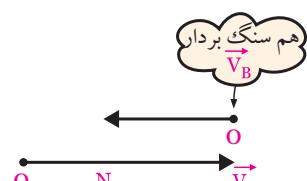
سپس برای رسم برآیند بردارها، ابتدا هم‌سنگ بردار  
را رسم می‌کنیم، شکل ۵-۷۰.



شکل ۵-۷۰ هم‌سنگ بردار

هم‌سنگ بردار  $\vec{V}_B$  را از انتهای بردار رسم می‌کنیم، شکل ۵-۷۱.

برداری که از وصل دو نقطه‌ی O و N به دست می‌آید را

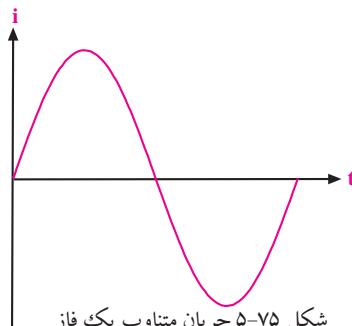


شکل ۵-۷۱

## ۵-۸ جریان‌های سه‌فازه

### ۱-۵-۸ جریان متناوب یک فازه

همان‌طور که در قبل گفته شد یکی از دلایل تولید ولتاژ به صورت شکل موج سینوسی، تولید و انتقال آسان آن است. به جریان سینوسی رسم شده در شکل ۵-۷۵ جریان متناوب یک فاز می‌گویند.



شکل ۵-۷۵ جریان متناوب یک فاز

جریان متناوب یک فاز، از حرکت یک مجموعه‌ی سیم‌پیچ در داخل میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود. میدان مغناطیسی را می‌توان توسط آهنربای طبیعی یا مصنوعی تولید کرد. در شکل ۵-۷۶ حرکت یک مجموعه‌ی سیم‌پیچ در میدان مغناطیسی نشان داده شده است.

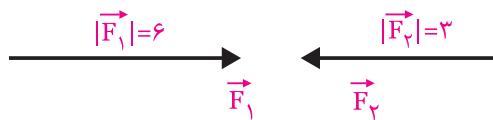
شکل ۵-۷۶ حرکت سیم‌پیچ در میدان مغناطیسی

**حل:** با توجه به هم‌جهت بودن ۲ بردار اندازه‌ی برآیند بردارها از جمع جبری اندازه‌ی هر بردار محاسبه می‌شود.

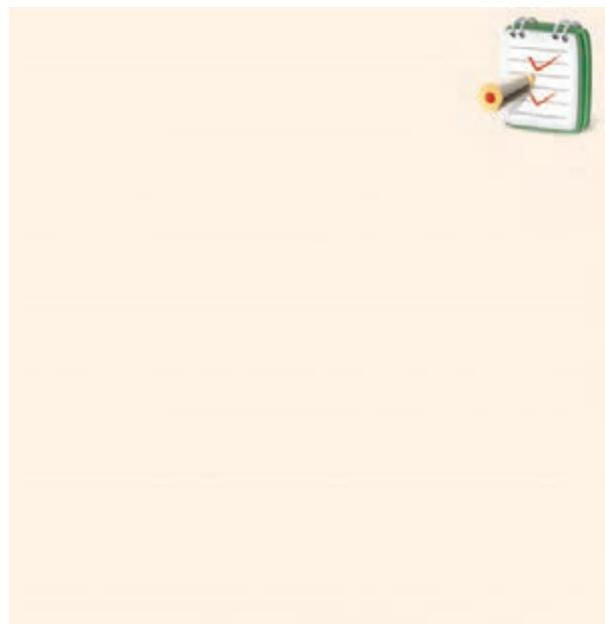
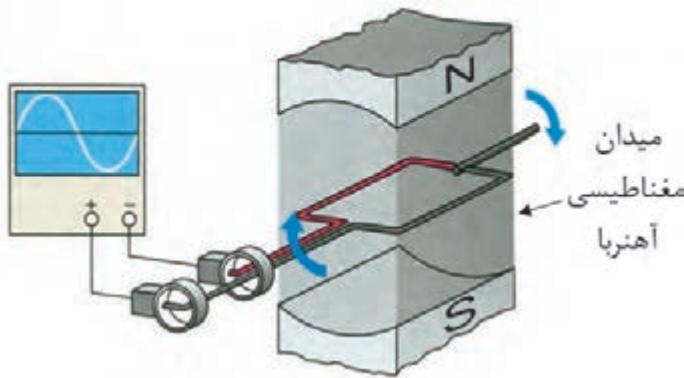
$$\begin{aligned} |\vec{R}| &= |\vec{F}_1| + |\vec{F}_2| \Rightarrow \\ |\vec{R}| &= 4 + 6 = 10 \\ |\vec{R}| &= 10 \end{aligned}$$

### تمرین کلاسی ۷: اندازه‌ی برآیند دو بردار

در شکل ۵-۷۴ که در خلاف جهت هم رسم شده‌اند را به‌دست آورید.

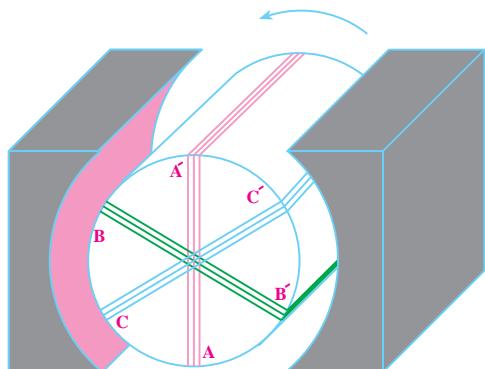


شکل ۵-۷۴



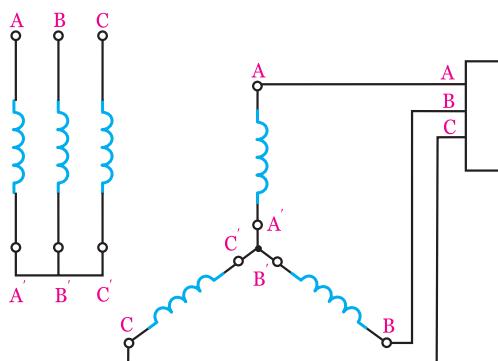
## ۵-۸-۲ جریان متناوب سه فازه

در صورتی که سه دسته سیم پیچی را در داخل میدان مغناطیسی آهنربا حرکت دهیم، شکل موج جریان متناوب سه فاز ایجاد می‌شود. در شکل ۵-۷۷ سیم پیچ‌ها در داخل میدان مغناطیسی نشان داده شده است.



**اتصال ستاره:** اگر انتهای سیم پیچ‌های 'AA'، 'BB' و 'CC' به دو صورت به هم اتصال داده می‌شوند.

دریافت شود، این نوع اتصال را «اتصال ستاره» می‌گویند و با (Y) نشان می‌دهند. در شکل ۵-۷۹ نحوه اتصال ستاره نشان داده شده است.

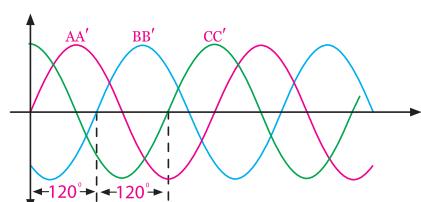


شکل ۵-۷۹ اتصال ستاره

در اتصال ستاره انرژی توسط سیم پیچ‌های 'AA'، 'BB' و 'CC' از مولد به مصرف کننده انتقال می‌یابد. سیم‌های 'AA'، 'BB' و 'CC' را به ترتیب  $S$ ،  $R$  و  $T$  یا  $L_1$ ،  $L_2$  و  $L_3$  نام‌گذاری می‌کنند و به آن‌ها سیم‌های فاز A، فاز B و فاز C می‌گویند.

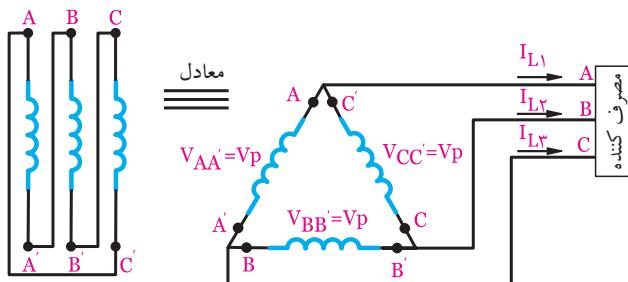
در شکل ۵-۸۰ ولتاژها و جریان‌های اتصال ستاره نشان داده شده است.

شکل ۵-۷۷ موقعيت سیم پیچ‌ها در یک نمونه مولد جریان متناوب ۳ فاز در شکل ۵-۷۷ با چرخش سیم پیچ‌ها در خلاف جهت عقربه‌های ساعت، در هر یک از سیم پیچ‌های 'AA'، 'BB' و 'CC' ولتاژ سینوسی ایجاد می‌شود. سیم پیچ‌های 'AA' و 'CC' با زاویه‌ی مکانی  $120^\circ$  درجه نسبت به هم قرار دارند. با توجه به موقعیت مکانی سیم پیچ‌ها، ولتاژ القایی در سیم پیچ 'AA' به اندازه‌ی  $120^\circ$  درجه از ولتاژ القایی در سیم پیچ 'BB' پس فاز است. هم‌چنین ولتاژ القا شده در سیم پیچ 'CC' به اندازه‌ی  $240^\circ$  درجه نسبت به ولتاژ القا شده در سیم پیچ 'AA' پس فاز است. در شکل ۵-۷۸ موج‌های تولید شده توسط سیم پیچ‌های 'AA'، 'BB' و 'CC' نشان داده شده است.



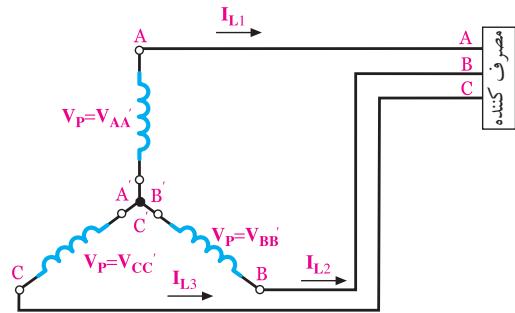
شکل ۵-۷۸ جریان‌های متناوب سه فازه

مثلث می‌گویند و آن را با علامت ( $\Delta$ ) نشان می‌دهند. این نوع اتصال در شکل ۵-۸۱ نشان داده شده است.



شکل ۵-۸۱ 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 می‌دهند.



شکل ۵-۸۰ مشخصات جریان و ولتاژ در اتصال ستاره

### اتصال مثلث

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 زمان اوج مصرف نامید.

در زمان اوج مصرف به دلیل نوسانات برق امکان آسیب دیدن وسیله‌ی برقی شما بیشتر است. در

زمان اوج مصرف، از وسایل برقی پرمصرف استفاده نکنید.

## آزمون پایانی فصل (۸)



۶- زمان تناوب را تعریف کنید.



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؟



۹- دو موج با  $90^\circ$  درجه اختلاف فاز 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 نیم موج

۱- شکل موج ولتاژ متناوب را با رسم شکل شرح دهید.



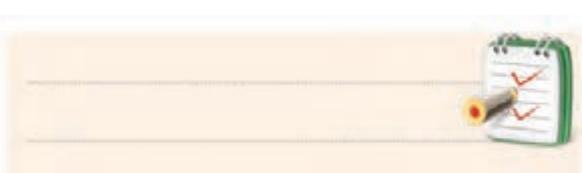
۲- مشخصات یک شکل موج سینوسی را نام ببرید.



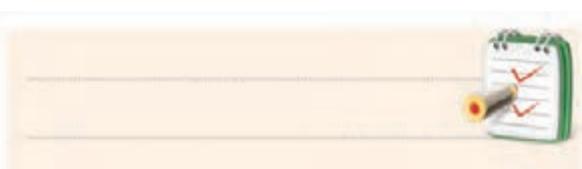
۳- مقدار مؤثر و متوسط یک شکل موج سینوسی چگونه به دست می آید؟ به طور کامل شرح دهید.



۴- فاز و اختلاف فاز در شکل موج های سینوسی را توضیح دهید.



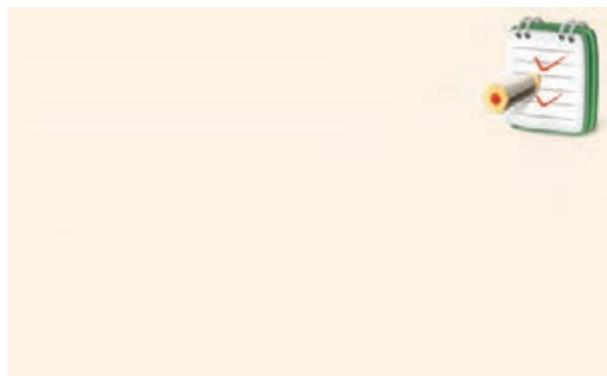
۵- چهار نمونه موج متناوب را نام ببرید و شکل موج آنها را رسم کنید.



۱۵- هم سنگ بردار را چگونه رسم می کنند؟ با رسم

از کدام رابطه به دست می آید؟

شکل توضیح دهد.



$$V_m$$

$$\frac{V_m}{\pi}$$

د) صفر

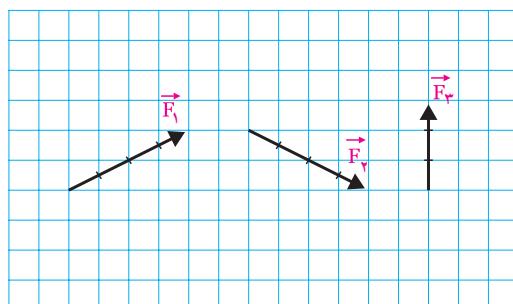
$$\frac{2V_m}{\pi}$$

۱۶- مقدار موثر موجی سینوسی با دامنه‌ی ۲۰ ولت را

محاسبه کنید.



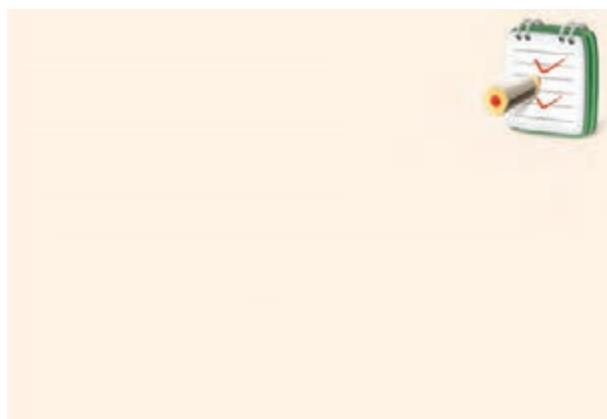
۱۶- برآیند بردارهای زیر را به صورت رنگی رسم کنید  
و اندازه‌ی آن را به دست آورید.



شکل ۵-۸۲

۱۷- چگونگی تعیین تفاضل بردارهای  $F_1$  و  $F_2$  را شرح

دهید.



$$P = RI_{eff} \quad \text{ب) } P = V_{eff} I_{eff}$$

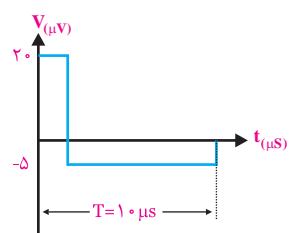
$$\text{د- همه‌ی موارد } P = \frac{V_{eff}}{R} \quad \text{ج-}$$

۱۴- بردار را تعریف کنید.

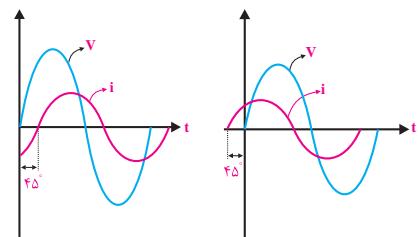


۱۸- دیاگرام برداری هر یک از امواج نشان داده شده در شکل

۱۹- را ترسیم کنید و اختلاف فاز بین آنها را به دست آورید.

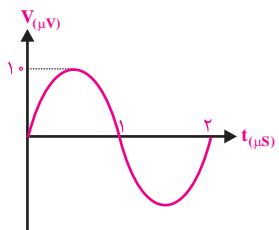


الف)



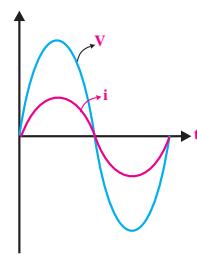
(ب)

الف)



٢٠

شکل ۸۴-۵



(ج)

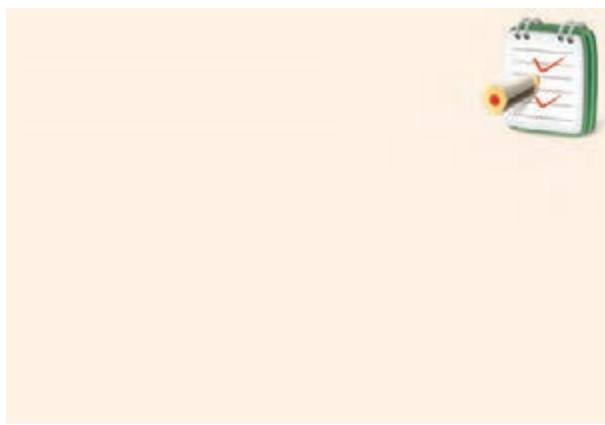
A graphic of a clipboard with a white sheet of paper containing a list of items, each marked with a red checkmark. A red pen with a yellow eraser is resting on the clipboard.

شکا ۸۳-۵



-زوایای  $30^\circ$ ,  $180^\circ$  و  $360^\circ$  را بر حسب رادیان

پنوندہ



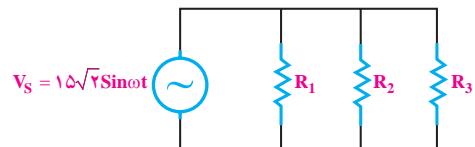
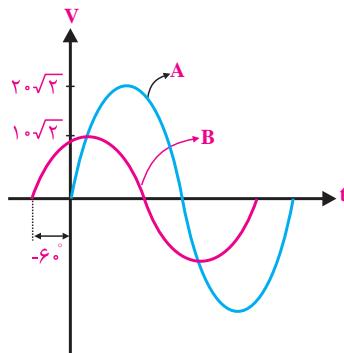
۱۹- مقدار پیک توپیک و فرکانس هر یک از امواج نشان داده شده در شکل ۵-۸۴ را محاسبه کنید.

$$R_1 = 10\text{K}\Omega \quad R_2 = 6\text{K}\Omega$$

$R = 15\text{K}\Omega$  به صورت موازی به یک منع ولتاژ سینوسی

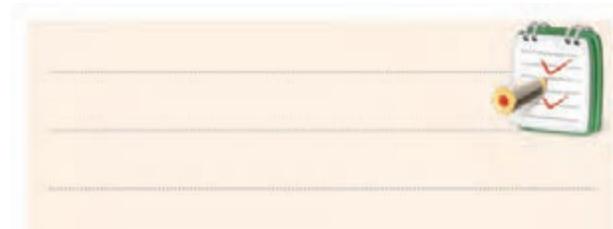
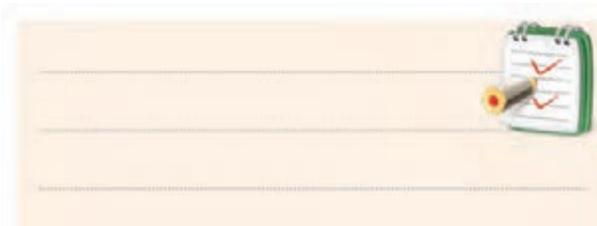
مطابق شکا، ۸۵-۵ و صا، شده است. تو ان تلف شده در هر

مقاومت را حساب کنید.



شکل ۵-۸۵

شکل ۵-۸۷



۲۲- معادله ولتاژ سینوسی مربوط به بردارهای شکل

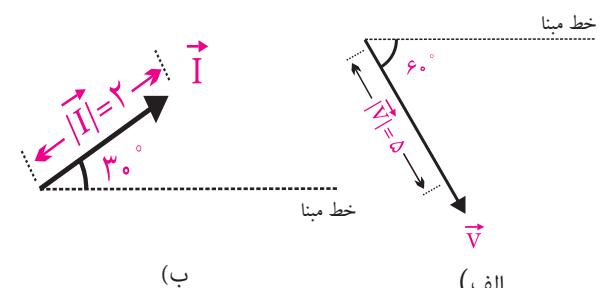
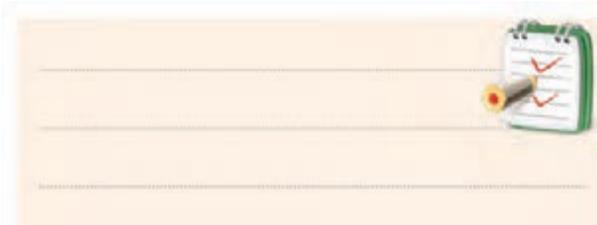
۵-۸۶ را بنویسید.

۲۴- اندازه‌ی برآیند دو بردار هم‌جهت  $F_1$  و  $F_2$  را محاسبه

کنید.

$$|F_1| = 6$$

$$|F_2| = 8$$



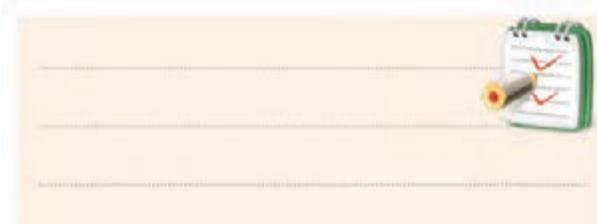
شکل ۵-۸۶

۲۵- اندازه‌ی برآیند دو بردار غیر هم‌جهت (خلاف

جهت)  $F_1$  و  $F_2$  را محاسبه کنید.

$$|F_1| = 10$$

$$|F_2| = 10$$



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 معادله امواج سینوسی A و B را

بنویسید.

## فصل ششم

### دستگاه اسیلوسکوپ و انواع منابع تغذیه‌ی آزمایشگاهی

**هدف کلی:** کار با چند نمونه دستگاه‌های آزمایشگاهی الکترونیکی

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



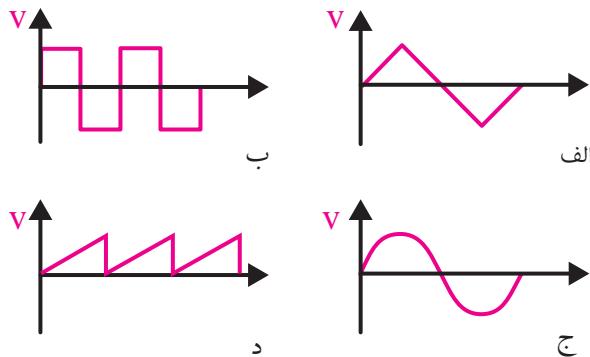
- ۱۱- مشخصات سیگنال ژنراتور رادیویی را بیان کند.
- ۱۲- مشخصات فانکشن ژنراتور و نحوه‌ی کار را با آن بیان کند.
- ۱۳- نحوه‌ی استفاده از منبع تغذیه‌ی DC را شرح دهد.
- ۱۴- ولتاژ و جریان خروجی یک منبع تغذیه DC را برو布 و اجزای آن را شرح دهد.
- ۱۵- مشخصات شکل موج‌های خروجی فانکشن ژنراتور را توسط اسیلوسکوپ مشاهده کند.
- ۱۶- مقدار ماکریم 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.
- ۱- ساختمان اسیلوسکوپ را شرح دهد.
- ۲- کلیدهای روی صفحه‌ی 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) را تنظیم کند.
- ۶- دستگاه اسیلوسکوپ را تنظیم کند.
- ۷- پروب اسیلوسکوپ را تنظیم کند.
- ۸- با استفاده از اسیلوسکوپ ولتاژ DC را اندازه‌بگیرد.
- ۹- انواع مولد سیگنال را نام ببرد.
- ۱۰- مشخصات سیگنال ژنراتور صوتی را شرح دهد.

ساعت آموزش			توانایی شماره
جمع	عملی	نظری	
۱۴	۸	۶	۶

## پیش آزمون فصل (۶)



۵- کدامیک از امواج زیر DC است؟



۶- مقدار مؤثر یک موج سینوسی با ماکریم دامنه

$$V_m = 20 \text{ V}$$

- (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

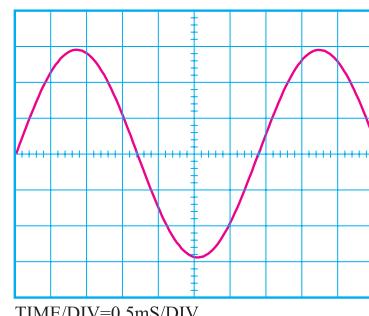
۱۰- تعداد نوسانات یک موج متناوب در مدت یک ثانیه را ..... می گویند.

- (الف) زمان تناوب (ب) فرکانس

۱- تفاوت بین سیگنال ژنراتور صوتی و فانکشن ژنراتور را به طور خلاصه بیان کنید.



۲- در شکل زیر فرکانس سیگنال ظاهر شده روی صفحهٔ حساس اسیلوسکوپ چند هرتز است.



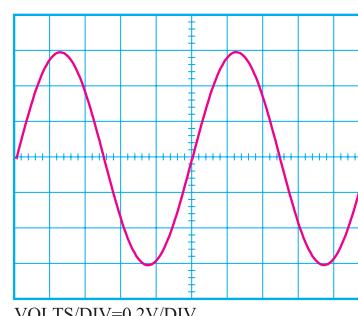
(الف) ۲۹۴

(ب) ۲۶۴

(ج) ۲۳۴

(د) ۲۱۴

۳- در شکل زیر مقدار مؤثر سیگنال ظاهر شده روی صفحهٔ حساس اسیلوسکوپ چند میلی ولت است؟



(الف) ۲۲۴

(ب) ۳۲۴

(ج) ۴۲۴

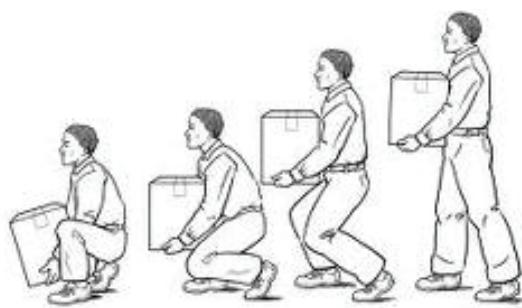
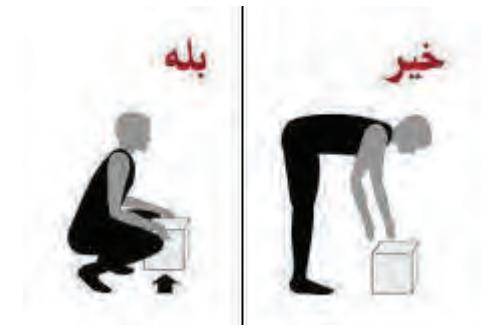
(د) ۵۲۴

۴- زمان تناوب یک شکل موج سینوسی با فرکانس ۱۰۰ 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.

## نکات ایمنی فصل (۶)



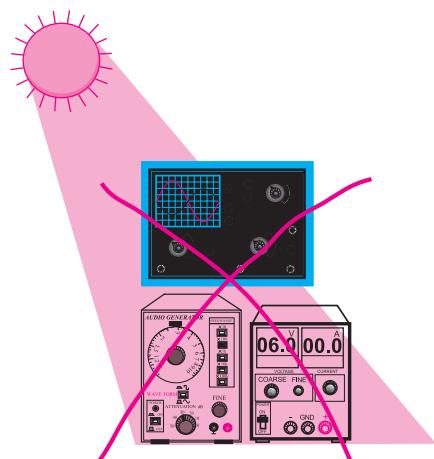
حفاظت از وسایل، مهارت ارزش‌گذاری بر ثروت عمومی، مسئولیت‌پذیری و توجه به هزینه‌هایی را که برای تحصیل هر فرد صرف می‌شود، ایجاد می‌کند.

۱- هنگام حمل و جابه جایی دستگاه‌های اندازه‌گیری مانند اسیلوسکوپ، منبع تغذیه، مولتی‌متر و سیگنال ژنراتور، موازن باشید دستگاه به زمین نیفت. این دستگاه‌ها بسیار حساس هستند و ممکن است بر اثر ضربه طوری معیوب شوند که دیگر قابل تعمیر نباشدند.

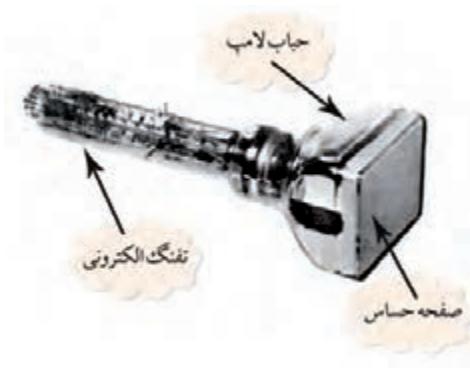
۲- با دکمه‌ها، کلیدها، ولوهای سلکتورهای دستگاه بازی نکنید.

۳- کلید ولو و سلکتورهای روی دستگاه‌های الکترونیکی مانند اسیلوسکوپ و سیگنال ژنراتور بسیار ظریف هستند. در صورت نیاز به تغییر رنج، خیلی آهسته و با احتیاط کامل عمل کنید.

۴- دستگاه‌های الکترونیکی را زیر نور آفتاب و یا در مجاورت گرما قرار ندهید. حرارت سبب معیوب شدن دستگاه و کاهش عمر مفید آن می‌شود.

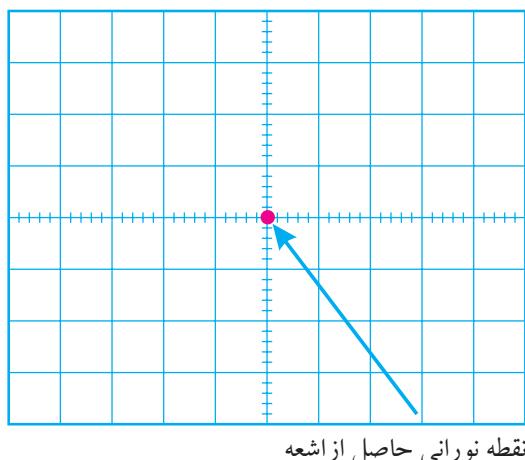


## ۱-۶ اسیلوسکوپ



شکل ۶-۲ 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 ۶-۳ 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.



شکل ۶-۳ صفحه‌ی حساس

در داخل حباب لامپ اشعه‌ی کاتدیک صفحات انحراف افقی و انحراف قائم قرار دارد. به این صفحات ولتاژهایی

اسیلوسکوپ دستگاهی است که برای مشاهده‌ی شکل موج و اندازه‌گیری دامنه و زمان تناب سیگنالهای متناوب به کار می‌رود. در شکل ۶-۱ یک نمونه اسیلوسکوپ نشان داده شده است.



شکل ۶-۱ یک نمونه اسیلوسکوپ

ساختمان اسیلوسکوپ از دو قسمت اصلی تشکیل می‌شود:

- لامپ اشعه‌ی کاتدیک
- مدارهای آماده سازی لامپ و سیگنال

### ۱-۶-۱ لامپ اشعه‌ی کاتدیک (CRT)

در شکل ۶-۲ 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.

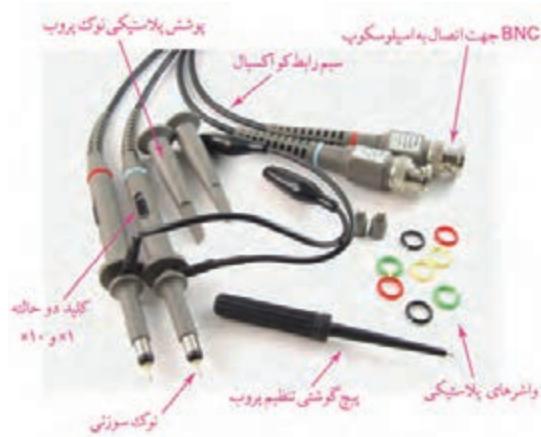
تفنگ الکترونی اشعه‌ی الکترونی را تولید و آن را به سمت صفحه‌ی حساس پرتاب می‌کند.

حباب لامپ، صفحه‌ی حساس را به تفنگ الکترونی متصل می‌کند و مسیر مناسبی را برای عبور اشعه و شتاب دادن به آن فراهم می‌کند.

جهت انحراف اشعه متصل می‌نمایند.

## پروب

برای اعمال سیگنال الکتریکی به اسیلوسکوپ از پروب استفاده می‌شود. در شکل ۶-۵ یک نمونه پروب رایج نشان داده شده است. سیم رابط پروب از جنس کابل کواکسیال است لذا می‌تواند میزان نویز (پارازیت) را به حداقل برساند. نوک پروب به صورت گیره‌ای فرنی است که می‌توان آن را به یک نقطه از مدار اتصال داد. اگر پوشش پلاستیکی نوک پروب را برداریم، نوک سوزنی آن ظاهر می‌شود که با توجه به نیاز از آن استفاده می‌شود.

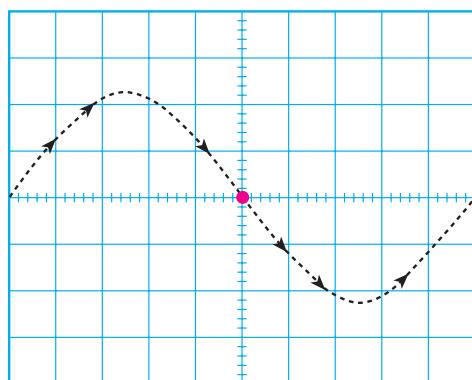


شکل ۶-۵ پروب و اجزای آن

## نحوه اتصال پروب BNC به اسیلوسکوپ

یک شیار مورب دارد که وقتی آن را به ورودی اسیلوسکوپ وصل کنیم و تقریباً به اندازه‌ی  $90^\circ$  بچرخانیم BNC کاملاً به اسیلوسکوپ متصل می‌شود، شکل ۶-۶.

همان‌طور که اشاره شد هنگامی که اشعه‌ی الکترونی به صفحه‌ی حساس برخورد می‌کند یک نقطه‌ی نورانی به وجود می‌آید. این نقطه توسط میدان‌های صفحات انحراف افقی و عمودی، در دو جهت عمودی و افقی به حرکت در می‌آید و شکل موج را به وجود می‌آورد. به عنوان مثال وقتی شکل موج سینوسی را روی صفحه‌ی حساس می‌بینیم باید مانند شکل ۶-۴ حرکت اشعه روی صفحه‌ی حساس نیز به صورت سینوسی باشد.



شکل ۶-۴ حرکت اشعه روی صفحه‌ی حساس

وقتی یک شکل موج سینوسی به اسیلوسکوپ اعمال کنیم، مسیر حرکت اشعه (نقطه‌ی نورانی) به صورت سینوسی است. اما چون حرکت اشعه سریع صورت می‌گیرد چشم انسان شکل موج را سینوسی پیوسته و کامل احساس می‌کند.

توجه داشته باشید که اسیلوسکوپ فقط ولتاژ DC و شکل موج‌های متناوب یعنی سیگنال‌هایی که سیکل‌های آن در فواصل منظم زمانی تکرار می‌شود را به صورت ثابت و پایدار نشان می‌دهد.

شکل ۶-۸ نحوهی تنظیم پروب را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۸ نحوهی تنظیم پروب



شکل ۶-۶ نحوهی اتصال BNC به اسیلوسکوپ

### نکته‌ی مهم:

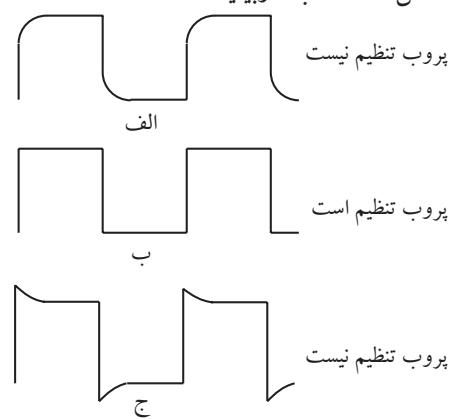
با استفاده از اسیلوسکوپ، علاوه بر مشاهده‌ی شکل موج، می‌توانیم مقدار دامنه‌ی سیگنال، فرکانس و اختلاف فاز را اندازه بگیریم.

### نکته‌ی اینمی: پیچ تنظیم پروب

را زیاد نظرخانید، 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  $1 \text{ KHz}$  و دامنه‌ی  $0/5$  یا  $1$  ولت است. در شکل ۶-۹ 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 ۶-۷-ب دقیقاً مربعی باشد. در غیر این صورت باید با یک پیچ گوشتی، خازن متغیر (تریمیر) روی پروب را تغییر دهیم تا شکل موج به صورت شکل ۶-۷-ب دریابیم.



شکل ۶-۷ تنظیم پروب

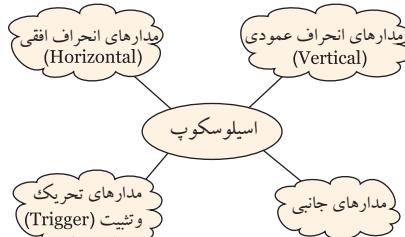
اگر کلید تبدیل  $\times 10$  و  $\times 1$  پروب، در حالت  $\times 10$  باشد، سیگنال ورودی به اندازه ده برابر تضعیف می‌شود و به مدار اسیلوسکوپ می‌رسد.

### ۶-۱-۳ کلیدها، ولوم‌ها و سلکتورهای اسیلوسکوپ

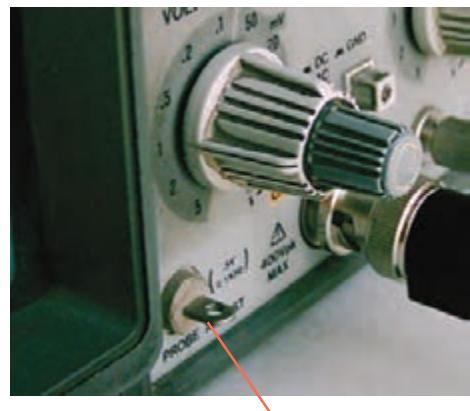
برای این که بتوان امواج را روی صفحه ای اسیلوسکوپ به نمایش درآورد، لازم است در داخل اسیلوسکوپ مدارهای خاصی در نظر گرفته شود. به طور کلی مدارهای داخلی دستگاه اسیلوسکوپ را می‌توان به چهار دسته‌ی زیر تقسیم کرد:

- مدارهای انحراف عمودی (vertical)
- مدارهای انحراف افقی (Horizontal)
- مدارهای تحریک یا Trigger
- مدارهای جانبی

برای هر یک از سامانه‌های ذکر شده روی صفحه ای جلویی اسیلوسکوپ کنترل‌هایی وجود دارد. کاربر توسط این کنترل‌ها می‌تواند تنظیم‌های موردنیاز را برای به دست آوردن شکل موج مناسب و دلخواه انجام دهد، شکل ۶-۱۱.



شکل ۶-۱۱ مدارهای موجود در اسیلوسکوپ

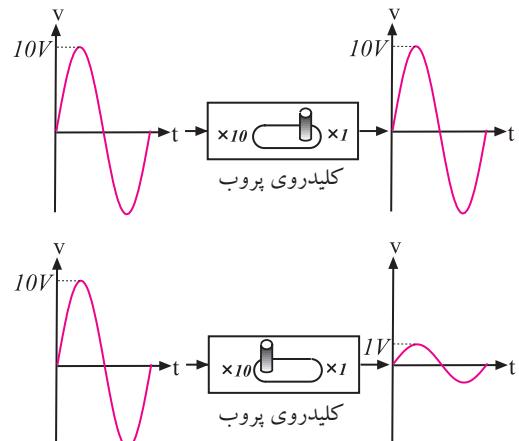


خروجی موج مربعی با فرکانس ۱KHz و ۰/۵ ولت

شکل ۶-۹ پایه‌ی خروجی مولد شکل مربعی

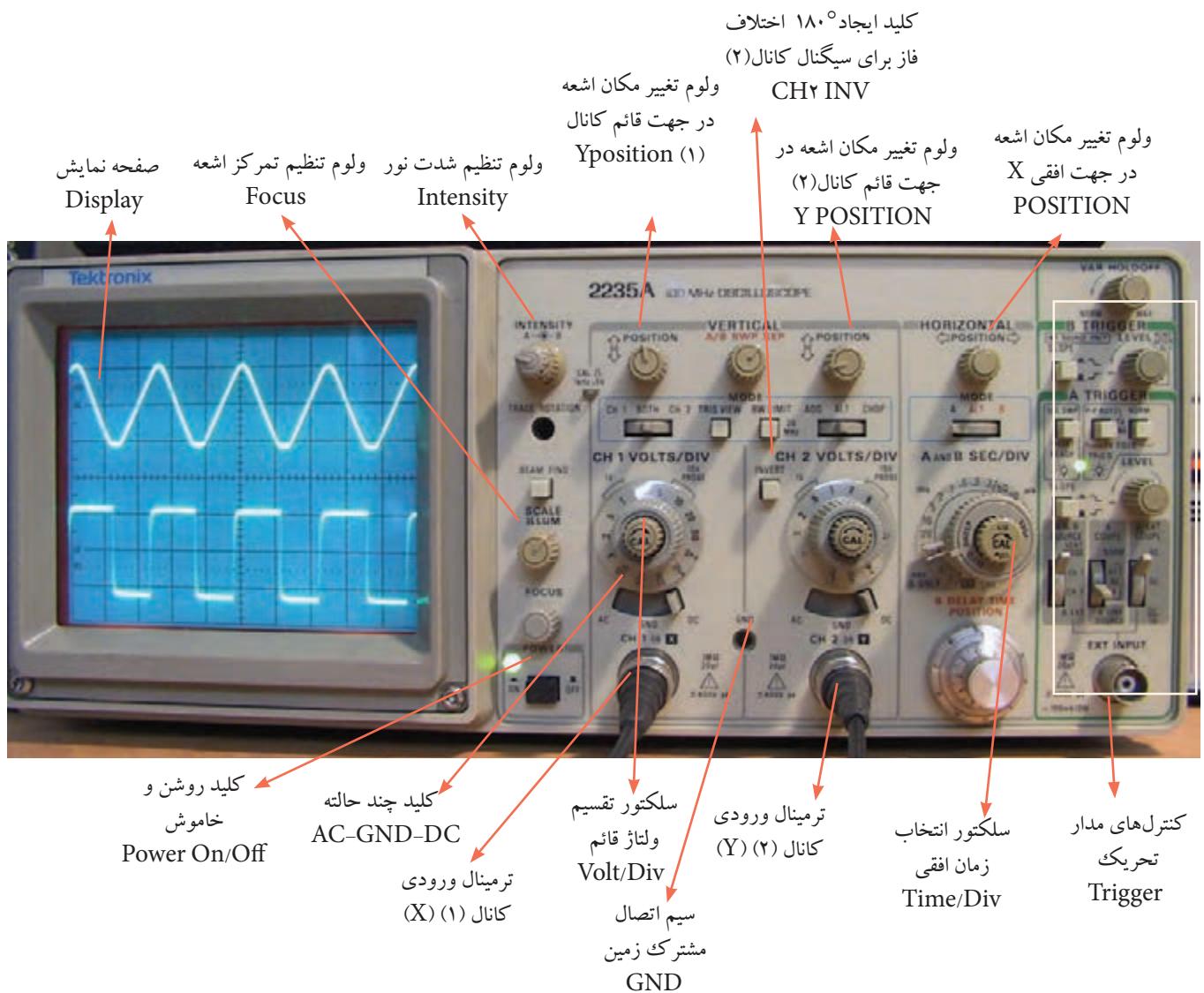
### نحوه استفاده از کلید دو حالتی $\times 10$ و $\times 1$

در روی پروب معمولاً یک کلید تبدیل  $\times 10$  و  $\times 1$  وجود دارد، شکل ۶-۱۰. اگر این کلید در حالت  $\times 1$  قرار گیرد، سیگنال مستقیماً و بدون تضعیف وارد اسیلوسکوپ می‌شود. در صورتی که کلید روی حالت  $\times 10$  گذاشته شود، سیگنال ورودی به میزان  $\frac{1}{10}$  برابر در مسیر پروب تضعیف می‌شود و سپس به مدار اسیلوسکوپ میرسد. به عبارتی دیگر، عملاً  $\frac{1}{10}$  سیگنال مورد آزمایش وارد مدار اسیلوسکوپ می‌شود.



شکل ۶-۱۰ کلید  $\times 10$  و  $\times 1$  پروب 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

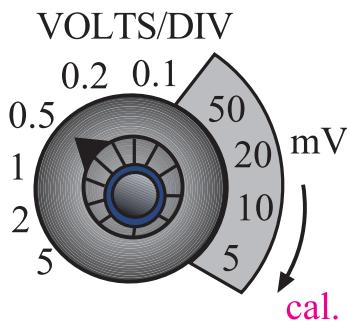
روی اسیلوسکوپ، کلید دیگری نیز مانند شکل ۱۳-۶ وجود دارد که دارای سه حالت DC، AC و GND است. اگر کلید در حالت AC باشد، فقط سیگنال متناوب (AC) وارد مدار اسیلوسکوپ می‌شود و از ورود مؤلفه DC و لتاژ جلوگیری می‌کند. در صورتی که کلید

**نکته:** متناسب با طراحی و سلیقه‌ی کارخانه‌ی سازنده، محل سلکتورها و کلیدها و ولوم‌ها جایه‌جا 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 نحوه استفاده از کلید

### سلکتور ولتاژ بر قسمت يا Volts/Div :

در صفحه‌ی جلوی اسیلوسکوپ (پانل اسیلوسکوپ) کلید سلکتوری به نام Volts/Div وجود دارد، شکل ۶-۱۵. 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.

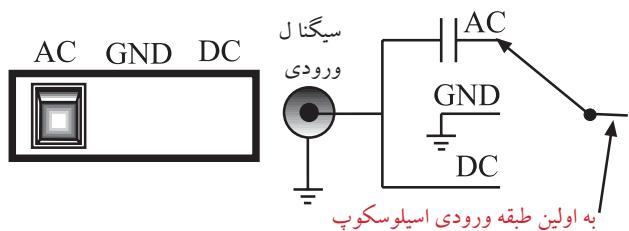


شکل ۶-۱۵ کلید سلکتور Volt/Div و نشانک آن

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 ۶-۱۶-الف نشانک کلید سلکتور به عدد ۲ اشاره کند یعنی در مقابل عدد ۲ قرار گیرد، به ازای اعمال ۲ ولت ولتاژ ورودی (AC یا DC)، 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. چنان چه مطابق شکل ۶-۱۶-ب، مقدار ولتاژ ورودی ۴ ولت باشد و نشانک کلید سلکتور Volts/Div روی عدد ۲ قرار گیرد.

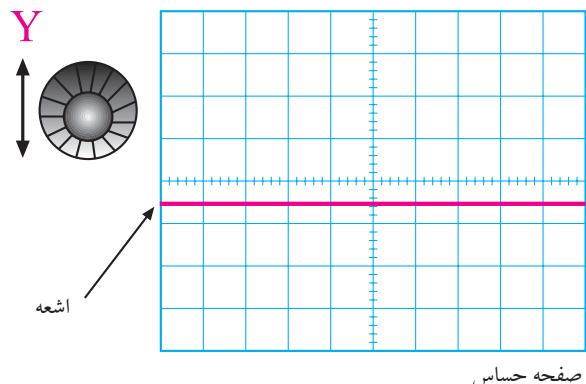
در حالت GND قرار گیرد، ارتباط ترمینال ورودی با مدار ورودی اسیلوسکوپ قطع می‌شود. یعنی ورودی اولین طبقه اسیلوسکوپ را به زمین اتصال می‌دهد. چنان‌چه کلید در حالت DC باشد ترکیب‌های مختلف سیگنال ورودی شامل ولتاژهای AC، DC یا ترکیبی از این دو، وارد مدار اسیلوسکوپ می‌شود.



شکل ۶-۱۳ 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 جایه‌جا کننده اشعه در جهت عمودی (Y) می‌توان طبق شکل ۶-۱۴ محل اشعه را تنظیم کرد. بهتر است مکان صفر درست در وسط صفحه حساس قرار گیرد.



شکل ۶-۱۴ تنظیم محل اشعه

با اندازه گیری میزان انحراف اشعه و عددی که نشانک کلید

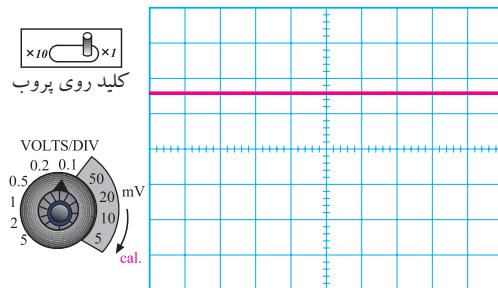
سلکتور Volts/Div به آن اشاره می کند، می توان مقدار ولتاژ داده

شده به ورودی اسیلوسکوپ را اندازه گرفت. به عنوان مثال در شکل

۱۸-۶ اشعه به اندازه ۱/۶ خانه منحرف شده است و نشانک کلید سلکتور

روی عدد ۱۰۰ mV قرار دارد. بنابراین ولتاژ داده شده به

ورودی اسیلوسکوپ برابر با  $1/6 \times 100 \text{ mV} = 16.66 \text{ mV}$  است.

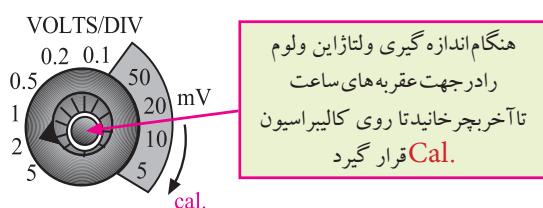


شکل ۱۸-۶ نحوه اندازه گیری ولتاژ DC

مقدار ولتاژ مجهول = عددی که نشانک کلید  $\times$  تعداد خانه های انحراف اشعه Volt/Div نشان می دهد

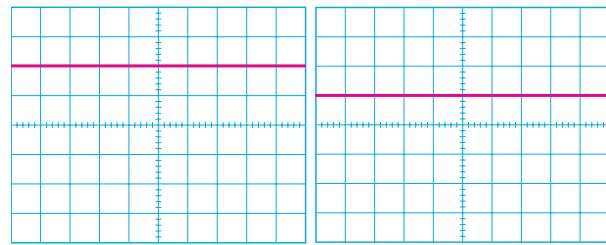
$$1/6 \times 100 \text{ mV} = 16.66 \text{ mV}$$

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 Calibrator (Cal) قرار گیرد. چنان چه ولوم از این حالت خارج شود مقدار اندازه گیری شده دقیق نخواهد بود.



شکل ۱۹-۶ ولوم Volt Variable

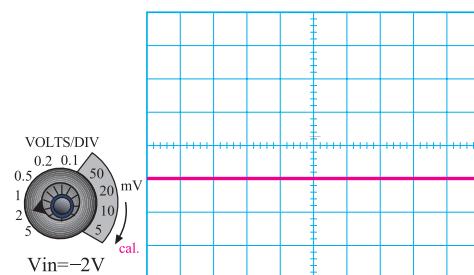
اشعه به اندازه دو خانه منحرف می شود.



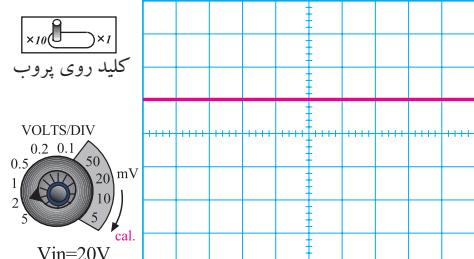
الف - نمایش ولتاژ ۲ ولت  
ب - نمایش ولتاژ ۴ ولت

شکل ۱۶-۶ کلید سلکتور Volts/Div

چنان چه 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  $\times 1$  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.



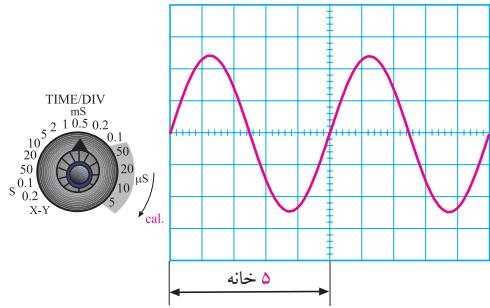
الف - نمایش ولتاژ -۲ ولت



ب - نمایش ولتاژ ۲۰ ولت

شکل ۱۷-۶ عملکرد سلکتور Volts/Div

## خواندن مقادیر زمان تناوب



شکل ۶-۲۱ نحوه اندازه گیری زمان تناوب

$$T = \text{تعداد خانه های پوشش داده} \times \text{زمان برای یک سیکل}$$

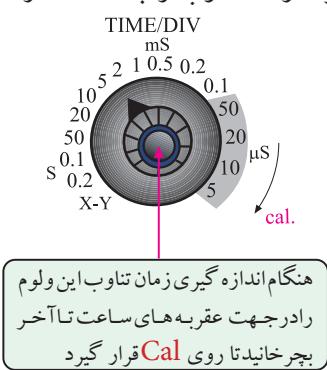
$$T = 5 \times 0.5 \text{ ms} = 2.5 \text{ ms}$$

برای به دست آوردن فرکانس کافی است که از رابطه زیر استفاده کنیم:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{2/5 \text{ ms}} = 40.0 \text{ Hz}$$

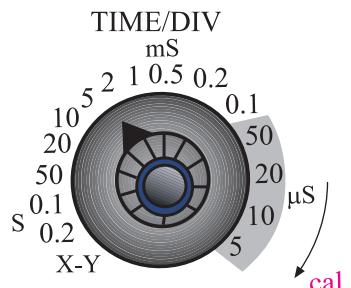
بنابراین با اسیلوسکوپ نمی توان به طور مستقیم فرکانس را اندازه گرفت. روی پانل اسیلوسکوپ ولوم دیگری به نام Time Variable وجود دارد. هنگام اندازه گیری زمان تناوب باید این ولوم را در جهت فلاش تا آخر بچرخانید تا نشانک آن در مقابل Cal قرار گیرد، شکل ۶-۲۲. در غیر این صورت نمی توان زمان تناوب را با دقیقت اندازه گرفت.



شکل ۶-۲۲ نحوه تنظیم ولوم Time Variable

## نحوه 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 می کند، مدت زمانی است که طول می کشد تا اشعه در جهت افقی مسیر یک خانه را طی کند. این کلید سلکتور برای اندازه گیری زمان تناوب شکل موج های متناوب به کار می رود. در شکل ۶-۲۰ این کلید سلکتور نشان داده شده است.



شکل ۶-۲۰ کلید سلکتور Time/Div

برای اندازه گیری زمان تناوب، تعداد خانه های یک سیکل کامل روی صفحه اسیلوسکوپ را در عددی که نشانک کلید سلکتور Time/Div به آن اشاره می کند ضرب می کنیم. برای مثال در شکل ۶-۲۱ نشانک کلید سلکتور Time/Div روی عدد ۰.۵ ms قرار دارد. چون بر روی صفحه حساس، یک سیکل کامل، ۵ خانه را می پوشاند بنابراین زمان تناوب موج ظاهر شده روی صفحه حساس برابر با  $T = 5 \times 0.5 = 2.5 \text{ ms}$  است.

## ۵- Chop: برای نمایش همزمان سیگنال‌هایی که

فرکانس آنها کمتر از ۱ KHz است و با استفاده از کلید Alt مشاهده‌ی آنها امکان پذیر نیست از کلید Chop استفاده می‌شود. در این حالت سیگنال کanal ۱ و سیگنال کanal ۲ به طور همزمان و به صورت شکل موج‌های بریده شده یا روی صفحه‌ی حساس نمایش داده می‌شوند، شکل ۶-۲۶.



شکل ۶-۲۶ استفاده از کلید Chop

## ۶- Dual: در بعضی از اسیلوسکوپ‌های جای کلید Alt

و، کلید Dual وجود دارد که هر دو سیگنال اعمالی به کanal ۱ و ۲ را به طور همزمان نشان می‌دهد، شکل ۶-۲۷.



شکل ۶-۲۷ کلید Dual

## ۷- ADD: با قرار دادن کلید در حالت ADD، دو سیگنال کanal ۱ و ۲ که روی صفحه‌ی حساس ظاهر شده‌اند با یکدیگر جمع لحظه‌ای می‌شوند، شکل ۶-۲۸.



شکل ۶-۲۸ کلید ADD

## ۸- DIFF: این کلید فقط در بعضی از اسیلوسکوپ‌های دو کanalه وجود دارد. در این حالت دو سیگنال کanal ۱ و کanal ۲ که روی صفحه‌ی حساس ظاهر شده‌اند از یکدیگر به طور لحظه‌ای تفريقي می‌شوند.

**توجه:** اسیلوسکوپ‌های ديجيتالي می‌توانند

به طور مستقيم فرکانس را نشان دهند.

در روی پانل اسیلوسکوپ کلید و ولوهای 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 کanal (CH1) روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌شود و کanal دوم (CH2) در حالت قطع قرار می‌گیرد. این کلید در شکل ۶-۲۳ نشان داده شده است.



شکل ۶-۲۳ کلید CH1

### ب- CH2: در صورتی که کلید MODE در حالت کanal ۲ (CH2) قرار گیرد، در اين شرایط فقط سیگنال اعمال شده به کanal ۲ روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌شود و کanal ۱ از مدار خارج می‌گردد، شکل ۶-۲۴.



شکل ۶-۲۴ کلید CH2

### ج- Alt: چنان‌چه فرکانس سیگنال‌های دو کanal بيشتر از ۱ KHz باشد می‌توانیم از کلید Alt برای نمایش همزمان سیگنال‌های کanal ۱ و ۲ استفاده کنیم، شکل ۶-۲۵.



شکل ۶-۲۵ کلید Alt برای نمایش همزمان دو سیگنال

## ولوم Level

با تغییر این ولوم می‌توان لحظه‌ی شروع موج از سمت چپ صفحه‌ی حساس را تعیین کرد. این ولوم می‌تواند 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 نقطه‌ی 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 Line.Trig و Ext.Trig را به خود اختصاص می‌دهد.

## توجه

چنانچه در اسیلوسکوپ حالت وجود ندارد، ابتدا کanal ۲ DIFF (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 کanal ۲

را ۱۸۰ درجه تغییر فاز می‌دهد، شکل ۶-۲۹.



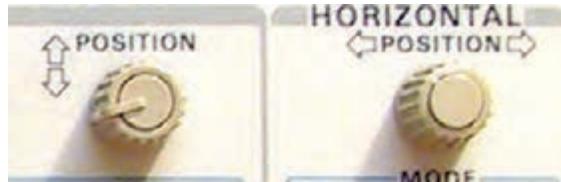
شکل ۶-۲۹ کلید CH۲INV

## 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.

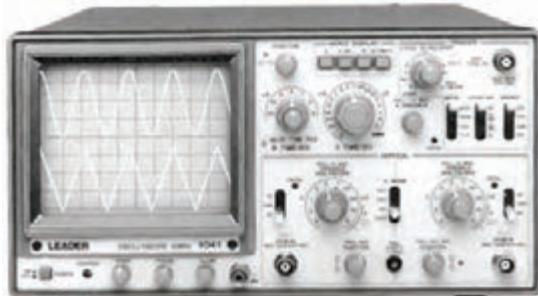
### قسمت افقی و عمودی (Position)

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، ۸ و ۱۰ 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 کanal دارند.

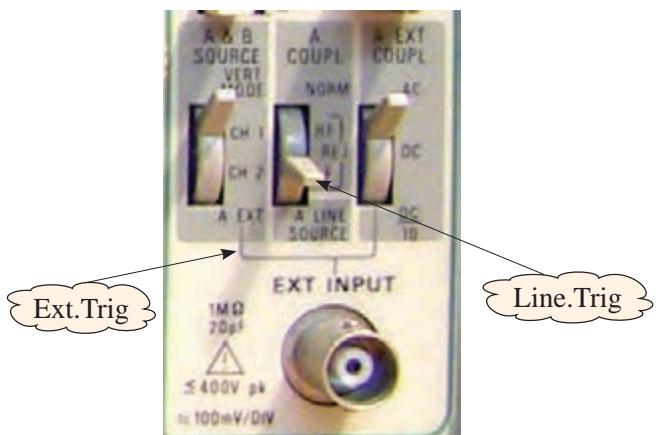


**با استفاده از این حالت کلید، می‌توانید Ext.Trig**

همزمانی موج ورودی و سیگنال داخلی اسیلوسکوپ را با منبع خارجی انجام دهید، شکل ۶-۳۲.

**با استفاده از این حالت کلید، می‌توانید Line.Trig**

برق شهر برای همزمانی استفاده کنید.



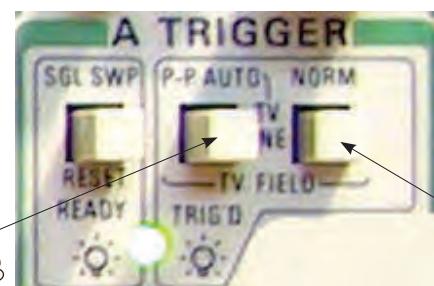
شکل ۶-۳۲ کلیدهای Ext.Trig و Line.Trig

**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

باشد، همواره محور افقی روی صفحه ظاهر می‌شود.

اگر کلید در حالت NORM قرار گیرد، زمانی سیگنال روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌شود که اولًاً سیگنال ورودی وجود داشته باشد، ثانیاً موج جاروب سنکرون باشد. در غیر این صورت هیچ شکل موجی روی صفحه‌ی حساس ظاهر نخواهد شد و در حالت عادی محور افقی نیز دیده نمی‌شود، شکل ۶-۳۳.



شکل ۶-۳۳ Auto/NORM

فصل ششم

## ۶-۲ آزمایش شماره (۱)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

### ۶-۲-۱ هدف آزمایش:

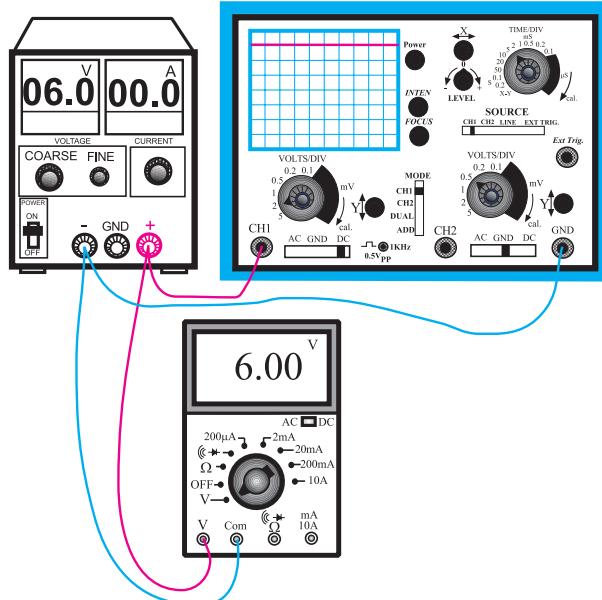
تنظیم اسیلوسکوپ و اندازه‌گیری ولتاژ DC با اسیلوسکوپ

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

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	اسیلوسکوپ دو کاناله	یک دستگاه
۲	منبع تغذیه ۰-۱۵V / 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

### ۶-۲-۳ مراحل اجرای آزمایش:

با استفاده از وسایل مورد نیاز مدار شکل ۶-۳۷ را بینندید.



شکل ۶-۳۷ مدار آزمایش

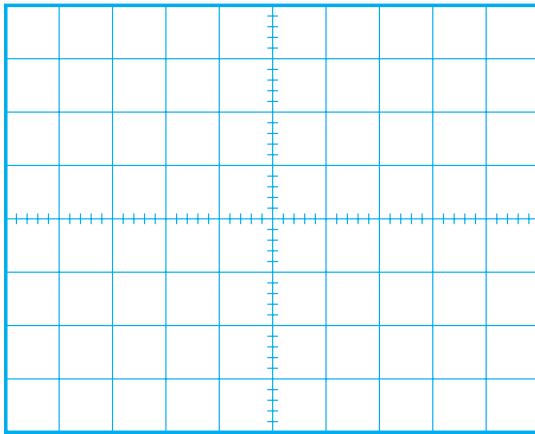
اسیلوسکوپ های چند کاناله می توانند چند موج را به طور همزمان نشان دهند. اسیلوسکوپ های مدرن امروزی به صورت دیجیتالی ساخته می شوند و سلکتورهای آنها نیز دیجیتالی هستند. در شکل ۶-۳۶ یک نمونه از اسیلوسکوپ دیجیتالی که روی صفحه‌ی آن شکل موج نشان داده شده است را ملاحظه می کنید.



شکل ۶-۳۶ اسیلوسکوپ دیجیتالی

### تحقیق کنید:

با جستجو در اینترنت و منابع دیگر کوچک ترین اسیلوسکوپ ساخته شده را بیابید و مشخصات آن را بنویسید.



شکل ۶-۳۸ شکل ولتاژ مشاهده شده روی صفحه‌ی حساس

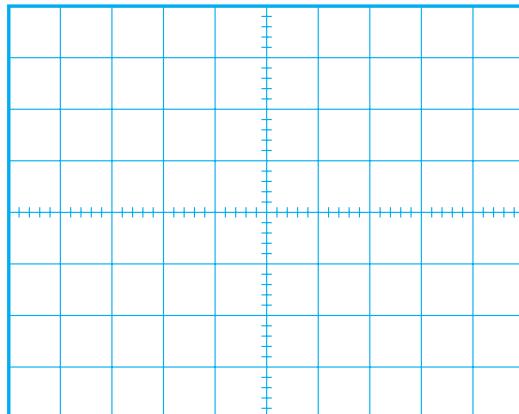
■ با توجه به موقعیت کلید Volt/Div ولتاژ DC را از روی نمودار شکل ۶-۳۸ محاسبه کنید و آن را با مقداری که ولت‌متر DC نشان می‌دهد، مقایسه کنید.

$$\text{مقدار ولتاژ DC} = \frac{\text{تعداد خانه‌های جایه جا شده}}{\text{اشعه در جهت عمودی}} \times \text{Volt/Div}$$

$$\text{مقدار ولتاژ DC} = \dots \times 2 \text{ Volt/Div} = \dots \text{ V}$$

$$\text{مقدار ولتاژی که ولت‌متر نشان می‌دهد.} = \dots \text{ V}$$

■ در شرایطی که منع 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 ۶-۳۹ رسم کنید.



شکل ۶-۳۹ 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 فوق العاده باریک باشد).

■ بعد از تنظیم اشعه از نظر نور و ضخامت، تنظیم‌های زیر را روی اسیلوسکوپ و کanal CH1 انجام دهید.

الف) کلید Mode را در حالت CH1 قرار دهید.

ب) کلید AC-GND-DC را در حالت GND قرار دهید.

ج) به کمک کلید جایه جا 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 به‌طوری که نشانک آن مقابل Cal قرار گیرد.

و) کلید Time/Div را روی ms/5 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 ۶-۳۸ رسم کنید.

د) کلید DC-GND-AC را در حالت GND بگذارید.

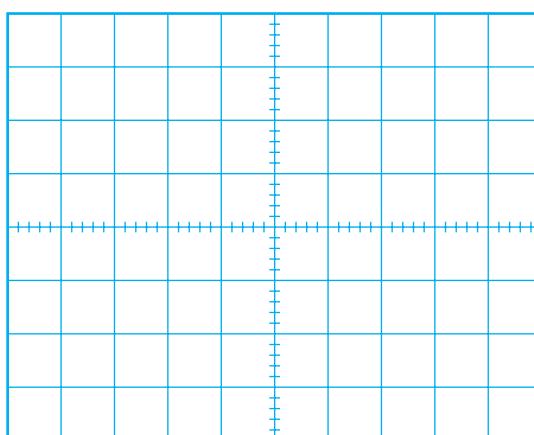
■ به کمک کلید جابه‌جا کننده اشعه در جهت عمودی، مکان صفر اشعه را در مرکز صفحه حساس تنظیم کنید.

■ کلید Volt Variable کانال CH2 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 صفحه حساس مشاهده کنید.

■ شکل موج ولتاژ را در نمودار شکل ۶-۴۱ رسم کنید.



شکل ۶-۴۱ شکل ولتاژ مشاهده شده روی صفحه حساس اسیلوسکوپ با استفاده از شکل ۶-۴۱ و روابط داده شده مقدار ولتاژ را محاسبه و با مقداری که ولت‌متر DC نشان می‌دهد مقایسه کنید.

$$\text{رنج کلید } \times \text{ Volt/Div} = \text{مقدار ولتاژ DC}$$

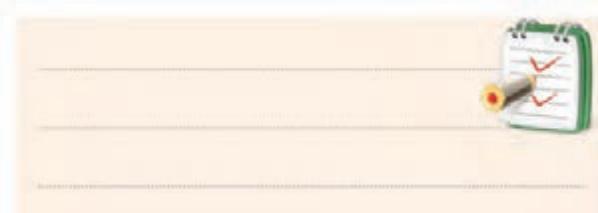
تعداد خانه‌های جابه‌جا شده  
اشعه در جهت عمودی

$$\text{مقدار ولتاژ DC} = \dots \times 2 \text{ Volt/Div} = \dots \text{ V}$$

$$\text{مقدار ولتاژی که ولت‌متر نشان می‌دهد.} = \dots \text{ V}$$

**سوال ۱:** چرا هنگامی که کلید AC-GND-DC را در حالت

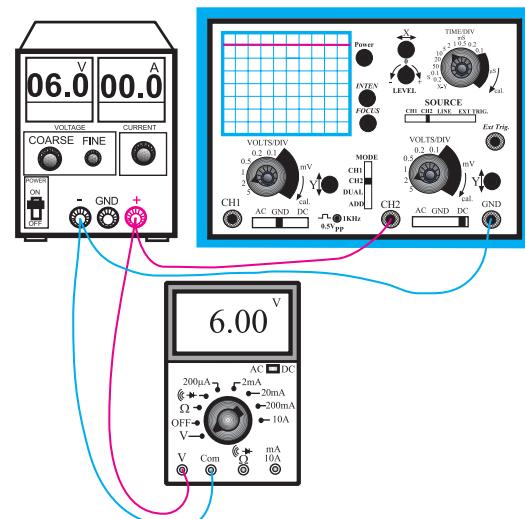
در حالت AC قرار دارد، اشعه در جهت عمودی جابه‌جا نمی‌شود؟ توضیح دهید.



در صورتی که نتوانستید به سوال فوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت‌های توضیح داده شده درباره ای اسیلوسکوپ مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

■ این بار ولتاژ منبع تغذیه را به ورودی کانال CH2

اسیلوسکوپ مطابق شکل ۶-۴۰ وصل کنید و تنظیمات زیر را انجام دهید.



شکل ۶-۴۰ مدار آزمایش

الف) کلید Mode را در حالت CH2 بگذارید.

ب) کلید Time/Div را روی عدد ۰/۵ms قرار دهید.

ج) کانال ۲ را روی عدد ۲ ولت قرار دهید.

## فانکشن ژنراتور (Function Generator)-مولد

سیگنال‌های مختلف)

### ۱-۳-۶ سیگنال ژنراتور صوی

این دستگاه شکل موجی سینوسی و مربوعی 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 ۶-۴۲ دو نمونه سیگنال ژنراتور AF نشان داده شده است.



شکل ۶-۴۲ دو نمونه سیگنال ژنراتور صوتی

برای تنظیم فرکانس، باید عددی که عقربه یا نشانگک نشان می‌دهد را در حوزه‌ی کار (رنج) کلید سلکتور که می‌تواند ضرایبی مانند  $1 \times$  یا  $10 \times$  یا  $100 \times$  یا  $1K \times$  داشته باشد ضرب کنیم و فرکانس خروجی را به دست آوریم. برای مثال در شکل ۶-۴۳ سیگنال ژنراتور، فرکانس  $290 \text{ Hz} = 290 \times 100 \times 2/9$  را تولید می‌کند.

## ۶-۲ نتایج آزمایش :

آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.



در محیط‌های مختلف به خصوص محیط‌های کارگاهی تا حد امکان از نور طبیعی استفاده کنید و همیشه جباب لامپ‌ها و سطوح انعکاس‌دهنده‌ی نور را تمیز نگهدارید.

## ۳-۶ مولدهای سیگنال (signal Generators)

دستگاه‌های مولد سیگنال، دستگاه‌هایی هستند که می‌توانند ولتاژ‌های متناوب مانند سینوسی و مربوعی را با فرکانس و دامنه‌ی قابل تنظیم تولید کنند. دستگاه‌های مولد سیگنال به سه دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند:

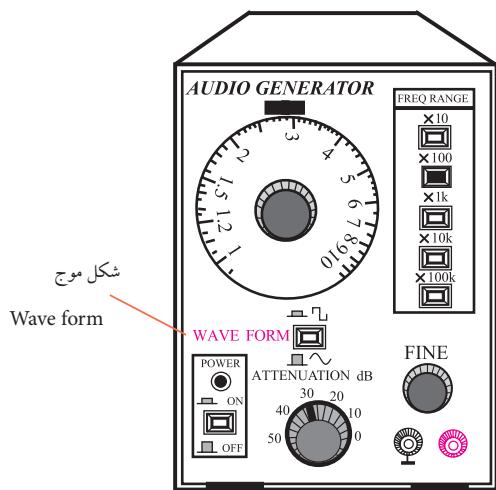
- سیگنال ژنراتور صوتی (Audio Frequency)-مولد سیگنال صوتی)
- سیگنال ژنراتور رادیویی (Radio Frequency)-مولد سیگنال رادیویی)

سیگنال ژنراتور رادیویی (Radio Frequency)-مولد

سیگنال رادیویی)

Wave Form کلید دو حالتی دیگری به نام

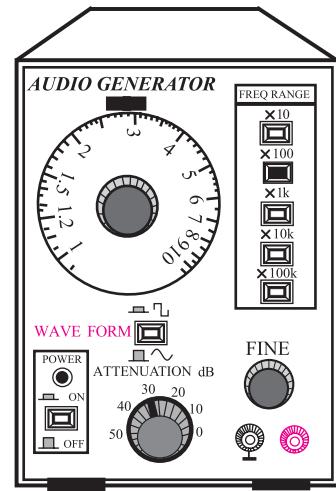
(شکل موج) روی سیگنال ژنراتورهای صوتی وجود دارد که با تنظیم آن می‌توان موج مربعی یا سینوسی را از ترمینال خروجی دستگاه دریافت کرد. این کلید دو حالت در شکل ۶-۴۵ نشان داده شده است.



شکل ۶-۴۵ کلید دو حالتی Wave form

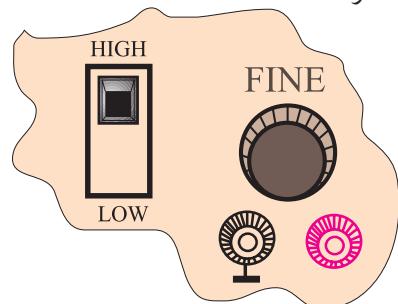
### ۶-۳-۲ سیگنال ژنراتور رادیویی

این سیگنال ژنراتور فقط شکل موج سینوسی تولید می‌کند. دامنه‌ی سیگنال تولیدی این دستگاه معمولاً حداقل ۱۰ ولت است. در دستگاه‌های معمولی محدوده‌ی فرکانس سیگنال تولیدی تقریباً بین ۱۰۰ KHz تا ۱۵۰ MHz است. در شکل ۶-۴۶ یک نمونه‌ی سیگنال ژنراتور رادیویی نشان داده شده است. نحوه‌ی تنظیم دامنه و فرکانس خروجی این سیگنال ژنراتور شبیه سیگنال ژنراتور صوتی است.



شکل ۶-۴۳ سیگنال ژنراتور با سیگنال ۲۹۰ هرتز

برای تنظیم دامنه، ولومی با نام Fine روی صفحه‌ی جلویی سیگنال ژنراتور وجود دارد. با تغییر این ولوم می‌توان دامنه‌ی شکل موج خروجی را از صفر تا ماکریم تغییر داد. علاوه بر ولوم، یک عدد کلید با حالت‌های Low و High نیز روی دستگاه سیگنال ژنراتور قرار دارد. در حالت High داکثر دامنه‌ی خروجی شکل موج را می‌توانید از دستگاه دریافت کنید. در حالت Low معمولاً دامنه ۱۰ تا ۱۰۰ برابر ضعیف می‌شود. در شکل ۶-۴۴ کلید Low-High-Fine نشان داده است. در بعضی از سیگنال ژنراتورها به جای کلید Low-High-Fine دو یا چند حالتی مانند ۱×۰۱ وجود دارد.



شکل ۶-۴۴ قسمتی از پانل سیگنال ژنراتور

## نحوهی کار با فانکشن ژنراتور

همان طور که اشاره شد روی فانکشن ژنراتور کلیدها، سلکتورها و ولوم های فراوانی وجود دارد، که تعدادی از آنها کاربرد عمومی دارند و در کلیهی فانکشن ژنراتورها مشترک هستند. کلیدها، سلکتورها و ولوم ها در موارد زیر به کار می روند:

۱- تنظیم دامنه

۲- تنظیم فرکانس

۳- انتخاب شکل موج

۴- ترمینال های ورودی و خروجی

در شکل ۶-۴۸ یک نمونه دستگاه فانکشن ژنراتور به همراه مشخصات کلیدها، ولوم ها 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 می تواند فرکانس های خروجی دستگاه را نشان دهد. هم چنین از طریق ترمینال ورودی INPUT می توانید، فرکانس های مربوط به مدار مورد آزمایش را اندازه بگیرید.



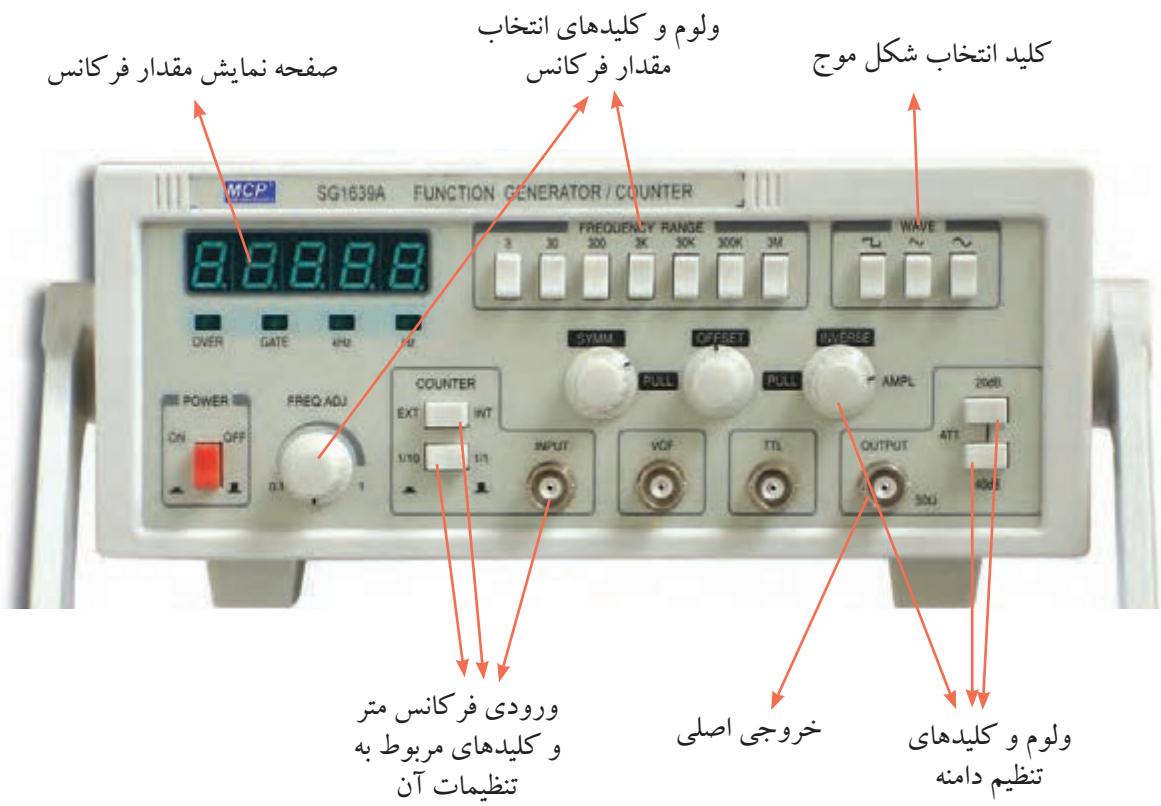
شکل ۶-۴۶ یک نمونه سیگنال ژنراتور رادیویی

## ۳-۳-۶ فانکشن ژنراتور

این دستگاه شکل موج های سینوسی، مربعی، مثلثی و پالس تولید می کند. محدوده فرکانس تولیدی این نوع سیگنال ژنراتورها معمولاً بین ۱۰۰ هرتز تا ۱ مگاهرتز است. بعضی از فانکشن ژنراتورها تا فرکانس ۲ MHz نیز تولید می کنند. دامنه سیگنال های تولیدی خروجی فانکشن ژنراتورها معمولاً به ۱۰ ولت می رسد. در شکل ۶-۴۷ یک نمونهی فانکشن ژنراتور نشان داده شده است. نحوهی تنظیم فرکانس و دامنه فانکشن ژنراتورها مانند سیگنال ژنراتور صوتی است. برای تعیین نوع شکل موج خروجی، معمولاً روی صفحهی دستگاه کلیدهای فشاری تعییه می شود. 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 ۶-۴۸ یک نمونه فانکشن ژنراتور

### توجه

روی دستگاه فانکشن ژنراتور دکمه‌ها و ترمینال‌های ویژه‌ی دیگری نیز وجود دارد که برای کاربردهای خاص است.



### توجه

کلیدهای  $20\text{ dB}$  دسی بل و  $-10\text{ dB}$  دسی بل) میزان تقویت و تضعیف دامنه‌ی سیگنال را برعهده دارند. با این کلیدها می‌توانید دامنه‌ی سیگنال ورودی را با ضریب  $20\text{ dB}$  تقویت و یا با ضریب  $-10\text{ dB}$  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.

- فرکانس فانکشن ژنراتور را روی ۱ KHz تنظیم کنید.
- تنظیم‌های 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 ولوم‌های INTEN و FOCUS شدت نور اشعه و ضخامت آن را در حد مطلوب تنظیم کنید.
  - ه) ولوم Time Variable را در جهت عقربه‌های 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 عقربه‌های ساعت تا آخر بچرخانید.
  - ح) کلید AC-GND-DC کانال یک را روی حالت قرار دهید و مکان صفر اشعه را در مرکز صفحهٔ GND 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 دامنهٔ شکل موج سینوسی روی صفحهٔ حساس حدود سه خانه را در برابر بگیرد.
- شکل موج روی صفحهٔ حساس را در نمودار شکل

## ۶-۴ آزمایش شمارهٔ (۲)

زمان اجرا: ۶ ساعت آموزشی

### ۶-۴-۱ هدف آزمایش:

مشاهده و اندازه‌گیری دامنه و زمان تناوب شکل موج

ولتاژ خروجی مربعی و سینوسی در فانکشن ژنراتور

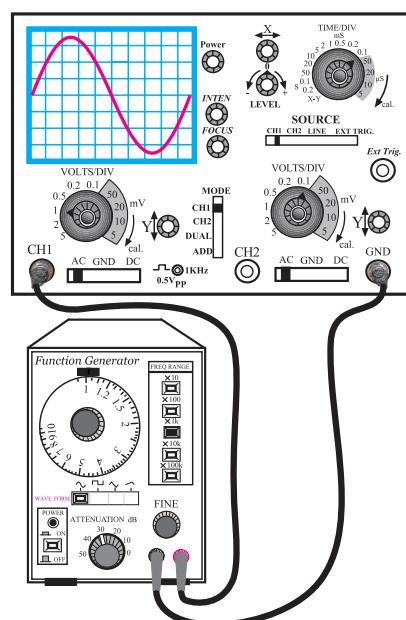
### ۶-۴-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	اسیلوسکوپ دو کanalه	یک دستگاه
۲	فانکشن ژنراتور	یک دستگاه
۳	سیم رابط	به مقدار کافی

### ۶-۴-۳ مراحل اجرای آزمایش:

با استفاده از وسایل و تجهیزات مورد نیاز مدار شکل

۶-۴۹ را بینندید.



شکل ۶-۴۹ مدار آزمایش

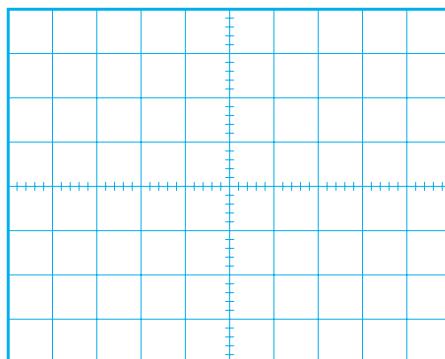
■ فرکانس شکل موج سینوسی را به دست آورید.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{.....} = ..... \text{Hz}$$

■ با توجه به مقدار دامنهٔ شکل موج، مقدار مؤثر موج سینوسی را محاسبه کنید.

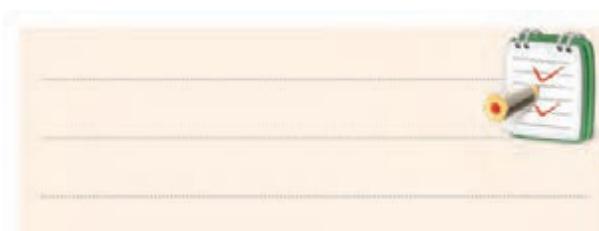
$$V_e = ..... V$$

■ کلید AC-GND-DC را در حالت DC قرار دهید و شکل موج نشان داده شده را در نمودار شکل ۶-۵۱ رسم کنید.

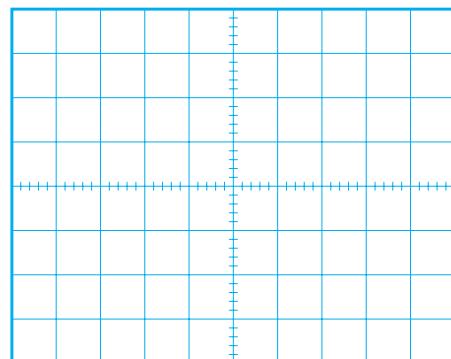


شکل ۶-۵۱ شکل موج در حالتی که کلید AC-GND-DC را در حالت AC است.

**سوال ۲:** چرا در حالتی که کلید AC را در دارد شکل موج های سینوسی روی حالت DC و یا DC قرار دارد تفاوتی ندارند؟ توضیح دهید.



■ 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 را در حالت DC است.

■ با استفاده از شکل موج ترسیم شده، دامنهٔ شکل موج سینوسی قابل محاسبه است.

$$\text{رنج کلید} = \frac{\text{تعداد خانه‌هایی که دامنه دامنهٔ شکل}}{\text{موچ را در بر گرفته‌اند}} \times \text{Volt/Div}$$

$$= \text{دامنه شکل موج} \times 1 \text{ Volt/Div} \\ = \text{دامنه شکل موج} V$$

■ با استفاده از شکل موج ترسیم شده در شکل ۶-۵۰ زمان تناوب شکل موج سینوسی به روش زیر قابل محاسبه است.

$$\text{رنج کلید} = \frac{\text{تعداد خانه‌هایی که یک زمان تناوب}}{\text{سیکل کامل را در بر گرفته‌اند}} \times \text{Time/Div}$$

$$T = ..... \times 10^{-3}$$

$$T = ..... S$$

■ با استفاده از شکل موج ترسیم شده در شکل ۶-۵۳ زمان تناوب شکل موج را محاسبه کنید.

$$\text{تعداد خانه‌هایی که رنج کلید} \times \text{یک سیکل کامل را} = \text{زمان تناوب T}$$

Time/Div  
در برگرفته‌اند

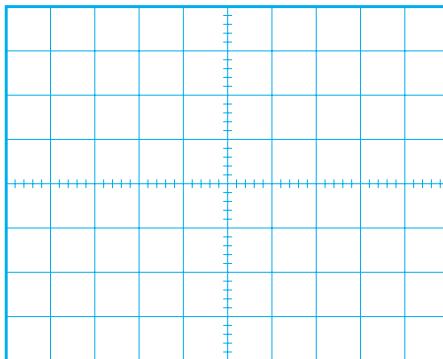
$$T = ..... \times 0.1 \text{ ms}$$

$$T = ..... \text{ ms}$$

■ فرکانس شکل موج مربعی را محاسبه کنید.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{.....} = ..... \text{ Hz}$$

■ با توجه به تنظیم‌های فوق، کلید AC-GND-DC 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.

**سوال ۳:** آیا در حالتی که کلید AC-GND-DC روی حالت AC و DC قرار می‌گیرد شکل موج نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس جایه‌جا می‌شود؟ توضیح دهید.

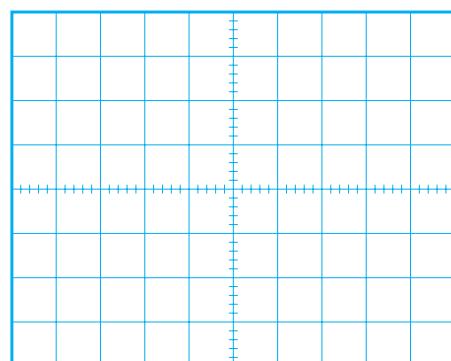
در صورتی که نتوانستید به سوال فوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت‌های توضیح داده شده درباره اسیلوسکوپ مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

■ کلید AC-GND-DC را در حالت 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.

$$\text{رنج کلید} \times \text{تعداد خانه‌هایی که دامنه شکل} = \text{موج} \quad \text{را در برگرفته‌اند} \quad \text{Volt/Div}$$

$$Vm = Vp = ..... \times 1 \text{ Volt/Div}$$

$$Vm = Vp = ..... \text{ V}$$

#### ۴-۶ نتایج آزمایش :

آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.



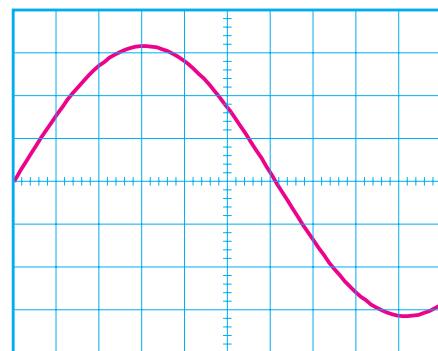
در صورتی که نتوانستید به سوال فوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت‌های توضیح داده شده درباره‌ی اسیلوسکوپ مراجعه و مطالب را مجددا مرور کنید.



## آزمون پایانی فصل (۲)

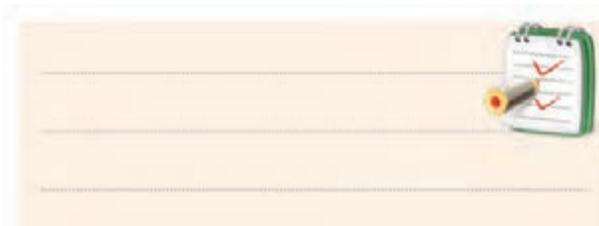


۱- فرکانس موج سینوسی نشان داده شده در شکل ۶-۵۴ چند هرتز است؟

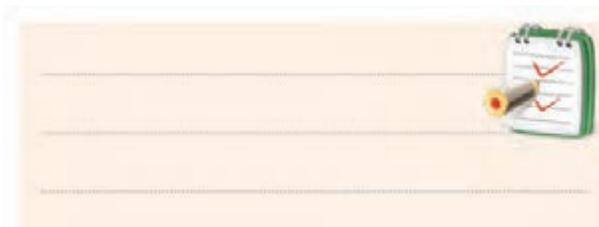


شکل ۶-۵۴

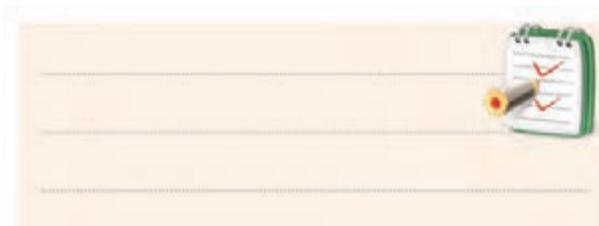
- ۳- برای مشاهده شکل موج متناوب مانند شکل ۶-۵۵ روی صفحه ای اسیلوسکوپ دو کanal، چه تنظیم هایی باید انجام شود؟



- ۴- چرا در اسیلوسکوپ باید کنترل های مربوط به هر کanal را به طور جداگانه تنظیم کنیم؟

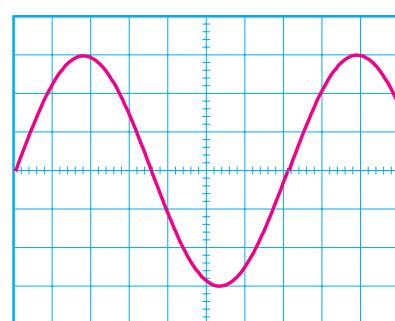


- ۵- یک لامپ اشعه کاتدیک از چند قسمت تشکیل شده است؟ نام ببرید.



- ۶- چرا وقتی یک ولتاژ DC را به اسیلوسکوپ وصل می کنیم فقط یک خط مستقیم روی صفحه حساس ظاهر می شود؟ شرح دهید.

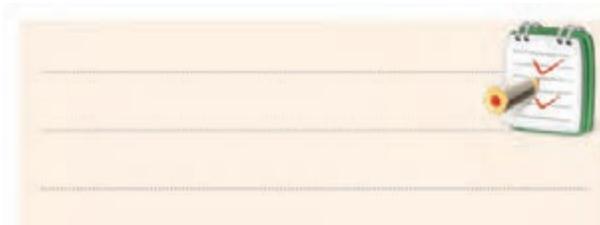
۲- در شکل موج نشان داده شده در شکل ۶-۵۵ مقدار موثر شکل موج نشان داده شده روی صفحه حساس چند ولت است؟



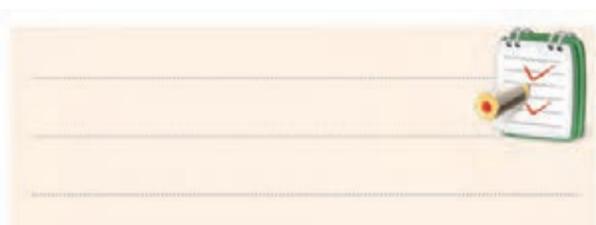
VOLTS/DIV=5V/DIV  
TIME/DIV=10ms

شکل ۶-۵۵

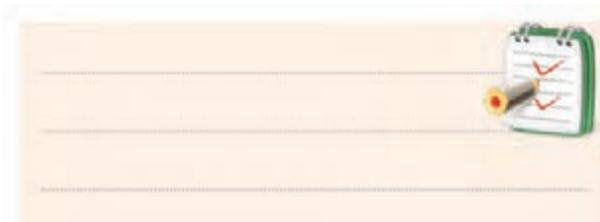
۱۰- انواع مولد سیگنال را نام ببرید، چه سیگنال‌هایی توسط این مولدها تولید می‌شود؟



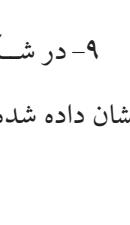
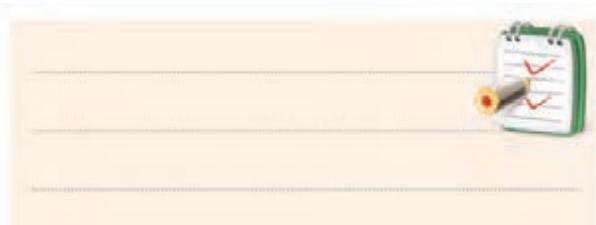
۷- کاربرد کلید AC-GND-DC را شرح دهید.



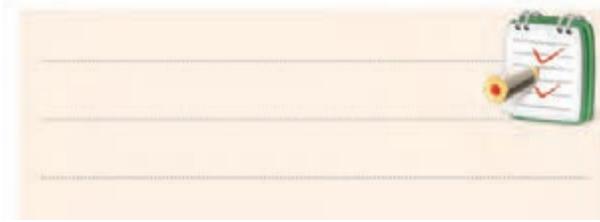
۱۱- تفاوت سیگنال ژنراتور صوتی (AF) و سیگنال ژنراتور رادیویی (RF) را به طور خلاصه بنویسید.



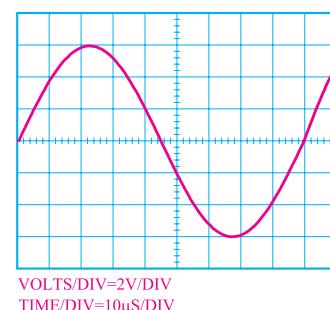
۸- چگونگی اندازه‌گیری مقدار موثر موج سینوسی توسط اسیلوسکوپ را شرح دهید.



۱۲- فاز و اختلاف فاز در شکل موج‌های سینوسی را توضیح دهید.



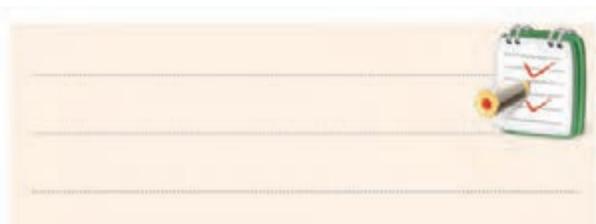
۱۳- وظیفه‌ی پروب را در اسیلوسکوپ شرح دهید.



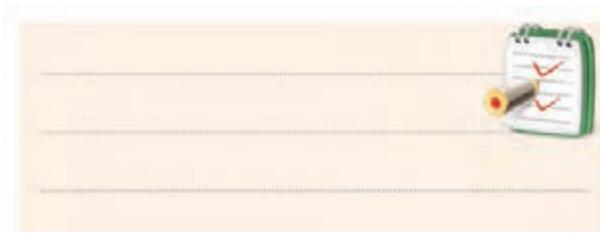
شکل ۶-۵۶

۱۴- جریانی که در سیم‌های برق شهر جاری است از نوع ..... است؟

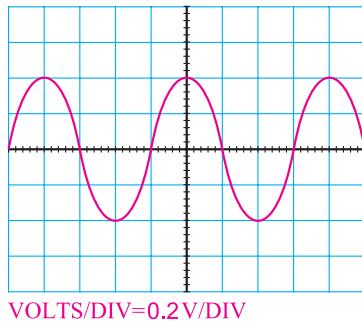
- AC       DC       الف       ب)



۱۵- کلیدهای  $\times 10$  و  $\times 1$  بر روی پرورب چه کاربردی دارند؟

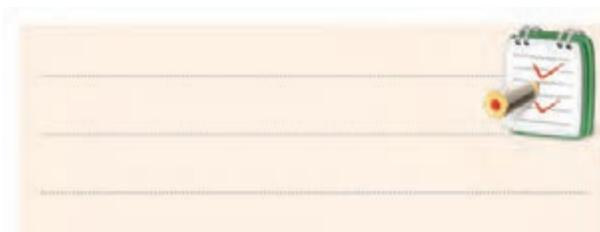


- ۲۰- در شکل ۶-۵۷ مقدار مؤثر سیگنال روی صفحه حساس اسیلوسکوپ تقریباً چند میلی ولت است؟
- (الف) ۴۰۰      (ب) ۲۸۲      (ج) ۸۰۰      (د) ۵۷۰



شکل ۶-۵۷

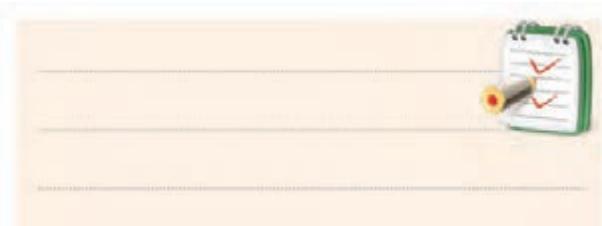
- ۲۱- برای مشاهده همزمان دو شکل موج متناوب بر روی صفحه حساس، اسیلوسکوپ چگونه باید تنظیم شود؟



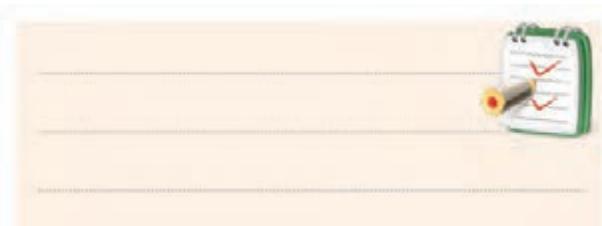
- ۲۲- پاسخهای صحیح ستون چپ را به ستون سمت راست اتصال دهید.

نمایش دو موج به طور همزمان در فرکانس پایین	Level
نمایش دو موج به طور همزمان در فرکانس بالا	ADD
جمع لحظه‌ای سیگنال‌های کانال ۱ و کانال ۲	Alt
تفريق لحظه‌ای سیگنال‌های کانال ۱ و کانال ۲	Line Trig
تعیین لحظه‌ی شروع موج از سمت چپ صفحه حساس	Chop
استفاده از برق شهر برای ایجاد همزمانی	DIFF

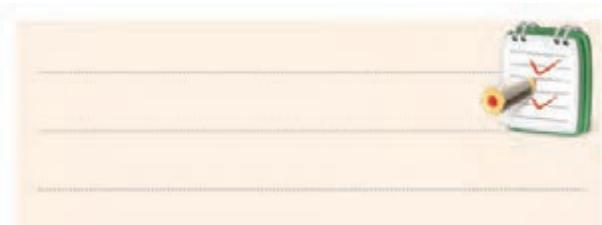
۱۶- وظیفه‌ی کلیدهای CH2INV، chop، Alt و Level را بر روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ توضیح دهید.



- ۱۷- تفاوت سیگنال ژنراتور صوتی با فانکشن ژنراتور را به طور خلاصه شرح دهید.



- ۱۸- برای اندازه‌گیری ولتاژ DC با اسیلوسکوپ چه تنظیمهایی را باید روی اسیلوسکوپ انجام دهید؟



- ۱۹- آیا کانال‌های CH1 و CH2 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:



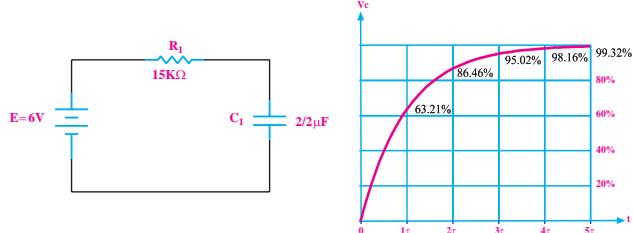
- ۱- ساختمان داخلی خازن را شرح دهد.
- ۲- ظرفیت خازن و عوامل مؤثر در آن را شرح دهد.
- ۳- شارژ و دشارژ خازن در جریان مستقیم را شرح دهد.
- ۴- رابطه‌ی بین بار الکتریکی ذخیره شده و ولتاژ دو سر خازن را شرح دهد.
- ۵- انرژی ذخیره شده در خازن را محاسبه کند.
- ۶- ثابت زمانی را در یک مدار RC شرح دهد.
- ۷- ثابت 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 اهمتر 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 کند.
- 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 از آن 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.
- ۲۸- ساعت آموزش

ساعت آموزش			توانایی شماره
جمع	عملی	نظری	
۲۸	۱۶	۱۲	۷

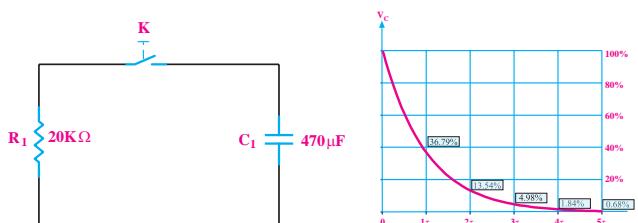
## پیش آزمون (۷)



- ۴- در شکل زیر با توجه به منحنی شارژ خازن بعد از ۳ ثابت زمانی ولتاژ دو سر خازن چند ولت می شود؟



- 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 می شود؟



- ۶- کدام گزینه‌ی زیر صحیح است؟

$$Q = \frac{V}{C} \quad \text{(ب)}$$

$$Q = \frac{C}{V} \quad \text{(د)}$$

$$V = \frac{C}{Q} \quad \text{(الف)}$$

$$V = \frac{Q}{C} \quad \text{(ج)}$$

- 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.

ب) بیشتر

الف) کمتر

- ۹- در شکل زیر اگر  $\cos \varphi = 0.5$  باشد مقدار Z چند اهم است؟

- ۱- ظرفیت خازن با سطح صفحات خازن نسبت ..... و با فاصله‌ی بین دو صفحه نسبت ..... دارد.

الف) معکوس-مستقیم

ج) مستقیم-معکوس

- ۲- چرا در کنار پایه‌ی بعضی از خازن‌ها علامت مثبت و منفی می‌گذارند؟



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؟



الف) ۳۳۰۰۰ nF

ب) ۳۳PF

د) ۳۳Pf

الف) ۳۳۳PF

ج) ۳۳nF

د) ۳۳PF

الف) ۳۳PF

ب) ۳۳nF

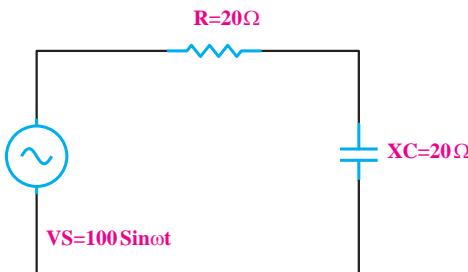
ج) ۳۳PF

۱۴- در شکل زیر امپدانس مدار تقریباً چند اهم است؟

ب) ۴۰

الف) ۱۴

د) بی‌نهایت



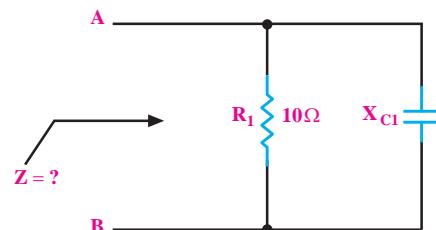
۲۸)

ج)

الف) ۱۰      ب)  $\sqrt{10}$

د)  $\sqrt{5}$

ج) ۵



۱۰- به حداقل میزان تغییر ظرفیت خازن به ازای تغییر

یک درجه حرارت ترانس می‌گویند.

غلط

صحیح

۱۱- مقدار ظرفیت خازن معادل  $n$  خازن مساوی که به

طور سری قرار گیرند از رابطه‌ی ..... قابل محاسبه است.

$$\text{الف) } C_T = nc \quad \text{ب) } C_T = \frac{C}{n}$$

۱۲- در مدار RC موازی جریان موثر کل مدار از ولتاژ

کل مدار ..... است.

جلوتر  عقب‌تر

۱۳- پاسخ‌های صحیح ستون سمت چپ را به ستون سمت

راست اتصال دهید.

● عامل مشترک جریان RC سری

● عامل مشترک ولتاژ

$$\cos\phi = \frac{R}{Z} \quad \bullet$$

$$\cos\phi = \frac{Z}{R} \quad \bullet$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2} \quad \bullet$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_c^2} \quad \bullet$$

موازی RC

## ۱-۷ ساختمان داخلی 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، نانوفاراد و پیکو فاراد استفاده می‌شود.

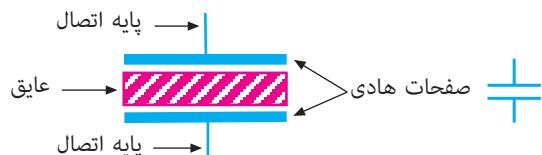
جدول ۱-۷ واحدهای کوچک‌تر خازن و ضرایب آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۷ واحدهای ظرفیت خازن

واحد	حروف 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	$10^{-12} F$	

ساختمان داخلی خازن از دو صفحه‌ی هادی که بین آن‌ها عایق قرار دارد تشکیل می‌شود.

به صفحات هادی، جوشن نیز گفته می‌شود. در شکل ۱-۷، علامت قرار دادی و ساختمان داخلی خازن در حالت کلی نشان داده شده است.



الف) علامت قراردادی خازن

ب) ساختمان داخلی خازن

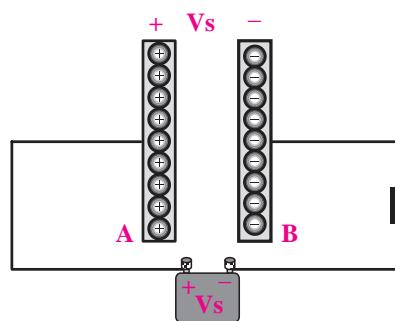
شکل ۱-۷ ساختمان داخلی و علامت قرار دادی خازن همان‌طور که از شکل ۱-۷ مشاهده می‌شود خازن از دو قسمت اصلی تشکیل شده است.

### الف-صفحات هادی

### ب-ماده‌ی عایق (دیالکتریک)

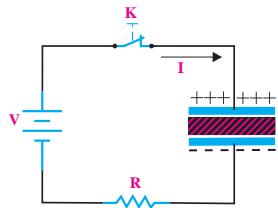
## ۲-۲ مفهوم ظرفیت

در صورتی که مانند شکل ۲-۲ 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. بهمین دلیل در مدارهای الکتریکی از خازن به منظور ذخیره‌ی انرژی الکتریکی استفاده می‌شود.



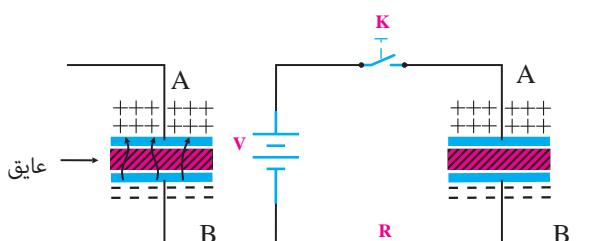
شکل ۲-۲ ذخیره‌ی بار الکتریکی خازن

بستگی به ظرفیت خازن و ولتاژ منبع دارد. همان‌طور که در شکل ۷-۳ ملاحظه می‌شود، زمانی که کلید بسته می‌شود، در اثر عبور جریان، ذخیره‌ی بارهای الکتریکی در صفحات خازن شروع می‌شود. با تداوم ذخیره‌ی بار الکتریکی در خازن ولتاژ بین صفحات خازن شروع به افزایش و جریان مدار شروع به کاهش می‌کند، این روند ادامه می‌یابد تا ولتاژ دو سر خازن برابر با ولتاژ منبع و جریان مدار صفر می‌شود. در این حالت می‌گویند خازن به طور کامل شارژ شده است.



شکل ۷-۳ نحوه‌ی شارژ خازن

همان‌طور که در شکل ۷-۴ می‌بینید اگر خازن از منع جدا شود تا مدتی در دو سر آن ولتاژ وجود دارد یعنی انرژی ذخیره شده را در خود نگه می‌دارد. از طرفی چون مقاومت عایق خازن بی‌نهایت نیست (عایق مطلق نیست)، به مرور زمان، الکترون‌ها از طریق عایق از صفحه‌ی B به طرف صفحه‌ی A حرکت می‌کنند و خازن را تخلیه می‌نمایند. بدیهی است اگر خاصیت عایقی خازن، مطلق باشد خازن برای همیشه انرژی ذخیره شده را در خود حفظ می‌کند.



ب) عایق غیر مطلق

شکل ۷-۴ شارژ کامل خازن

میزان توانایی یک خازن در ذخیره بار الکتریکی را «ظرفیت خازن» می‌گویند.

### 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  $100 \text{ نانو فاراد}$  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  $33 \text{ میکرو کولمب}$  بار الکتریکی ذخیره شده است. اگر ولتاژ دو سر خازن  $10 \text{ V}$  باشد ظرفیت آن چند میکروفاراد است؟

حل :

$$Q = 33 \times 10^{-9} = 0.000033 \text{ میکرو کولمب}$$

$$Q = C \cdot V$$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{0.000033}{10} = 0.000033 \text{ F}$$

$$C = 0.000033 \times 10^{-6} = 3 / 3 \mu\text{F}$$

$$C = 3 / 3 \mu\text{F}$$

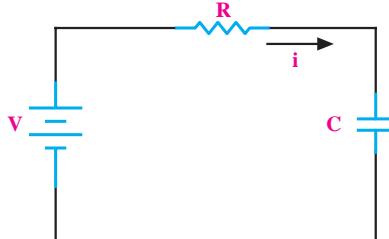
### ۷-۳ شارژ و دشارژ خازن در جریان مستقیم

وقتی یک خازن را به ولتاژ DC وصل کنیم خازن شارژ می‌شود. در هنگام شارژ، انرژی الکتریکی از منبع به خازن انتقال می‌یابد و در آن ذخیره می‌شود. مقدار این انرژی

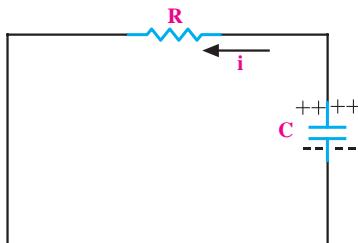
الف) شارژ کامل خازن

شکل ۷-۵ شارژ کامل خازن

طول می کشد تا خازن شارژ خود را از دست بدهد.  
این زمان را اصطلاحاً ثابت زمانی مدار RC می نامند که  
بستگی به مقادیر R و C دارد.



الف) مدار شارژ خازن



ب) مدار دشارژ 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 ای شارژ خازن در مدار شکل ۷-۶ الف، یک

رابطه ای خطی نیست، بلکه به صورت نمایی (جهشی) است.

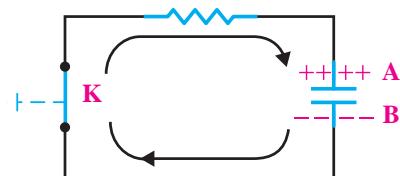
خازن موجود در مدار شکل ۷-۶ الف تقریباً بعد از ۵ ثابت

زمانی به طور کامل شارژ می شود. (بیش از  $99/3\%$ ) شکل

۷-۷ الف منحنی شارژ خازن را نشان می دهد. به ازای هر

ثابت زمانی، خازن به اندازه ای درصد معینی شارژ می شود که

برای تخلیه بار الکتریکی صفحات خازن ابتدا خازن را از منبع تغذیه جدا می کنیم، سپس دو صفحه A و B خازن را از طریق یک مقاومت به یکدیگر اتصال می دهیم.



شکل ۷-۵ مسیر تخلیه 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 بلا فاصله 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 مقادیر R و C دارد. همچنین اگر پایه های یک خازن شارژ شده را به وسیله ای یک مقاومت اهمی به یکدیگر اتصال دهیم خازن به یکباره دشارژ (حالی) نمی شود، بلکه مدت زمانی

## ۷-۶ آزمایش شماره‌ی (۱)

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

### ۷-۶-۱ هدف آزمایش

اندازه‌گیری مقدار ثابت زمانی شارژ و دشارژ خازن در مدار RC سری

### ۷-۶-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

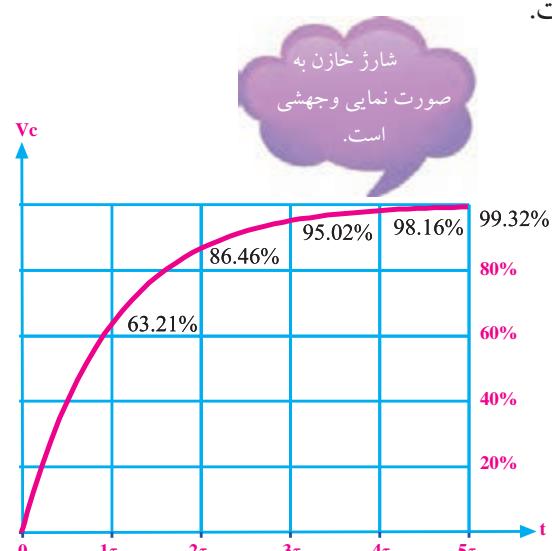
ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	کرونومتر	یک دستگاه
۲	ولت متر DC	یک دستگاه
۳	منبع تغذیه $-15\text{V}$	یک دستگاه
۴	مقاومت $1\text{M}\Omega$ و $10\Omega$	از هر کدام یک عدد
۵	خازن $10\mu\text{F}-25\text{V}$	یک عدد
۶	سیم دو سر گیره دار $40\text{cm}$	چهار رشته
۷	سیم یک سر گیره دار $40\text{cm}$	چهار رشته
۸	سیم بدون گیره (معمولی) $40\text{cm}$	چهار رشته
۹	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

خازن مورد استفاده در این آزمایش از نوع الکترولیتی می‌باشد. 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 آسیب می‌بیند.

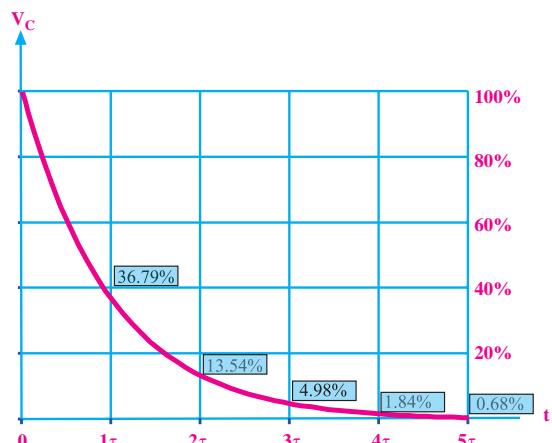
فصل هفتم

مقدار آن روی منحنی مشخص شده است. شکل ۷-۷-ب منحنی دشارژ خازن را نشان می‌دهد. در ثابت زمانی اول، ولتاژ دوسر خازن  $63/21\%$  کم می‌شود. کاهش ولتاژ در ثابت زمانی دوم به  $86/46\%$ ، در ثابت زمانی سوم به  $95/02\%$  و در ثابت زمانی چهارم به  $98/16\%$  و بالاخره در ثابت زمانی پنجم به  $99/32\%$  می‌رسد.

در این حالت می‌گوییم خازن کاملاً تخلیه شده است. در صدھای مربوط به شارژ خازن نیز کاملاً مشابه دشارژ آن است.



الف- منحنی شارژ خازن

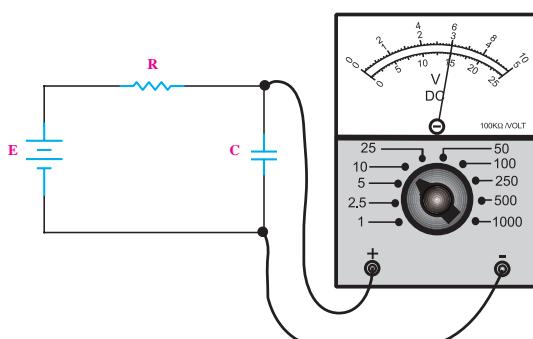


ب- منحنی دشارژ خازن

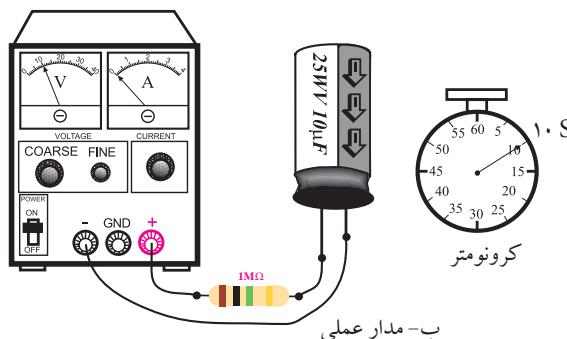
شکل ۷-۷-۷ منحنی‌های شارژ و دشارژ خازن

### ۷-۶-۳ مراحل اجرای آزمایش

در شکل ۷-۹ نقشه‌ی فنی مدار را ملاحظه می‌کنید. در این لحظه منبع تغذیه را به مدار متصل نکنید.



الف - نقشه‌ی فنی مدار



شکل ۷-۹

ثابت زمانی شارژ خازن را از رابطه‌ی زیر محاسبه و مقدار آن را یادداشت کنید.

$$\tau = RC = 1M\Omega \times 10\mu F = 10S$$

منع تغذیه را قبل از اتصال به مدار روی ۱۰ ولت تنظیم کنید و رنج کلید ولت‌متر را نیز روی ۱۰ V قرار دهید. کرونومتر را آماده کنید.

منع تغذیه را در حالی که خاموش است به مدار وصل

### 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 قبل از آن ولتاژی وجود داشته باشد (شارژ شده باشد) کاملاً تخلیه شود، شکل ۷-۸.



شکل ۷-۸ نحوه‌ی تخلیه‌ی خازن

### 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 نشان‌دهنده‌ی ولتاژ کار خازن (Working Voltage) است.

مدار شکل ۷-۹ را بیندید.

■ منبع تغذیه را دقیقاً روی ۱۰ ولت تنظیم کنید و آن را کنید.

■ همزمان با روشن کردن منبع تغذیه، کرونومتر را فعال 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) بلا فاصله منبع تغذیه را خاموش کنید.

■ خازن را از مدار جدا کنید و ولتاژ دو سر آن را با ولت‌متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$T_1 = 20\text{ S} \quad V_c = \dots \text{V}$$

■ مرحله فوق را برای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ ثانیه تکرار کنید.  
هر بار پس از اندازه گیری ولتاژ دو سر خازن، خازن را دشارژ کنید.

مقادیر اندازه گیری شده را یادداشت کنید.

$$T_2 = 30\text{ S} \quad V_c = \dots \text{V}$$

$$T_3 = 40\text{ S} \quad V_c = \dots \text{V}$$

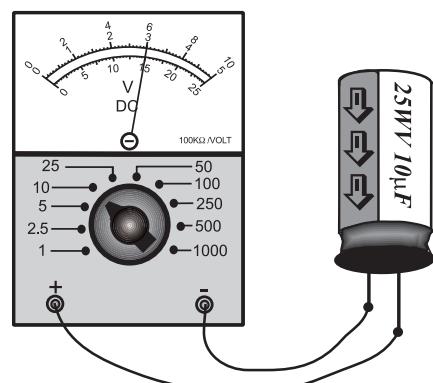
$$T_4 = 50\text{ S} \quad V_c = \dots \text{V}$$

■ همزمان با روشن کردن منبع تغذیه، کرونومتر را فعال کنید تا زمان شارژ اندازه گیری شود.

■ به محض اینکه کرونومتر ۱۰ ثانیه (یک ثابت زمانی) را نشان داد، بلا فاصله منبع تغذیه را خاموش کنید و خازن را از مدار جدا نمایید.

■ مطابق شکل ۷-۱۰ ولتاژ دو سر خازن را با ولت‌متر اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$T_1 = 10\text{ S} \quad V_c = \dots \text{V}$$



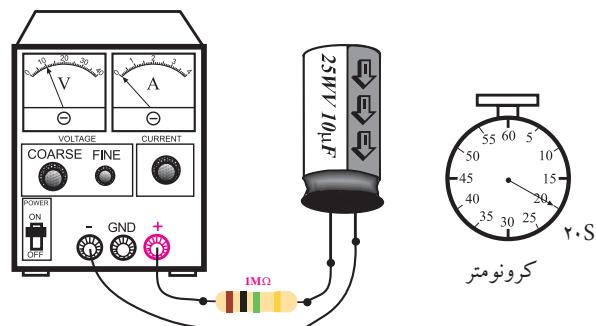
شکل ۷-۱۰ اندازه گیری ولتاژ خازن

**سؤال ۱:** آیا مقادیر اندازه گیری شده با مقادیری که قبل از صورت تئوری خوانده‌اید تطبیق دارد؟ توضیح دهید.



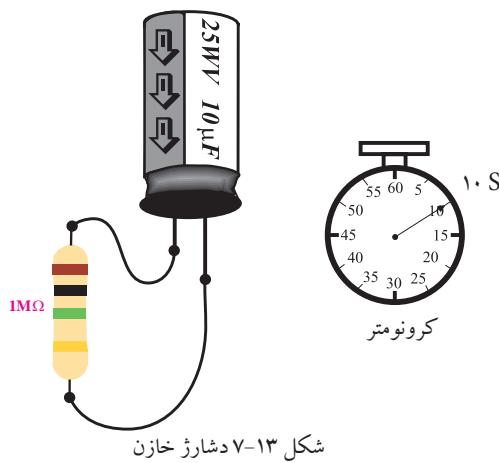
■ دوباره دو سر خازن را برای یک لحظه به کمک یک مقاومت ۱۰Ω اتصال کوتاه کنید تا کاملاً دشارژ شود.

■ مدار شکل ۷-۱۱ را دوباره با خازن کاملاً دشارژ شده ببندید.



شکل ۷-۱۱ مدار آزمایش

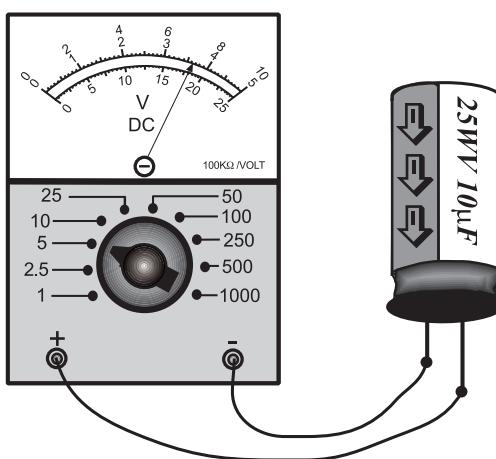
- منبع تغذیه را روشن کنید. کمی صبر نماید سپس آن را خاموش کنید و خازن را از منبع تغذیه جدا کنید.
- کرونومتر را صفر کنید و آماده نگهدارید.
- با استفاده از خازن شارژ شده در مرحله‌ی قبل مدار شکل ۷-۱۳ را ببندید. به محض اتصال، کرونومتر را فعال کنید تا زمان را محاسبه کند.



### شکل ۱۳-۷ دشارژ خازن

- پس از ۱۰ ثانیه مقاومت را از خازن جدا کنید.
- ولتاژ دو سر خازن را مطابق شکل ۷-۱۴ با ولت متر اندازه بگیرید و پادداشت کنید.

$$V_C = \dots V$$



شکل ۱۴-۷ اندازه‌گیری ولتاژ خازن

نکته‌ی مهم: معمولاً مقدار اندازه گیری شده با مقدار محاسبه شده قدری تفاوت دارد که مربوط به خطاهای ناشی از اندازه گیری است. ولی در هر صورت باید نتایج تقریبی قابل قبولی به دست آید. در صورت نیاز آزمایش را تکرار کنید.

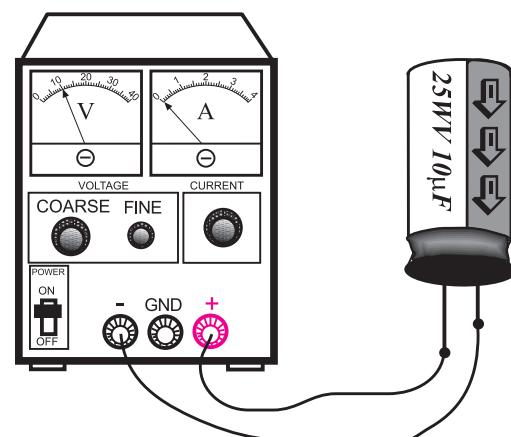
ب- اندازه‌گیری ثابت زمانی مدار RC سی دی در حالت دشوار

■ استاد و سالار مورد نیاز را آماده کنند.

■ منبع تغذیه را روی ۱۰ ولت تنظیم کنید و آن را خاموش نمایید.

■ خازن را مطابق شکل ۱۲-۷ به منع تغذیه و صاف کنید.

در هنگام وصل خازن به منع  
تغذیه حتماً قطب مثبت خازن  
را به قطب مثبت منبع تغذیه و  
قطب منفی آن را به قطب منفی  
منبع تغذیه وصل کنید



## شکل ۱۲-۷ شارژ خازن

در صورتی که نتوانستید به پرسش فوق پاسخ دهید یا  
نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت های قبل مراجعه  
کنید و مطالب را مجدداً مرور نمایید.

توجہ

ممکن است مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر روی منحنی کمی تفاوت داشته باشند. این تفاوت به دلیل خطاهای ناشی از اندازه گیری است. در هر صورت باید نتایج تقریبی قابل قبول بود.



۴-۶- نتایج آزمایش:

نتایج حاصل از آزمایش‌های الف و ب را در چند جمله بیان کنید.

الف

۹

## ۷-۷ عوامل مؤثر در ظرفیت خازن

ظرفیت خازن به عوامل فیزیکی زیر پستگی دارد.

الف - سطح صفحات خازن (A)

#### **ب- فاصله‌ی بین صفحات حازن(d)**

#### ج- مادهی عایق یا دیالکتریک (K)

ظا ف ت خانه ن خانه ت ات ت ک

ظرفیت خازن خاصیتی است که از مشخصات فیزیکی

منبع تغذیه را دوباره روی ۱۰ ولت تنظیم کنید.

خازن را یا رعایت قطب مشت و منفی مانند شکل

۷-۱۲ به منبع تغذیه وصل کنید و صبر کنید تا به طور کامل  
شماره (۱۰ V) شود.

■ خازن را از منبع تغذیه جدا کنید و کرونومتر را صفر و آماده نماید.

■ مقاومت  $1M\Omega$  را با خازن مانند شکل ۷-۱۳ موازی کنید و به طور 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 ۱۴-۷ اندازه بگیرید و بادداشت کنید.

$$T_x = 2 \cdot S \quad V_C = \dots \quad V$$

■ اندازه‌گیری‌های فوق را برای زمان‌های ۳۰، ۴۰ و ۵۰ ثانه تک ار کنید و مقادیر را بادداشت نماید.

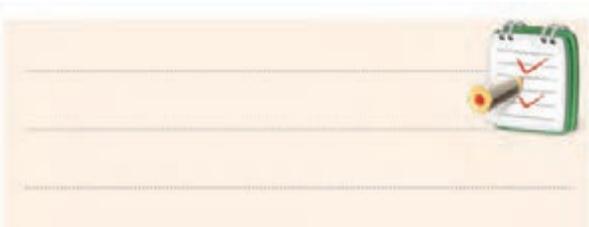
$$T = 3 \cdot S \quad V_G = \dots \quad V$$

$$T_s = f \cdot S \quad V_C = \dots \quad V$$

$$T = \sigma \cdot S \quad V_C = \dots \quad V$$

**سؤال ۲:** آیا کاهش مقدار ولتاژ دو سر خازن (دشارز) س

با مقادیر موجود در منحنی دشارژ که قبلاً به صورت تئوری خوانده اید انطاق دارد؟ تو پسح دهد.



نام‌گذاری می‌شوند.  
از انواع خازن‌های ثابت می‌توان خازن‌های کاغذی، سرامیکی، میکا و الکترولیتی را نام برد.

در شکل ۷-۱۵ چند نمونه خازن ثابت را مشاهده



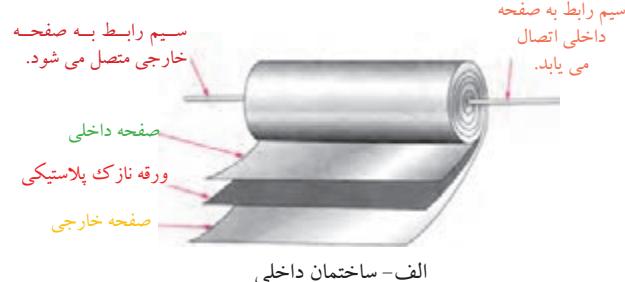
شکل ۷-۱۵ شکل ظاهری چند نمونه خازن

در ادامه به بررسی و تشریح چند نمونه خازن می‌پردازیم.

#### الف- خازن کاغذی

عایق این نوع خازن از کاغذ است. کاغذ به عنوان عایق بین دو هادی که معمولاً از جنس آلومینیوم است قرار می‌گیرد و مانند شکل ۷-۱۶-الف مجموعه را به صورت لوله می‌پیچند.

در شکل ۷-۱۶-ب شکل ظاهری خازن کاغذی نشان داده شده است.



ب- شکل ظاهری



شکل ۷-۱۶ خازن کاغذی

خازن تبعیت می‌کند. بدین معنی که ظرفیت خازن با سطح صفحات خازن نسبت مستقیم و با فاصله بین دو صفحه نسبت عکس دارد. هم‌چنین جنس عایق بین صفحات خازن نیز در مقدار ظرفیت آن مؤثر است.

رابطه‌ی زیر اثر عوامل فیزیکی روی ظرفیت خازن را نشان می‌دهد.

$$C = K \frac{A}{d}$$

سطح صفحات  
خازن  
فاصله بین دو  
صفحات  
ضریب مرتبط  
با جنس عایق بین  
صفحات

با توجه به رابطه‌ی بالا، هر قدر سطح صفحات بزرگ‌تر و فاصله‌ی بین دو صفحه کم‌تر باشد، ظرفیت خازن بیشتر است و می‌تواند انرژی بیش‌تری را در خود ذخیره کند. هم‌چنین جنس عایق نیز در میزان شارژ خازن دخالت دارد.

### ۷-۸ انواع خازن‌ها

با توجه به موارد کاربرد، خازن‌ها را با شکل‌های فیزیکی متنوع، ظرفیت‌ها و مشخصات مختلف می‌سازند که در ادامه به بعضی از آن‌ها اشاره می‌کنیم.

به طور کلی خازن‌ها را به دو دسته‌ی کلی تقسیم می‌کنند.

- خازن‌های ثابت

- خازن‌های متغیر

#### ۷-۸-۱ خازن‌های ثابت

ظرفیت این خازن‌ها ثابت است و نمی‌توان مقدار آن‌ها را تغییر داد. این نوع خازن‌ها بر اساس جنس ماده‌ی دی‌الکتریک

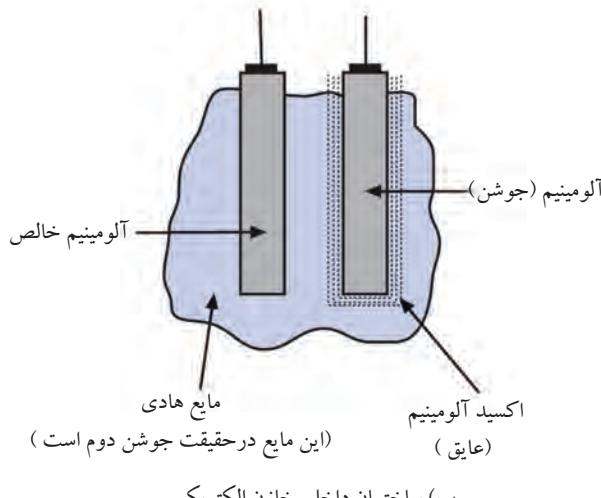
## ۵- خازن‌های الکتروولیتی

خازن‌های الکتروولیتی 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 اکسید‌آلومینیوم 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 الکتروولیتی



ب) ساختمان داخلی خازن الکتریکی

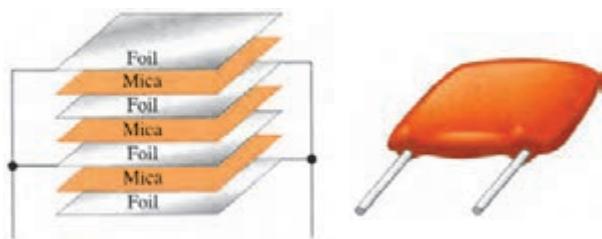
شکل ۷-۱۹ خازن الکتروولیتی

ظرفیت خازن الکتروولیتی 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

## 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.

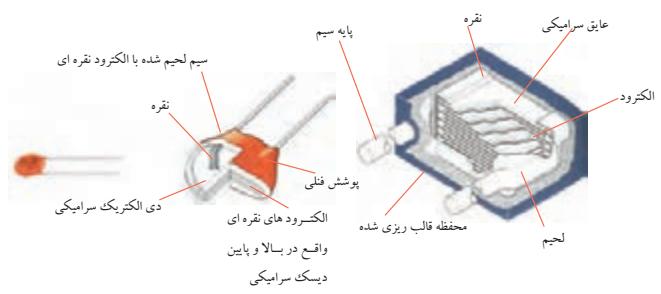


الف) شکل ظاهری خازن میکا ب) ساختمان داخلی خازن میکا

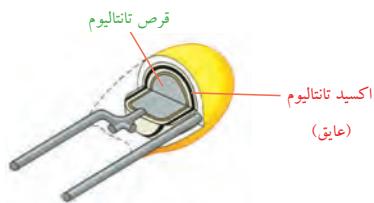
شکل ۷-۱۷ خازن میکا

## 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



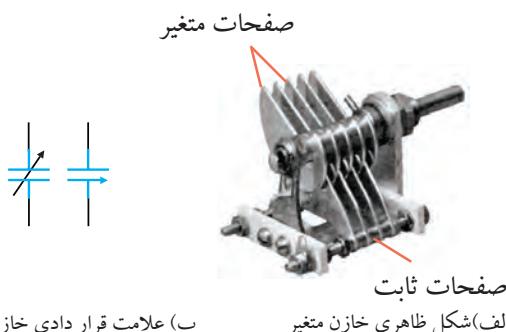
شکل ۷-۲۱ خازن تانتالیوم



میشل فارادی (۱۷۹۱-۱۸۶۷)  
شیمیدان و فیزیکدان انگلیسی که  
ظرفیت خازن بنام او ثبت شده  
است.

## 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 ژرفیت متغیر است. ساختن  
ژرفیت‌های 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.

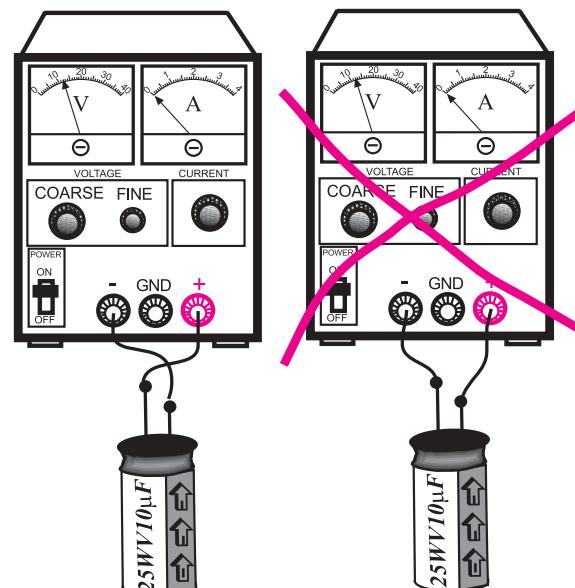


ب) علامت قرار دادی خازن متغیر

شکل ۷-۲۲ خازن متغیر

چندین سال، مایع الکتروولیت 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.



الف- اتصال غلط خازن  
ب- اتصال صحیح خازن  
به منبع ولتاژ DC  
به منبع ولتاژ DC

شکل ۷-۲۰ اتصال خازن به منبع ولتاژ DC

در نوع دیگری از خازن الکتروولیتی به جای آلومینیوم از فلز  
تانتالیوم استفاده می‌شود. زیاد بودن ثابت دیالکتریک اکسید  
تانتالیوم نسبت به اکسیدآلومینیوم 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.

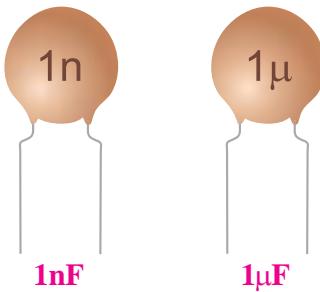
شکل ۷-۲۵ خازن غیر قطبی و ظرفیت آن ۰/۱ میکروفاراد و ولتاژ کار آن ۱۰۰ ولت است.



## شکل ۲۵-۷ 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 بدنهٔ 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 بدنهٔ 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 یک‌فاراد است.

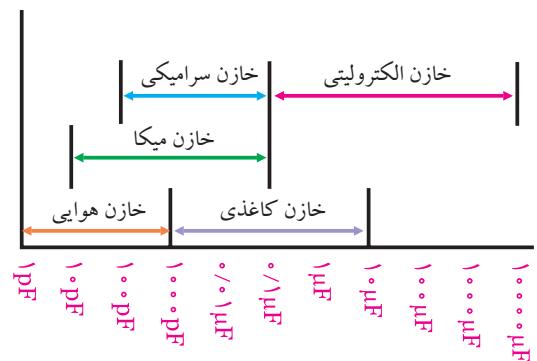
در شکا ۷-۲۷ حند نمو نه خازن نشان داده شده است.

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 بهوسیله‌ی پیچ گوشته تغییر می‌کند.



## الف - خازن واریابل ب - خازن‌های تریمیر

نمودار شکل ۷-۲۴ ظرفیت خازن‌های مختلف را به طور تقریبی نشان می‌دهد. برای مثال خازن‌های میکارا از ظرفیت ۱۰ PF الی ۰/۱ میکروفاراد می‌سازند و یا حداقل ظرفیت یک خازن الکترولیتی، ۰/۱ میکروفاراد است.



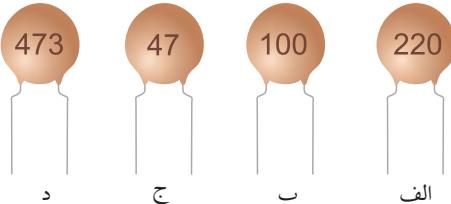
### شکل ۷-۲۴ نمودار ظرفیت خازن‌های مختلف

معمول اظرفیت هر خازن و همچنین حداکثر ولتاژ مجاز آن را برابر روی بدنهٔ خازن می‌نویسند. اگر خازن قطبی باشد (مانند خازن‌های الکترولیتی)، روی بدنهٔ 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  $100PF$  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.

## ۷-۱۰ مشخصات خازن

قبل از انتخاب یک خازن لازم است به مشخصه‌های مربوط به خازن توجه کنیم. پاره‌ای از مشخصه‌های خازن به

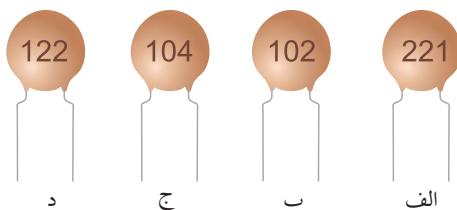
شرح زیر است:

### 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 خطأ

مقدار واقعی ظرفیت یک خازن در عمل با مقداری که توسط کارخانه سازنده قید می‌شود اختلاف دارد. این اختلاف را تولرانس یا درصد خطأ می‌نامند و آن را بر حسب



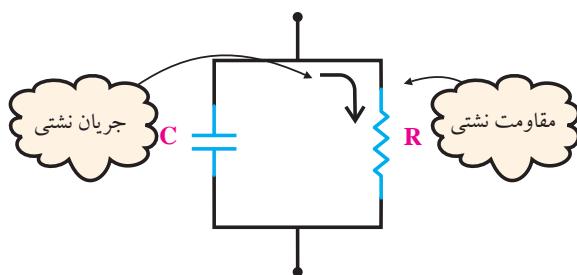
شکل ۷-۲۸

حل:

عدد سوم=تعداد صفرها      نشان دهنده دو عدد اول  
دو رقم اول

$$\begin{array}{l} \xrightarrow{\quad\quad\quad} \\ 221 \Rightarrow 22.0PF \\ 102 \Rightarrow 100.0PF \\ 104 \Rightarrow 1000.0PF \\ 122 \Rightarrow 120.0PF \end{array}$$

نشتی در خازن می‌توان مانند شکل ۷-۳۱ مقاومتی را به نام مقاومت نشتی، به صورت موازی با خازن در نظر گرفت. در مورد خازن‌های کاغذی، میکا و سرامیک مقاومت نشتی خیلی زیاد بوده، در نتیجه جریان نشتی خیلی کم است.



شکل ۷-۳۱ خازن و مقاومت نشتی آن



#### ۷-۱۰-۶ تلفات در خازن

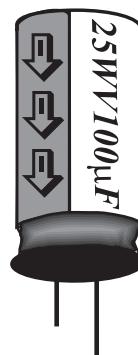
معمولایک خازن در زمان تخلیه، مقدار کل انرژی ذخیره شده در صفحات را پس نمی‌دهد. برای توجیه این پدیده، مقاومتی را به صورت سری با خازن در نظر می‌گیریم. در حقیقت این مقاومت مانند مصرف کننده‌ای عمل می‌کند که مقداری از انرژی ذخیره شده در خازن را مصرف می‌کند. در شکل ۷-۳۲ مقاومت نشتی و مقاومت مربوط به تلفات خازن نشان داده شده است.

در صد بیان می‌کنند.

#### ۷-۱۰-۳ ولتاژ مجاز خازن

به حداکثر ولتاژی که می‌توان به یک خازن اعمال کرد به طوری که خازن بتواند آن ولتاژ را تحمل کند، ولتاژ مجاز خازن گفته می‌شود. ولتاژ مجاز خازن را ولتاژ کار نیز می‌نامند.

**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

#### ۷-۱۰-۴ ضریب حرارتی خازن

به حداکثر میزان تغییر ظرفیت خازن به ازای تغییر یک درجه حرارت ضریب حرارتی می‌گویند.

#### ۷-۱۰-۵ نشت خازن

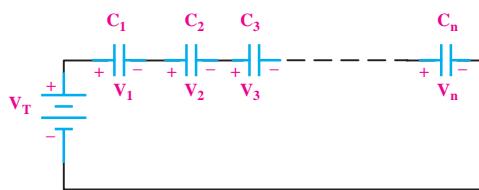
همه‌ی خازن‌ها دارای مقداری نشتی هستند. اگر یک خازن ایده‌آل را شارژ کنیم و از مدار جدا کنیم باید ولتاژ دو سر خازن برای همیشه حفظ شود، ولی در عمل خازن پس از مدتی ولتاژ خود را از دست می‌دهد. علت این پدیده ایده‌آل بودن عایق بین صفحات خازن است. برای توجیه پدیده‌ی

## 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.

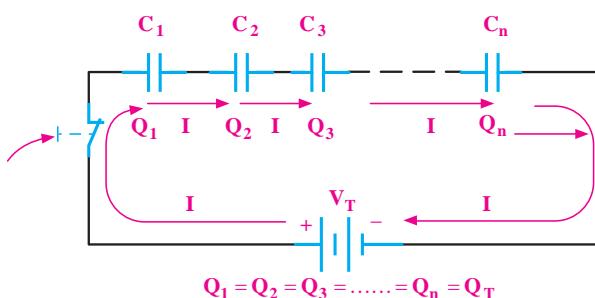
## ۷-۱۱-۱ اتصال سری خازن‌ها

هر گاه 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 یک دیگر نشان داده است.

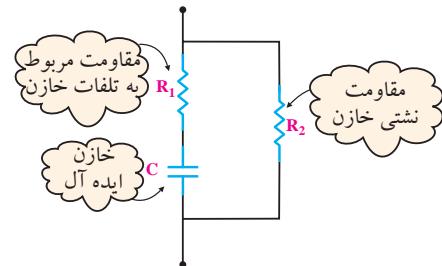


شکل ۷-۳۴ اتصال سری خازن‌ها

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

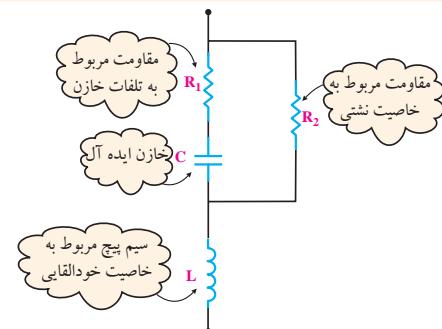


شکل ۷-۳۲ مقاومت‌های نشتی و تلفات خازن

## ۷-۱۰-۷ ضریب خودالقایی خازن

خازن‌های ورقه‌ای دارای مقداری خاصیت خودالقایی 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 سیم پیچ 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 خودالقایی در خازن

### توجه

مقواومت نشتی، مقواومت مربوط به تلفات خازن و سیم پیچ مربوط به خاصیت خودالقایی عملاً به طور مستقل در خازن وجود ندارند و فقط برای توجیه مشخصات ذکر شده در مدار قرار داده شده است.

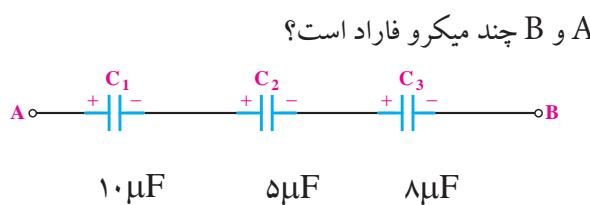


همان‌طور که از رابطه‌ی نهایی مشخص است، محاسبه ظرفیت خازن معادل در مدارهای سری مانند محاسبه رابطه‌ی مربوط به مقاومت‌های موازی است.

تذکر مهم:

مقدار ظرفیت خازن معادل در اتصال سری، از کوچکترین ظرفیت خازن در مدار کوچکتر است.

**مثال ۵:** در شکل ۷-۳۷ ظرفیت خازن معادل از دو نقطه‌ی A و B چند میکرو فاراد است؟



شکل ۷-۳۷ محاسبه‌ی ظرفیت معادل

حل:

برای محاسبه‌ی ظرفیت خازن معادل به صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{10} + \frac{1}{5} + \frac{1}{8} \Rightarrow \frac{1}{C_T} = \frac{4+8+5}{40}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{17}{40} \Rightarrow C_T = \frac{40}{17} = 2.35 \mu F$$

$$C_T = 2.35 \mu F$$

**۷-۱۱-۲ برسی حالت‌های خاص در مدارهای سری خازنی**  
اگر  $n$  خازن مساوی به طور سری قرار گیرند ظرفیت خازن معادل از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$C_T = \frac{C}{n}$$

ظرفیت یک خازن  
تعداد خازن‌ها

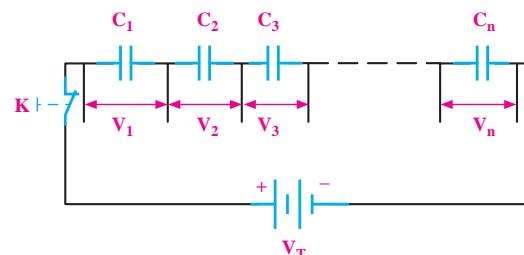
در مدار سری خازنی نیز مانند سری مقاومتی، ولتاژ منبع بین اجزای مدار تقسیم می‌شود. مقدار ولتاژ در دو سر هر خازن در مدار سری نسبت معکوس با مقدار ظرفیت خازن

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 ۷-۳۶ افت ولتاژ دو سر

هر یک از خازن‌ها نشان داده شده است.



$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

شکل ۷-۳۶ 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:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

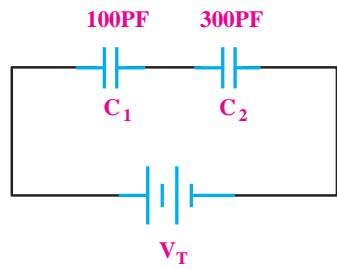
$$\frac{Q_T}{C_T} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3} + \dots + \frac{Q_n}{C_n}$$

چون در مدار سری  $Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_n$  است

می‌توان از  $Q$  فاکتور گرفت و آن را از طرفین تساوی حذف کرد. بنابراین در مدار سری ظرفیت خازن معادل بر اساس رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

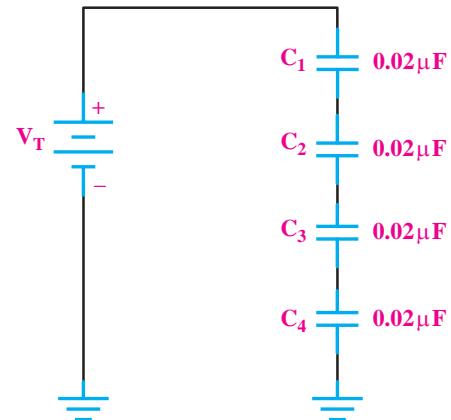
**مثال ۷:** ظرفیت خازن معادل شکل ۷-۴۰ چند پیکو فاراد است؟



شکل ۷-۴۰ ظرفیت خازن معادل

است؟

**مثال ۶:** ظرفیت خازن معادل در شکل ۷-۳۸ چند میکروفاراد است؟



شکل ۷-۳۸ مثال

حل:

راه حل دوم:

چون ظرفیت خازن‌ها مساوی است، می‌توانیم بنویسیم:

$$C_T = \frac{C}{n} = \frac{0.02\mu F}{4} = 0.005\mu F = 5 nF$$

$$C_T = 5 nF$$

با استفاده از رابطه‌ی ساده‌ی زیر می‌توانیم ظرفیت معادل را محاسبه کنیم:

$$C_T = \frac{C_1 \times C_r}{C_1 + C_r} = \frac{100 \times 300}{100 + 300}$$

$$C_T = 75 PF$$

### ۷-۱۱-۳ تقسیم ولتاژ خازنی

هر گاه 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.

اگر دو خازن مطابق شکل ۷-۳۹ به طور سری بسته شوند

می‌توانیم از رابطه‌ی ساده شده زیر استفاده کنیم.



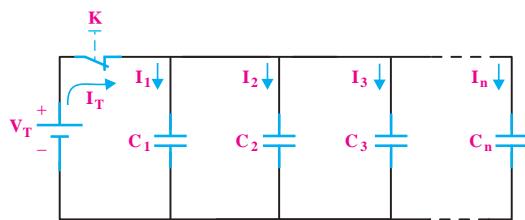
شکل ۷-۳۹ دو خازن سری

$$C_T = \frac{C_1 \times C_r}{C_1 + C_r}$$

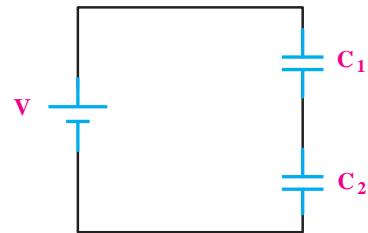
$$V_{C1} = V \frac{C_r}{C_1 + C_r}$$

$$V_{Cr} = V \frac{C_1}{C_1 + C_r}$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$



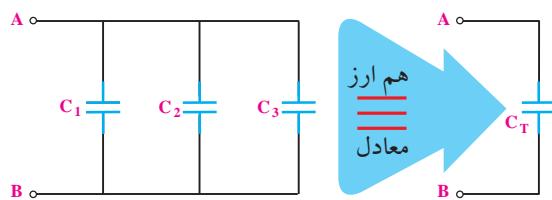
شکل ۷-۴۴ جریان در مدار موازی



شکل ۷-۴۱ خازن‌های سری

### 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:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

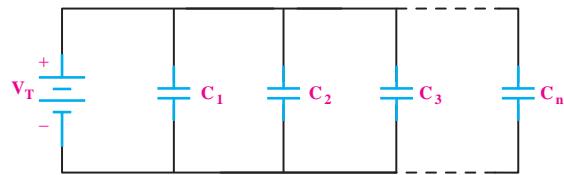
#### تحقیق کنید:

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.

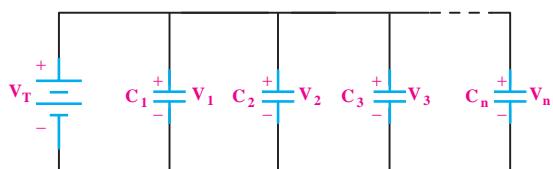
**مثال ۸:** ظرفیت خازن معادل مدار شکل ۷-۴۶ چند پیکوفاراد است؟

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 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

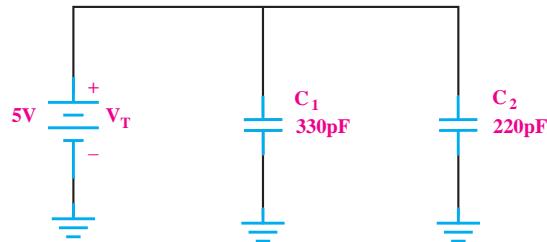
در مدار موازی شکل ۷-۴۴ جریان یا به عبارت دیگر بار الکتریکی  $Q$  به نسبت ظرفیت خازن‌ها در بین شاخه‌ها تقسیم می‌شود بنابراین رابطه‌ی زیر در مدار موازی خازن‌ها صدق خواهد کرد.

حل:

چون خازن‌ها موازی شده مساوی هستند از رابطه‌ی استفاده می‌کنیم:

$$C_T = nC = (6)(0.01 \mu F) = 0.06 \mu F$$

$$C_T = 0.06 \mu F$$



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 بورسی حالت خاص در مدارهای موازی

هر گاه  $n$  خازن مساوی به صورت موازی اتصال یابند، مطابق شکل ۷-۴۷ ظرفیت خازن معادل از رابطه‌ی زیر به دست آورید.

### ۷-۱۲ روش آزمایش سلامت خازن با اهمتر

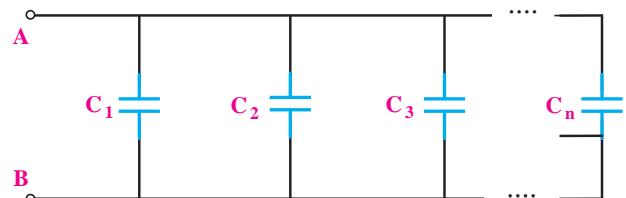
عقربه‌ای

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  $10\Omega$  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  $1\times$  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.

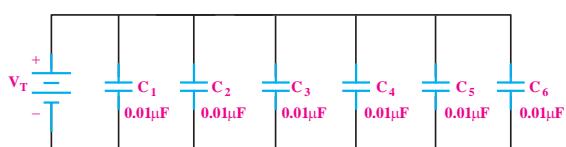


$$C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_n$$

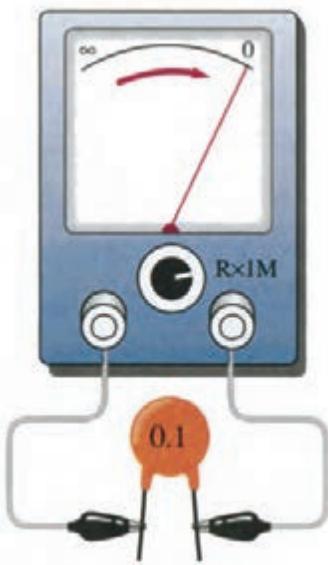
شکل ۷-۴۷

### مثال ۹: ظرفیت خازن معادل در شکل ۷-۴۸ چند

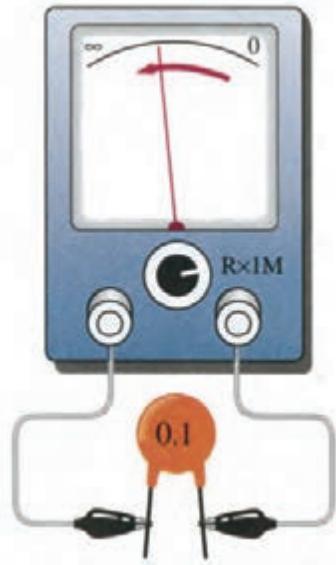
میکروفاراد است؟



شکل ۷-۴۸ محاسبه‌ی ظرفیت معادل

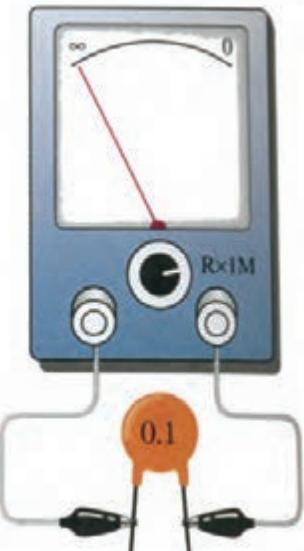


شکل ۷-۵۲ خازن اتصال کوتاه



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.

**نکته‌ی مهم:**  
گاهی ممکن است خازن در تست اهمی سالم نشان دهد. (عقربه‌ی اهمتر حرکت کند و باز گردد) ولی عملاً نشی داشته باشد و هنگام کار درست جواب ندهد. در این حالت برای اطمینان از سلامت خازن از روش جایگزینی استفاده کنید.

### ۷-۱۳ نحوه اندازه‌گیری ظرفیت خازن با دستگاه اندازه‌گیری LCR متر

به طور کلی هنگامی که خازنی ساخته می‌شود بر روی بدنی خازن، ظرفیت و ولتاژ مجاز آن را می‌نویسند. همچنین ظرفیت خازن را با کدهای رنگی مشخص می‌کنند. ولتاژ کار مجاز خازن‌ها (Working Voltage) معمولاً ۱۰، ۱۶، ۲۵، ۳۵، ۵۰، ۶۳ و ۱۰۰ ولت است. حال اگر ظرفیت خازن به هر دلیلی معلوم نباشد یا روی بدنی آن پاک شده باشد می‌توان با استفاده از یک دستگاه LCR متر یا دستگاه اندازه‌گیر ظرفیت خازن (به آن فارادمتر نیز گفته می‌شود) ظرفیت خازن مجھول

## ۷-۱۴ آزمایش شماره‌ی (۲)

زمان اجرا: ۱ ساعت آموزشی

### ۷-۱۴-۱ هدف آزمایش:

آزمایش سلامت خازن و تعیین ظرفیت آن

### ۷-۱۴-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

را اندازه‌گرفت. برای این منظور ابتدا دو سر خازنی را که قرار است ظرفیت آن را اندازه بگیریم اتصال کوتاه می‌کنیم تا چنان‌چه خازن قبل از 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

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	مولتی متر عقربه‌ای	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 اندازه‌گیری ظرفیت خازن	یک دستگاه
۵	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

### ۷-۱۴-۳ مراحل اجرای آزمایش

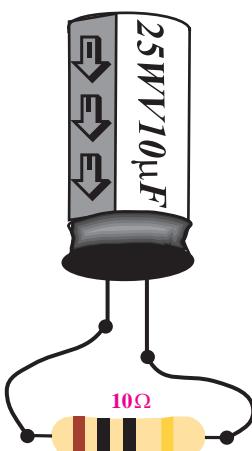
الف- بورسی سالم یا معیوب بودن خازن توسط اهم‌متر

#### عقبه‌ای

■ وسایل مورد نیاز را آماده کنید.

■ مانند شکل ۷-۵۴ خازن را توسط یک مقاومت  $10\Omega$

تخلیه کنید.



شکل ۷-۵۴ تخلیه خازن

## ب- اندازه‌گیری و تعیین ظرفیت خازن مجهول

■ تعداد حداقل ۴ نوع خازن از انواع مختلف الکتروولیتی، عدسی، سرامیکی و کاغذی را انتخاب و مشخصات آن‌ها را در جدول ۲-۷ یادداشت کنید.

جدول ۲-۷

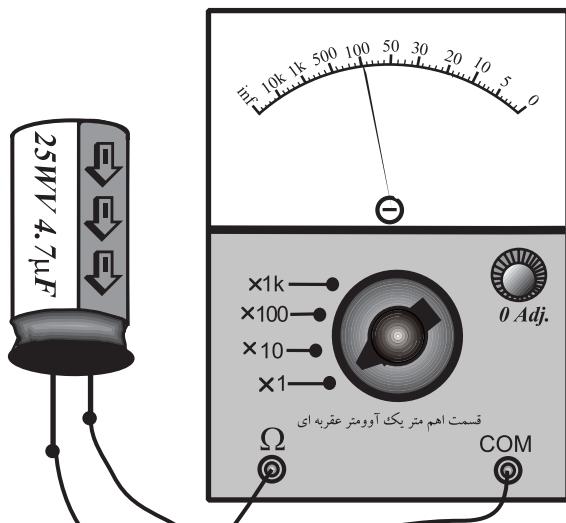
خازن	نوع خازن	مقدار نوشته شده روی خازن‌ها	مقدار اندازه گیری شده	میزان اختلاف
C <sub>۱</sub>	الکتروولیتی			
C <sub>۲</sub>	عدسی			
C <sub>۳</sub>	سرامیکی			
C <sub>۴</sub>	کاغذی			

■ همهٔ خازن‌ها را دشارژ کنید.

■ با استفاده از دستگاه خازن‌سنج مقدار ظرفیت خازن‌های C<sub>۱</sub> تا C<sub>۴</sub> را اندازه‌گیری کنید و مقادیر به دست آمده را در جدول ۲-۷ 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 ۱× قرار دهید و خازن را طبق شکل ۷-۵۵ به آن وصل کنید. بهتر است برای این منظور از خازن الکتروولیتی استفاده نمایید.



شکل ۷-۵۵ اتصال خازن به اهم‌متر

■ مشاهدات خود را از نحوهٔ حرکت عقربهٔ 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.

#### ۷-۱۴-۴ نتایج آزمایش

نتایج حاصل از آزمایش‌های الف و ب را به طور خلاصه بیان کنید.

#### ۷-۱۵ آزمایش شماره‌ی (۳)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

##### ۷-۱۵-۱ هدف‌های آزمایش

بررسی خازن‌ها به صورت سری و موازی در جریان DC

##### ۷-۱۵-۲ 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 $\mu F/2$ با حداقل ولتاژ کار ۶ ولت	یک عدد
۶	خازن $\mu F/10$ با حداقل ولتاژ کار ۶ ولت	سه عدد
۷	خازن $\mu F/40$ با حداقل ولتاژ کار ۶ ولت	یک عدد
۸	مقاومت اهمی	یک عدد
۹	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

##### ۷-۱۵-۳ 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 ۷-۳ بنویسید.

(الف)

(ب)

آیا می‌دانید



تمیز کردن سطح چراغ‌ها، لامپ‌ها و سطوح دیوارها سبب افزایش شدت روشنایی می‌شود؟

جدول ۷-۳

میزان اختلاف	مقدار اندازه گیری شده	مقدار نوشته شده	خازن
			$C_1$
			$C_2$
			$C_3$

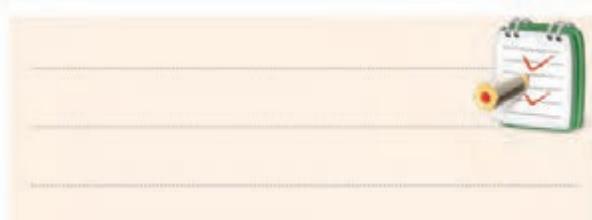
■ مقدار ظرفیت معادل را از رابطه‌ی زیر محاسبه کنید.

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

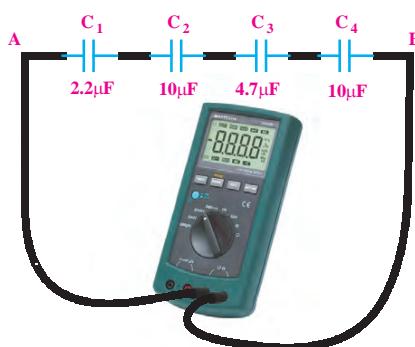
$$C_{AB} = \dots \mu F$$

### سوال ۶: آیا مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده با هم

مطابقت دارند؟ چرا؟ شرح دهید.



■ خازن  $C_4 = 10 \mu F$  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

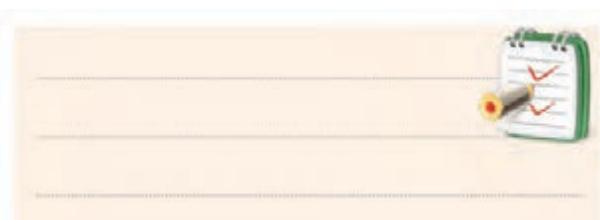
$$C_{AB} = \dots \mu F$$

■ مقدار ظرفیت معادل را از رابطه‌ی زیر محاسبه کنید:

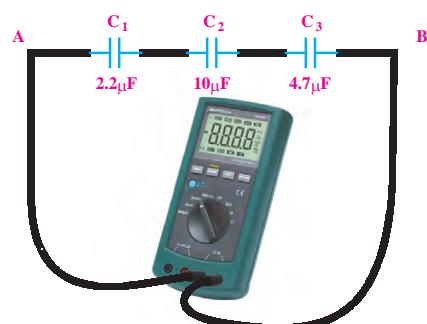
$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}$$

شکل ۷-۵۶ خازن‌های سری

■ 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 برد برد 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.



■ مقدار ظرفیت معادل را از رابطه‌ی  $C_T = \frac{C}{n}$  محاسبه کنید.

**محاسبہ C<sub>AB</sub>** =.....

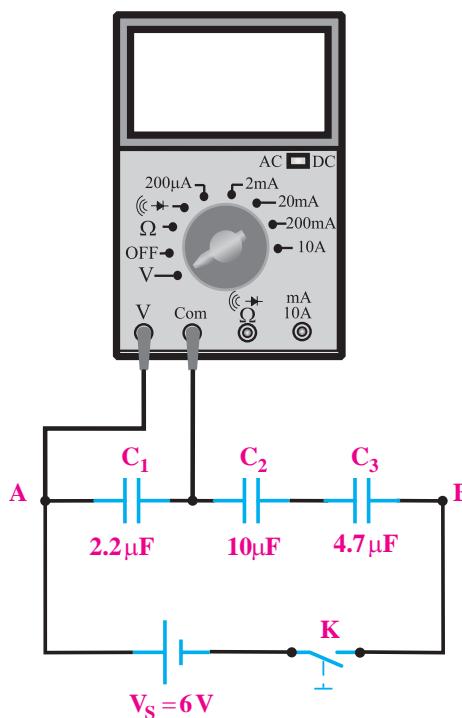
**سوال ۷:** ظرفیت خازن معادل نسبت به مرحله‌ی قبل چه تغییری کرده است؟ شرح دهید.

**سوال ۹:** آیا مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر محاسبه شده، مطابقت دارد؟ سرح دهید.



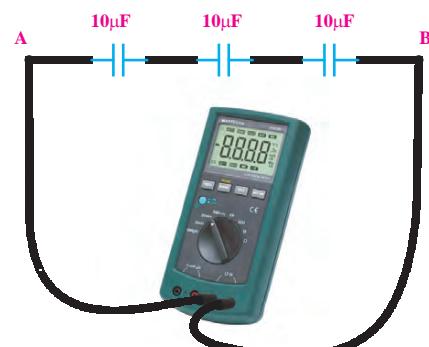
**سوال ۸:** آیا ظرفیت خازن معادل اندازه گیری شده و محاسبه شده با هم مطابقت دارد؟ در صورتی که جواب منفی است علت را شرح دهید.

مدار شکا ۵۹-۷ را روی یہ دایر دست دید.



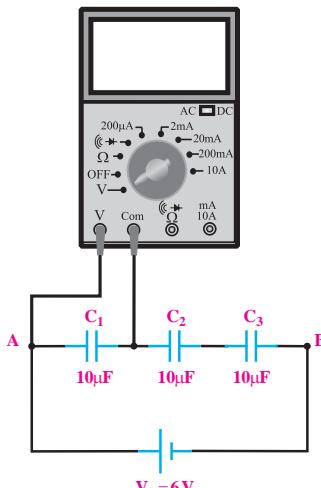
شکل ۷-۵۹ مدار آزمایش

■ سه خازن F مل ۱۰ امطابق شکل ۷-۵۸ به صورت سری اتصال دهید و ظرفیت خازن معادل را با دستگاه LCR متر یا خازن سنج اندازه بگیرید.



### شکل ۵۸-۷ مدار آزمایش

$$C_{AB} = \dots \mu F$$



■ کلید منبع تغذیه را وصل کنید و پس از سپری شدن مدت زمان حدود ده ثانیه ولتاژ دو سر خازن C را اندازه بگیرید.

$$V_{C1} = \dots V$$

■ منبع تغذیه را خاموش کنید و سپس ولت متر را یک بار در دو سر خازن  $C_1$  و بار دیگر در دو سر خازن  $C_2$  اتصال دهید. ولتاژ دو سر هر یک از خازن‌های  $C_1$  و  $C_2$  را اندازه گیری کنید.

### شکل ۷-۶۰ مدار آزمایش

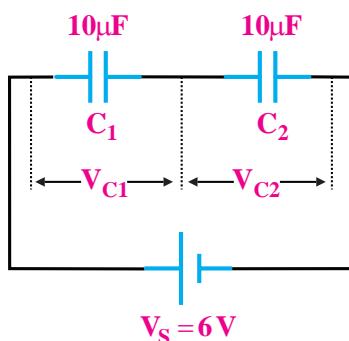
V<sub>Cx</sub> = ..... V

V<sub>Cx</sub> = ..... V

■ دو خازن  $F_{\perp}$  را مطابق شکل ۷-۶۱ به صورت سری پسندید و درستی رابطه‌ی تقسیم ولتاژ خازنی را تحقیق کنید.

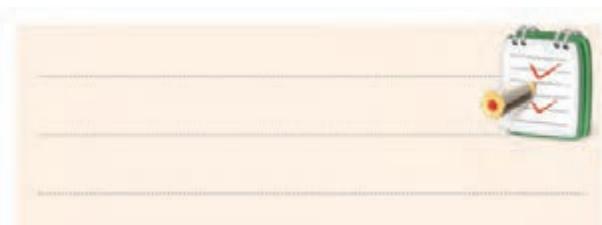
$$V_{C_1} = V \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

$$V_{Cr} = V \frac{C_r}{C_i + C_r}$$



۷-۶۱ شکل

**سوال ۱۰:** از مقایسه‌ی مقادیر به دست آمده با ولتاژ منبع چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.



■ سه خازن F مل ۱۰ را مطابق شکل ۷-۶۰ به صورت سری اتصال دهید و ولتاژ دو سر هر یک را به طور جداگانه اندازه بگیرید.

V<sub>c</sub> = ..... V

V<sub>a</sub> = ..... V

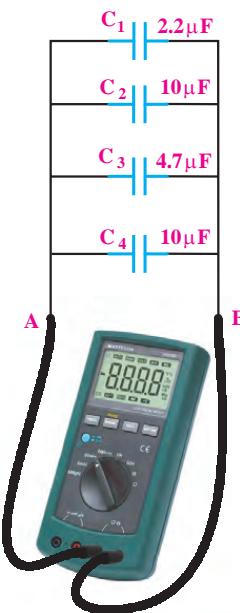
$$V_2 = \dots V$$

- برسی مدارهای خازنی موازی در حیان مستقیم

سہ خازن، امطابخ، شکا۔ ۶۲-۷، وی، پر دیرد بہ صورت

موازی اتصال دهد و با استفاده از نک دستگاه LCR متر با

خازن سنج ظرفیت خازن معادل مدار را از دو نقطه‌ی A و B (خازن سنج) اندازه بگیرید.



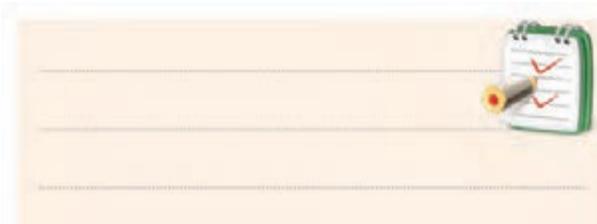
شکل ۷-۶۳ خازن‌های موازی

$$C_{AB} = \dots \mu F \quad \text{اندازه بگیرید}$$

مقدار ظرفیت معادل را از رابطه‌ی  $C_T = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$  محاسبه کنید.

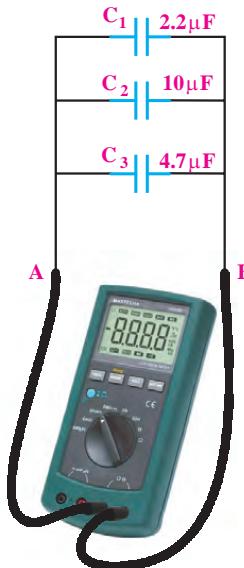
$$C_{AB} = \dots \mu F \quad \text{محاسبه}$$

**سوال ۱۲:** ظرفیت خازن معادل نسبت به مرحله‌ی قبل چه تغییری کرده است؟ توضیح دهید.



**سوال ۱۳:** آیا ظرفیت خازن معادل اندازه بگیری شده و محاسبه شده با هم مطابقت دارد؟ در صورتی که جواب منفی است، علت را شرح دهید.

اندازه بگیرید.



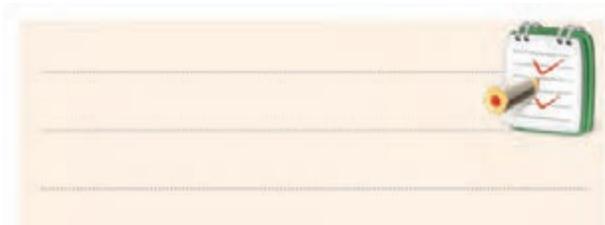
شکل ۷-۶۴ خازن‌های موازی

$$C_{AB} = \dots \mu F \quad \text{اندازه بگیرید}$$

■ مقدار ظرفیت خازن را از رابطه‌ی  $C_T = C_1 + C_2 + C_3$  محاسبه کنید.

$$C_{AB} = \dots \mu F \quad \text{محاسبه}$$

**سوال ۱۱:** آیا مقدار اندازه بگیری شده و محاسبه شده با هم مطابقت دارد؟ شرح دهید.

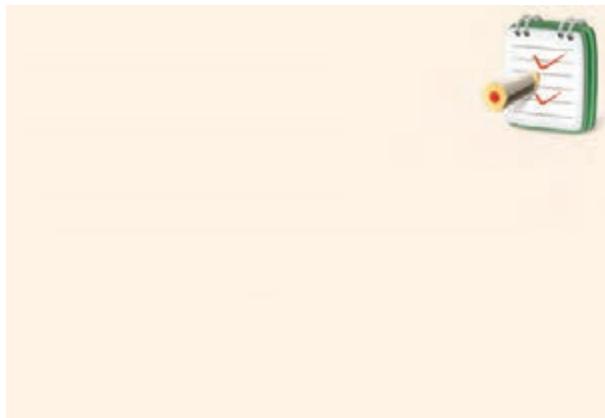


■ خازن  $C_p = 10 \mu F$  را مطابق شکل ۷-۶۳ به مدار اضافه کنید و سپس ظرفیت خازن معادل را با استفاده از دستگاه

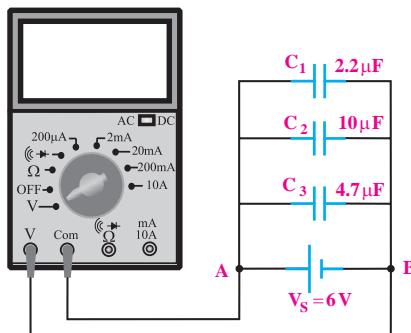
$$C_{AB} = \dots \mu F$$

**سوال ۱۴:** آیا مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر محاسبه

شده مطابقت دارد؟ شرح دهید.



مدار شکل ۷-۶۵ را روی بردبرد بیندید.



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 اندازه‌گیری کنید.

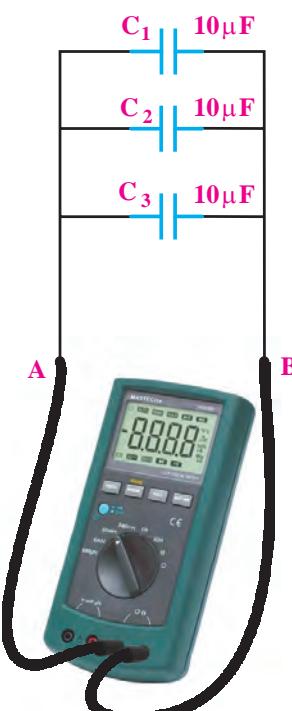
$$V_{C_1} = \dots V$$

منبع تغذیه را خاموش کنید و سپس ولت‌متر را به دو سر خازن‌های  $C_2$  و  $C_3$  اتصال دهید و ولتاژ دو سر هر یک را اندازه‌گیری کنید.



■ سه خازن  $\mu F$  ۱۰ را مطابق شکل ۷-۶۴ به صورت موازی اتصال دهید و ظرفیت خازن معادل را با دستگاه LCR متر (خازن سنج) اندازه‌گیری کنید.

$$C_{AB} = \dots \mu F$$



شکل ۷-۶۴

مقدار ظرفیت معادل را از رابطه  $C_T = C_1 + C_2 + C_3$  محاسبه کنید.

-الف-

$$V_{C_1} = \dots \text{V}$$

$$V_{C_2} = \dots \text{V}$$

**سوال ۱۵:** از مقایسه‌ی مقادیر به دست آمده با ولتاژ منبع

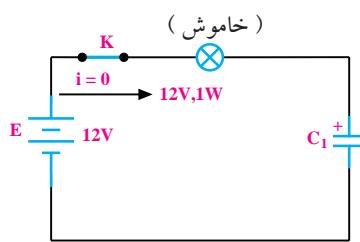
تغذیه چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهد.

-ب-

## ۷-۱۶ خازن در جویان متناوب

### ۷-۱۶-۱ عملکرد خازن در جویان متناوب (AC)

اگر یک خازن را به ولتاژ DC وصل کنیم خازن بلا فاصله شارژ می‌شود و جریان گذرنده از آن به صفر می‌رسد. همان‌طور که در شکل ۷-۶۷ 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.

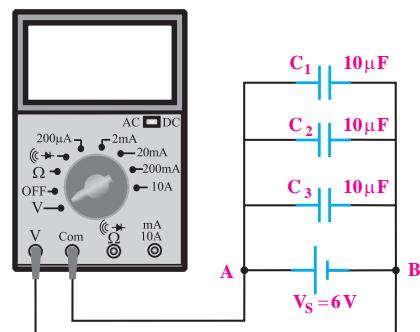


شکل ۷-۶۷ خازن در ولتاژ DC

اگر یک منبع ولتاژ متناوب سینوسی را به دو سر خازن وصل کنیم، جریان متناوب سینوسی از خازن عبور می‌کند.

■ سه خازن  $\mu F$  مطابق شکل ۷-۶۶ به صورت

موازی اتصال دهد و ولتاژ دو سر هر یک را به طور جداگانه اندازه بگیرید.



شکل ۷-۶۶

$$V_{C_1} = \dots \text{V}$$

$$V_{C_2} = \dots \text{V}$$

$$V_{C_3} = \dots \text{V}$$

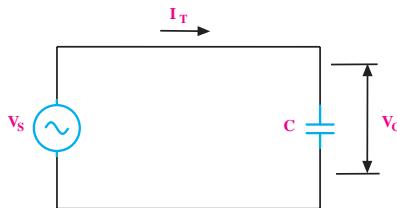
## ۷-۱۵-۴ نتایج آزمایش

نتایج حاصل از آزمایش‌های الف و ب را بنویسید.

$$X_C = \frac{V_s}{I_T} = \frac{1}{2\pi f C}$$

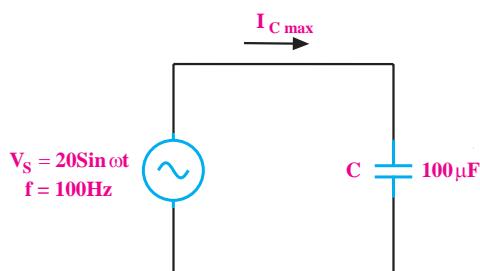
ظرفیت بر حسب فاراد  
راکتانس خازنی بر حسب اهم  
فرکانس بر حسب هرتز

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 میلیآمپر است؟



شکل ۷-۷۰

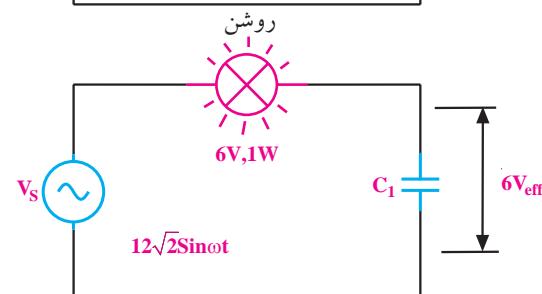
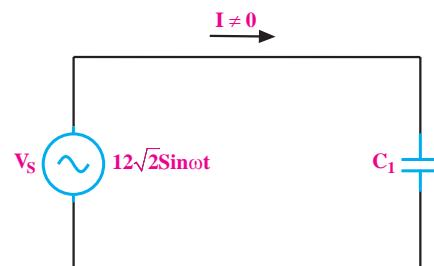
حل:

ابتدا رآکتانس خازنی را محاسبه می کنیم:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \times 100 \times 100 \times 10^{-9}} = \frac{10^6}{20000\pi} = \frac{50}{\pi}$$

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 هی مهم:

لامپ زمانی روشن می ماند که جریان عبوری از خازن  
بتواند توان مورد نیاز برای روشن شدن لامپ را تامین  
کنید.

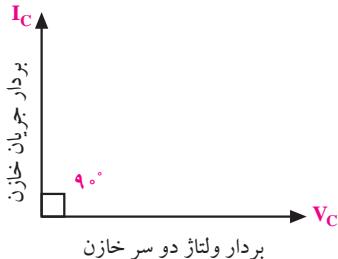
## ۷-۱۶-۲ رآکتانس خازنی

مقاومتی را که خازن در جریان متناوب از خود نشان  
می دهد، رآکتانس خازنی می گویند.

رآکتانس خازنی را با  $X_C$  نشان می دهد. مقدار  $X_C$  از

رابطه‌ی زیر به دست می آید:

ولتاژ و جریان دو سر خازن را می‌توان به صورت دو بردار که با یکدیگر  $90^\circ$  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 زاویه‌ی اختلاف فاز توسط اسیلوسکوپ

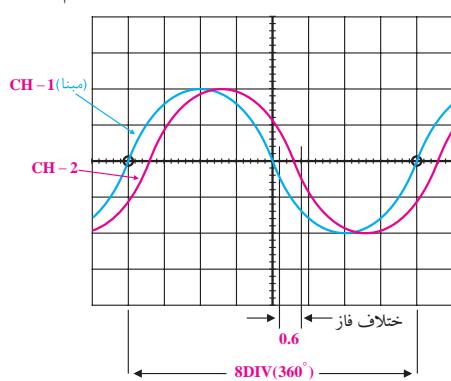
یکی از کاربردهای جالب اسیلوسکوپ اندازه‌گیری اختلاف فاز است. در این مورد دو روش متداول است.

الف - روش مستقیم

ب - استفاده از منحنی‌های لیساژور

### ۷-۱۷-۱ روش مستقیم

چنان‌چه دو موج هم فرکانس باشند، با داشتن اسیلوسکوپ دو کاناله به آسانی می‌توانیم هر یک از دو موج را به دو کanal 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

$$I_{c\max} = \frac{V_m}{X_C} = \frac{20}{50} = \frac{2\pi}{50} = 0.4\pi$$

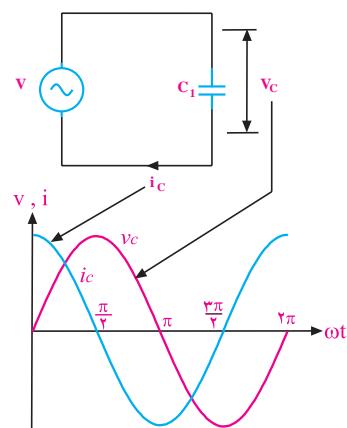
$$I_{c\max} = 1/256 A$$

### نکته‌ی مهم:

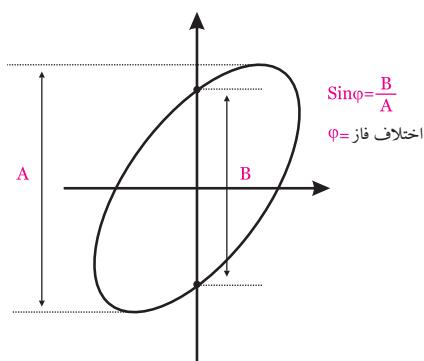
چون در مدار خازنی توان به صورت حرارت تلف نمی‌شود لذا علاوه‌بر ولتاژ و جریان موثر وجود ندارد. به جریان عبوری از خازن و ولتاژ دو سر آن، جریان و ولتاژ را کتبیو یا غیر مفید می‌گویند. نام رآکتانس خازنی نیز به همین دلیل انتخاب شده است.

### 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  $90^\circ$  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  $90^\circ$  درجه از ولتاژ جلوتر است.

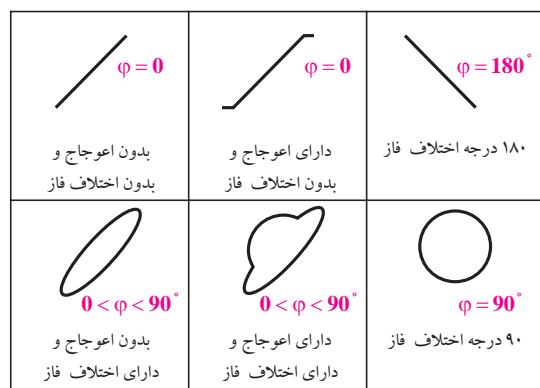


شکل ۷-۷۱ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در مدار خازنی



شکل ۷-۷۴ محاسبه‌ی اختلاف فاز با استفاده از منحنی لیسازور

در حالت‌های خاص، چنانچه دو موج هم فرکانس باشند یکی از شش حالت نشان داده در شکل ۷-۷۵ به وجود می‌آید.



شکل ۷-۷۵ حالت‌های خاص منحنی لیسازور

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 افقی شود.

در این صورت هر تقسیم‌بندی افقی معادل ۴۵ درجه خواهد بود. زیرا زاویه‌ی یک پریود کامل برابر با ۳۶۰ درجه است.

بنابراین:

$$\text{درجه} = \frac{360}{8} \text{ هر تقسیم افقی}$$

برای مثال اگر در شکل موج نشان داده شده اختلاف فاز

بین دو موج به ازای  $1/6$  تقسیم‌بندی باشد، میزان اختلاف فاز برابر با  $27$  درجه خواهد شد. زیرا:

$$\text{درجه} = 27 = \frac{1}{6} \times 360 \text{ اختلاف فاز}$$

## ۷-۱۷-۲ با استفاده از منحنی‌های لیسازور

با استفاده از اسیلوسکوپ در حالت  $y-X$  می‌توانیم اختلاف فاز بین دو شکل موج را اندازه بگیریم. برای این منظور ابتدا اسیلوسکوپ را در حالت  $y-X$  قرار می‌دهیم سپس موج مبنای 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.

## ۷-۱۸ آزمایش شماره‌ی (۴)

### توجه

خازن‌هایی را در جریان متناوب به کار ببرید که برای جریان متناوب ساخته شده باشند. روی بدنه‌ی 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.

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

### ۷-۱۸-۱ هدف آزمایش:

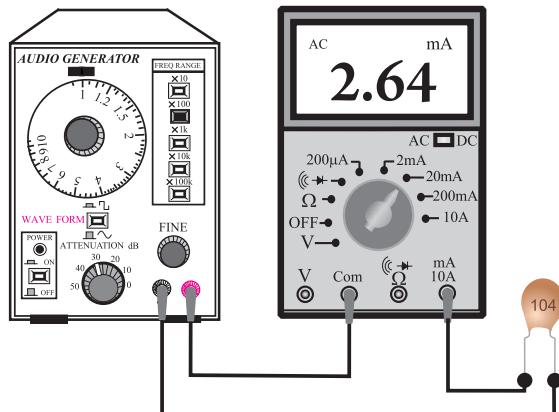
بررسی تاثیر ظرفیت خازن روی رآکتانس خازنی و اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان در مدار خازنی.

### توجه

چون مولتی‌مترها در اندازه‌گیری جریان متناوب (AC) دقت کاملی ندارند، از مولتی‌متر مرغوب استفاده کنید.

### ۷-۱۸-۳ مراحل اجرای آزمایش

- الف- بررسی تأثیر ظرفیت خازن در رآکتانس خازنی.
- وسایل مورد نیاز را آماده کنید.
- مدار شکل ۷-۷۶ را بیندید.



شکل ۷-۷۶ مدار آزمایش

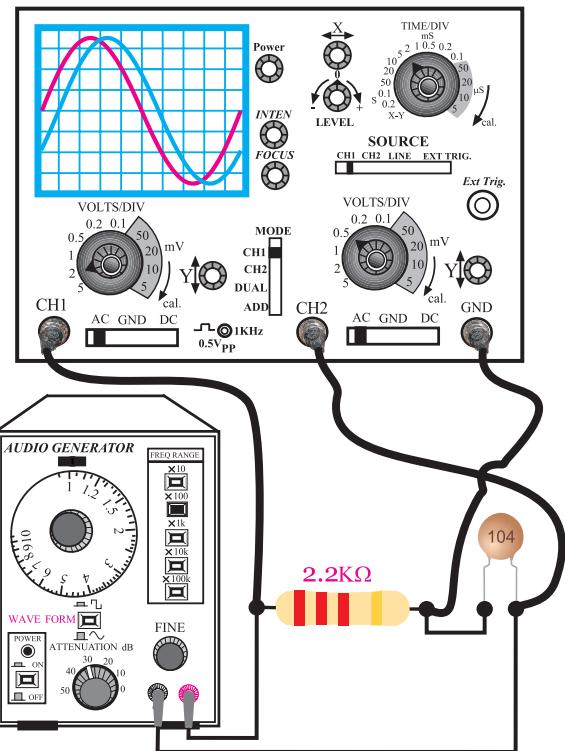
- سیگنال ژنراتور را روشن کنید و فرکانس آن را روی  $1\text{ KHz}$  بگذارید.

- شکل موج خروجی سیگنال ژنراتور را روی سینوسی

قرار دهید و ولوم تنظیم دامنه را روی  $6$  ولت تنظیم کنید.

### ۷-۱۸-۲ 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 سر گیره‌دار $50$ سانتی‌متری	به مقدار کافی
۴	سیم رابط یک سر گیره‌دار $50$ سانتی‌متری	به مقدار کافی
۵	خازن $0.1$ میکروفاراد $35$ ولت از نوع کاغذی	یک عدد
۶	خازن $0.01$ میکروفاراد $35$ ولت از نوع کاغذی	یک عدد
۷	اسیلوسکوپ دو کاناله	یک دستگاه
۸	مقاومت اهمی $2/2\text{ K}\Omega$	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  $1\text{ KHz}$  و دامنه  $6\text{ V}$  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 میلی‌آمپر متر را روی  $20\text{ mA}$  قرار دهید.

■ جریانی را که میلی‌آمپر متر نشان می‌دهد یادداشت کنید.

$$I = \dots \text{mA}$$

■ خازن  $10\mu\text{F}$  را با خازن  $10\text{ nF}$  تعویض کنید و

مجددآ مدار آزمایش ۷-۷۶ را بیندید.

■ حوزه‌ی کار میلی‌آمپر متر را روی  $2\text{ mA}$  قرار دهید.

■ جریانی را که میلی‌آمپر متر نشان می‌دهد یادداشت کنید.

$$I = \dots$$

### سوال ۱۶: چرا با کاهش ظرفیت خازن، میلی‌آمپر متر

AC جریان کم‌تری را نشان می‌دهد؟ توضیح دهید.

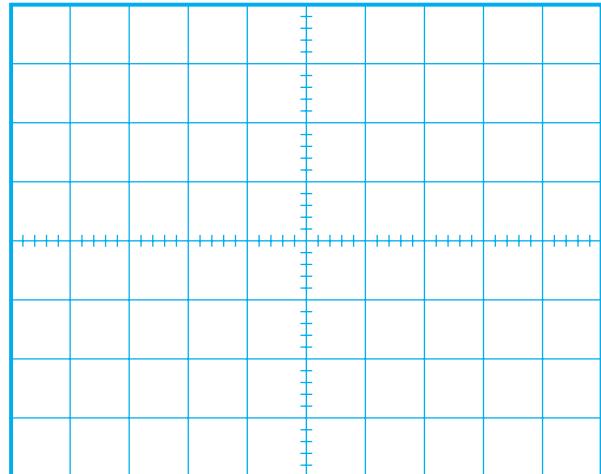
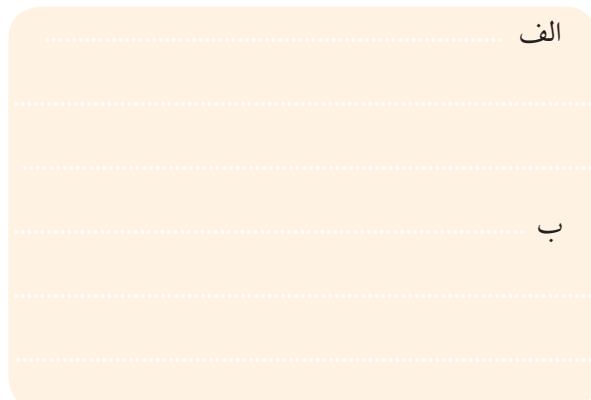


ب- برسی اختلاف فاز بین ولتاژ دو سر خازن و جریان گذرنده از آن.

■ مدار شکل ۷-۷۷ را بیندید.

#### ۷-۱۸-۴ نتایج آزمایش:

نتایج حاصل از آزمایش‌های الف و ب را به طور خلاصه بیان کنید.



شکل ۷-۷۸ شکل موج‌های نشان داده شده روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ

#### ۷-۱۹ مدار RC سری

اگر یک خازن و یک مقاومت اهمی را مطابق شکل ۷-۷۹ به صورت سری بیندیم 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.

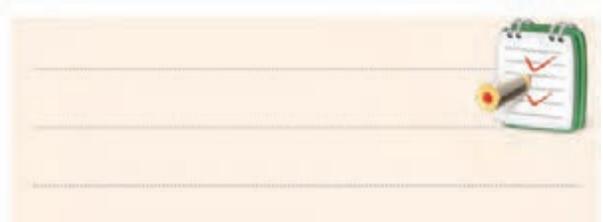


#### توجه

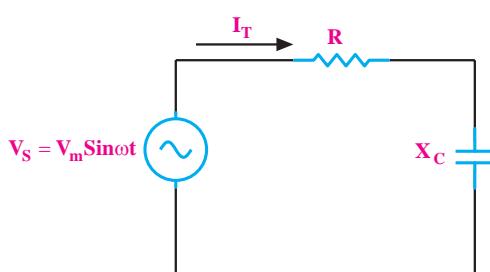
شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت اهمی در حقیقت همان شکل موج جریان گذرنده از خازن است.



**سوال ۱۷:** شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت اهمی که در کanal CH1 ظاهر می‌شود با شکل موج ولتاژ دو سر خازن که در کanal CH2 ظاهر می‌شود، چند درجه اختلاف فاز دارد؟ نحوه 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 مطلب را مجددًا مرور کنید.



شکل ۷-۷۹ مدار RC سری

## توجه



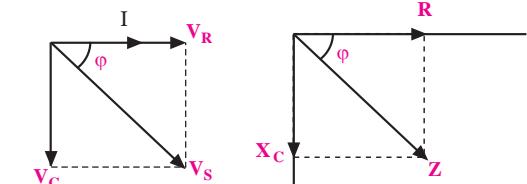
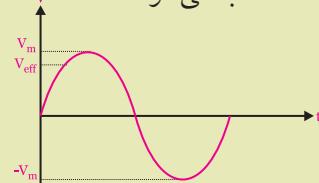
در مدارهای جریان متناوب

سینوسی منظور از  $V_{\text{eff}}$  و  $I_{\text{eff}}$

مقدار جریان و ولتاژ موثری

است که از روابط  $\frac{V_m}{\sqrt{2}}$  و  $\frac{I_m}{\sqrt{2}}$

محاسبه می‌شود.



الف- دیاگرام برداری امپدانس      ب- دیاگرام برداری ولتاژها

شکل ۷-۸۱ دیاگرام‌های برداری

در این شکل زاویه‌ی  $\varphi$  اختلاف فاز بین جریان (I) و ولتاژ مدار ( $V_s$ ) را نشان می‌دهد.

$\varphi$  از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$$

از روی دیاگرام برداری ولتاژها و امپدانس می‌توان

اختلاف فاز ( $\varphi$ ) را به صورت‌های زیر نوشت.

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$$

امپدانس

مقاومت اهمی

زاویه فاز

$\cos\varphi = \frac{V_R}{V_s}$

ولتاژ مقاومت اهمی

زاویه فاز

ولتاژ مدار

در مدارهای RC سری، ولتاژ دو سر هریک از عناصر

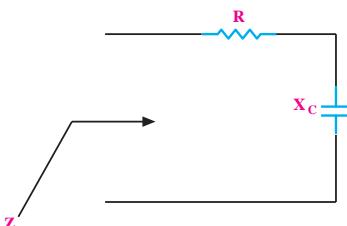
مدار از روابط زیر به دست می‌آید:

$$V_R = I_{\text{eff}} \cdot R$$

$$V_C = I_{\text{eff}} \cdot X_C$$

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

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

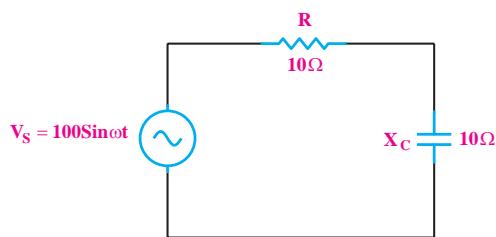
در یک مدار RC سری، مقدار Z از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} (\Omega)$$

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.

$$\text{مقدار موثر } I_T = \frac{V_s}{Z} \text{ مقدار موثر}$$

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{100}{\sqrt{2}} = 70/\sqrt{2} = 70/\sqrt{41}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2} = \sqrt{10^2 + 10^2} = \sqrt{200} = 14/\sqrt{14}\Omega$$

$$\text{مقدار موثر } I_T = \frac{70/\sqrt{2}}{14/\sqrt{14}} = 5A$$

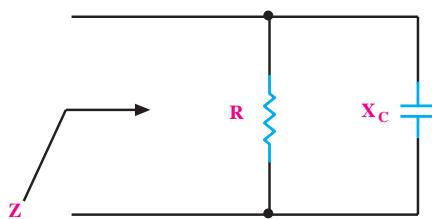
$$\cos \phi = \frac{R}{Z} = \frac{10}{14/\sqrt{14}} \approx 0.7$$

با استفاده از جدول مثلثاتی

$$\phi = 45^\circ$$

## ۷-۲۰ 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

در مدارهای جریان متناوب سینوسی منظور از  $I_{\text{eff}}$  مقدار  $V_m$  و  $I_m$  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 مدار هم فاز است و توان مؤثر مدار را مصرف می کند. ۲- ولتاژ دو سر خازن که از جریان مدار  $90^\circ$  درجه عقب است. این ولتاژ را ولتاژ راکتیو می نامند که توان راکتیو را در مدار به وجود می آورد.

### توجه

تمامی مقادیر ولتاژ و جریانی که در مثالها 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  $V_s = 120V$  یعنی مقدار ولتاژ  $V_s$ ،  $120$  ولت موثر است.

### ۷-۲۰-۱ امپدانس مدار RC موازی

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

امپدانس مدار RC موازی از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R} \quad \text{و} \quad \cos \varphi = \frac{I_R}{I_T}$$

جريان موثر کل مدار نیز از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

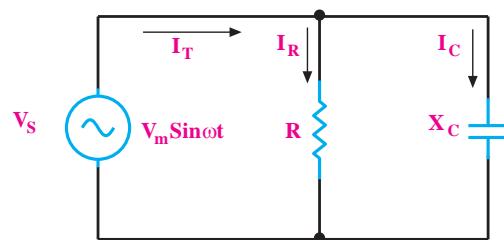
$$I_T = I_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{eff}}}{Z} \quad (\text{مقدار موثر})$$

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \frac{1}{X_C}$$

**مثال ۱۲:** خازنی به ظرفیت ۱۰۰۰ میکروفاراد با یک مقاومت ۴ اهمی به طور موازی به ولتاژ متناظر 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

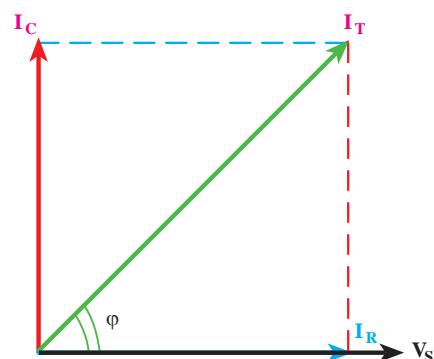
### ۷-۲۰-۲ دیاگرام برداری مدار RC موازی

دیاگرام برداری جریان‌های مدار مطابق شکل ۷-۸۵ رسم

می‌شوند.

حل:

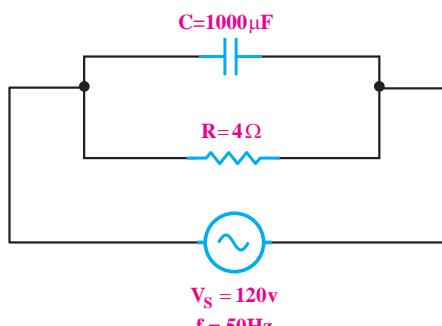
با توجه به توضیحات مطرح شده شکل مدار را مطابق شکل ۷-۸۶ می‌توان رسم کرد.



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.



شکل ۷-۸۶ مدار RC موازی

$$I_R = \frac{V_s}{R} \quad \text{و} \quad I_C = \frac{V_s}{X_C}$$

## ۷-۲۰ آزمایش شماره‌ی (۵)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

### ۷-۲۱-۱ هدف آزمایش:

بررسی امپدانس در مدارهای RC سری و موازی و

$$V_s = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

### ۷-۲۱-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	مولتی متر دیجیتالی	دو دستگاه
۲	خازن $\mu F$ و $10 nF$	از هر کدام یک عدد
۳	مقاومت $1K\Omega$ و $15K\Omega$	از هر کدام یک عدد
۴	فانکشن ژنراتور	یک دستگاه
۵	سیم رابط دو سرگیره سوسماری ۵۰ سانتی متری	شش رشته
۶	سیم رابط یک سرگیره سوسماری ۵۰ سانتی متری	چهار رشته
۷	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

### ۷-۲۱-۳ مراحل اجرای آزمایش:

الف: به دست آوردن امپدانس یک مدار RC

$$V_s = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

وسایل مورد نیاز را آماده کنید.

مدار شکل ۷-۸۷ را بیندید.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \times 3 / 14 \times 50 \times 1000 \times 10^{-9}}$$

$$X_C \approx 3 \Omega$$

$$I_R = \frac{V_s}{R} = \frac{120}{4} = 30 A \quad I_R = 30 A$$

$$I_C = \frac{V_s}{X_C} = \frac{120}{3} = 40 A \quad I_C = 40 A$$

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 A \quad I_T = 50 A$$

$$Z = \frac{V_s}{I_T} = \frac{120}{50} = 2.4 \Omega \quad Z = 2.4 \Omega$$

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R} = \frac{2.4}{4} = 0.6 \Rightarrow \varphi = 53^\circ$$

کلید AC-DC را در حالت AC بگذارید. کار بردهاید روی ۲۰ mA قرار دهید و

■ مقدار ولتاژی را که ولت‌متر و جریانی را که میلی‌آمپر متر نشان می‌دهد در جدول زیر یادداشت کنید:  
 مقدار ولتاژی را که ولت‌متر نشان می‌دهد.  
 مقدار جریانی که میلی‌آمپر متر نشان می‌دهد.  
 با استفاده از مقادیر ولتاژ و جریان، امپدانس را محاسبه کنید.

$$Z = \frac{V}{I} \text{ (ولت)} = \frac{\text{.....}}{\text{.....} (\text{آمپر})} = \dots\dots\dots \Omega$$

اندازه گیری  $Z = \dots\dots\dots \Omega$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \times 3 / 14 \times 50 \times C} = \frac{1}{314C}$$

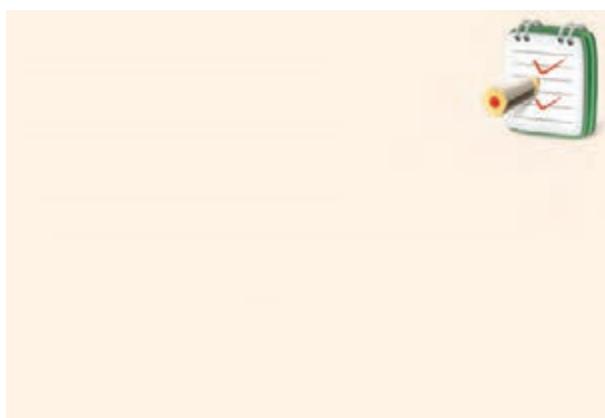
$$X_C = \dots\dots\dots \Omega$$

$$R = \dots\dots\dots \Omega$$

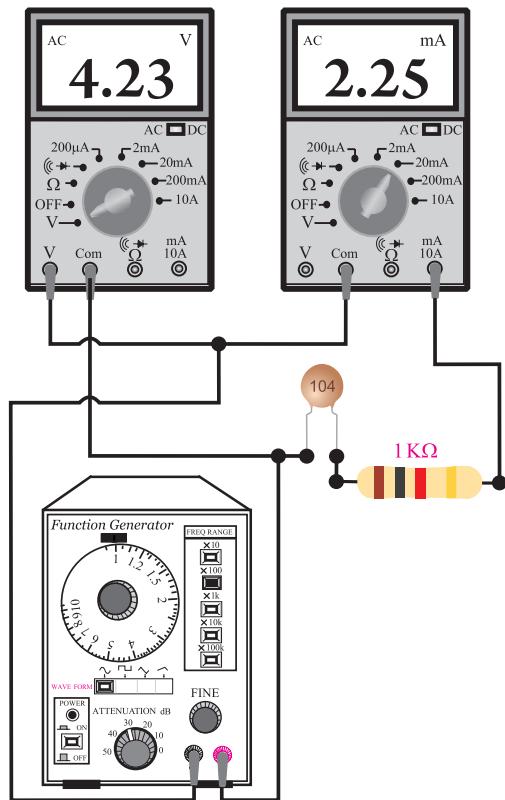
$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{(\dots)^2 + (\dots)^2} = \sqrt{\dots} \Omega$$

محاسبه  $Z = \dots\dots\dots \Omega$

**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 بیندید.



شکل ۷-۸۷ مدار آزمایش

**توجه**  
 در صورتی که دو یا ۳ مولتی‌متر در اختیار ندارید از یک مولتی‌متر استفاده کنید.



- فانکشن ژنراتور را روی فرکانس ۱ KHz و دامنه 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 بادداشت کنید.

$V_R = \dots$  ولتاژ دوسر مقاومت اهمی

ولتاژ دوسر حازن  $V_C = \dots$

■ یکی از ولت‌مترها را از مدار جدا کنید و با آن ولتاژ خروجی فانکشن ژنراتور را اندازه بگیرید.

$V_s =$  ولتاژ خروجی فانکشن ژنراتور

■ مقادیر  $V_R$  و  $V_C$  را در رابطه‌ی زیر قرار دهید و مقدار  $V_5$  را محاسبه کنید.

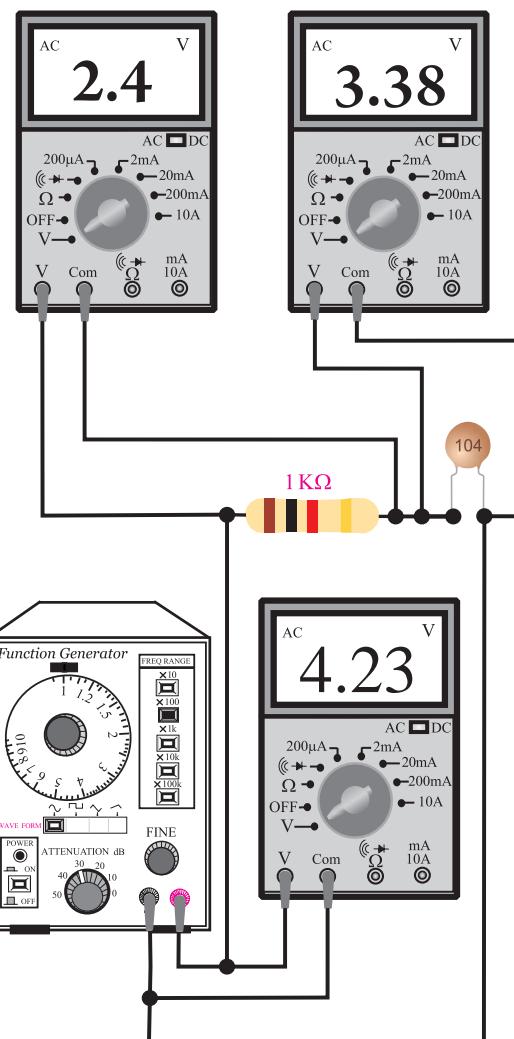
$$V_s = \sqrt{V_R^2 + V_C^2} = \sqrt{(\dots)^2 + (\dots)^2} = \sqrt{\dots}$$

**سوال ۱۹:** آیا مقدار  $V_s$  محاسبه شده با مقدار  $V_s$  ندازه گیری شده در خروجی فانکشن ژنراتور تقریباً برابر است؟ توضیح دهید.



توجہ

چنانچه سه مولتی متر در اختیار ندارید از یک مولتی متر استفاده کنید.



### شکل ۷-۸۸ مدار آزمایش

فانکشن ژنراتور را روی فرکانس ۱KHz 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=..... $\Omega$  اندازه گیری

مقدار Z را محاسبه کنید.

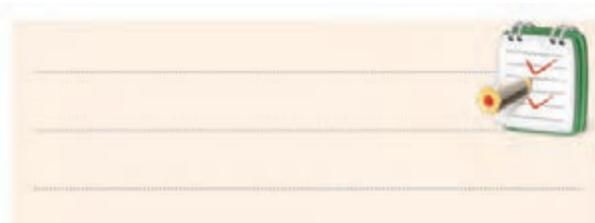
$$\frac{1}{Z'} = \frac{1}{R'} + \frac{1}{X_C'}$$

$$\frac{1}{Z'} = \frac{1}{(\dots\dots)'} + \frac{1}{(\dots\dots)'}$$

Z=..... $\Omega$  محاسبه

**سوال ۲۰:** آیا مقدار Z اندازه گیری شده با مقدار Z

از طریق محاسبه‌ی ریاضی به دست آمده است تقریباً با هم برابرند؟ توضیح دهید.

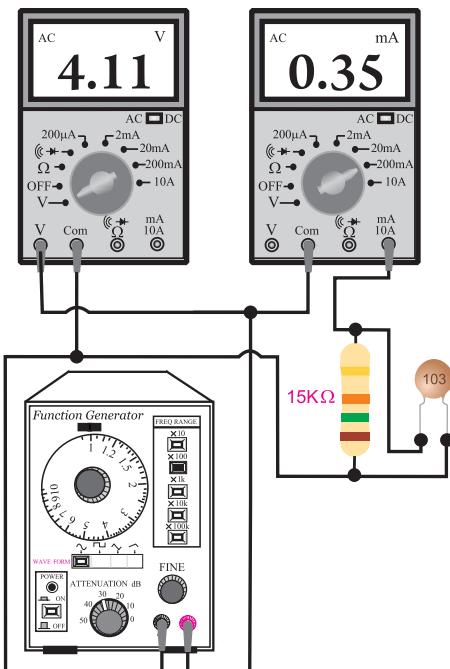


#### ۷-۲۰-۴ نتایج آزمایش

نتایج حاصل از آزمایش‌های الف و ب را به طور خلاصه بیان کنید.

الف

ب



شکل ۷-۸۹ مدار عملی آزمایش

■ کلید سلکتور مولتی‌متر را که به عنوان ولت‌متر به کار برده‌اید در حالت AUTO یا رنج ۲۰ ولت و کلید AC-DC را در حالت AC-DC قرار دهید.

■ کلید سلکتور مولتی‌متر را که به عنوان میلی‌آمپر‌متر به کار برده‌اید روی رنج مناسب بگذارید و کلید AC-DC را در حالت AC-DC قرار دهید.

■ فانکشن ژنراتور را روی فرکانس ۱ KHz و دامنه‌ی ولتاژ ۶ ولت سینوسی تنظیم کنید.

■ مقدار ولتاژ را که ولت‌متر و مقدار جریانی را که میلی‌آمپر متر نشان می‌دهد یادداشت کنید.

I = ..... mA جریان مدار

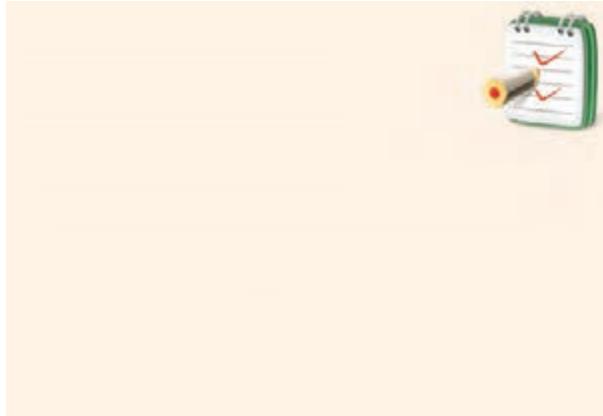
V = ..... V ولتاژ خروجی فانکشن ژنراتور

■ با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده، امپدانس مدار را

## آزمون پایانی ۷



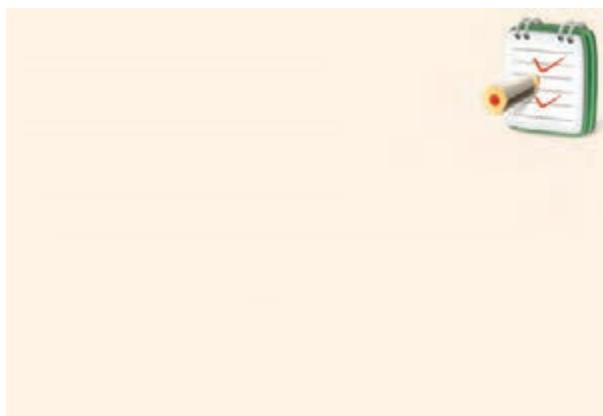
۴- در یک خازن، ۰/۰۱ میلی کولمب بار الکتریکی ذخیره شده است. اگر ظرفیت خازن  $F = ۱۰ \mu\text{A}$  باشد و لتاژ دو سر خازن چند ولت است؟



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 اهم‌تر عقربه‌ای را شرح دهید.

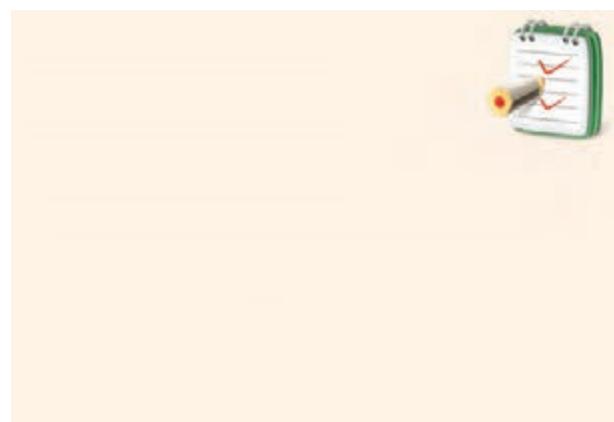
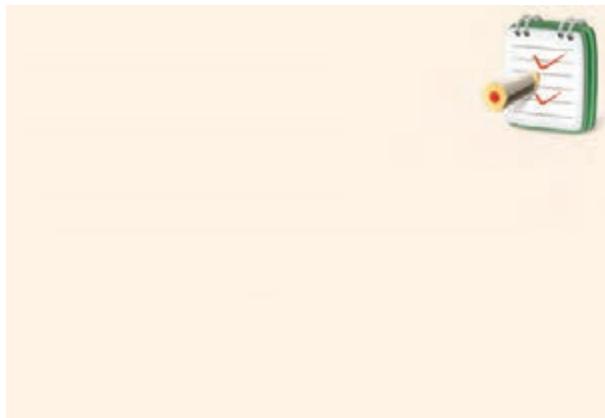


۳- ساختمان خازن را به طور کامل با رسم شکل شرح دهید.

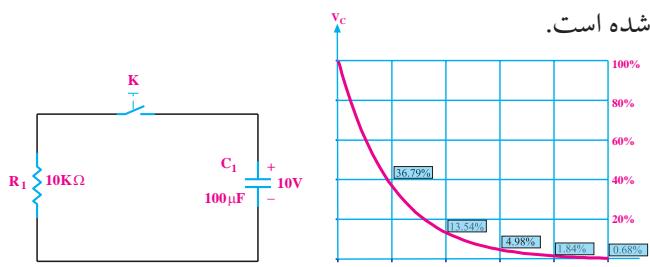


۷- اگر یک خازن را به یک ولتاژ DC وصل کنیم چه

اتفاقی می افتد؟ شرح دهید.

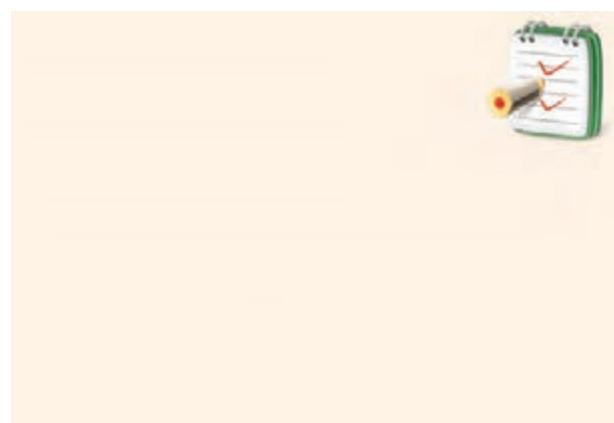


- ۱۰- در شکل ۷-۹۱ با توجه به منحنی دشارژ خازن بعد از بسته شدن کلید K پس از چند ثانیه ولتاژ دو سر خازن کمتر از ۱۰ ولت می شود؟ خازن قبلاً به اندازه‌ی ۱۰ ولت شارژ شده است.

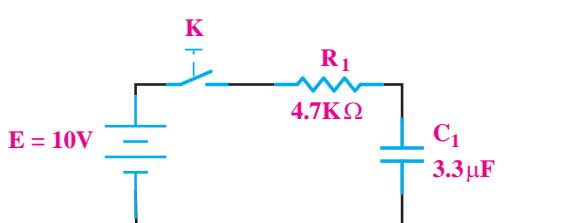


شکل ۷-۹۱

- ۸- چگونه می توان ظرفیت یک خازن را اندازه گرفت؟ مراحل اندازه گیری را شرح دهید.

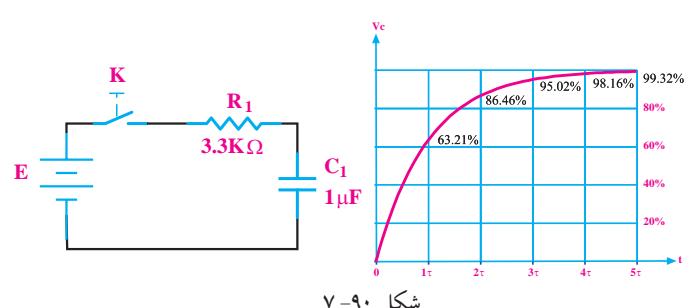


- ۱۱- در شکل ۷-۹۲ بعد از بسته شدن کلید، شکل تقریبی جریان شارژ خازن را رسم کنید.

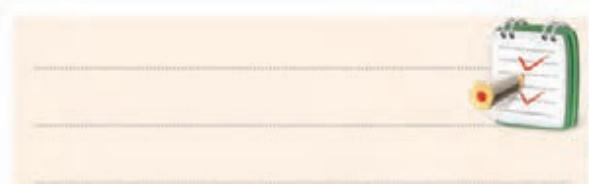
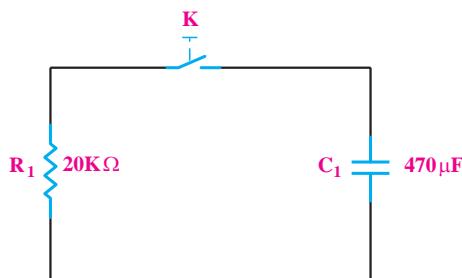


شکل ۷-۹۲

- 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.

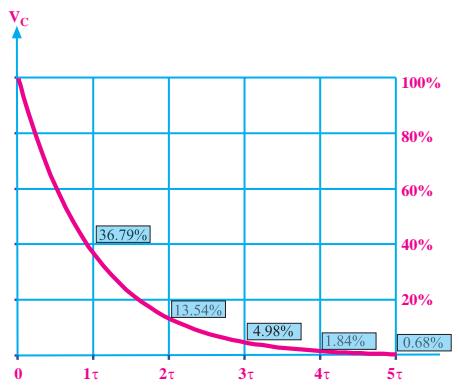


شکل ۷-۹۰

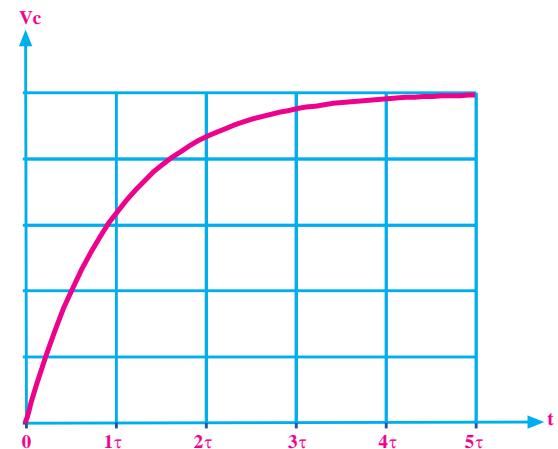
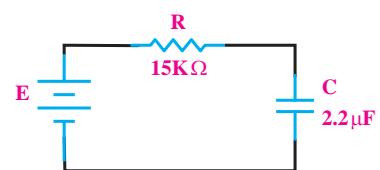


۱۲- در شکل ۷-۹۳ با توجه به منحنی شارژ خازن بعد از

سه ثابت زمانی ولتاژ دوسر خازن چند ولت می شود؟



شکل ۷-۹۴



شکل ۷-۹۳

۱۴- مقدار انرژی ذخیره شده در صفحات خازن به چه عواملی بستگی دارد؟ با ذکر روابط شرح دهید.

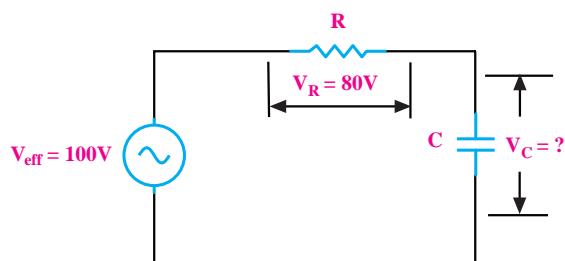


۱۵- چهار مشخصه از مشخصات خازن را نام ببرید.

۱۳- در شکل ۷-۹۴ ولتاژ دوسر خازن به اندازه‌ی ۱۵

ولت است. اگر کلید K را وصل کنیم، با توجه به منحنی دشارژ خازن، پس از سه ثابت زمانی ولتاژ دوسر خازن چند ولت می شود؟

۱۹- در شکل ۷-۹۶ ولتاژ دو سر خازن چند ولت است؟



شکل ۷-۹۶



۲۰- خازن  $100\text{ PF}$  معادل چند میکرو فاراد است؟

- (الف)  $10^{-8}$    (ب)  $10^{-5}$    (ج)  $10^{-10}$    (د)  $10^{-4}$

۲۱- برای دشوارز 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 می‌شود      (ب) زیادتر می‌شود

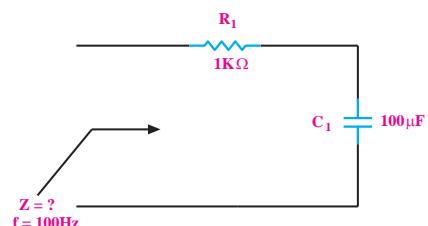
ج) تغییر نمی‌کند      (د) با توان دو تغییر می‌کند.

۲۳- ظرفیت خازن معادل ۲ خازن مساوی که به صورت موازی بسته شده‌اند ..... برابر ظرفیت هر یک از خازن‌های مدار است.

(الف)  $\frac{1}{2}$    (ب)  $2$    (ج)  $\sqrt{2}$    (د)  $\frac{1}{\sqrt{2}}$

۲۴- ظرفیت خازن معادل بین دو نقطه‌ی A و B در شکل

۱۶- در شکل ۷-۹۵ امپدانس مدار را محاسبه کنید.



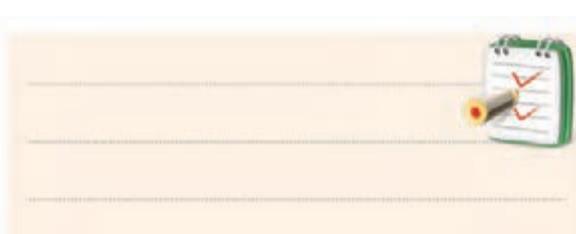
شکل ۷-۹۵



۱۷- راکتانس خازنی را تعریف کنید.



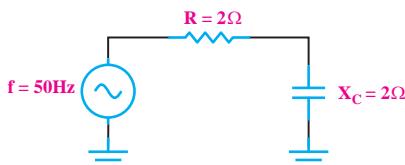
۱۸- در یک خازن با افزایش فرکانس، راکتانس خازنی چه تغییری می‌کند.



ظرفیت خازن  $F = 1/\mu$  باشد. فرکانس مدار تقریباً چند هرتز است؟

الف) ۵۰      ب) ۶۰      ج) ۱۰۰      د) ۲۰۰

۳۰- امپدانس مدار شکل ۷-۹۹ چند اهم است؟



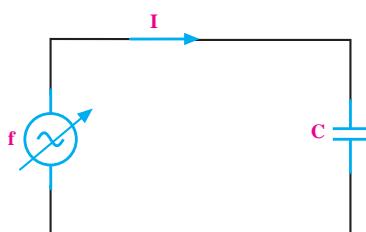
شکل ۷-۹۹

الف) ۲/۸۲      ب) ۸      ج) ۴      د) صفر

۳۱- در شکل ۷-۱۰۰ هرقدر فرکانس افزایش یابد، مقدار

..... می شود.

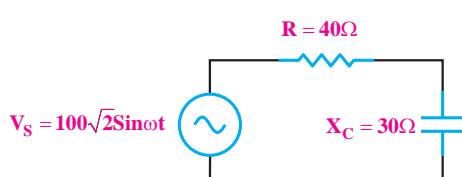
ب) زیاد     الف) کم



شکل ۷-۱۰۰

۳۲- در شکل ۷-۱۰۱ جریان موثر مدار و اختلاف فاز بین

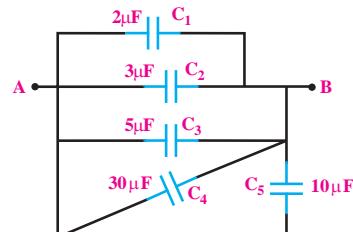
جریان و ولتاژ را به دست آورید.



شکل ۷-۱۰۱

۷-۹۷ چند میکرو فاراد است.

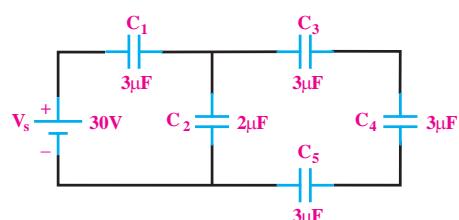
الف) ۱۵۰      ب) ۵۰      ج) ۸۰      د) ۲۰



شکل ۷-۹۷

۷-۹۸- ولتاژ دو سر خازن C در شکل ۷-۹۷ چند ولت

است؟



شکل ۷-۹۸

الف) ۱۴/۵      ب) ۱۵      ج) ۱۲      د) ۱۷

۷-۹۹- از خازن در مدارهای الکتریکی برای ذخیره انرژی

الکتریکی استفاده می شود.

الف) صحیح     ب) غلط

۷-۱۰۲- ظرفیت یک خازن با فاصله i بین صفحات آن

رابطه‌ی مستقیم دارد.

الف) صحیح     ب) غلط

۷-۱۰۳- حداکثر ولتاژی که می‌توان به طور دائم به خازن

اعمال کرد را ولتاژ ذخیره شده گویند.

الف) صحیح     ب) غلط

۷-۱۰۴- راکتانس خازنی یک خازن ۷۹۰۰ اهم است. اگر

## فصل هشتم

### عملکرد سلف در جریان مستقیم و متناوب

**هدف کلی:** بررسی اثرات سلف در مدارهای RL سری و موازی

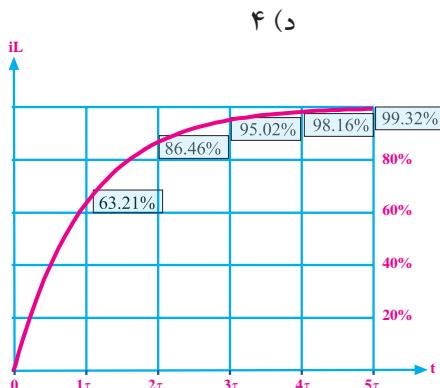
پس از پایان این فصل از فرآگیرنده انتظار می‌رود که:



- ۱- میدان مغناطیسی را تعریف کند.
- 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 محسبه کند.
- ۶- جریان القایی و ضریب خود القایی سلف را تعریف توضیح دهد.
- ۷- ولتاژ القایی و نحوه تولید آن را توضیح دهید.
- 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 اهمتر 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 دوسر 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

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) برادهای آهن

ج) از طریق مشاهده 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.

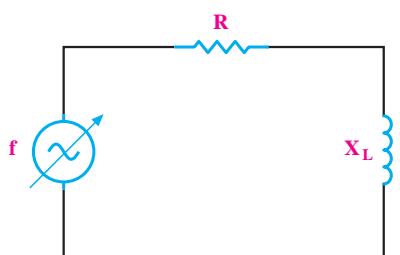
۴- اجزای یک سلف کدام است؟

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



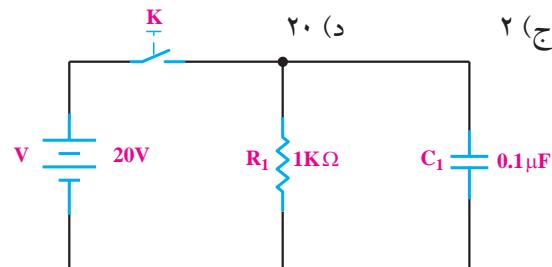
۶- به میدان ایجاد شده در فضای اطراف یک سیم حامل جریان، میدان ..... گویند.

الف) الکتریکی      ب) مغناطیسی  
ج) الکترومغناطیسی      د) استاتیکی

۷- با تبدیل سیم راست به صورت حلقه، میدان مغناطیسی ..... می شود.

الف) زیاد      ب) کم

۸- در قانون دست راست برای سیم حامل جریان انگشت شست جهت .....، و خم شدن چهار انگشت دیگر جهت رانشان می دهد.



۹- ۶۴۵۸/۵ میکرو هانری، چند میلی هانری است؟

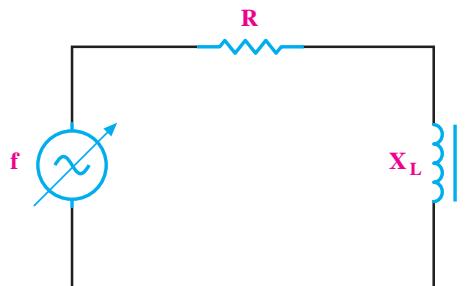
الف) ۶۴/۵۸۵      ب) ۶۴۵۸۵

ج) ۶۴۵/۸۵      د) ۶۴۵۸۵۰۰

۱۰- در یک مدار RL سری، بعد از چند ثابت زمانی، جریان مدار تقریباً به ۹۵٪ جریان ماکریم می رسد؟

الف) ۱      ب) ۲

عامل مشترک جریان	•	۱۲- از یک سلف با $L=3H$ , جریان $2A$ عبور می کند، انرژی ذخیره شده در آن چند ژول است؟
عامل مشترک ولتاژ	•	الف) ۹۰ ب) ۶۰ ج) ۶ د) ۶
$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$	•	۱۳- برای محاسبه امپدانس مدار زیر از کدام رابطه استفاده می شود؟
$\cos\varphi = \frac{Z}{R}$	•	• سری RL • موازی RL
$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$	•	
$Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$	•	
$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$	•	
$V_T = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$	•	



## ۱- خطوط نیروی مغناطیسی و میدان مغناطیسی

### ۱-۱ میدان مغناطیسی آهنربا

جسمی که خاصیت مغناطیسی داشته باشد را آهنربا می گویند. همانطور که می دانید، یک آهنربا می تواند بدون اینکه با یک قطعه آهن تماس داشته باشد، آن را جذب کند یا از یک فاصله معین بر روی آهنربای دیگر نیرو وارد می کند. دلیل اینکه یک آهنربا به آهنربای 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 (آهنربا) که می تواند روی اجسام مغناطیسی دیگر اثر بگذارد را «میدان مغناطیسی» می گویند. آهنربای 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 ۱-۸.

الف) $Z = R + X_L$	ب) $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$
ج) $Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$	د) $Z = R \cdot X_L$

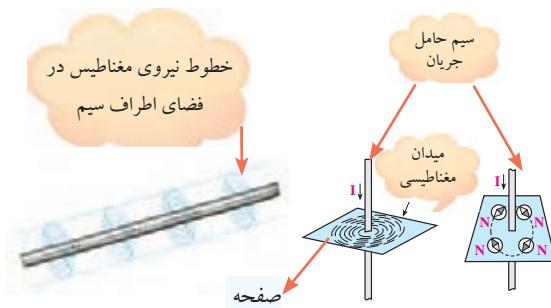
۱۴- اگر در ترانسفورماتوری نسبت دور اولیه به ثانویه برابر با ۵ و تعداد دور سیم پیچ ثانویه ۲۰۰ دور باشد، تعداد دور اولیه را محاسبه کنید.



۱۵- پاسخ های صحیح ستون سمت چپ را به ستون سمت راست با ترسیم خطوط رنگی جداگانه ارتباط دهید.

## ۸-۱ میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان

اگر از یک سیم یا یک هادی، جریانی عبور کند، اطراف این سیم یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود. اگر روی صفحه‌ای در فضای اطراف سیم با نمک پاش براده‌ی آهن بریزیم، مشاهده می‌کنیم که براده‌های آهن دور سیم حامل جریان حلقه می‌زنند. شکل ۸-۴ میدان مغناطیسی را در اطراف سیم حامل جریان نشان می‌دهد.

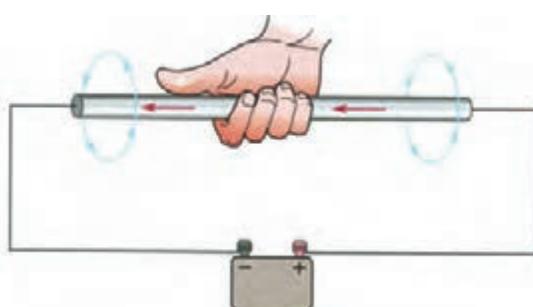


شکل ۸-۴ میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان

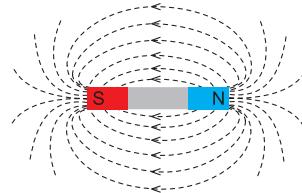
هر قدر مقدار جریان عبوری از سیم حامل جریان بیشتر باشد، میدان مغناطیسی اطراف سیم قوی‌تر می‌شود. به عبارت دیگر فلوی مغناطیسی افزایش می‌یابد.

جهت میدان مغناطیسی را به کمک قانون دست راست می‌توان تعیین کرد.

همانند شکل ۸-۵ 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 می‌دهد.

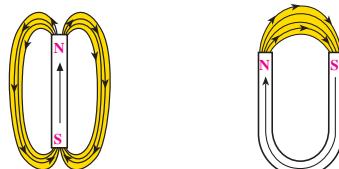


شکل ۸-۵ میدان مغناطیسی و قانون دست راست



شکل ۱-۱ میدان مغناطیسی اطراف آهن ربا

فلوی مغناطیسی عبارت از کلیه‌ی خطوط میدان مغناطیسی است که از قطب شمال آهن ربا خارج می‌شود و به قطب جنوب آهن ربا می‌رسد. فلوی مغناطیسی را با حرف «Φ» نمایش می‌دهند و واحد آن بر حسب وبر «Wb» است. در شکل ۸-۲ جهت خطوط میدان را در بیرون و درون دو نمونه آهن ربا مشاهده می‌کنید. همانطور که مشاهده می‌شود خطوط میدان از قطب شمال خارج می‌شود و پس از وارد شدن به قطب جنوب از طریق داخل آهن ربا به قطب شمال می‌رسد.



شکل ۸-۲ جهت خطوط میدان مغناطیسی

میدان مغناطیسی با چشم مشاهده نمی‌شود ولی اثر آن را با یک قطب‌نمای ساده می‌توان مشاهده نمود. شکل ۸-۳ اثرات این میدان را روی حرکت عقربه‌ی قطب‌نما و چگونگی تراکم براده‌های آهن در اطراف آهن ربا نشان می‌دهد.

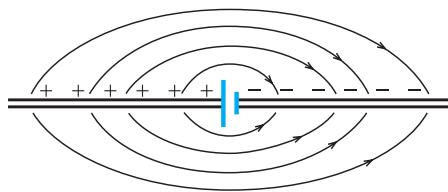


شکل ۸-۳ اثر میدان مغناطیسی روی قطب‌نما و براده‌های آهن

است. همانند شکل ۸-۶-ج چنان‌چه جهت جریان عبوری از سیم عوض شود، جهت میدان مغناطیسی نیز عوض خواهد شد.

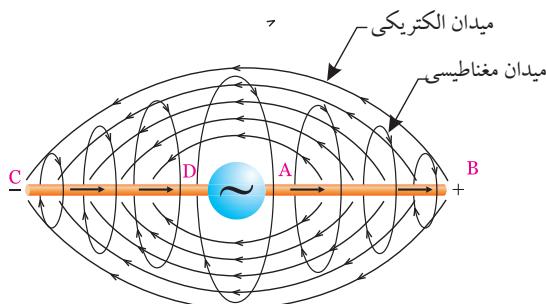
### ۳-۱-۸ میدان الکترومغناطیسی

یادآوری می‌شود اگر از یک سیم هادی، جریانی عبور کند در آن میدان الکتریکی ایجاد می‌شود. در شکل ۸-۷ میدان الکتریکی اطراف سیم هادی که به قطب‌های مثبت و منفی یک منبع ولتاژ DC اتصال دارد را مشاهده می‌کنید. خطوط میدان الکتریکی از قطب مثبت به سمت قطب منفی رسم شده است.



شکل ۸-۷ میدان الکتریکی

با توجه به مطالب بیان شده پی‌می‌بریم با عبور جریان از سیم هادی در اطراف آن میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود. ترکیب این دو میدان را میدان الکترومغناطیسی می‌نامند، شکل ۸-۸.



شکل ۸-۸ میدان الکترومغناطیسی

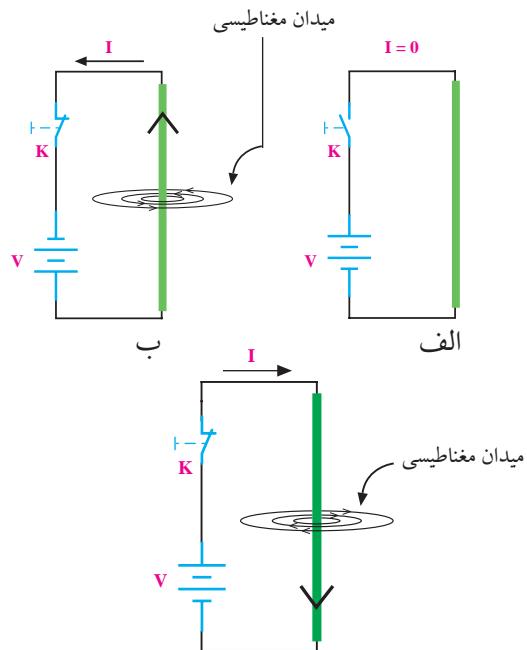
میدان الکترومغناطیسی سه بعدی است و در آن میدان الکتریکی، میدان مغناطیسی و حرکت وجود دارد.

### 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-ج جهت میدان مغناطیسی و جهت جریان در سیم نشان داده شده است

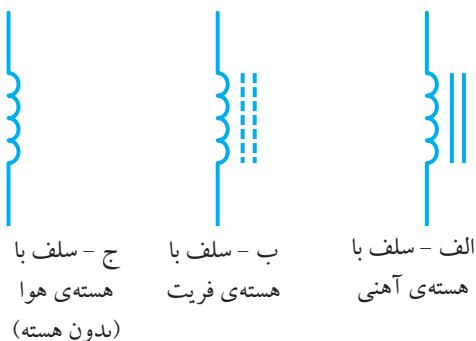


شکل ۸-۶ میدان مغناطیسی در اطراف سیم

همانطور که مشاهده می‌کنید 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

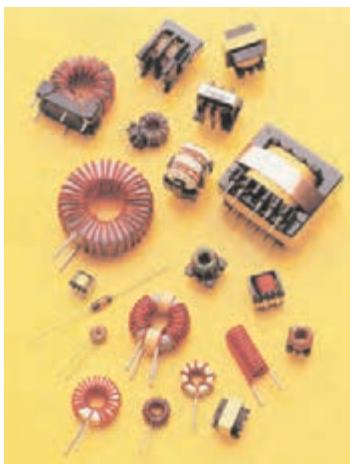
### ۸-۲-۱ ساختمان سلف یا سیم پیچ



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.



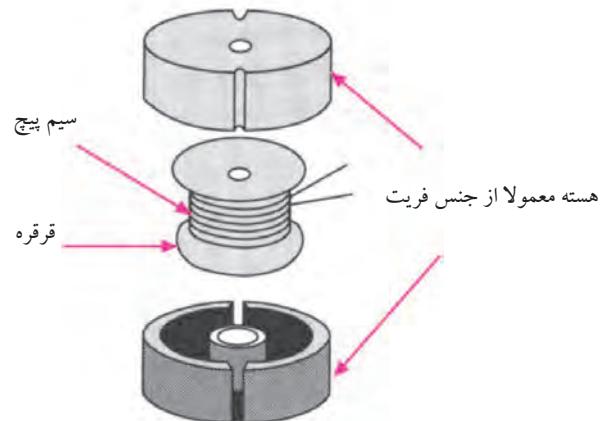
شکل ۸-۱۲ چند نمونه سلف کوچک

### ۸-۲-۲ میدان مغناطیسی اطراف سلف

اگر سیم حامل جریان را به صورت یک حلقه یا چند حلقه درآوریم، میدان مغناطیسی اطراف سلف 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.

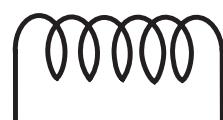
سلف یا سیم پیچ عنصری است که انرژی الکتریکی را به صورت میدان مغناطیسی در خود ذخیره می‌کند. یک سلف عمولاً از سه قسمت تشکیل می‌شود: قرقره سیم پیچ هسته

در شکل (۸-۹) اجزای یک سلف معمولی نشان داده شده است.



شکل ۸-۹ اجزای یک نمونه سلف معمولی

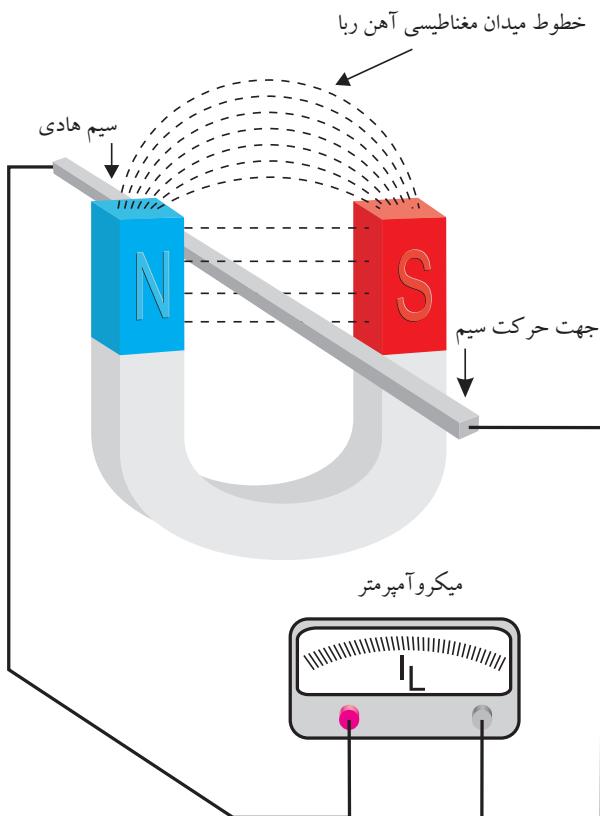
لازم به یادآوری است که یک سلف می‌تواند قرقره‌ی سیم پیچی و هسته نداشته باشد و فقط از چند دور سیم تشکیل شده باشد، شکل ۸-۱۰.



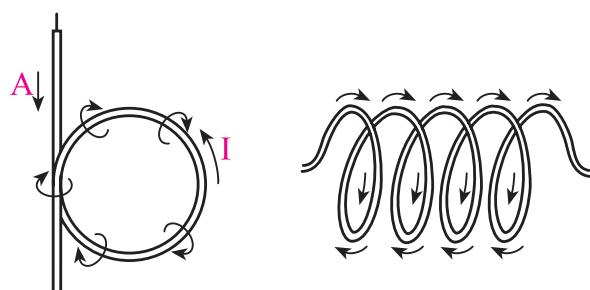
شکل ۸-۱۰ سلف معمولی

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.



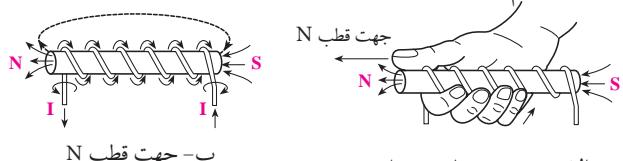
شکل ۸-۱۵ تولید جریان القایی



الف- میدان مربوط به چند حلقه  
ب- میدان مربوط به یک حلقه

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 خود بگیریم که جهت خم شدن چهار انگشت، در جهت قراردادی جریان قرار گیرد، انگشت شست، جهت قطب N میدان مغناطیسی اطراف سیم را نشان خواهد داد.



الف- جهت جریان و میدان

#### ۸-۴ ضریب خود القایی سلف

همانطور که قبل 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 درآوریم، مقدار فلوي مغناطیسی نسبت به یک سیم راست (با همان جریان قبلی) در داخل حلقه بیشتر می شود.

اگر به جای یک حلقه، سیم را به صورت دو حلقه درآوریم و همان جریان قبلی را از آن عبور دهیم مقدار فلوي مغناطیسی باز هم بیشتر می شود، در شکل ۸-۱۶ فلوي (شار) مغناطیسی را مشاهده می کنید.

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 کنند سیم متوجه 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.

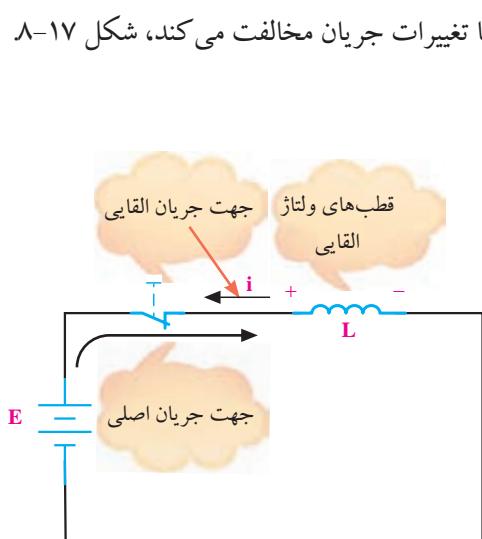
مقدار ولتاژ ایجاد شده در دو سر سیم پیچ بستگی به مقدار

ضریب خود القایی ( $L$ ) و نسبت تغییرات جریان به تغییرات زمان دارد.

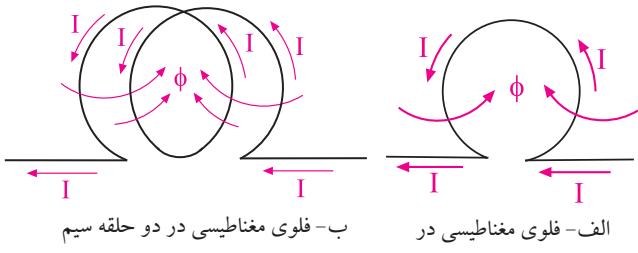
$$V = -L \frac{\text{تغییرات جریان گذرنده از سیم پیچ}}{\text{تغییرات زمان}} = \frac{\text{ولتاژ به وجود آمده در دو سر سیم پیچ}}{\text{زمان دارد.}}$$

علامت منفی به مفهوم مخالفت با عامل به وجود آورندهی جریان است.

قطب های 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 ۸-۱۷



شکل ۸-۱۷ ولتاژ القایی



الف- فلوی مغناطیسی در یک حلقه سیم  
ب- فلوی مغناطیسی در دو حلقه سیم

شکل ۸-۱۶ فلوی مغناطیسی

در یک سیم پیچ، نسبت فلوی مغناطیسی ایجاد شده به جریان گذرنده از سیم پیچ ( $I$ ) را ضریب خود القایی سلف (اندوكتانس) می گویند و با حرف  $L$  نشان می دهند:

$$L = \frac{\Phi}{(جریان گذرنده از سیم پیچ)}$$

$L$ = 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 میکرو هانری می نامند. این واحدها نیز در الکترونیک کاربرد دارد. میلی هانری را با  $mH$  و میکرو هانری را  $\mu H$  نشان می دهند.

$$\frac{1}{1000} H = 10^{-3} H = 1 mH = \text{میلی هانری}$$

$$\frac{1}{1000000} H = 10^{-6} H = 1 \mu H = \text{میکرو هانری}$$

## ۸-۵ ولتاژ القایی

اگر از یک سیم یا یک هادی، جریانی عبور کند، اطراف این سیم یک میدان مغناطیسی ایجاد می شود. چنانچه جریان عبوری تمايل به تغییر پیدا کند، سیم پیچ با تغییر جریان مخالفت می نماید و این مخالفت به صورت ایجاد ولتاژی به نام ولتاژ

## ۸-۶ شارژ و دشارژ سلف

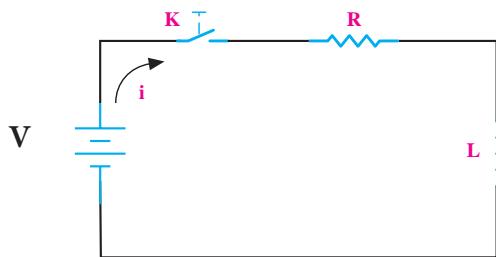
هنگام تخلیه‌ی انرژی سلف، ممکن است یک جرقه، حتی جرقه‌ی شدید در نقطه‌ای که مدار قطع می‌شود، مانند کلید قطع و وصل به وجود آید. تخلیه‌ی انرژی سلف را دشارژ سلف نیز می‌گویند.

## ۸-۷ ثابت زمانی در مدار RL سری

در شکل ۸-۱۹ اگر کلید بسته شود، جریان در مدار به آرامی زیاد می‌شود. تقریباً بعد از ۵ ثابت زمانی جریان به حد اکثر مقدار خود می‌رسد. ثابت زمانی مدار RL سری از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\tau = \frac{L}{R} \text{ تاو}$$

اگر L بر حسب هانری و R بر حسب اهم باشد  $\tau$  بر حسب ثانیه خواهد بود.



شکل ۸-۱۹ مدار شارژ سلف

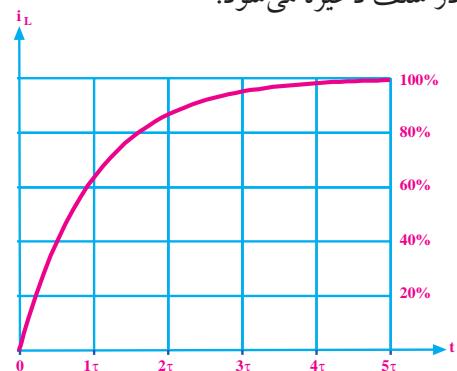
جدول ۸-۱ جریان مدار در هر ثابت زمانی را بر حسب درصدی از جریان ماکزیمم نشان می‌دهد.

جدول ۸-۱

ثابت زمانی	درصد ماکزیمم جریان مدار
$\tau$	% ۶۳/۲۱
$۲\tau$	% ۸۶/۴۶
$۳\tau$	% ۹۵/۰۲
$۴\tau$	% ۹۸/۱۶
$۵\tau$	% ۹۹/۳۲

وقتی یک سلف را به ولتاژ DC وصل می‌کنیم، جریان در مدار به آرامی و به صورت تابع نمایی (جهشی) زیاد می‌شود. شکل ۸-۱۸ نحوه افزایش جریان در سلف را نشان می‌دهد.

همان‌طور که مشخص است، پس از مدتی جریان در مدار تقریباً به حد اکثر مقدار خود می‌رسد. در این حالت حد اکثر انرژی در سلف ذخیره می‌شود.



شکل ۸-۱۸ 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:

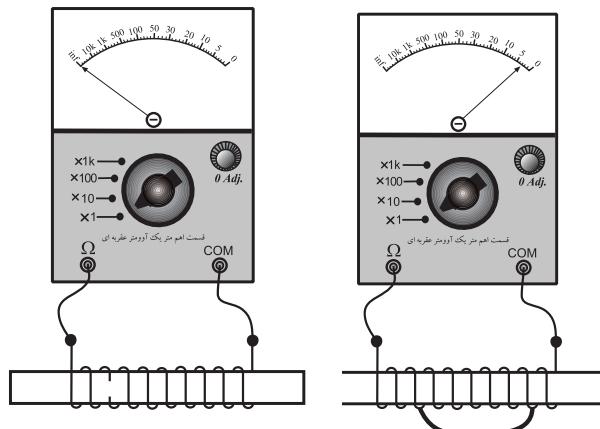
$W$  = انرژی ذخیره شده بر حسب ژول

$L$  = 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. قبل اشاره کردیم که اگر خازن را از مدار جدا می‌کردیم انرژی ذخیره شده در آن باقی می‌ماند.

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 می‌دهد.



الف- قسمتی از سلف اتصال کوتاه شده است. ب- سلف قطع شده است.

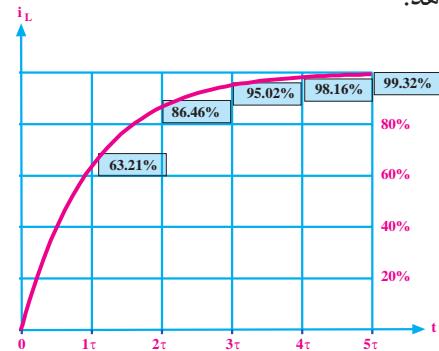
شکل ۸-۲۲ سلف معیوب

### ۸-۹ سلف(سیم پیچ) در جریان متناوب

#### ۱- عملکرد سلف در جریان متناوب

اگر یک سلف را به ولتاژ DC وصل کنیم، از آن جریان عبور می‌کند و فقط مقاومت اهمی سیم پیچ جریان را محدود می‌نماید. اگر سلف را ایده‌آل در نظر بگیریم یعنی مقاومت آن را صفر فرض کنیم، سلف در برابر جریان مستقیم هیچ مقاومتی از خود نشان نمی‌دهد، شکل ۸-۲۳

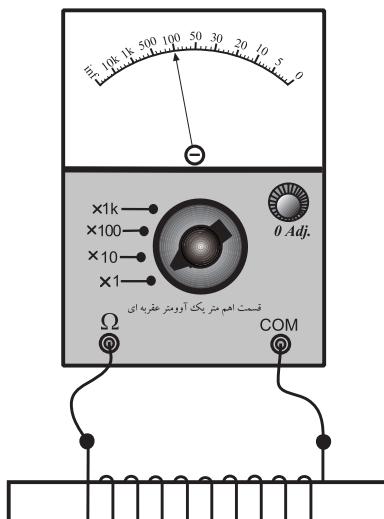
ماکزیمم جریان در مدار برابر  $\frac{E}{R}$  است. شکل ۸-۲۰ منحنی افزایش جریان (شارژ سلف) در مدار RL سری را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۲۰ منحنی افزایش جریان در مدار RL

### ۸-۸ روش آزمایش (تست) سلف به کمک اهم متر

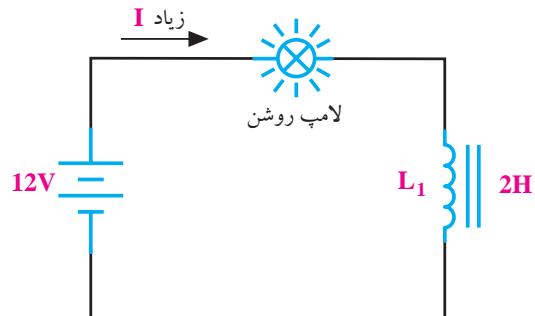
هر سلف یا سیم پیچ سالم علاوه بر داشتن ضریب خود القایی ( $L$  اندوکتانس) یک مقاومت اهمی نیز دارد. برای آزمایش صحت کار یک سلف می‌توان به کمک اهم متر، مقاومت اهمی آن را اندازه گرفت. اگر مقاومت اهمی اندازه گیری شده، برابر با مقاومت اهمی در حالت عادی باشد، سلف سالم است. در غیر این صورت ممکن است سلف معیوب شده باشد، شکل ۸-۲۱



شکل ۸-۲۱ آزمایش اهمی سلف



ژوزف هانری (۱۷۹۷-۱۸۷۸)  
دانشمند آمریکایی، واحد ضربی خود القایی (L) به نام او ثبت شده است.



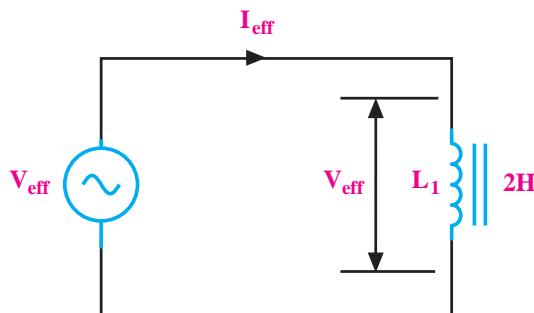
شکل ۸-۲۳ سلف ایده‌آل در جریان مستقیم

سلف ایده‌آل در مقابل عبور جریان مستقیم، هیچ مقاومتی از خود نشان نمی‌دهد.

به مقاومتی که سلف در جریان متناوب از خود نشان می‌دهد راکتانس یا عکس العمل سلفی می‌گویند. راکتانس سلفی را با  $X_L$  نشان می‌دهند و مقدار آن از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$X_L = 2\pi f L$$

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.



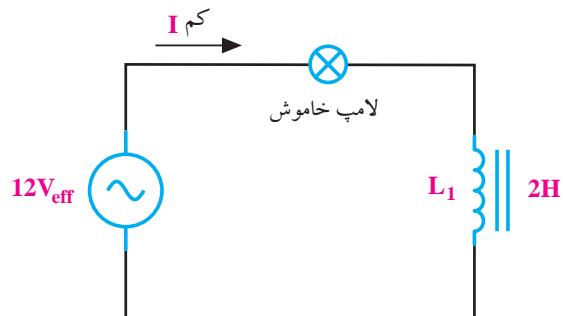
$$X_L = \frac{V_{eff}}{I_{eff}} = 2\pi f L = L\omega$$

راکتانس سلفی

اندوکتانس یا ضریب خود القایی سلف

شکل ۸-۲۵ سلف در جریان متناوب

در صورتی که سلف را به یک منبع ولتاژ متناوب وصل کنیم، سلف علاوه بر مقاومت اهمی از خود مقاومت دیگری نیز نشان می‌دهد که به آن راکتانس سلفی می‌گویند. این مقاومت باعث محدود شدن جریان در مدارهای جریان متناوب می‌شود. در شکل ۸-۲۶ عملکرد سلف در جریان متناوب نشان داده شده است.



شکل ۸-۲۶ سلف ایده‌آل در جریان متناوب

سلف در جریان متناوب از خود یک نوع مقاومت نشان می‌دهد. بنابراین جریان در مدار کم می‌شود و لامپ روشن نمی‌کند. روشن شدن، خاموش شدن یا کم نور شدن لامپ بستگی به مقدار  $L$  و فرکانس منبع دارد.

### ۱۸-۹-۳ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در سلف

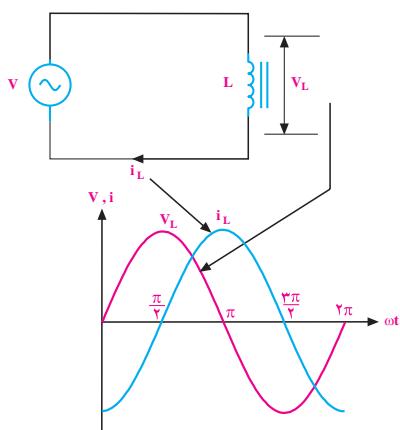
اگر در یک مدار الکتریکی با منبع جریان متناوب سینوسی، فقط یک سلف بدون مقاومت اهمی وجود داشته باشد، جریان در مدار به اندازه ۹۰ درجه با ولتاژ دو سر آن اختلاف فاز پیدا می کند.

در شکل ۸-۲۷ شکل موج جریان گذرنده از سلف و شکل موج ولتاژ دو سر آن رسم شده است. همانطور که از شکل ۸-۲۷ مشخص است جریان به اندازه ۹۰ درجه از ولتاژ عقب تر است.(پس فاز).

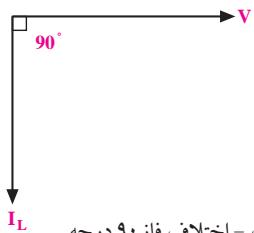
رابطه ریاضی ولتاژ و جریان در سلف به صورت زیر نوشته می شود:

$$V_L = V_{L\max} \sin \omega t$$

$$I_L = I_{L\max} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$



الف - جریان و ولتاژ سلف

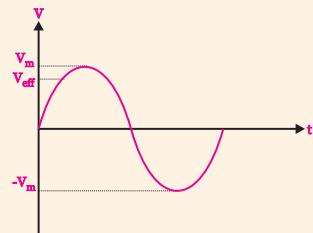


ب - اختلاف فاز ۹۰ درجه

شکل ۸-۲۷ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ سلف

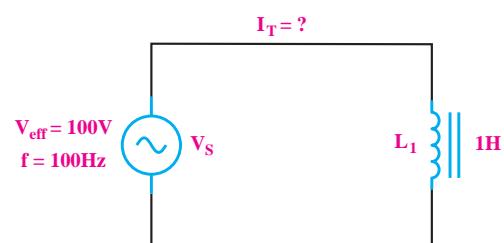
### نکته مهم:

در مدارهای جریان متناوب سینوسی معمولاً منظور از  $V_{\text{eff}}$  و  $I_{\text{eff}}$  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 ۸-۲۶ جریان  $I_T$  چند میلی آمپر است؟

از مقاومت اهمی سیم پیچ صرف نظر کنید.



شکل ۸-۲۶ مثال

حل:

جریان  $I_T$  همان جریان عبوری از سیم پیچ ( $I_L$ ) است.

$$I_L = I_T = \frac{V_{\text{eff}}}{X_L}$$

$$X_L = 2\pi f L = 2\pi \times 100 \times 1 = 628 \Omega$$

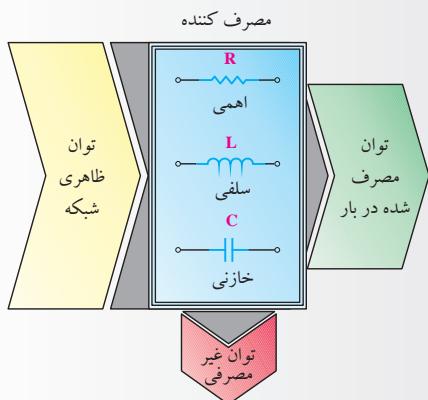
$$I_L = \frac{100}{628} = 0.159 A = 159 mA$$

$$I_L = 159 mA$$

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 می‌کند. و گروهی دیگر توان الکتریکی را به صورت انرژی ذخیره می‌کنند. به همین خاطر در شبکه‌های متناوب سه نوع توان خواهیم داشت، شکل ۸-۲۸



شکل ۸-۲۸

## توان ظاهری (S)

به حاصل ضرب ولتاژ و جریان موثر توان ظاهری گفته می‌شود.

## توان حقیقی، مفید یا اکتیو (P)

توانی که به وسیلهٔ 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 ۸-۲۷-ب بردارهای ولتاژ و جریان در سلف را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌کنید زاویه‌ی بین بردارهای جریان و ولتاژ ۹۰ درجه است و جریان به اندازه‌ی ۹۰ 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.

## ۸-۱ آزمایش شماره‌ی (۱)

■ فانکشن ژنراتور را روی فرکانس ۱۰ KHz و دامنه‌ی

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های لازم را روی

آن انجام دهید.

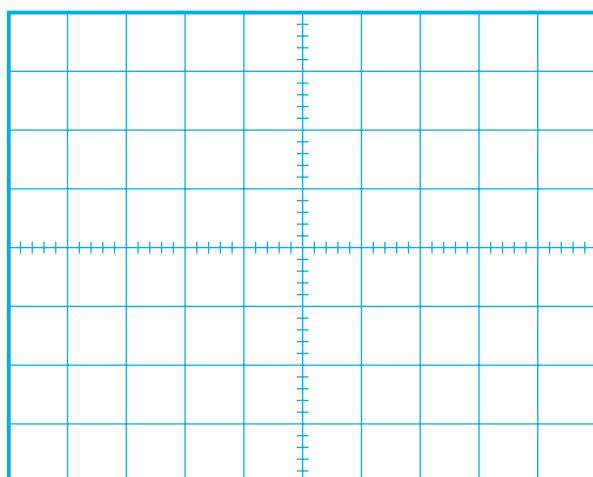
■ شکل موج‌های نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس

مشاهده و اندازه‌گیری اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در

سلف

را در نمودار شکل ۸-۳۰ با دو رنگ مختلف رسم کنید.

## ۸-۱۰-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:



شکل ۸-۳۰ شکل موج ولتاژ و جریان در سلف

**سوال ۱:** شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت اهمی که همان

شکل موج جریان گذرنده از سلف است را CH2 و شکل

موج ولتاژ دو سر سلف را CH1 نشان می‌دهد. این دو شکل

موج چند درجه با یکدیگر اختلاف فاز دارند؟

درجه ..... =

نحوه‌ی محاسبه‌ی اختلاف فاز را توضیح دهید.



## ۸-۱۰-۴ نتایج آزمایش

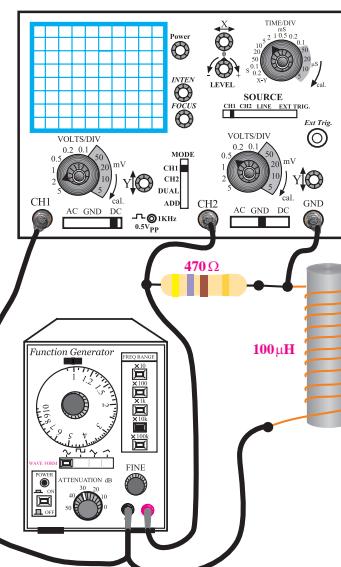
آنچه را که در این آزمایش فراگرفته اید به اختصار شرح

دهید.

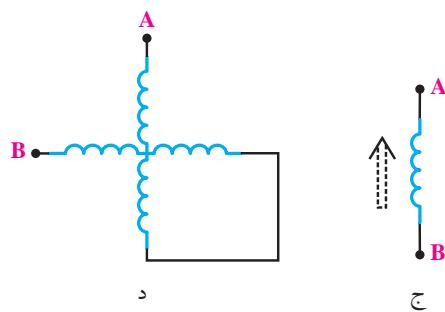
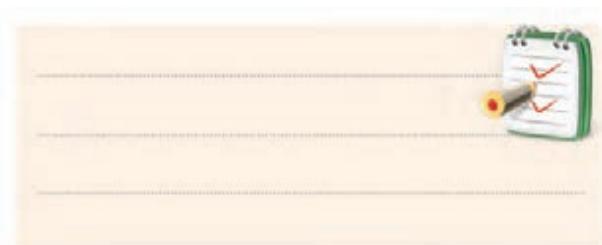
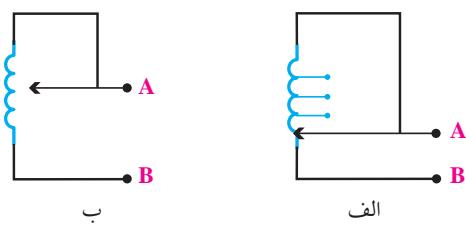
ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۲	اسیلوسکوپ دو کanalه	یک دستگاه
۳	سیم رابط	به تعداد کافی
۴	۱۰۰ $\mu$ H	یک عدد
۵	۴۷۰ $\Omega$	یک عدد
۶	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

## ۸-۱۰-۳ مراحل اجرای آزمایش:

■ مدار شکل ۸-۲۹ را روی بردبرد بیندید.



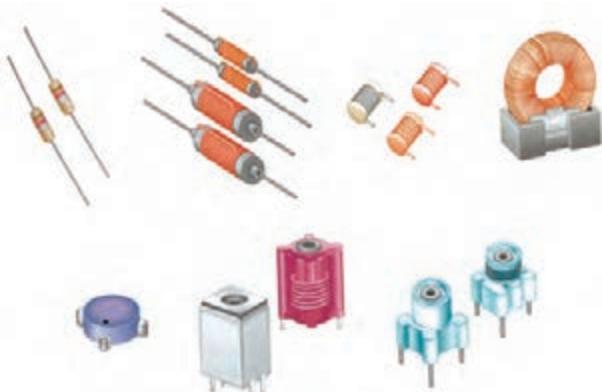
شکل ۸-۲۹ مدار آزمایش



### ۸-۱۱ ضریب 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 ظاهری چند نمونه سیم پیچ ثابت و متغیر را مشاهده می کنید.

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 وسیله‌ی یک بازوی لغزنده انجام می شود. در شکل ۸-۳۲-ج برای داشتن اندوکتانس متغیر، هسته‌ی سیم پیچ را می توانیم تغییر دهیم. با جابه‌جایی 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



شکل ۸-۳۱ چند نمونه سلف ثابت و متغیر

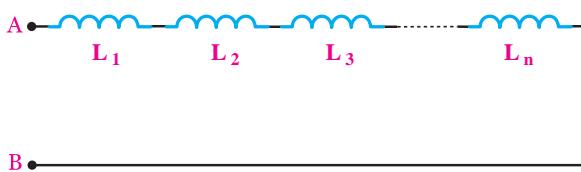
### ۸-۱۱-۱ انواع سیم پیچ متغیر

در شکل ۸-۳۲ نماد فنی چهار نمونه سیم پیچ متغیر نشان داده شده است.

صورت سری، موازی یا ترکیب ضریب خود القایی مورد نظر را به دست آوریم.

### ۱۲-۸ اتصال سری سیم پیچ ها

هرگاه دو یا چند سیم پیچ را مشابه مقاومت ها به صورت متوازی اتصال دهیم، «اتصال سری» سیم پیچ ها با وجود می آید. در شکل ۱۲-۳۵ اتصال سری  $n$  سیم پیچ نشان داده شده است.



شکل ۱۲-۳۵ 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 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 ۱۲-۳۶ را کتانس سلفی هر سیم پیچ مشخص شده است.

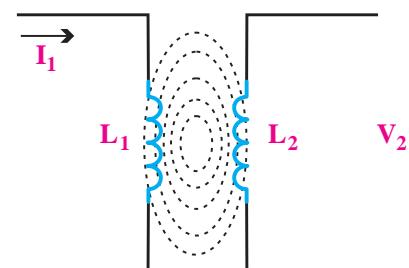
#### تحقیق کنید:

به نظر شما سیم پیچ های متغیر در چه مدارهایی کاربرد دارند؟ سه نمونه را نام ببرید.

### ۱۲-۹ 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 گوییم بین دو سیم پیچ القای متقابل وجود دارد.

یادآوری می شود که باید 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 ۱۲-۳۴ هر قدر ولتاژ القایی به وجود آمده در سیم پیچ دوم بیشتر باشد، می گوییم ضریب القایی متقابل بین دو سیم پیچ بیشتر است.



شکل ۱۲-۳۴ القای متقابل

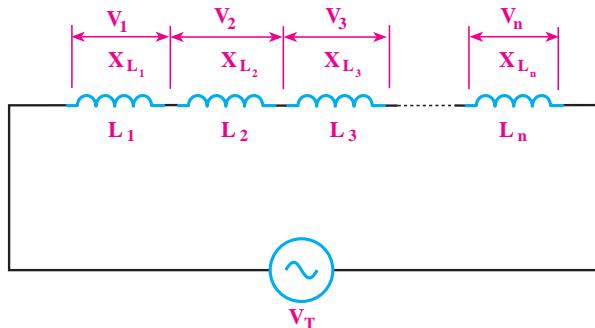
### ۱۲-۱۰ سلف به صورت سری و موازی

چنانچه سلف مورد نیاز در محدوده سلف های استاندارد نباشد، می توانیم با متصل کردن چند سیم پیچ (سلف) به

اگر سیم پیچ های موازی شده را به منبع ولتاژ متناوب متصل کنیم، ضریب خود القا و راکتانس معادل آن، مانند مقاومت های اهمی با استفاده از روابط زیر محاسبه می شود.

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

$$X_{L_T} = \frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}} + \dots + \frac{1}{X_{L_n}}$$



شکل ۸-۳۶ راکتانس معادل

راکتانس سیم پیچ ها به صورت سری نیز مانند مقاومت های

اهمی از روابط زیر به دست می آید.

$$X_{LT} = X_{L_1} + X_{L_2} + X_{L_3} + \dots + X_{L_n}$$

### 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 می شود.

$$L_T = \frac{L}{n}$$

ضریب خود القایی  
یک سیم پیچ  
تعداد سیم پیچ ها

چنانچه دو سلف (سیم پیچ) نامساوی با یکدیگر به صورت موازی قرار گیرند، ضریب خود القای معادل از رابطه‌ی زیر به دست می آید.

$$L_T = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$$

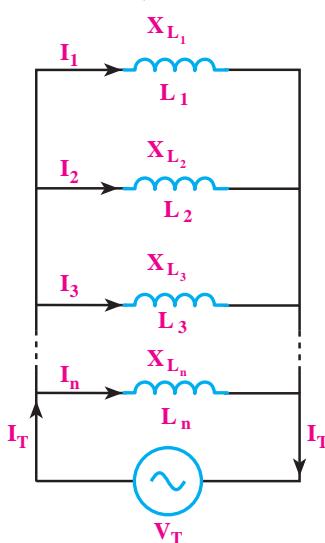
با استفاده از روابط مربوط به مدار سری، رابطه‌ی راکتانس معادل سیم پیچ را به دست آورید.

$$X_{LT} = X_{L_1} + X_{L_2} + X_{L_3} + \dots + X_{L_n}$$

### ۸-۱۲-۲ اتصال موازی سیم پیچ ها

اگر دو یا چند سیم پیچ را مطابق شکل ۸-۳۷ به یکدیگر

اتصال دهیم، «اتصال موازی» سیم پیچ ها به وجود می آید.

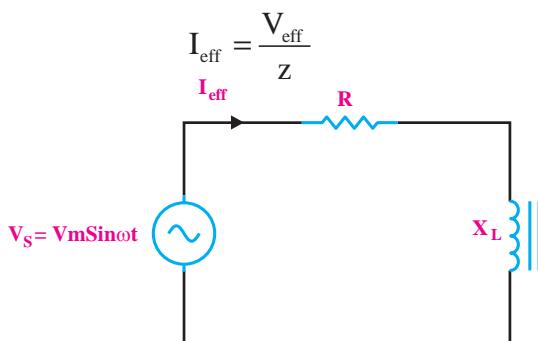


شکل ۸-۳۷ اتصال موازی سیم پیچ ها

## ۸-۱۳ مدار RL سری

### ۸-۱۳-۱ مدار RL سری در ولتاژ DC

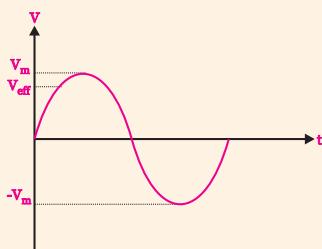
در مدار شکل ۸-۳۸ سلف (L) و مقاومت (R) به صورت سری به هم اتصال دارند و ولتاژ DC را می‌توان از طریق یک کلید به آن متصل کرد. در صورتی که کلید K را بیندیم تقریباً بعد از مدتی جریان در مدار به ماکریم خود یعنی  $\frac{E}{R_{eq}}$  می‌رسد.



شکل ۸-۳۹ مدار RL سری در جریان متناوب

### یادآوری:

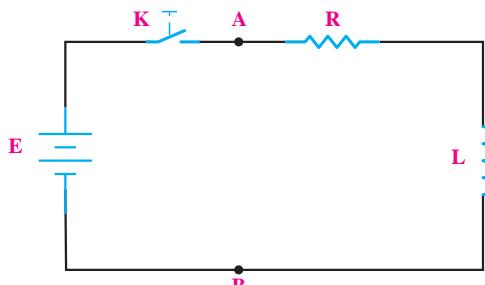
در مدارهای جریان متناوب سینوسی منظور از  $I_{eff}$  و  $I_m$  مقدار جریان و ولتاژ موثری است که از روابط  $V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$  و  $I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$  محاسبه می‌شود.



### امپدانس

در یک مدار RL سری، مقدار مقاومت معادل را مقاومت ظاهری یا امپدانس می‌گویند. مقدار امپدانس مدار از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} (\Omega)$$



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 می‌توان 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 می‌دهیم. از این به بعد در محاسبات سلف را ایده‌آل در نظر می‌گیریم و از مقاومت اهمی سلف صرف نظر می‌کنیم.

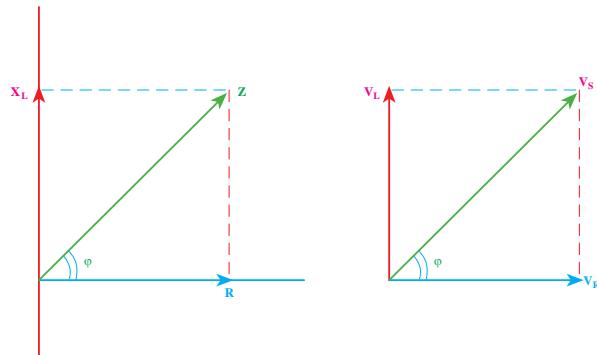
در مدار RL سری مقدار مقاومت اهمی از دو نقطه‌ی A و B برابر است با:

$$R_{eq} = R$$

### ۸-۱۳-۲ 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

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.



ب- دیاگرام برداری امپدانس

الف- دیاگرام برداری ولتاژهای مدار

شکل ۸-۴۲ دیاگرام برداری

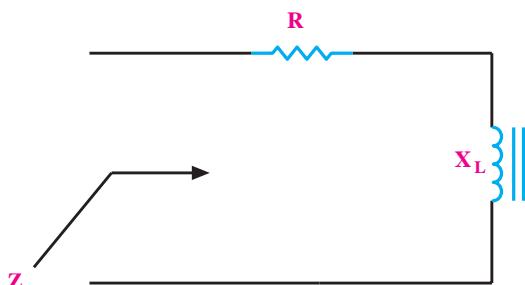
همانطور که از شکل ۸-۴۲ مشاهده می شود، در یک مدار RL سری، اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ بین صفر تا ۹۰ درجه است. مقدار دقیق این اختلاف فاز به مقدار  $R$  و  $X_L$  بستگی دارد. با توجه به شکل ۸-۴۲ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ مدار را با  $\varphi$  (فی) نشان می دهیم. مقدار  $\cos\varphi$  از رابطه زیر به دست می آید:

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$$

با محاسبه  $\varphi$  می توانیم مقدار  $\varphi$  را با استفاده از جدول مثلثاتی یا ماشین حساب به دست آوریم.

#### ولتاژهای مدار

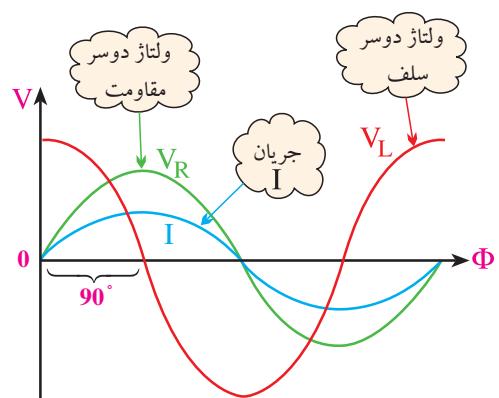
در یک مدار RL سری مطابق شکل ۸-۴۳ ولتاژ دو سر عناصر از روابط زیر به دست می آید:



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 هم فاز است. در این مدار ولتاژ دو سر سلف به اندازه ۹۰ درجه از جریان عبوری از مدار جلوتر است. این اختلاف فاز در شکل موج های 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 می شود جریان عبوری از مدار با ولتاژ دو سر مقاومت، هم فاز است.

#### دیاگرام برداری

در مدار RL سری، ولتاژ کل مدار از مجموع برداری ولتاژهای دو سر مقاومت ( $R$ ) و سلف ( $L$ ) به دست می آید. در شکل ۸-۴۲-الف دیاگرام برداری ولتاژهای دو سر

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{100}{\sqrt{2}} = 70 \text{ V}$$

ولتاژ دو سر مقاومت اهمی  $V_R = I_T \cdot R$

ولتاژ دو سر سلف  $V_L = I_T \cdot X_L$

مقدار امپدانس را به دست می‌آوریم:

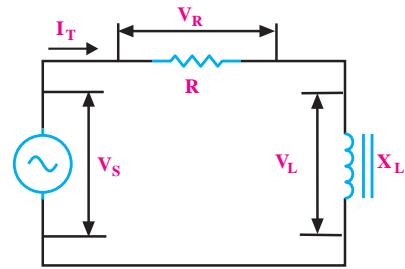
$$V_s = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{10^2 + 10^2} = \sqrt{200}$$

$$Z = 14.14 \Omega$$

مقدار جریان موثر  $I_{\text{eff}}$  را محاسبه می‌کنیم:

$$I_{\text{eff}} = \frac{70}{14.14} = 5 \text{ A}$$



مدار را به دست می‌آوریم:  $\text{Cos}\varphi$

شکل ۸-۴۳ ولتاژهای مدار RL سری

$$\text{Cos}\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{10}{14.14} \approx 0.7$$

**مثال ۲:** جریان و اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ را در

مدار شکل ۸-۴۴ به دست آورید.

مقدار  $\varphi$  را با استفاده از ماشین حساب یا جدول مثلثاتی

محاسبه می‌کنیم:

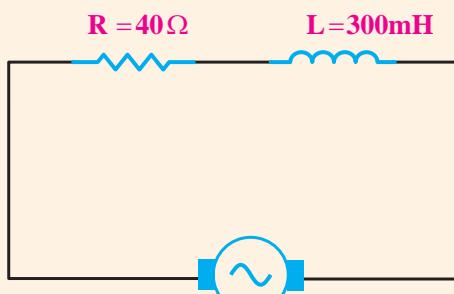
$$\varphi = 45^\circ$$

تمرین کلاسی ۱: در مدار شکل ۸-۴۵ مطلوب است:

الف- محاسبه امپدانس مدار

ب- افت ولتاژ دو سر هر قطعه

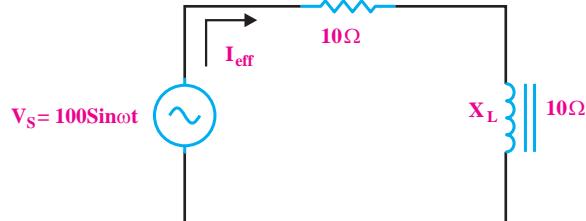
ج- اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ کل مدار



$$V_s = V_{\text{eff}} = 100 \text{ V}$$

$$\omega = 100 \text{ rad/s}$$

شکل ۸-۴۵



شکل ۸-۴۴ مثال

چون در مدار سری جریان کل با جریان عبوری از مقاومت برابر است بنابراین می‌توانیم جریان کل مدار ( $I_T$ ) را به عنوان ( $I_{\text{eff}}$ ) یا جریان موثر در نظر بگیریم.

می‌خواهیم مقدار جریان موثر را با استفاده از رابطه‌ی زیر

به دست آوریم:

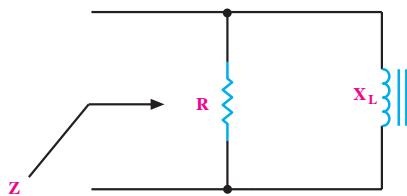
$$I_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{eff}}}{Z}$$

مقدار ولتاژ موثر را محاسبه می‌کنیم:

## ۸-۱۴-۲ 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:

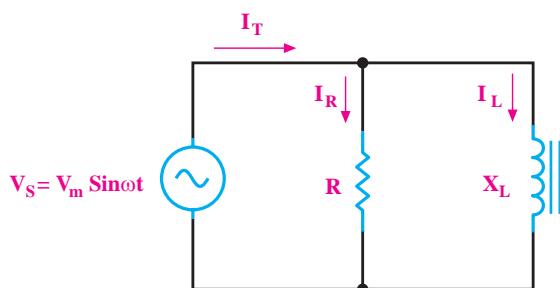
$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \frac{1}{X_L} \quad \text{یا} \quad Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$



شکل ۸-۴۷ امپدانس مدار RL موازی

**جريان‌های 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.

$$I_R = \frac{V_S}{R} \quad \text{یا} \quad I_L = \frac{V_S}{X_L}$$

## ۸-۱۴ مدار RL موازی

### ۸-۱۴-۱ 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.

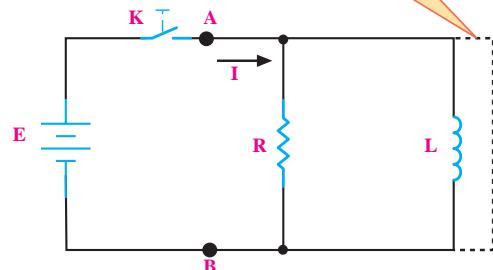
بعد از بسته شدن کلید K به علت موازی بودن مدار، ولتاژ منبع (E) در دو سر سلف قرار می‌گیرد. اگر از مقاومت اهمی سلف (r) صرف نظر نماییم، در ولتاژ DC سلف مانند یک سیم اتصال کوتاه عمل می‌کند.

در این مدار مقاومت معادل از دو نقطه A و B برابر است

با:

$$R_{eq} = R_{AB} = R \parallel r \cong 0$$

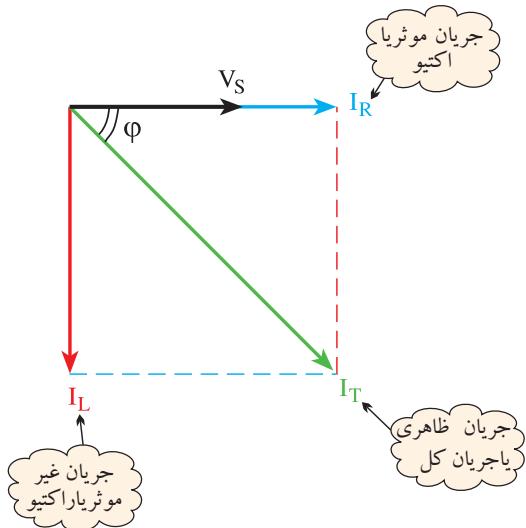
معادل سلف  
ایده آل در  
ولتاژ DC



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  $90^\circ$  درجه از ولتاژ کل مدار عقب‌تر است. همچنین جریان عبوری از مقاومت با ولتاژ کل مدار هم فاز است.

با توجه به شکل ۸-۵۰ اختلاف فاز بین جریان کل مدار ( $I_T$ ) و ولتاژ منبع ( $V_s$ ) را با  $\varphi$  نشان می‌دهیم و مقدار  $\cos \varphi$  از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\cos \varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{Z}{R}$$

با دانستن مقدار  $\cos \varphi$  مقدار  $\varphi$  با استفاده از ماشین حساب یا جدول مثلثاتی قابل محاسبه است.

## نکته‌ی مهم:

▲ مقدار جریان عبوری از مقاومت  $R$ ، جریان موثر ( $I_{\text{eff}}$ ) 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.

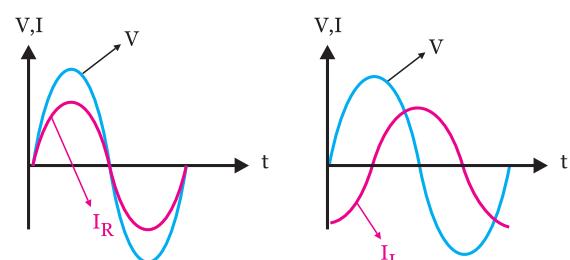
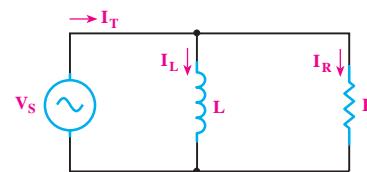
$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

▲ مقدار  $\varphi$  را با استفاده از ماشین حساب یا جدول مثلثاتی محاسبه می‌کنیم:

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R}$$

## اختلاف فاز:

در مدار  $RL$  موازی، ولتاژ دو 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-جريان کل مدار

ج-جريان هر شاخه

د-اختلاف فاز

جريان عبوری از مقاومت را تعیین می‌کنیم:

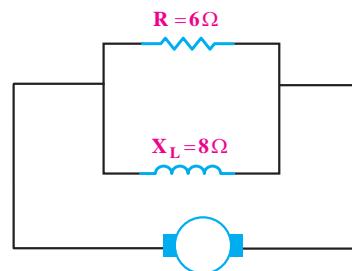
$$I_R = \frac{V_S}{R} = \frac{96}{6} = 16 A$$

جريان عبوری از  $X_L$  را به دست می‌آوریم

$$I_L = \frac{V_S}{X_L} = \frac{96}{8} = 12 A$$

مقدار  $\cos \varphi$  را محاسبه می‌کنیم

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R} = \frac{4/8}{6} = 0.666$$



$$V_S = V_e = 96 V$$

$$f = 50 Hz$$

شکل ۸-۵۱ مدار مربوط به مثال

با استفاده از ماشین حساب یا جدول مثلثی مقدار  $\varphi$  را به

دست می‌آوریم.

$$\varphi = 37^\circ$$

**حل:**

ابتدا مقاومت ظاهری مدار ( $Z$ ) را با استفاده از رابطه ای

زیر محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \frac{1}{X_L}$$

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{6} + \frac{1}{8} = \frac{1}{36} + \frac{1}{64} \Rightarrow Z = 4.8 \Omega$$

توجه: به جای رابطه ای  $\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \frac{1}{X_L}$  می‌توان از رابطه ای ساده شده ای زیر استفاده کرد.

$$Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{6 \times 8}{\sqrt{6^2 + 8^2}} = \frac{48}{10} = 4.8 \Omega$$

جريان کل مدار را محاسبه می‌کنیم:

## ۸-۱۵ آزمایش شماره‌ی (۲)

زمان اجرا: ۶ ساعت آموزشی

### ۸-۱۵-۱ هدف‌های آزمایش

به دست آوردن امپدانس در مدارهای  $RL$  سری و موازی  
و تحقیق روی روابط آن‌ها

### ۸-۱۵-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

تعداد / مقدار	نام و مشخصات	ردیف
یک دستگاه	مولتی متر دیجیتالی	۱
یک عدد	سلف $10\text{mH}$	۲
یک عدد	مقاومت اهمی $1\text{K}\Omega$	۳
یک دستگاه	فانکشن ژنراتور	۴
به مقدار لازم	سیم رابط	۵
یک عدد	بردبرد	۶
یک سری	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	۷

### ۸-۱۵-۳ 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 مولتی متر در اختیار ندارید از یک مولتی متر استفاده کنید.



### تمرين کلاسي ۲: سلفي با اندوكتانس

$L=4\text{mH}$  با يك مقاومت  $R=8\Omega$  به طور موازي به ولتاژ متناوب  $24$  ولتي با فرکانس  $1/5$  کيلوهرتز اتصال داده شده است.

$$V_S = V_{\text{eff}} = 24$$

مطلوب است:

الف- جريان هر شاخه

ب- جريان کل مدار

ج- امپدانس مدار

د- اختلاف فاز  $\varphi$



جریان مدار  $I_T = \dots \text{mA}$

ولتاژ خروجی فانکشن ژنراتور  $V_s = \dots \text{V}$

با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده امپدانس مدار را محاسبه کنید.

$$Z = \frac{V_s(\text{ولت})}{I_T(\text{آمپر})} = \dots = \dots \Omega$$

مقدار  $Z$  را محاسبه کنید.

$$X_L = L \cdot 2\pi f = \dots \Omega$$

$$X_L = \dots \Omega$$

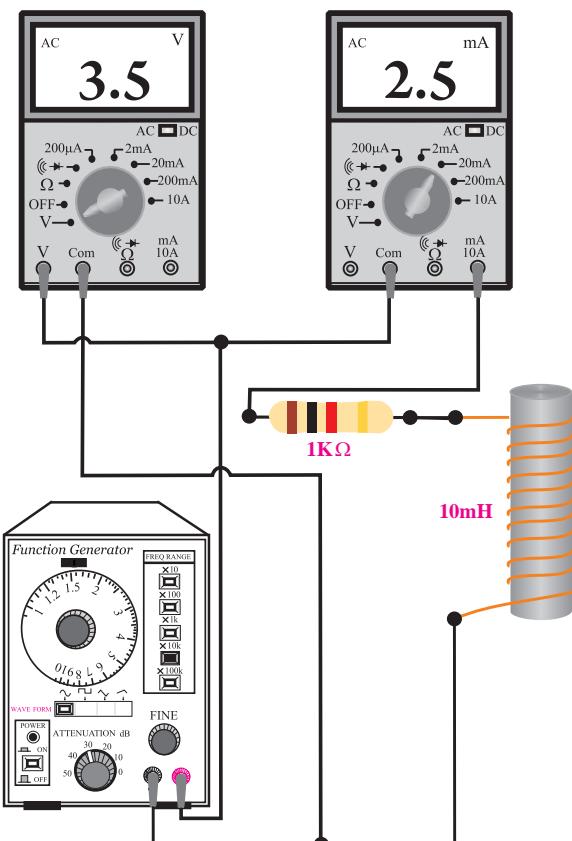
$$R = \dots \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(\dots)^2 + (\dots)^2}$$

$$Z = \sqrt{\dots} = \dots \Omega$$

**سوال ۲:** آیا مقدار  $Z$  به دست آمده از طریق اندازه گیری

با مقدار  $Z$  محاسبه شده تقریباً برابرند؟ توضیح دهید.



شکل ۸-۵۲ مدار عملی آزمایش

فانکشن ژنراتور را روی فرکانس ۱۶KHz و دامنه ۱

ولتاژ ۱۰ ولت پیک تا پیک سینوسی تنظیم کنید.

کلید سلکتور مولتی متری که به عنوان ولت متر به کار

بردهاید را در حالت AUTO یا رنج ۲۰ ولت AC قرار دهید.

کلید سلکتور مولتی متری که به عنوان میلی آمپر AC

به کار بردهاید را روی ۱۰ mA بگذارید و در حالت AC بگذارید.

مقدار ولتاژی که ولت متر و همچنین مقدار جریانی که

میلی آمپر متر نشان می دهد را یادداشت کنید



■ یکی از ولت‌مترها را از مدار جدا کنید و با آن ولتاژ خروجی فانکشن ژنراتور را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

■ مدار شکل ۵۳-۸ را روی یزدیر دستگاه دید.

$$\text{ولت متری که به دو سر مقاومت} \quad V_R = \dots \quad V$$

اهم و صراحت است.

ولت متری که به دو سر خروجی  
فانکشن زنر اتور وصل است.

■ مقدار ولتاژ کل را که با استفاده از مقادیر  $V_L$  و  $V_R$  ندازه گیری کرد، محاسبه کنید.

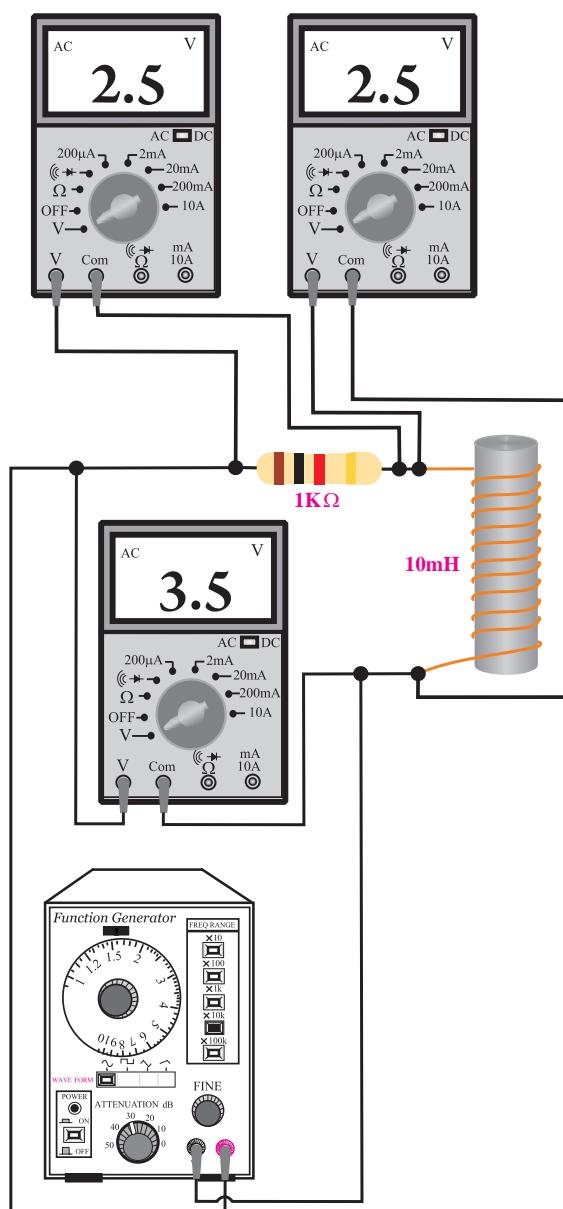
$$V_s = \sqrt{V_R^r + V_L^r} = \sqrt{(\dots)^r + (\dots)^r} = \sqrt{\dots} = \dots V$$

$$\text{محاسبہ } V_s = \dots \dots \dots V$$

**سوال ۳:** آیا مقدار ولتاژ کل ( $V_s$ ) به دست آمده از

طریق محاسبه یا مقدار  $V$  اندازه‌گیری شده تقریباً برابر است؟

توضیح دهد.



### شکل ۵۳-۸ مدار عملی آزمایش

توجہ

در صورتی که سه مولتی متر در اختیار ندارید از یک مولتی متر استفاده کنید.



■ فانکشن ژنراتور را روی فرکانس ۱۶KHz و دامنه‌ی

ولتاز 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

به کار بردهاید را روی AC ۲۰mA و در حالت AC قرار دهید.

■ مقدار ولتاژی که ولت‌متر و همچنین مقدار جریانی که

میلی‌آمپر نشان می‌دهد را یادداشت کنید.

= مقدار ولتاژی را که ولت‌متر نشان می‌دهد.

= مقدار جریانی که میلی‌آمپر متر نشان می‌دهد.

■ امپدانس مدار را با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده

محاسبه کنید.

$$Z = \frac{V(\text{ولت})}{I(\text{آمپر})} = \frac{.....}{.....} = ..... \Omega$$

مقدار Z را از طریق محاسبه به دست آورید:

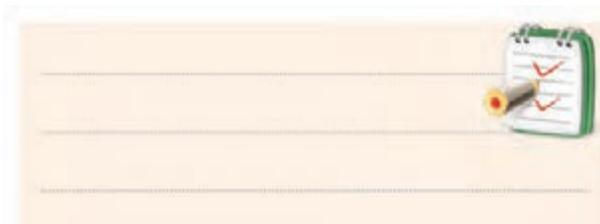
$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \frac{1}{X_L}$$

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{(....)} + \frac{1}{(....)} \quad Z = ..... \Omega$$

**سؤال ۴:** آیا مقدار Z را که از طریق ریاضی محاسبه

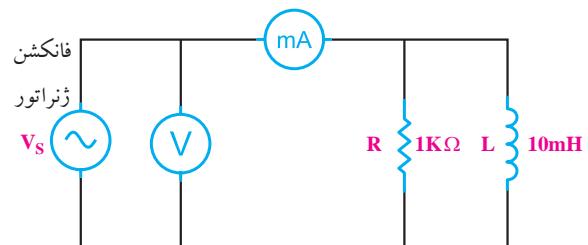
کردهاید با مقدار Z به دست آمده از روش اندازه‌گیری ولتاژ

و جریان تقریباً برابر است؟ توضیح دهید.

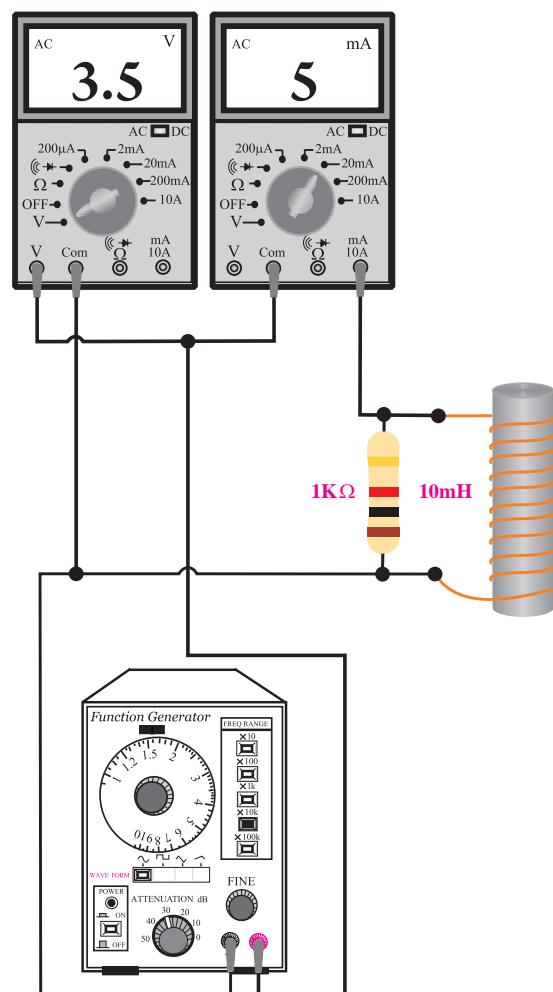


ب: به دست آوردن امپدانس مدار RL موازی

مدار شکل ۸-۵۴ را روی بردبرد بیندید.



الف- نقشه‌ی فنی مدار



ب- مدار عملی

شکل ۸-۵۴ مدار آزمایش

را متناسب با نیاز تغییر دهد. معمولاً تلفات در ترانسفورماتورها

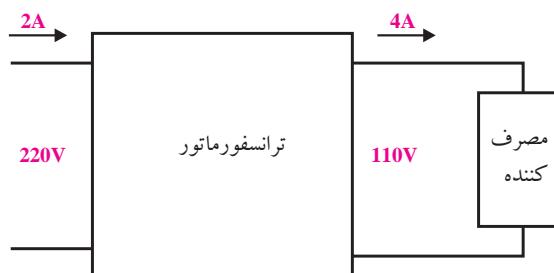
زیاد نیست، لذا می‌توان با تقریب قابل قبول توان ورودی را

با توان خروجی برابر گرفت. بنابراین مطابق شکل ۸-۵۶ اگر

ولتاژ ورودی یک ترانسفورماتور  $220\text{V}$  ولت و جریان آن  $2\text{A}$

باشد، ترانسفورماتور می‌تواند این ولتاژ را به ولتاژ خروجی

$110\text{V}$  ولت و به جریان  $4\text{A}$  تبدیل کند.



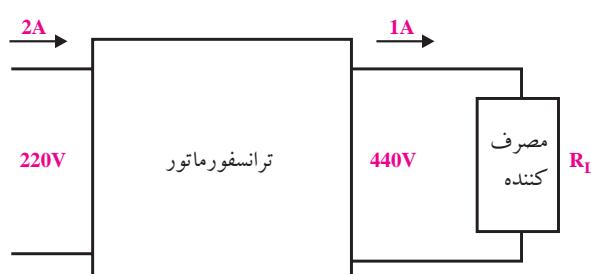
شکل ۸-۵۶ ترانسفورماتور کاهنده

اگر ولتاژ خروجی یک ترانسفورماتور کمتر از ولتاژ  
ورودی باشد ترانسفورماتور از نوع کاهنده است.

اگر ترانسفورماتوری، کاهنده‌ی ولتاژ باشد افزاینده‌ی  
جریان است.

در شکل ۸-۵۷ اگر ولتاژ خروجی  $440\text{V}$  ولت شود، جریان

خروجی به یک آمپر کاهش می‌یابد.

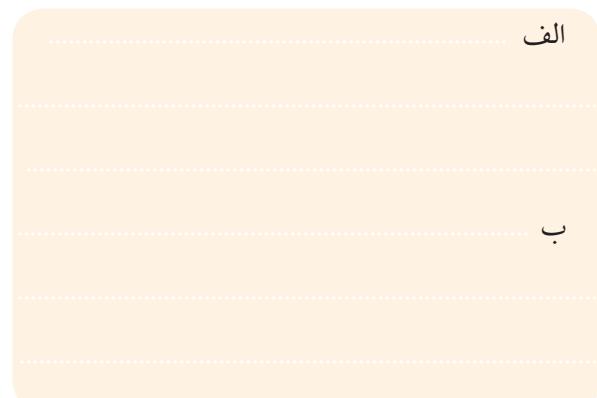


شکل ۸-۵۷ ترانسفورماتور افزاینده

#### ۴-۱۵ نتایج آزمایش:

نتایج حاصل از آزمایش‌های الف و ب را به طور خلاصه  
بیان کنید.

الف

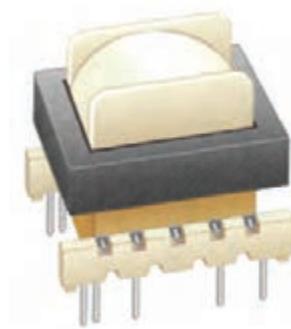


ب

#### ۴-۱۶ اصول کار ترانسفورماتور

##### ۴-۱۶-۱ تعریف ترانسفورماتور

ترانسفورماتور یک قطعه‌ی الکترومغناطیسی است که  
می‌تواند ولتاژ متناوب سینوسی مانند ولتاژ  $220\text{V}$  ولت برق شهر  
را دریافت و آن را به ولتاژ مورد نیاز مثلاً  $12\text{V}$  ولت تبدیل  
کند. شکل ۸-۵۵ یک نمونه ترانسفورماتور کوچک را نشان  
می‌دهد.



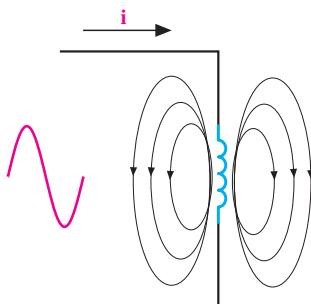
شکل ۸-۵۵ یک نمونه ترانسفورماتور

ترانسفورماتور انرژی الکتریکی را به نوع دیگری از  
انرژی تبدیل نمی‌کند و فقط قادر است مقدار ولتاژ دریافتی

### ۸-۱۶-۳ 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،

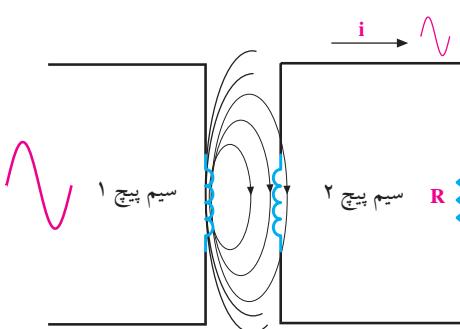
شکل ۸-۵۹



شکل ۸-۵۹ 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 ۸-۶۰.

۸-۶۰



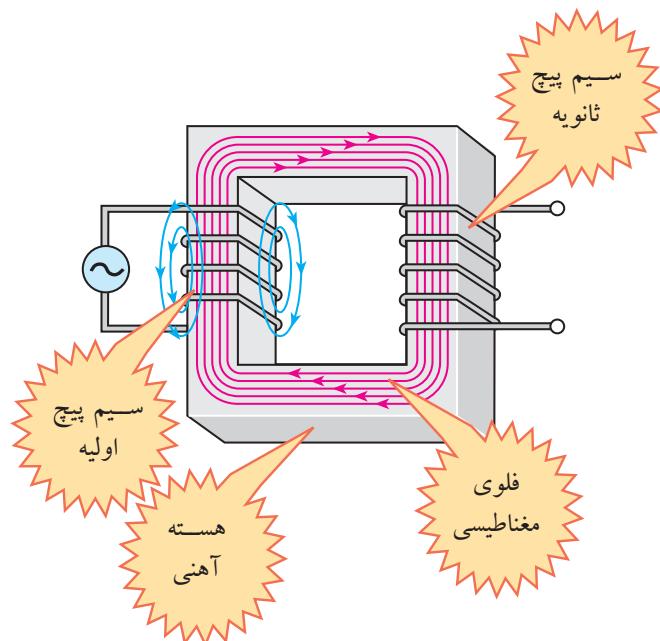
شکل ۸-۶۰ میدان مغناطیسی در ترانس

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 افزاینده است. اگر ترانسفورماتوری افزاینده ولتاژ باشد کاهنده می جریان است.

### ۸-۱۶-۴ 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 ۸-۵۸ ساختمان ساده‌ی یک ترانسفورماتور را نشان می دهد.



شکل ۸-۵۸ ساختمان داخلی یک ترانسفورماتور

توان ورودی با توان خروجی برابر است:

$$P_1 = P_2$$

$$P_2 = V_2 \cdot I_2, \quad P_1 = V_1 \cdot I_1$$

با مساوی قرار دادن  $P_2$  و  $P_1$  داریم:

$$V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2$$

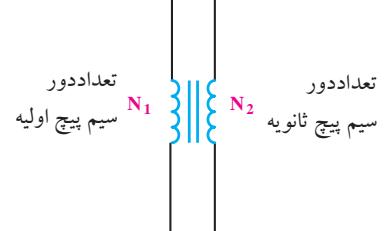
رابطه را ساده می کنیم:

$$\frac{V_1}{I_2} = \frac{V_2}{I_1}$$

رابطه نهایی به صورت زیر در می آید:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_1}{I_2}$$

مقدار ولتاژ القا شده در ثانویه بستگی به تعداد دور سیم پیچ اولیه ( $N_1$ ) و ولتاژ اولیه ( $V_1$ ) دارد. لذا رابطه زیر برای یک ترانسفورماتور ایده‌آل صدق می کند، شکل ۸-۶۳:



شکل ۸-۶۳ تعداد دور سیم پیچ ها در ترانسفورماتور

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

**مثال ۴:** در یک ترانسفورماتور  $V_2 = ۱۲V$  و  $V_1 = ۲۲V$

است. اگر  $N_1 = ۱۰۰۰$  دور باشد،  $N_2$  را محاسبه کنید، شکل

۸-۶۴

با انتخاب مناسب تعداد دورهای اولیه و تعداد دورهای

ثانویه یک ترانسفورماتور، می توانیم هر ولتاژ را به ولتاژ دیگر تبدیل کنیم. با انتخاب مناسب ابعاد هسته و ضخامت سیم پیچ های اولیه و ثانویه، توان مورد نیاز توسط ترانسفورماتور تامین می شود.

#### ۸-۱۶-۴ نسبت تبدیل ترانسفورماتور

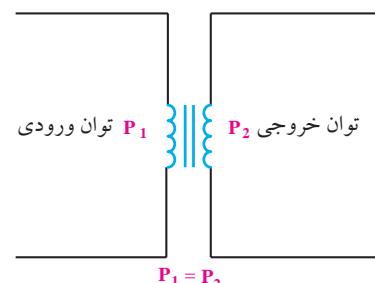
چنانچه توان خروجی با توان ورودی برابر باشد،

ترانسفورماتور را ایده‌آل می نامند، شکل ۸-۶۱.

معمولًا در عمل توان خروجی کمتر از توان ورودی است.

زیرا به دلیل عبور جریان از سیم پیچ های اولیه و ثانویه مقدار

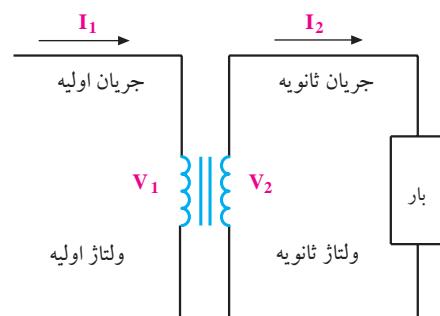
کمی از توان در داخل ترانسفورماتور تلف می شود.



شکل ۸-۶۱ ترانسفورماتور ایده‌آل

با توجه به شکل ۸-۶۲ در یک ترانسفورماتور ایده‌آل

روابط زیر برقرار است:



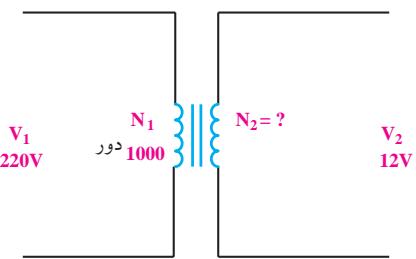
شکل ۸-۶۲ روابط ترانسفورماتور

مقادیر را جایگزین می کنیم و جریان  $I_1$  را به دست

می آوریم

$$I_1 = \frac{110 \times 5}{24} = 22/91 A$$

$$I_1 = 22/91 A$$



شکل ۸-۶۴ مربوط به مثال ۴

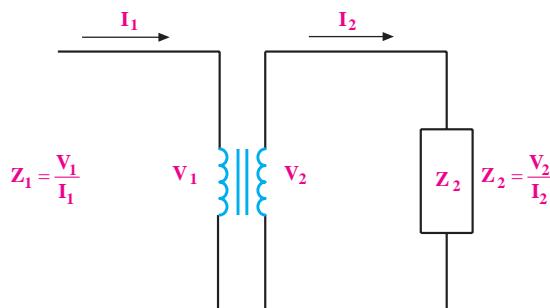
### ۸-۱۷ ترانسفورماتورهای تطبیق امپدانس

#### ۸-۱۷-۱ تبدیل امپدانس:

اگر مطابق شکل ۸-۶۶ ولتاژ سیم پیچ اولیه یا ثانویه را به جریان عبوری از آنها تقسیم کنیم، امپدانس بار در ثانویه ( $Z_2$ ) و اولیه ( $Z_1$ ) با استفاده از روابط زیر به دست می آید.

طبق قانون اهم:

$$Z_1 = \frac{V_1}{I_1} \quad \text{و} \quad Z_2 = \frac{V_2}{I_2}$$



شکل ۸-۶۶ امپدانس اولیه و ثانویه

در روابط فوق  $Z_1$  امپدانس بار و  $Z_2$  امپدانسی است که در اولیه ترانسفورماتور دیده می شود. مقدار این امپدانس از رابطه زیر به دست می آید.

$$Z_1 = Z_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{220}{12} = \frac{1000}{N_2}$$

حل: ابتدا رابطه را می نویسیم

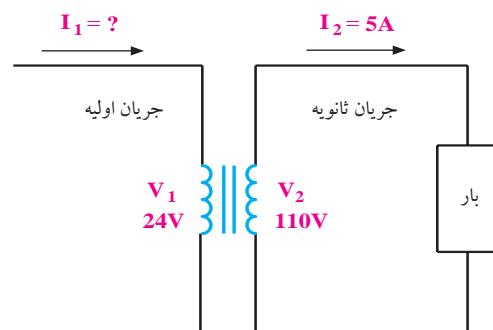
مقادیر را جایگزین می کنیم

$N_2$  را محاسبه می نماییم:

$$N_2 = \frac{1000 \times 12}{220} = 55 \text{ دور}$$

مثال ۵: در یک ترانسفورماتور طبق شکل (۸-۶۵) مقادیر

زیر را داریم:



شکل ۸-۶۵ مربوط به مثال ۵

جریان اولیه ( $I_1$ ) ترانسفورماتور چند آمپر است؟

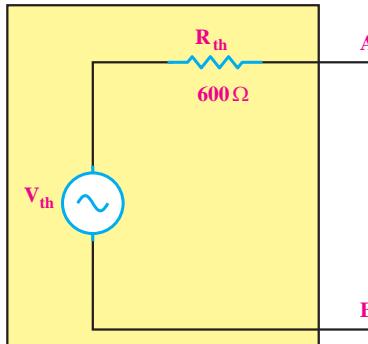
حل:

ابتدا رابطه مورد نظر را می نویسیم و ساده می کنیم:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_1}{I_2} \Rightarrow I_1 = \frac{V_1 \cdot I_2}{V_2}$$

## ۸-۱۷-۲ تطبیق امپدانس به کمک ترانسفورماتور

فرض کنید می خواهیم در مدار معادل توان 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 توان  $(R_{th})$  برابر باشد.



شکل ۸-۶۸ مدار معادل توان

با توجه به این که مقاومت معادل توان 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

۸-۶۹

### تحقیق کنید:

با استفاده از روابط ترانس، رابطه‌ی امپدانس بار در اولیه‌ی ترانس ( $Z_1$ ) را به دست آورید.

$$Z_1 = Z_r \left( \frac{N_1}{N_r} \right)^2$$

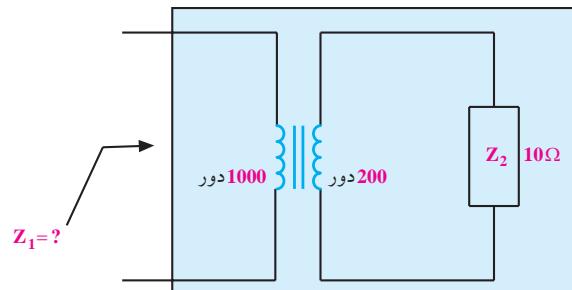
## مثال ۶: در ترانسفورماتور شکل ۸-۶۷ مقادیر زیر

مفروض است:

$$N_1 = 1000 \text{ دور} \quad (\text{دورة سیم پیچ اولیه})$$

$$N_r = 200 \text{ دور} \quad (\text{دورة سیم پیچ ثانویه})$$

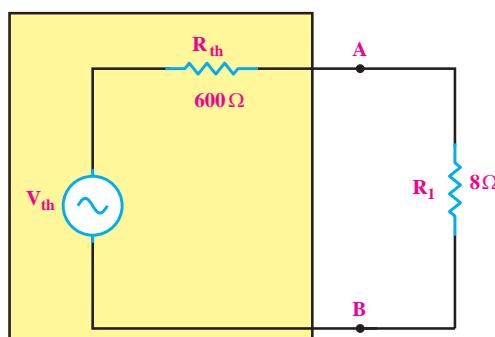
$$Z_r = 10\Omega$$



شکل ۸-۶۷ مثال

مقدار امپدانس  $Z_1$  یعنی مقاومت از دید سیم پیچ اولیه را به دست آورید.

$$Z_1 = Z_r \left( \frac{N_1}{N_r} \right)^2 = 10 \times \left( \frac{1000}{200} \right)^2 = 250\Omega$$



شکل ۸-۶۹

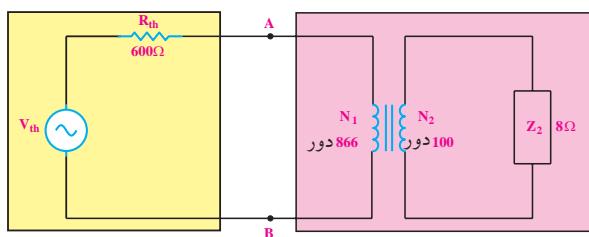
برای انتقال حداکثر توان به مقاومت بار  $8\Omega$  از

ترانسفورماتور استفاده می‌کنیم. به این ترتیب که اولیه‌ی ترانسفورماتور را بین دو نقطه‌ی A و B و بار را به ثانویه‌ی

در یک ترانسفورماتور ایده‌آل، نسبت امپدانس از دیدگاه اولیه به امپدانس ثانویه با مجدول نسبت تعداد دورهای سیم پیچ اولیه و ثانویه متناسب است.

مطابق شکل ۸-۷۲ ترانسفورماتور با بار  $8\Omega$  را به مدار

معادل توانن 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 ۸-۷۲ انتقال حداکثر توان به بار

به کمک ترانسفورماتور می‌توانیم مقدار امپدانس بار (صرف 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 بلندگوهای کار می‌روند. زیرا امپدانس بلندگوهای معمولاً  $4\Omega$  یا  $8\Omega$  است. شکل ۸-۷۳

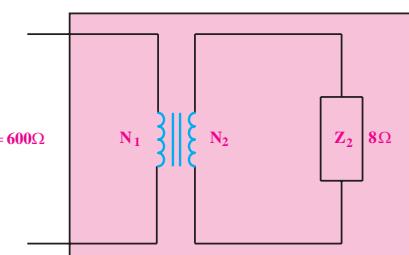


شکل ۸-۷۳ تطبیق امپدانس

## ۸-۱۸ تلفات در ترانسفورماتور

وقتی انرژی الکتریکی را به ترانسفورماتور اعمال می‌کنیم، قسمتی از این انرژی در ترانسفورماتور تلف می‌شود، به این

ترانسفورماتور وصل می‌کنیم، شکل ۸-۷۰



شکل ۸-۷۰ انتقال توان ماکریم

با توجه به رابطه‌ی انتقال امپدانس می‌توانیم نسبت دور اولیه به ثانویه‌ی ترانسفورماتور را به روش زیر محاسبه کنیم.

$$Z_1 = Z_s \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

$$600 = 8 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

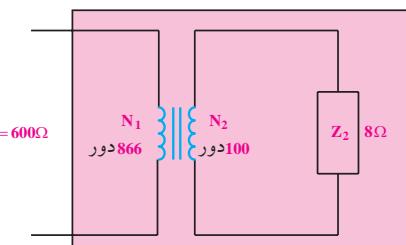
تعداد دورهای ترانسفورماتور را طوری انتخاب می‌کنیم که از دیدگاه اولیه‌ی ترانسفورماتور امپدانس  $600\Omega$  را داشته باشیم.

$$\left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 = \frac{600}{8} = 75$$

$$\left( \frac{N_1}{N_2} \right) = \sqrt{75} = 8/66$$

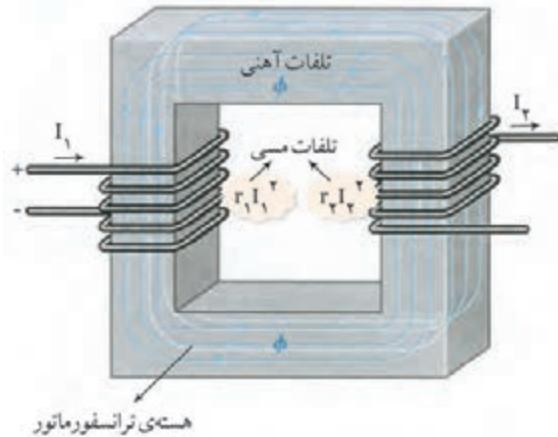
مطابق شکل ۸-۷۱ اگر  $N_1 = 100$  دور انتخاب کنیم، مقدار  $N_2$  برابر است با:

$$N_2 = 8/66 \times 100 = 866$$

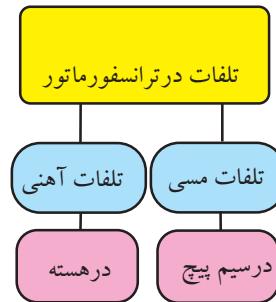


شکل ۸-۷۱ تطبیق امپدانس

انرژی تلف شده، تلفات ترانسفورماتور می‌گویند. مهم‌ترین مجموع تلفات مسی و آهنی حاصل می‌شود، شکل ۸-۷۶. تلفات در یک ترانسفورماتور تلفات مسی و آهنی است، شکل ۸-۷۴.



شکل ۸-۷۶ تلفات آهنی و مسی



شکل ۸-۷۴ تلفات در ترانسفورماتور

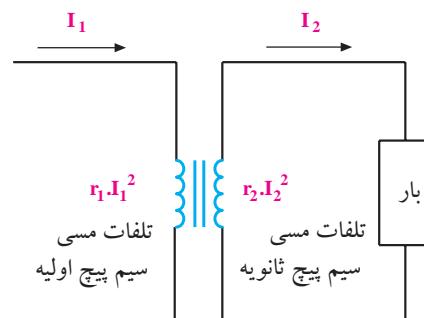
#### ۸-۱۸-۱ تلفات مسی

همانطور که در شکل ۸-۷۵ مشاهده می‌کنید سیم پیچ اولیه دارای مقاومت  $r_1$  و سیم پیچ ثانویه دارای مقاومت اهمی  $r_2$  است. هنگامی که ترانسفورماتور کار می‌کند جریان از سیم پیچ اولیه و ثانویه عبور می‌کند لذا تلفات  $I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2$  در سیم پیچ اولیه و  $I_2^2 r_2$  در سیم پیچ ثانویه به وجود می‌آید. به این تلفات، **تلفات مسی** می‌گویند.

**۸-۱۹ خرابی‌های ترانس تغذیه**  
ترانسفورماتور تغذیه، ترانسفورماتوری است که انرژی مورد نیاز دستگاه را تأمین می‌کند. غالباً هر دستگاه الکترونیکی که با برق شهر کار می‌کند، یک ترانسفورماتور تغذیه دارد. در صورتی که ترانسفورماتور تغذیه معیوب شود دستگاه از کار می‌افتد.

**جريان نامی:** به حداقل جریانی که می‌توان از ثانویه ترانسفورماتور دریافت کرد (کشید)، جریان نامی می‌گویند.

**اضافه بار:** به میزان جریانی که مصرف کننده از ثانویه ترانسفورماتور می‌کشد جریان بار می‌گویند. هر قدر مصرف کننده در اثر ایجاد اتصالی، جریان بیشتری از ثانویه ترانس بکشد اصطلاحاً گفته می‌شود، در ترانسفورماتور اضافه بار ایجاد شده است.



شکل ۸-۷۵ تلفات مسی

#### ۸-۱۸-۲ تلفات آهنی

در صد بسیار کمی از انرژی الکتریکی داده شده به ترانسفورماتور در هسته ترانسفورماتور تلف می‌شود که به آن **تلفات آهنی** می‌گویند. تلفات کل ترانسفورماتور از

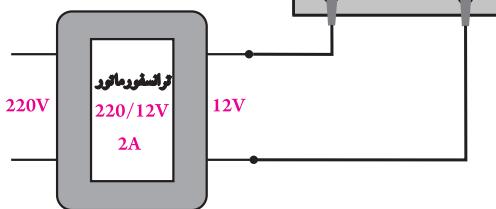
ترانسفورماتور تغذیه معمولاً دارای خرابی‌هایی به شرح زیر است:

۱- قطع شدن سیم پیچ اولیه یا ثانویه

۲- نیم‌سوز شدن (اتصال کوتاه ناقص سیم پیچ‌ها)

۳- اتصال کوتاه کامل

تمامی معایب ترانسفورماتورها معمولاً در اثر اضافه بار به وجود می‌آید. به این معنی که چنان‌چه جریان کشیده شده از جریان نامی بیشتر باشد، بر حسب مقدار اضافه بار، یا مدت زمان تداوم اضافه بار، یکی از اشکالات بروز می‌نماید.



شکل ۸-۷۷ تشخیص قطع شدن سیم پیچ‌ها

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 بیشتر از مقاومت ثانویه است.

#### ۲- نیم‌سوز شدن (اتصال کوتاه ناقص سیم پیچ‌ها)

عیب معمول دیگر در ترانس‌های تغذیه نیم‌سوز شدن سیم پیچ‌ها است. در این حالت ولتاژ خروجی ترانسفورماتور کمتر از مقدار نامی است و ترانسفورماتور در هین کار بیش از حد داغ می‌شود و بوی سوختگی به مشام می‌رسد. چنان‌چه این حالت تداوم یابد در اثر گرم شدن بیش از حد امکان آتش‌سوزی وجود دارد.

در شکل ۸-۷۸ اتصال کوتاه ناقص در سیم پیچ توسط یک اهم‌متر بررسی می‌شود.

#### نکته‌ی مهم:

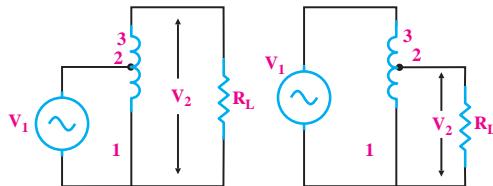
امروزه معمولاً اکثر منابع تغذیه‌ی دستگاه‌های مختلف حفاظت شده هستند و قبل از رساندن آسیب جدی به ترانسفورماتور مدار را قطع می‌کنند.

#### ۱- قطع شدن سیم پیچ‌های اولیه یا ثانویه

قطع شدن سیم پیچ‌های اولیه یا ثانویه باعث می‌شود 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 اهم‌متر آزمایش نمایید. مطابق شکل ۸-۷۷ در صورت قطع بودن سیم پیچ، اهم‌متر مقاومت بی‌نهایت را نشان می‌دهد.

در یک ترانسفورماتور هرچه توان بیشتر باشد مقاومت اهمی سیم پیچ‌ها کمتر است. زیرا برای داشتن توان بیشتر از سیم‌های ضخیم تر استفاده می‌کنند.



الف) اتو ترانسفورماتور کاهنده  
ب) اتو ترانسفورماتور افزاینده

شکل ۸-۷۹ نماد فنی اتو ترانسفورماتور

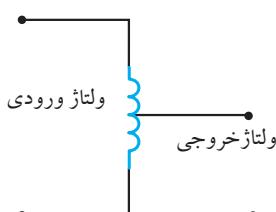
### ۸-۲۰-۱ مزایای اتو ترانسفورماتور بر ترانسفورماتور معمولی

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 ۸-۸۰ شکل ظاهری اتو ترانسفورماتور با ولتاژ خروجی قابل تنظیم و نماد فنی آن را مشاهده می‌کنیم. در واریاک ولتاژ ورودی به پایه‌ی ثابت سیم پیچ 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 حداً کثیر پیش‌بینی شده، قابل تنظیم است. مقدار حداً کثیر در اتو ترانسفورماتور می‌تواند از ولتاژ ورودی بیشتر باشد.

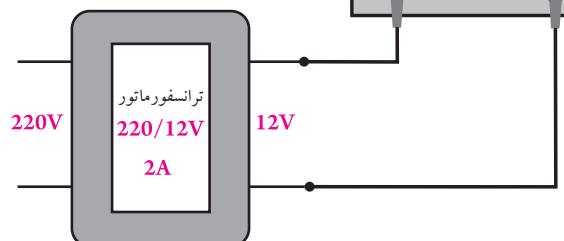
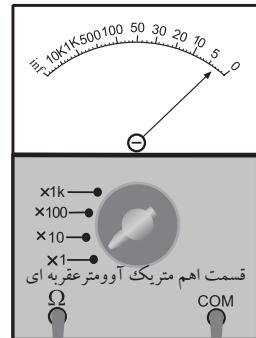


ب) شکل ظاهری واریاک



الف) نماد فنی واریاک

شکل ۸-۸۰ واریاک



شکل ۸-۷۸ نیم‌سوز شدن ترانسفورماتور تغذیه

### ۳- اتصال کوتاه کامل

این عیب در اثر اتصال یکی از سیم پیچ‌ها به بدنه‌ی ترانسفورماتور یا اتصال اولیه به ثانویه‌ی ترانسفورماتور رخ می‌دهد. بررسی این حالت توسط اهم‌متر به راحتی امکان‌پذیر است.

### ۸-۲۰ اتو ترانسفورماتور

از دیگر انواع ترانسفورماتورهای قدرت، 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 سیم پیچ که برای ولتاژ اولیه طراحی شده است، داده می‌شود و ولتاژ خروجی از سرهای دیگر آن دریافت می‌گردد.

در شکل ۸-۷۹ نماد فنی دو نوع اتو ترانسفورماتور از نوع کاهنده و افزاینده نشان داده شده است.

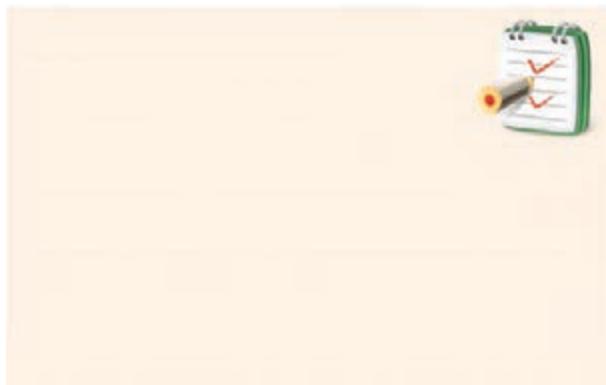
## آزمون پایانی فصل ۸



۱- اجزای تشکیل دهنده یک سلف را نام ببرید.



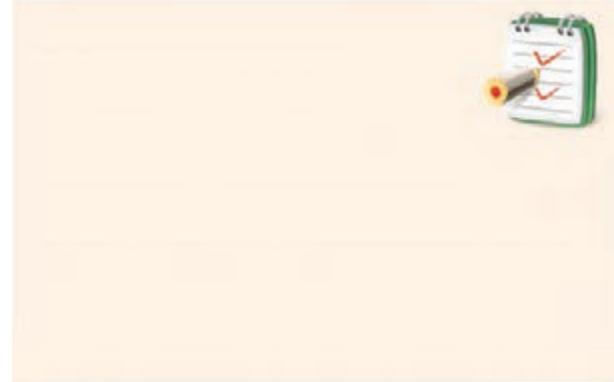
۵- ضریب خود القایی سلف را تعریف کنید.



۶- چگونگی تولید جریان القایی را شرح دهید.



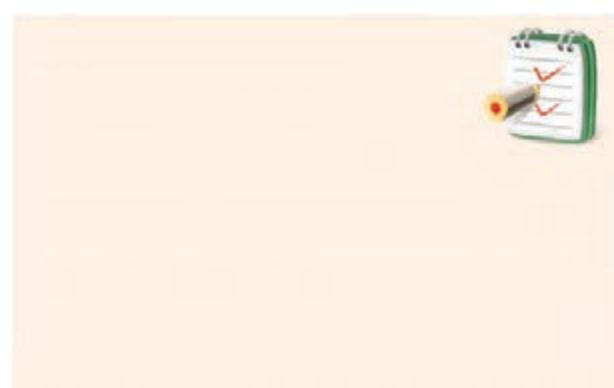
۷- از یک سلف با مشخصات  $L=300\text{ mH}$  و  $r=100\Omega$  جریانی برابر با  $I=400\text{ mA}$  می‌گذرد. انرژی ذخیره شده در سیم پیچ چند میکروژول است؟



۲- کدام رابطه مربوط به محاسبه  $\cos\varphi$  در مدار موازی است؟

- |                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| ب) $\frac{X_L}{Z}$ | الف) $\frac{R}{Z}$ |
| د) $\frac{Z}{R}$   | ج) $\frac{Z}{X_L}$ |

۳- میدان الکترومغناطیسی را تعریف کنید.



۴- جهت میدان مغناطیسی اطراف یک سیم پیچ را چگونه تعیین می‌کنند؟

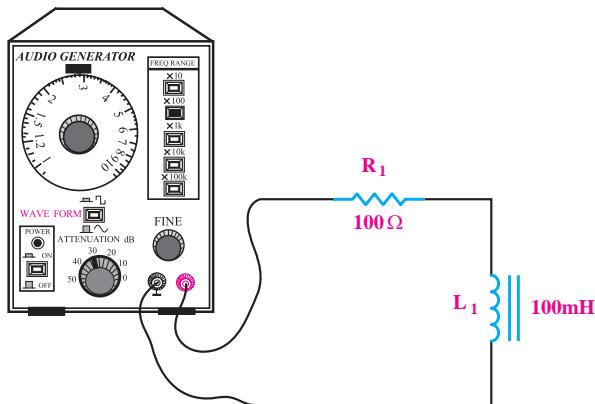


به وجود می آید؟

الف) سیم پیچ ها      ب) هسته

۱۲- در شکل ۸-۸۳ با افزایش فرکانس، ولتاژ دو سر مقاومت اهمی ..... می شود.

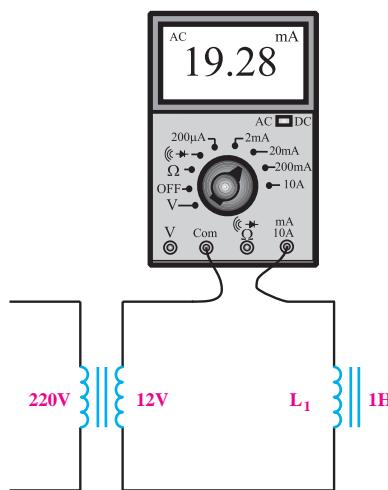
الف) کم      ب) زیاد



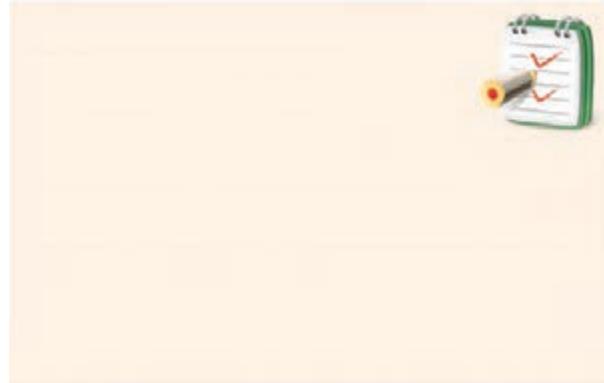
شکل ۸-۸۳

۱۳- در شکل ۸-۸۴ با افزایش ضرب خود القابی سلف کدام حالت اتفاق می افتد؟

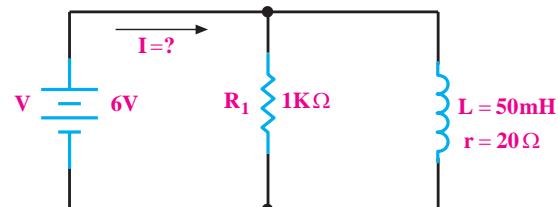
الف) میلی آمپر جریان بیشتری را نشان می دهد.  
ب) میلی آمپر جریان کمتری را نشان می دهد.



شکل ۸-۸۴



۸- در مدار شکل ۸-۸۱ جریان نهایی در مدار چند میلی آمپر است؟

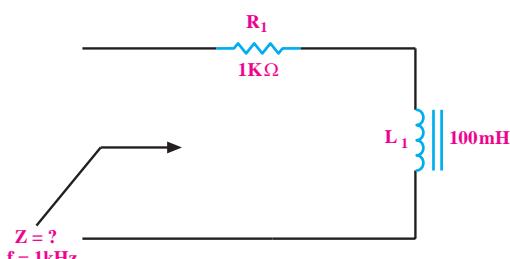


شکل ۸-۸۱

۹- نحوه آزمایش یک سلف به وسیله ای اهم متر را شرح دهید.



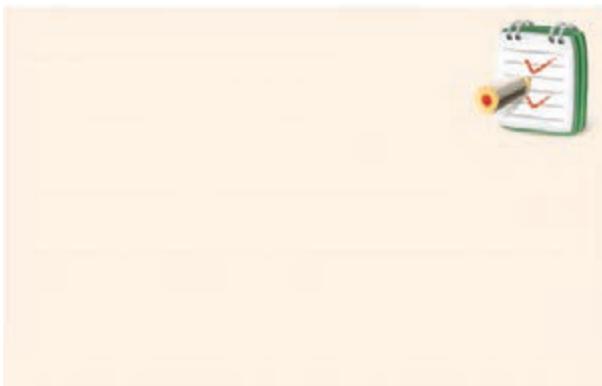
۱۰- در شکل ۸-۸۲ امپدانس مدار را محاسبه کنید.



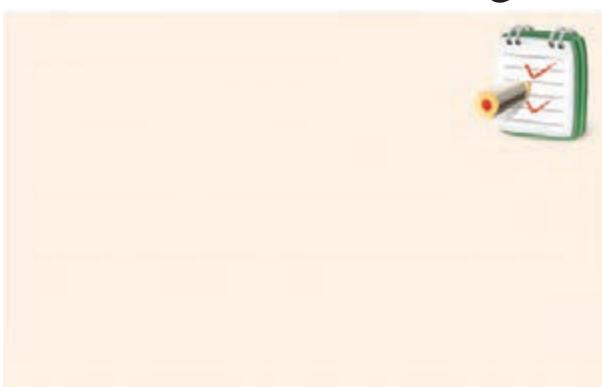
شکل ۸-۸۲

۱۱- تلفات مسی در یک ترانسفورماتور، در کدام قسمت

- د- ترانسفورماتوری که به صورت فیلتر عمل کند.
- ۱۸- روابط نسبت دور، نسبت جریان‌ها و نسبت ولتاژها را در ترانسفورماتور ایده‌آل بنویسید.

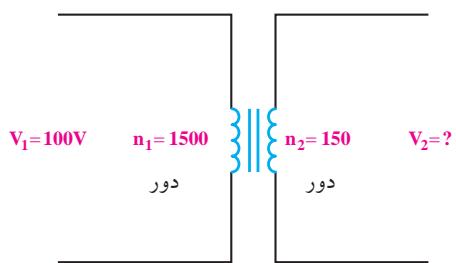


- ۱۹- انواع تلفات در ترانسفورماتور را نام ببرید و برای هر یک توضیح کوتاهی بنویسید.



- ۲۰- اگر یک هادی را در میدان مغناطیسی ثابت به حرکت درآوریم، کدام اتفاق رخ می‌دهد؟
- (الف) در دو سر آن ولتاژ القا می‌شود.
- (ب) نیرویی به هادی وارد می‌شود.
- (ج) هیچ اتفاقی نمی‌افتد.

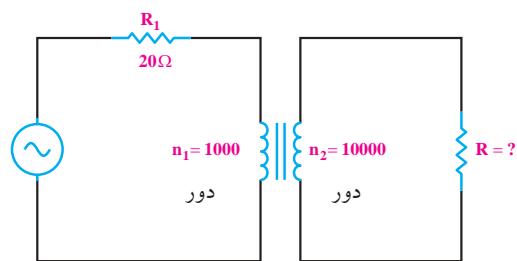
۱۴- در شکل ۸-۸۵ مقدار  $V_2$  چند ولت است؟



شکل ۸-۸۵

- الف) ۱۰  
ب) ۱/۵  
ج) ۱  
د) ۲۰۰۰۰
- ۱۵- در شکل ۸-۸۶ مقدار  $R$  چند اهم باشد تا حداقل 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 ایده‌آل، 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

## فصل نهم

### مدارهای هماهنگ

**هدف کلی:** تحلیل مدارهای RLC و فیلترها

هدف رفتاری: پس از پایان این فصل از فرآگیرنده انتظار می‌رود 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- روزونанс را تعریف کند و تعریف روزونанс مدارهای سری و موازی را محاسبه کند.
- ۶- پهنهای باند و ضریب کیفیت مدار RLC سری و مدار موازی را محاسبه کند.
- ۷- توان در مدارهای RLC در جریان متناوب را محاسبه کند.
- ۸- اهداف رفتاری در حیطه‌ی عاطفی که در فصل اول آمده است را اجرا کند.
- ۹- توانایی شماره‌ی ۹

ساعت آموزش			توانایی شماره‌ی ۹
جمع	عملی	نظری	
۱۸	۱۲	۶	

## پیش آزمون فصل (۶)



۱- در شکل زیر میلیآمپر  $A_C$  ، ده میلیآمپر را نشان می‌دهد . امپدانس مدار از دو نقطه A و B چند اهم 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 ا اختلاف فاز بین جریان نسبت به ولتاژ در مدار خازن خالص صحیح است ؟

الف) ۹۰ درجه پس فاز

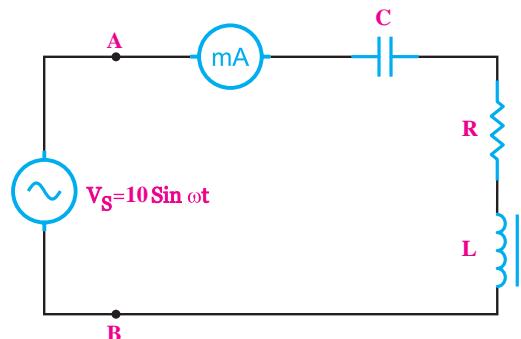
ب) ۹۰ درجه پیش فاز

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 ؟

$$I_T = \frac{V_S}{R} \quad \text{ب) } I_T = \frac{V_S}{R + X_L} \quad \text{الف)$$



الف) ۱۰۰۰ ب) ۱۰۰

ج) ۷۰۷/۱ د) ۷۰/۷۱

۲- مقدار مؤثر ولتاژ متناوب سینوسی معادل ..... است که می‌تواند در زمان معین و بار معین، گرمای یکسانی را ایجاد کند .

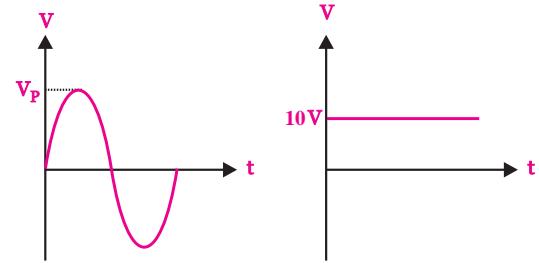
الف) ولتاژ مستقیم DC

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 موج‌های الف و ب در یک بار معین در زمان معین حرارت یکسان ایجاد کند کدام گزینه صحیح است ؟



الف

۱۴) د

ج) ۲/۲۹

- ۱۱- کدام گزینه در مورد امپدانس مدار RLC سری در حالت رزونانس صدق می‌کند؟

الف)  $X_L$       ب)  $\frac{1}{R}$       ج)  $X_C$

- ۱۲- اگر شروع یک موج از موج دیگری زودتر باشد، در اصطلاح می‌گویند آن موج ..... است.

- ۱۳- در مدارهای RLC چنان‌چه فرکانس تغییر کند،

هیچ گاه مقایر  $X_L = X_C$  نمی‌شود.

غلط

صحیح

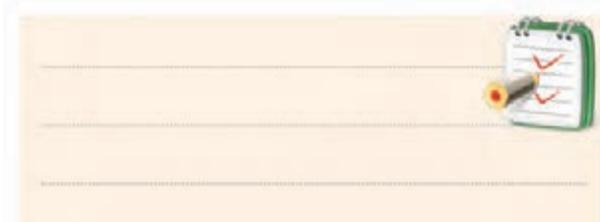
- ۱۴- اگر مدار RLC موازی در حالت رزونانس باشد جریان کل مدار حداکثر است.

غلط

صحیح

- ۱۵- مقدار سلف معادل چند سیم پیچ به صورت موازی، از مقدار هر یک از سلف‌های مدار ..... است.

- ۱۶- ضریب کیفیت را تعریف کنید.



- ۱۷- پاسخ‌های صحیح را از ستون سمت چپ به ستون سمت راست ارتباط دهید. (از رنگ‌های مختلف استفاده کنید).

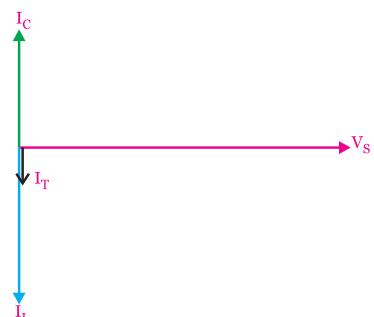
الف)  $I_T = \frac{V_s}{Z}$       ج)  $I_T = \frac{V_s}{X_L}$

- ۷- کدام گزینه درباره‌ی امپدانس در مدارهای LC سری در حالت رزونانس صدق می‌کند؟

الف)  $Z = Z_{max}$       ج)  $Z = R$

ب)  $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$       د)  $Z = R$

- ۸- کدام گزینه مربوط به دیاگرام برداری مدار شکل زیر است؟



الف)  $X_L > X_C$  سری LC

ب)  $X_C > X_L$  سری LC

ج)  $X_L > X_C$  موازی LC

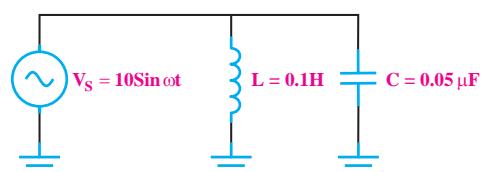
د)  $X_C > X_L$  موازی LC

- ۹- در مدار LC موازی اگر فرکانس مدار بیشتر از فرکانس رزونانس شود، کدام گزینه درباره‌ی مدار صدق می‌کند؟

الف) خازنی  $X_C < X_L$       ج) سلفی  $X_C > X_L$

ب) خازنی  $X_C > X_L$       د) سلفی  $X_C < X_L$

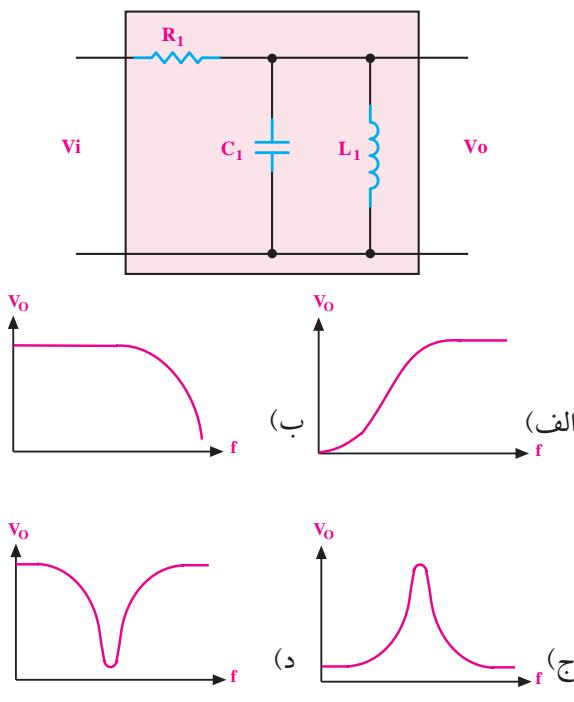
- ۱۰- فرکانس رزونانس در مدار شکل زیر چند کیلوهرتز است؟



الف) ۳/۱

ب) ۷/۰۷

۱۸- منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر زیر کدام است؟



• سری LC

$$Z = \frac{X_L \cdot X_C}{|X_L - X_C|}$$

$$Z = |X_C - X_L|$$

• موازی LC

$$Z = \sqrt{R^r + (X_L - X_C)^r}$$

$$I = \sqrt{I_R^r + (I_L - I_C)^r}$$

• سری RLC

$$Z = \infty$$

$$Z = \cdot$$

$$\text{حداکثر} = Z = \text{رزونانس}$$

$$\text{حداکثر} = Z = \text{رزونانس}$$

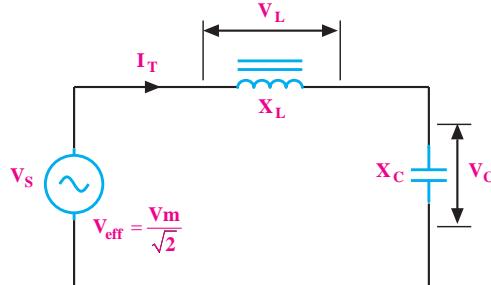
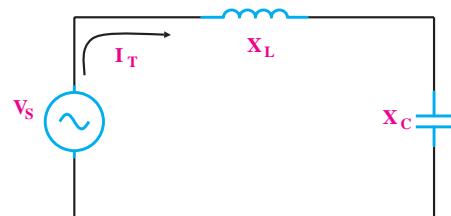
• موازی RLC

## ۹-۱ مدار LC

### ۹-۱-۱ مدار LC سری

اگر یک سلف ایده‌آل 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 می‌کند که مقدار آن از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$I_T = \frac{V_S}{Z} = \frac{V_{\text{eff}}}{Z}$$



شکل ۹-۲ امپدانس کل مدار

**نکته:** قدر مطلق به معنی در نظر گرفتن مقدار عددی، بدون علامت آن است.

شکل ۹-۱ مدار LC سری

در مدار LC سری، جریان سلف و خازن با یک دیگر برابر است، لذا می‌توانیم ولتاژ دو سر سلف و خازن را به صورت زیر بنویسیم:

V\_L = I\_{\text{eff}} \cdot X\_L

V\_C = I\_{\text{eff}} \cdot X\_C

$$I_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{eff}}}{|X_L - X_C|}$$

$$V_S = |V_L - V_C|$$

#### توجه

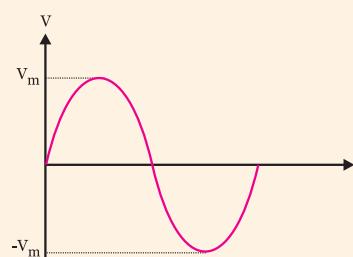
##### در مدار LC سری:

ولتاژ منبع برابر با جمع برداری ولتاژ دو سر سلف و خازن است.



#### توجه:

در مدارهای جریان متناوب سینوسی منظور از  $I_{\text{eff}}$  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.



#### 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.

$$X_C = \frac{1}{2 \times 3 \times 50 \times 1100 \times 10^{-9}}$$

$$X_C = 3\Omega$$

چون مقدار  $X_L$  بزرگتر از مقدار  $X_C$  است پس مدار خاصیت سلفی دارد، رابطه ای امپدانس را به صورت زیر به

$$Z = |X_L - X_C|$$

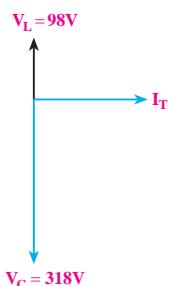
$$Z = |15 - 3| = 12\Omega$$

جريان مدار را محاسبه می کنیم

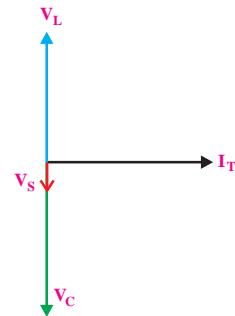
$$I_T = \frac{V_S}{Z} = \frac{220}{12} = 18.3A$$

$$I_T = 18.3A$$

**مثال ۲:** دیاگرام برداری یک مدار LC سری مطابق شکل ۵-۹ است در صورتی که مقدار راکتانس خازنی  $318\Omega$  اهم باشد، مقدار راکتانس سلف، ضریب خود القا و ولتاژ کل مدار را محاسبه کنید. (هر تر  $f = 50$  هرتز)



شکل ۵-۹ دیاگرام برداری LC سری

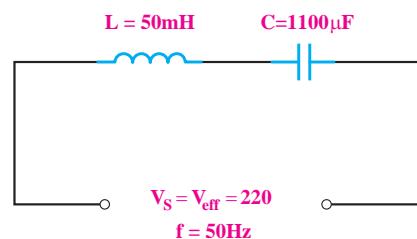


شکل ۳-۹ دیاگرام برداری مدار LC سری

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؟

$$\pi \approx 3$$



شکل ۴-۹

**حل:** ابتدا مقادیر امپدانس های  $X_L$  و  $X_C$  را محاسبه می کنیم:

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_L = 2 \times 3 \times 50 \times 50 \times 10^{-3}$$

$$X_L = 15\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

**امپدانس**  
امپدانس کل مدار LC موازی از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$Z = \frac{X_L \cdot X_C}{|X_L - X_C|}$$

با استفاده از ولتاژ دو سر خازن جریان مدار را محاسبه می‌کنیم:

$$V_C = X_C \cdot I \Rightarrow I = \frac{V_C}{X_C}$$

$$I = \frac{318}{318} = 1A$$

با استفاده از  $V_L$  و  $I$  مقدار  $X_L$  را به دست می‌آوریم.

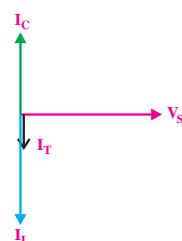
**مخصوص دانش آموزان علاقهمند:**  
امپدانس کل مدار LC موازی را که از ساده کردن رابطه‌ی زیر به دست می‌آید، محاسبه کنید.

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}$$

توجه داشته باشید که در عمل، مدار LC (سری یا موازی) خالص وجود ندارد. زیرا هر نوع سلفی حتماً دارای یک مقاومت اهمی مربوط به سیم پیچ است. لذا مدار خالص LC سری یا موازی صرفاً به صورت نظری و تئوری توجیه پذیر 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

$$V_L = X_L \cdot I \Rightarrow X_L = \frac{V_L}{I} \Rightarrow X_L = \frac{98}{1} = 98$$

اهم  $X_L = 98$

مقدار  $L$  را با استفاده از  $F$  و  $X_L$  محاسبه می‌کنیم.

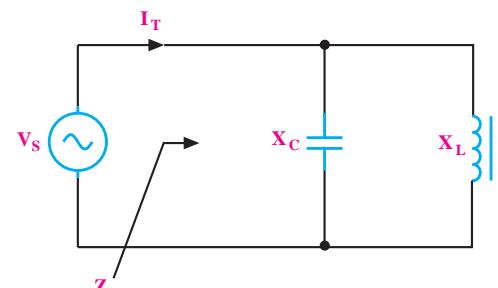
$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{98}{2 \times 3 / 14 \times 50}$$

هانری  $L = 0.31$

#### ۹-۱-۲ مدار LC موازی

اگر یک سلف و یک خازن را مطابق شکل ۹-۶ به صورت موازی بیندیم و مجموعه را به یک منبع ولتاژ متناوب سینوسی متصل کنیم، مقدار جریانی که از مدار می‌گذرد از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$I_T = \frac{V_S}{Z} = \frac{V_{eff}}{Z}$$



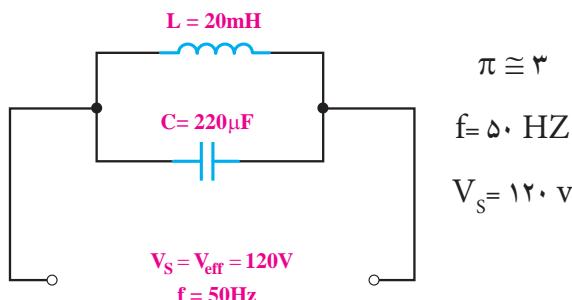
شکل ۹-۶

**مثال ۴:** در مدار شکل ۹-۹ مطلوب است :

الف - امپدانس مدار

ب - جریان کل مدار

ج - خاصیت مدار



شکل ۹-۹

**حل :**

الف - محاسبه ای امپدانس مدار:

$$X_L = 2\pi f L = 2 \times 3 \times 50 \times 20 \times 10^{-3}$$

$$X_L = 6\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \times 3 \times 50 \times 220 \times 10^{-6}} = 15\Omega$$

$$Z = \frac{X_C X_L}{X_C - X_L} = \frac{15 \times 6}{15 - 6} = \frac{90}{9} = 10\Omega$$

ب - محاسبه جریان کل مدار

$$I_T = \frac{V_S}{Z} = \frac{120}{10} = 12A$$

مدار خاصیت سلفی دارد  $\Rightarrow X_C > X_L \Rightarrow$

### ۹-۲ مدار RLC سری

#### ۱-۲ رفتار مدار RLC سری در ولتاژ DC

اگر یک مقاومت اهمی، یک سلف و یک خازن را مانند

شکل ۹-۱۰ به یکدیگر بیندیم، مدار RLC سری تشکیل می شود.

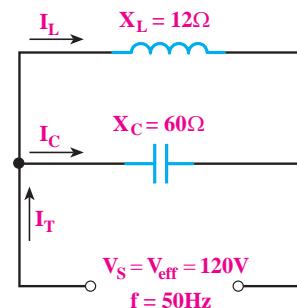
به سبب مخالفت راکتانس سلف با خازن، اگر  $I_L > I_C$  با مساوی باشد، جریان کل مدار در حالت رزونانس برابر با صفر می شود.

چنانچه جریان سلف ( $I_L$ ) بیشتر از جریان خازن ( $I_C$ ) باشد، مدار خاصیت سلفی و اگر ( $I_C > I_L$ ) باشد مدار خاصیت خازنی دارد.

مدار خاصیت سلفی دارد  $\Rightarrow I_L > I_C$

مدار خاصیت خازنی دارد  $\Rightarrow I_C > I_L$

**مثال ۳:** جریان کل و جریان هر شاخه را در مدار شکل ۹-۸ به دست آورید.



شکل ۹-۸

**حل :**

چون ولتاژ در مدار ثابت است، جریان هر شاخه با استفاده

از قانون اهم محاسبه می شود.

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{120}{12} = 10A$$

مدار خاصیت سلفی دارد

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{120}{60} = 2A$$

$$I_C = 2A$$

مدار خاصیت سلفی دارد.  $\Rightarrow I_T = I_L - I_C$

$$I_T = 10 - 2 = 8A$$

$$I_T = 8A$$

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:

$$X_L = 2\pi f L = 2\pi \times (0) \times L = 0 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi (0) C} = \frac{1}{0} = \infty$$

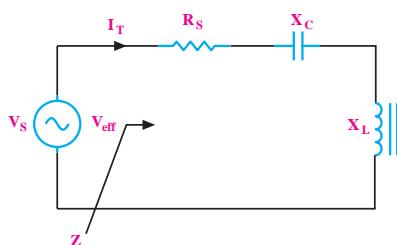
چون مقاومت خازنی در  $f = 0$  برابر  $\infty$  می شود پس در مدار DC مقدار  $R_{AB}$  برابر با بی نهایت ( $\infty$ ) است.

$$R_{AB} = R_s + \infty = \infty$$

### ۹-۲-۲ رفتار مدار RLC سری در جریان متناوب

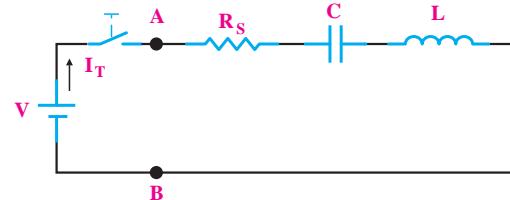
اگر یک مقاومت اهمی، یک سلف و یک خازن را مطابق شکل ۱۲-۹ به صورت سری به یکدیگر وصل کنیم و سپس این مدار را به یک منبع جریان متناوب سینوسی اتصال دهیم، مقدار مؤثر جریانی که از مدار می گذرد از رابطه زیر به دست می آید.

$$I_T = I_{eff} = \frac{V_{eff}}{Z}$$



شکل ۱۲-۹ مدار RLC سری

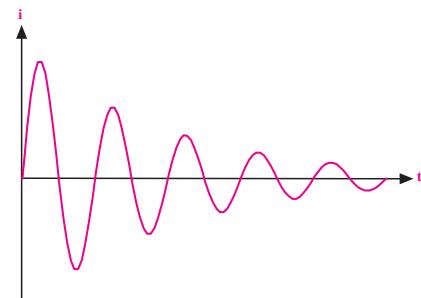
**تحقیق کنید:** به چه دلیل در مدار RLC سری مقدار جریان کل با جریان مؤثر برابر است.



شکل ۱۰-۹ 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 ۱۱-۹ باشد ولی صرف نظر از این شکل موج، بعد از مدتی جریان در مدار به صفر می رسد.

$$I = 0$$



شکل ۱۱-۹ جریان مدار RLC سری در ولتاژ DC

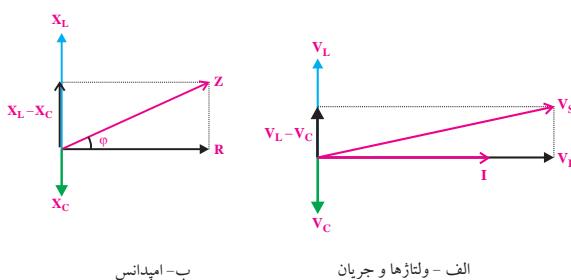
اگر مقاومت ورودی را از دو نقطه A و B در مدار شکل ۱۰-۹ محاسبه کنیم، باید ولتاژ بین دو نقطه A و B را بر جریان مدار تقسیم کنیم. چون خازن در مدار کاملاً شارژ می شود و دیگر از منبع، جریان نمی کشد بنابراین جریان مدار صفر خواهد بود. پس مقاومت مدار از دو نقطه A و B خیلی بزرگ و از نظر تئوری بی نهایت می شود.

$$\left. \begin{aligned} R_{AB} &= \frac{V_{AB}}{I} \\ I &= 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow R_{AB} = \infty$$

## امپدانس

در یک مدار RLC سری، مقدار  $Z$  (امپدانس) از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (\Omega)$$



شکل ۹-۱۳ - دیاگرام‌های برداری

## ولتاژهای مدار

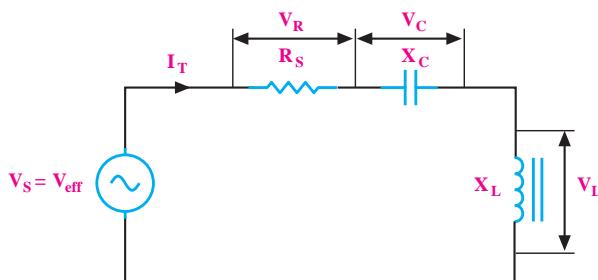
در شکل ۹-۱۴ که یک مدار RLC سری است. ولتاژ دو سر عناصر مدار از روابط زیر به دست می‌آید، چون  $I_T = I_{\text{eff}}$  است پس می‌توانیم بنویسیم :

$$V_R = I_T \cdot R = I_{\text{eff}} \times R$$

$$V_L = I_T \cdot X_L = I_{\text{eff}} \times X_L$$

$$V_C = I_T \cdot X_C = I_{\text{eff}} \times X_C$$

**ولتاژ کل مدار**  $V_S = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$



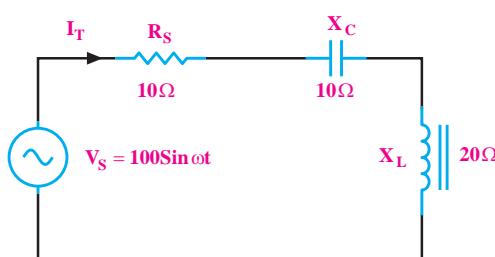
شکل ۹-۱۴ - ولتاژهای مدار

**مثال ۵:** در مدار شکل ۹-۱۵ جریان موثر را به دست

آورید:

مقدار  $\varphi$  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.



شکل ۹-۱۵ مثال ۵

## اختلاف فاز

در مدار RLC سری، اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ می‌تواند بین صفر تا ۹۰ درجه تغییر کند. مقدار دقیق اختلاف فاز به مقادیر  $R$  و  $X_C$  و  $X_L$  بستگی دارد.

روابط فازی بین ولتاژ و جریان در مدار به شرح زیر است:

نسبت به  $I_T$ ،  $V_L$  ۹۰ درجه پیش فاز است.

نسبت به  $I_T$ ،  $V_C$  ۹۰ درجه پس فاز است.

با جریان  $I_T$  هم فاز است.

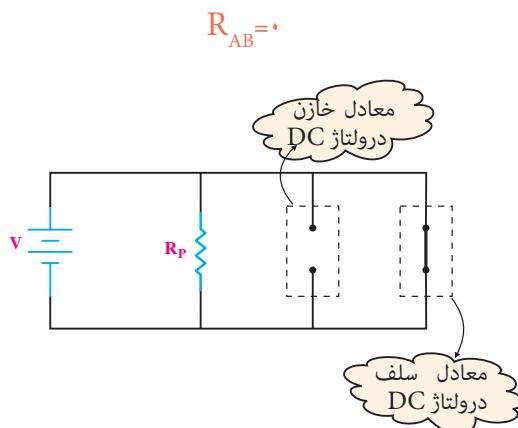
## دیاگرام برداری

مقادیر  $Z$ ،  $X_C$ ،  $X_L$  و  $R_S$  را به صورت برداری نیز نشان می‌دهند. همیشه بین جریان مدار و ولتاژ کل مدار اختلاف فاز وجود دارد. زاویه‌ی  $\varphi$  اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ است و مقدار آن از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

$R_{AB} = R \parallel r = \frac{R \cdot r}{R + r}$  مقاومت از دو نقطه‌ی A و B برابر است که معمولاً به دلیل کوچک بودن r بسیار کم است.

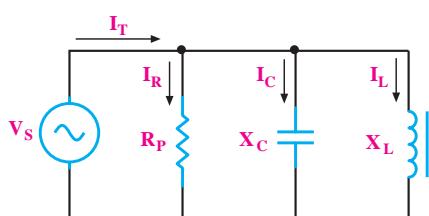
در ولتاژ DC فرکانس برابر صفر است. اگر از مقاومت اهمی سلف (r) صرف نظر نماییم در ولتاژ DC سلف ایده‌آل مانند یک سیم اتصال کوتاه عمل می‌کند. بعد از وصل کلید، در ولتاژ DC خازن بلا فاصله شارژ می‌شود و مقاومت آن بسیار زیاد و از نظر تئوری بی‌نهایت است. امپدانس مدار از دو نقطه‌ی A و B برابر با صفر می‌شود، شکل ۹-۱۷.



شکل ۹-۱۷

**۹-۳-۲ 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

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:

$$V_{\text{eff}} = \frac{100}{\sqrt{2}} = 70 / \sqrt{2} V$$

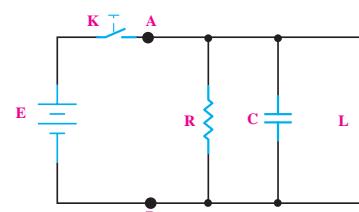
مقادیر را در رابطه‌ی جریان جایگزین می‌کنیم.

$$\begin{aligned} I_{\text{eff}} &= \frac{70}{14 / \sqrt{2}} = 5 A \\ I_T &= I_{\text{eff}} = 5 A \end{aligned}$$

### ۹-۳ مدار RLC موازی

#### ۹-۳-۱ رفتار مدار RLC موازی در ولتاژ DC

اگر یک مقاومت اهمی، یک سلف و یک خازن را مطابق شکل ۹-۱۶ با یکدیگر موازی بیندیم، مدار RLC موازی شکل می‌گیرد.



شکل ۹-۱۶ مدار RLC موازی

بعد از وصل کلید، خازن بلا فاصله شارژ می‌شود و جریان  $\frac{E}{r}$  از مقاومت اهمی و بعد از مدتی جریان  $\frac{E}{R}$  ( مقاومت اهمی خود سلف ) از سلف عبور می‌کند.

## جريان‌های مدار

در یک مدار RLC موازی، روابط زیر برقرار است:

جريان عبوری از مقاومت R (جريان مؤثر)

$$I_R = \frac{V_S}{R}$$

جريان عبوری از سیم پیچ (جريان سلفی)

$$I_L = \frac{V_S}{X_L}$$

جريان عبوری از خازن (جريان خازنی)

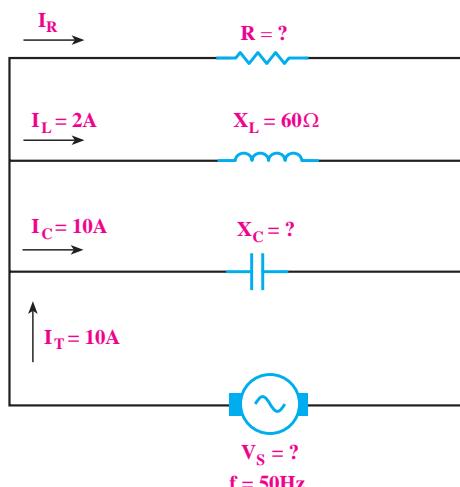
$$I_C = \frac{V_S}{X_C}$$

جريان کل مدار

$$I_T = I_{\text{eff}} = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

**مثال ۶:** در مدار شکل ۹-۲۰ با توجه به مقادیر

جريان‌های  $I_L$  و  $I_C$  و  $I_T$  مطلوبست:



شكل ۹-۲۰

الف - جریان  $I_R$

ب - ولتاژ مدار

ج - امپدانس مدار

د -  $R$  و  $X_C$

مخصوص دانش آموزان علاقه مند:

امپدانس

مقدار امپدانس مدار (Z) از رابطه‌ی

زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R_p} + \left( \frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} \right)$$

مقدار امپدانس (Z) از رابطه‌ی  $Z = \frac{V_S}{I_T}$  نیز محاسبه

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:

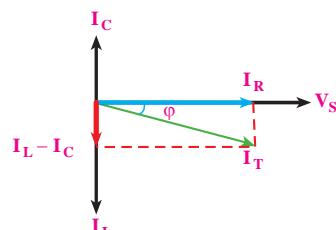
۱ -  $I_L$  نسبت به  $V_S$ ، ۹۰ درجه پس فاز است.

۲ -  $I_C$  نسبت 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 ۹-۱۹ نشان داده شده است.



شکل ۹-۱۹ - دیاگرام برداری مدار RLC موازی

حل :

ابتدا مقدار  $I_R$  را محاسبه می کنیم .

$$I_T = I_{\text{eff}} = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

$$10 = \sqrt{I_R^2 + (10 - 2)^2} \Rightarrow I_R = 6 \text{ A}$$

$$I_R = 6 \text{ A}$$

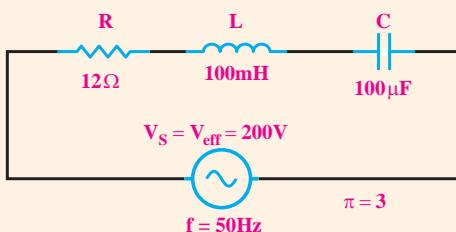
با در نظر گرفتن مدار شکل ۹-۲۱ مطلوب است :

الف \_ امپدانس مدار

ب - جریان مدار

ج - ولتاژ دو سر هر یک از قطعات

د - اختلاف فاز  $\varphi$



شکل ۹-۲۱

با توجه به مقدار  $X_L$  مقادیر  $V_s$  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  $V_s$  و  $I_R$  مقادیر  $R$  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 :

$$X_C = \frac{V_s}{I_C} = \frac{120}{10} = 12 \Omega$$

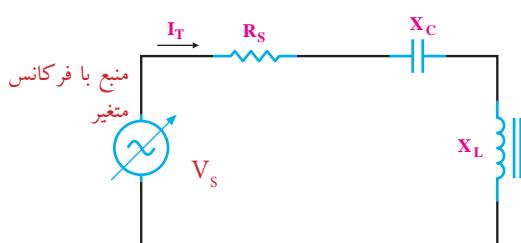
$$X_C = 12 \Omega$$

$$Z = \frac{V_s}{I_T}$$

$$Z = \frac{120}{10} = 12 \Omega$$

در یک مدار RLC سری، اگر فرکانس منبع تغذیه مدار قابل تغییر باشد ، با تغییر فرکانس منبع در یکی از فرکانس ها (فقط و فقط به ازای یک فرکانس)،  $X_L = X_C$  می شود، شکل ۹-۲۲.

۹-۲۲. این فرکانس را فرکانس رزوونانس می نامند.

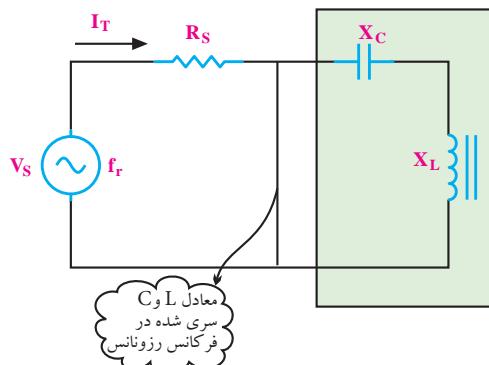


شکل ۹-۲۲ مدار RLC سری

توجه

در مدارهای RLC سری و موازی،  $R_p$  مقاومت سری و مقاومت موازی است .





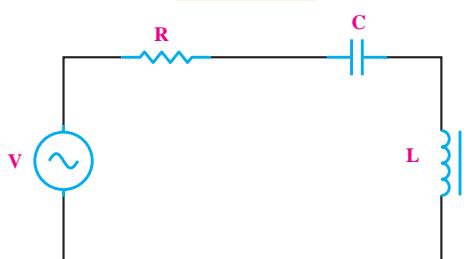
شکل ۹-۲۴ جریان مدار در حالت رزونانس سری

#### ۹-۴-۲ فرکانس رزونانس در مدار RLC سری

در یک مدار RLC سری، هر گاه  $X_L = X_C$  شود، مدار به حال رزونانس یا تشدید در می‌آید، شکل ۹-۲۵. در این حالت مقدار  $X_L$  و  $X_C$  از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$X_L = 2\pi f L$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f c}$$



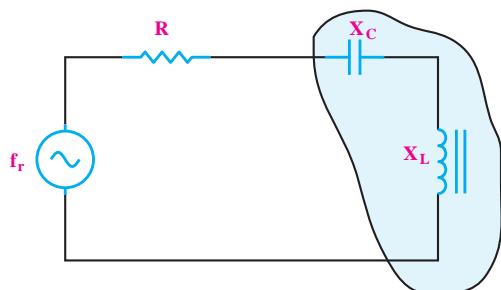
شکل ۹-۲۵ رزونانس در مدار RLC

در یک مدار RLC سری چنان‌چه  $X_L$  را مساوی قرار دهیم، فرکانسی که در آن  $X_L = X_C$  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، می‌نیمم 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 حداقل 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:

$$X_L = X_C$$

$$I_T = \frac{V_s}{R_s}$$

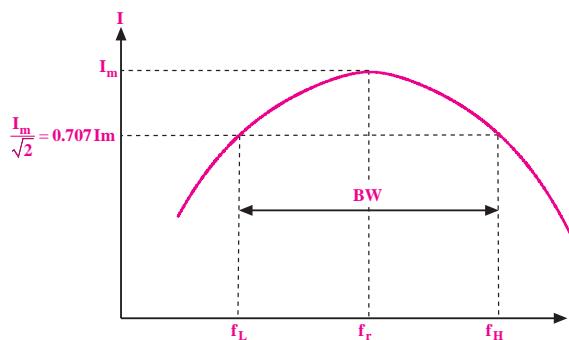
$$Z = R_s$$

امپدانس مدار حداقل و برابر با  $R_s$  است.

### ۳-۴-۹ پهنهای باند

جریان در مدار RLC سری بر حسب 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  $(0.707)I_m$  (یعنی تقریباً هفتاد درصد جریان در حالت رزونانس می‌شود) را پهنهای باند می‌گویند. پهنهای باند را با  $BW$  نشان می‌دهند. در شکل ۲۷-۹ پهنهای باند نشان داده شده است.

$$B.W = f_H - f_L = \text{پهنهای باند}$$

**مثال ۷:** اگر در یک مدار RLC سری در حالت رزونانس  $f_L = 580$  KHZ و  $f_H = 610$  KHZ پهنهای باند را به دست آورید.

**حل:**

$$B.W = f_H - f_L$$

$$B.W = 610 - 580$$

$$B.W = 30 \text{ KHZ}$$

### 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

$$Q = \frac{\text{ماکریم انرژی ذخیره شده}}{\text{انرژی تلف شده در یک سیکل}} \quad \text{می‌شود:}$$

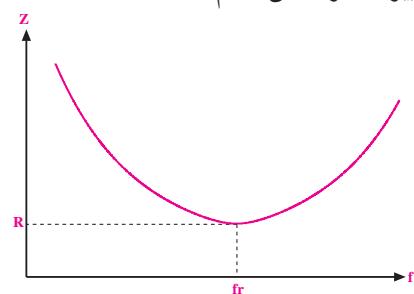
در یک مدار RLC سری، اگر مقدار فرکانس را از صفر به تدریج زیاد کنیم، در فرکانس‌های خیلی کم، راکتانس خازنی مدار با فرض ثابت بودن ظرفیت آن خیلی زیاد می‌شود. در این حالت با توجه به رابطه‌ی راکتانس خازن ( $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$ ) چون  $f$  در مخرج کسر قرار دارد، هر قدر  $X_C$  بزرگ‌تر مقدار  $X_L$  نیز 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.

$$X_L = 2\pi f L$$

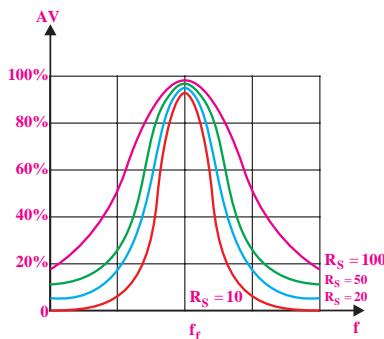
با توجه به سری کردن عناصر  $R$ ،  $L$  و  $C$  در یکی از فرکانس‌ها که آن را فرکانس رزونانس ( $f_r$ ) می‌نامند، مقدار  $X_L = X_C$  می‌شود و امپدانس مدار را به حد می‌نیمم می‌رساند. در شکل ۲۶-۹ منحنی تغییرات امپدانس مدار RLC سری بر حسب تغییرات فرکانس رسم شده است.



شکل ۲۶-۹ منحنی امپدانس مدار RLC سری

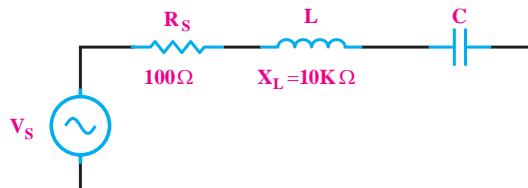
در این حالت در فرکانس رزونانس، جریان در مدار RLC به حد اکثر مقدار خود افزایش می‌یابد. منحنی تغییرات

اگر رابطه‌ی  $Q$  را مورد توجه قرار دهیم می‌بینیم که با زیاد شدن مقاومت اهمی، مقدار  $Q$  کم و مقدار پهنهای باند زیاد می‌شود. شکل ۹-۲۹ مقدار  $Q$  را در مدار رزونانس سری با مقادیر متفاوت  $R_s$  نشان می‌دهد.



شکل ۹-۲۹ اثر مقاومت روی  $Q$

**مثال ۸:** در صورتی که در مدار شکل ۹-۳۰ مقدار  $R=100\Omega$  و  $X_L=10K\Omega$  باشد مقدار  $Q$  را به دست آورید.



شکل ۹-۳۰

مقدار  $Q$  را با استفاده از  $X_L$  و  $R$  محاسبه می‌کنیم.

$$Q = \frac{X_L}{R_s}$$

$$Q = \frac{10K\Omega}{100\Omega}$$

$$Q = 100$$

این ضریب میزان تیزی منحنی تغییرات جریان و پهنهای باند را تعیین می‌کند. بین مقدار  $Q$  و پهنهای باند و فرکانس رزونانس ( $f_r$ ) رابطه‌ی زیر برقرار است:

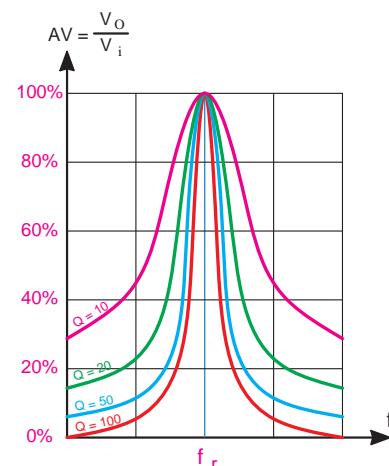
$$Q = \frac{f_r}{BW}$$

ضریب کیفیت  $= Q$

فرکانس رزونانس  $= f_r$

پهنهای باند  $= BW$

هر قدر ضریب کیفیت ( $Q$ ) بیشتر باشد، منحنی مشخصه‌ی فرکانس تیزتر است. در شکل ۹-۲۸ مذکور رسم مشخصه‌ی مدار RLC سری بر حسب تغییرات فرکانس رسم شده است. اگر شکل را مورد توجه قرار دهیم می‌بینیم که با افزایش مقدار  $Q$ ، پهنهای باند کمتر می‌شود.



شکل ۹-۲۸ 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.

$$Q = \frac{X_L}{R_s} \quad \text{یا} \quad Q = \frac{X_C}{R_s}$$

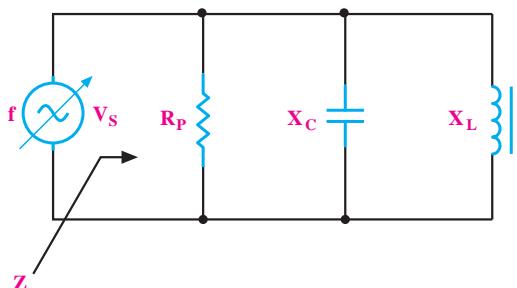
که در آن: ضریب کیفیت  $= Q$

راکتانس سلفی  $= X_L$

مقاومت اهمی مدار  $= R_s$

**مثال ۹:** در مدار شکل ۳۱-۹ فرکانس رزونانس ، 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 موازی در حالت رزونانس ، امپدانس مدار حداکثر و جریان حداقل است .



شکل ۹-۳۲ مدار RLC موازی

در فرکانس رزونانس روابط زیر برقرار است :

$$X_L = X_C$$

حداکثر مقدار امپدانس  $Z = R$

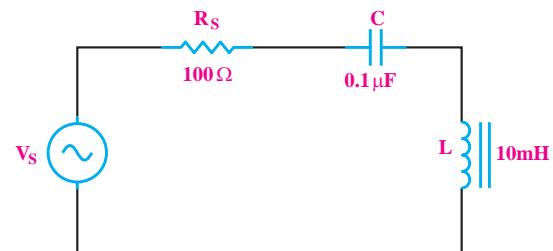
$$I = \frac{V_s}{R}$$

**بیشتر بدانیم :** همانطور که می دانید در مدار 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 :

$$I_L = \frac{V_s}{X_L} \quad \text{و} \quad I_C = \frac{V_s}{X_C} \Rightarrow \frac{V_s}{X_L} = \frac{V_s}{X_C}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_C} \Rightarrow X_L = X_C$$

ضریب کیفیت و پهنای باند مدار را در فرکانس رزونانس به دست آورید .



شکل ۹-۳۱ مربوط به مثال ۸

**حل :**

محاسبه فرکانس رزونانس :

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{1.0 \times 10^{-3} \times 1.0 \times 10^{-6}}} = 50.35 \text{ Hz}$$

محاسبه ضریب کیفیت :

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{2\pi \times 50.35 \times 1.0 \times 10^{-3}}{100} = 3/16$$

$$Q = 3/16$$

محاسبه پهنای باند :

$$BW = \frac{fr}{Q} = \frac{50.35}{3/16} = 1593 \text{ Hz}$$

$$BW = 1593 \text{ Hz}$$

## ۹-۵ رزونانس در مدار RLC موازی

### ۱-۵ فرکانس رزونانس در مدار RLC موازی

در مدار RLC موازی شکل ۹-۳۲ ، اگر فرکانس منجع

متغیر باشد ، در یک فرکانس خاص  $X_L = X_C$  می شود

$$Q = \frac{f_r}{BW}$$

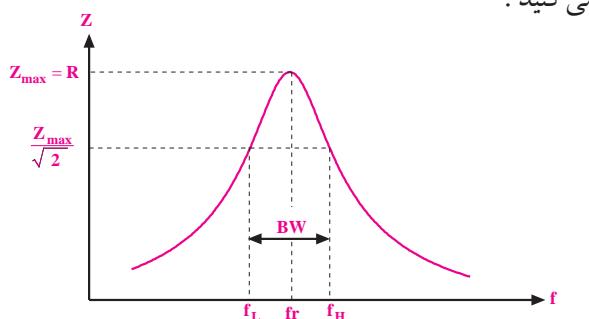
$$Q = \frac{R_p}{X_L} \quad \text{یا} \quad Q = \frac{R_p}{X_C}$$

اگر رابطه‌ی  $Q$  را مورد توجه قرار دهیم ، می‌بینیم که در مدار RLC موازی با زیاد شدن مقاومت اهمی ، مقدار  $Q$  زیاد و مقدار پهنه‌ی باند مدار کم می‌شود .

### ۹-۵-۳ پهنه‌ی باند در مدار RLC موازی

پهنه‌ی باند در مدار RLC موازی ، به محدوده‌ای از فرکانس‌ها گفته می‌شود که امپدانس مدار برابر یا بزرگ‌تر از  $\frac{R}{\sqrt{2}}$  باشد .

پهنه‌ی باند از رابطه‌ی  $BW = \frac{f_r}{Q_r}$  به دست می‌آید . در شکل ۹-۳۴ پهنه‌ی باند در مدار رزونانس موازی را مشاهده می‌کنید .



شکل ۹-۳۴ پهنه‌ی باند در مدار رزونانس موازی

### ۹-۶ 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 ۹-۳۵ .

در این مدار برای محاسبه‌ی فرکانس رزونانس کافی است که مقدار  $X_L$  را برابر با  $X_C$  قرار دهیم . بعد از جایگزینی ،

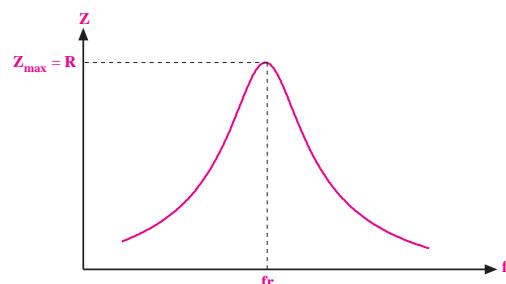
رابطه‌ی نهایی  $f_r$  به دست می‌آید :

$$X_L = X_C \Rightarrow f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

**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 ۹-۳۳ مشاهده می‌کنید .



شکل ۹-۳۳ منحنی تغییرات امپدانس مدار RLC موازی بر حسب تغییرات فرکانس

### ۹-۵-۲ ضریب کیفیت در مدار RLC موازی

ضریب کیفیت در مدارهای RLC موازی نیز مانند

مدارهای RLC سری تعریف می‌شود :

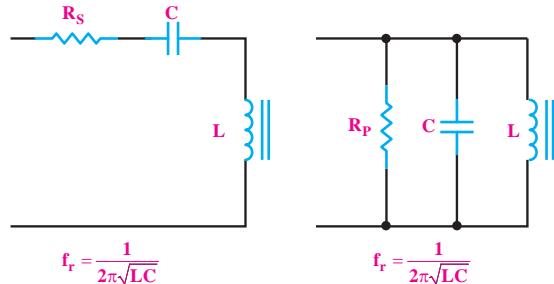
$$Q = \frac{\text{ماکریم انرژی ذخیره شده}}{\text{انرژی تلف شده در یک سیکل}}$$

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.

$$Q = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{2\pi f_r C R} \quad \text{یا} \quad Q = \frac{X_L}{R}$$

در مدارهای RLC موازی ضریب کیفیت از رابطه‌ی زیر

تعیین می‌شود.

$$Q_r = \frac{R}{X_C} = 2\pi f_r C R \quad \text{یا} \quad Q = \frac{R}{XL}$$

ج - امپدانس کل در مدار RLC سری در حالت تشدید

برابر با  $Z = R_s$  است و در مدار RLC موازی در حالت تشدید

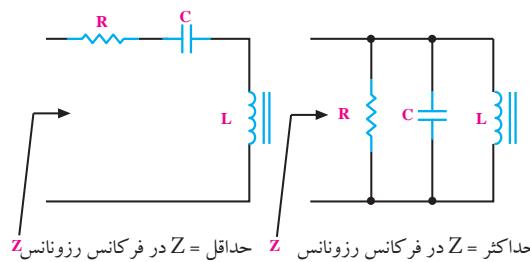
مقدار امپدانس کل برابر با  $Z = R_p$  است.

شکل ۹-۳۵

ب - امپدانس در مدار RLC سری در حال رزونانس

حداکثر و در مدار RLC موازی در حال رزونانس حداقل

است، شکل ۹-۳۶.



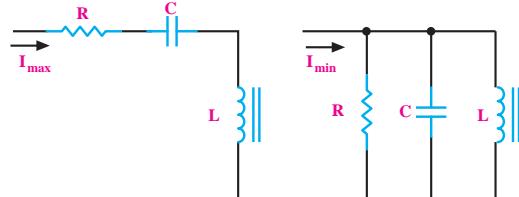
حداکثر =  $Z$  در فرکانس رزونانس

شکل ۹-۳۶ مقایسه امپدانس مدار RLC سری و  
موازی در حال رزونانس

پ - جویان کل در مدار RLC سری در حال رزونانس

حداکثر است، در صورتی که جویان در مدار RLC موازی

در حال رزونانس به حداقل می‌رسد، شکل ۹-۳۷.



شکل ۹-۳۷ مقایسه جویان مدار RLC سری و موازی در حال رزونانس

**توجه**  
در الکترونیک مدارهایی که  
سیم پیچ و خازن داشته باشند را  
مدار هماهنگ می‌نامند.



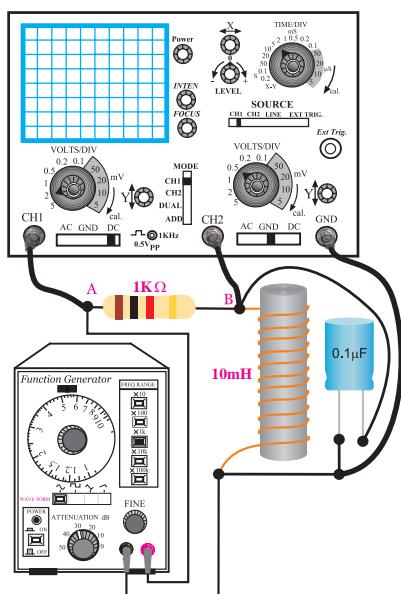
## ۹-۷ آزمایش شماره (۱)

زمان اجرا: ۲ ساعت آموزشی

### ۱-۷ هدف‌های آزمایش:

تعیین فرکانس و امپدانس در مدار هماهنگ موازی به صورت عملی

### ۲-۷-۱ تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش



ب- مدار عملی

شکل ۹-۳۸ مدار عملی آزمایش

■ با استفاده از رابطه  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  فرکانس رزونانس مدار را محاسبه و یادداشت کنید.

$$f_r = \dots$$

■ کلید انتخاب موج را روی حالت سینوسی قرار دهید.  
■ سیگнал 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 دامنه‌ی پیک تو پیک سیگنال خروجی و فرکانس را یادداشت کنید.

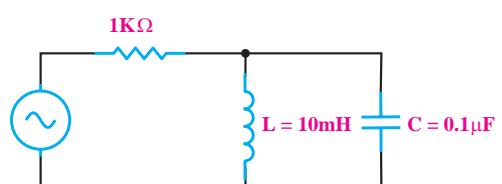
ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	اسیلوسکوپ دو کانال	یک دستگاه
۲	سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۳	مولتی‌متر دیجیتالی	دو دستگاه
۴	برد برد	یک قطعه
۵	مقاومت اهمی $1K\Omega$	یک عدد
۶	خازن $0.1 \mu F$	یک عدد
۷	سلف $10 mH$	یک عدد
۸	سیم رابط دو سر گیره سوسناری	چهار رشته
۹	سیم رابط یک سر گیره سوسناری	چهار رشته

### ۳-۷-۲ 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 بیندید.



الف- نقشه‌ی فنی مدار

### جدول ۹-۱

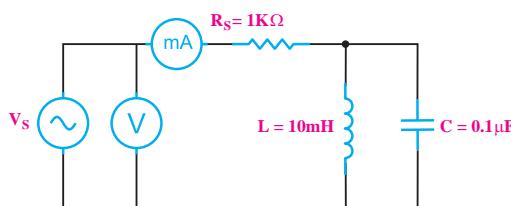
دامنه پیک تو پیک سیگنال خروجی فرکانس ولتاژ ورودی

$f_r - 300$	
$f_r - 200$	
$f_r - 100$	
$f_r$	
$f_r + 100$	
$f_r + 200$	
$f_r + 300$	

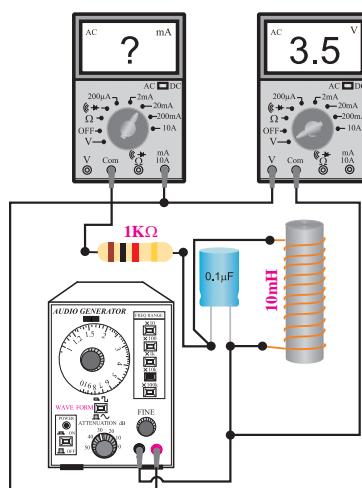
در صورت نیاز با توجه به تجهیزات و امکانات موجود در کارگاه مقادیر را تغییر دهید.

#### ب - تعیین امپدانس مدار هماهنگ موازی LC

■ مدار شکل ۹-۴۰ را روی برد بیندید.

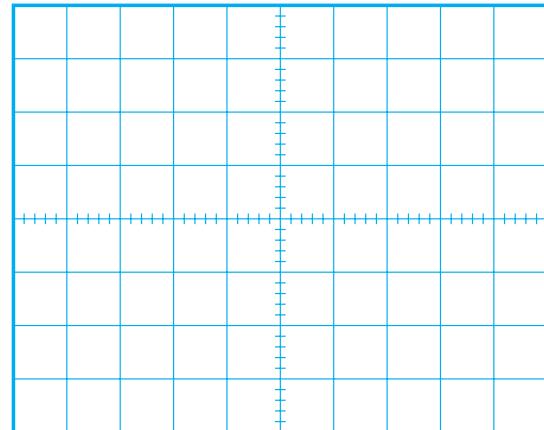


الف - نقشه‌ی فنی مدار



ب - مدار عملی

شکل ۹-۴۰ مدار آزمایش



شکل ۹-۳۹ شکل موج خروجی

$$V_{p-p} = \dots \text{V}$$

$$f = \dots \text{Hz}$$

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را نزدیک عدد مربوط به فرکانس رزونانس که در مرحله‌ی 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  $I_T = \frac{V_S}{R}$  می‌رسد.

■ در یک فرکانس خاص دامنه‌ی ولتاژ خروجی سیگنال (CH2) دارای بیشترین مقدار است. این فرکانس را یادداشت کنید.

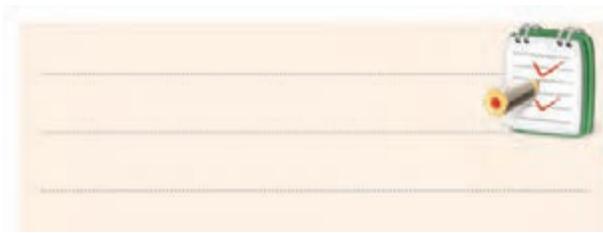
$$f_r = \dots$$

توضیح : این فرکانس همان فرکانس رزونانس مدار

است که از راه عملی به دست می‌آید .

■ مقدار فرکانس سیگنال ژنراتور را طبق جدول

۱ - ۹ تغییر دهید و دامنه‌ی پیک تو پیک سیگنال خروجی را یادداشت کنید.



### ۹-۷-۴ 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 برده اید را روی ۲۰ mA قرار دهید و کلید AC/DC را در حالت AC بگذارید.

- ولتاژ خروجی سیگنال ژنراتور را روی  $V_{P-P}$  ۱۰ تنظیم کنید.

- کلید انسباب 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 نشان می‌دهد در جدول زیر بنویسید.

مقدار ولتاژ توسط ولت متر	.....V
مقدار جریان توسط	.....mA
میلی آمپر متر	

- با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده مقدار امپدانس  $Z$  را محاسبه کنید.

$$Z = \frac{V}{I} \text{ امپدانس مدار} = \frac{\text{ ولت}}{\text{آمپر}} = ..... \Omega$$

- مقدار  $Z$  را با استفاده از روابط ریاضی به دست آورید.

$$X = \frac{X_L \cdot X_C}{|X_L - X_C|}$$

$$Z = \sqrt{R^* + X^*}$$

**سؤال ۱:** آیا مقدار  $Z$  به دست آمده از طریق محاسبه

با مقدار  $Z$  اندازه گیری شده تقریباً برابرند؟ توضیح دهید.

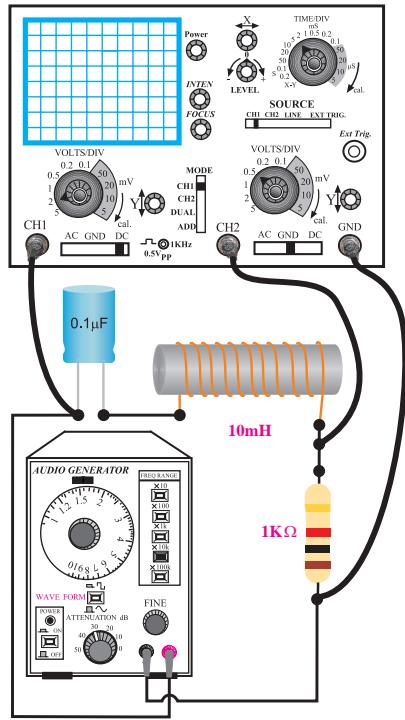
### ۹-۸-۲ آزمایش شماره ۲

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

#### ۹-۸-۱ هدف های آزمایش:

به دست آوردن فرکانس رزونانس در مدار RLC سری و موازی

## ۹-۸-۲ تجهیزات ، ابزار ، قطعات و مواد مورد نیاز :



ب-مدار عملی

شکل ۹-۴۱ مدار عملی آزمایش

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
۵	۱KΩ و ۱۰KΩ	یک عدد
۶	خازن ۱/۰۰۰ میکروفاراد	یک عدد
۷	۱۰ mH سلف	یک عدد
۸	سیم رابط دو سر گیره سوسناری ۵۰ سانتی متری	چهار رشته
۹	سیم رابط یک سر گیره سوسناری ۵۰ سانتی متری	چهار رشته

$$\text{با استفاده از رابطه} f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ فرکانس}$$

رزونанс مدار را محاسبه و یادداشت کنید .

$$f_r = \dots$$

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 کanal ۱ (CH1) را به نقطه‌ی A و پروب کanal ۲ (CH2) را به نقطه‌ی B وصل کنید و اسیلوسکوپ را روشن کنید .

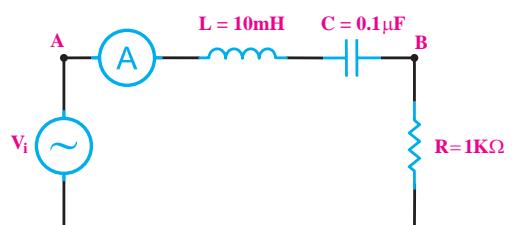
شکل موج سیگنال خروجی مدار (سیگنال CH2) را از روی صفحه اسیلوسکوپ در شکل ۹-۴۲ رسم کنید . و

## ۹-۸-۳ - مراحل اجرای آزمایش

الف - به دست آوردن فرکانس رزونانس در مدار RLC سری

وسایل مورد نیاز را آماده کنید .

مدار شکل ۹-۴۱ را روی برد بیندید .



الف- نقشه‌ی فنی مدار

دامنه پیک تو پیک سیگنال خروجی و فرکانس را یادداشت کنید.

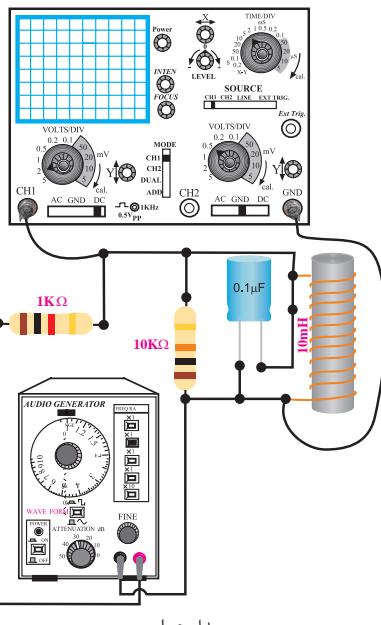
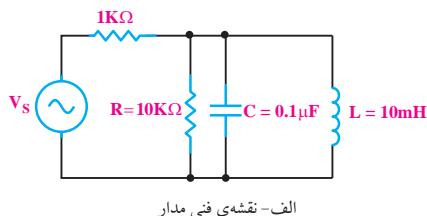
جدول ۹-۲

فرکانس ولتاژ ورودی	دامنه پیک تو پیک سیگنال خروجی
$f_r - 300$	
$f_r - 200$	
$f_r - 100$	
$f_r$	
$f_r + 100$	
$f_r + 200$	
$f_r + 300$	

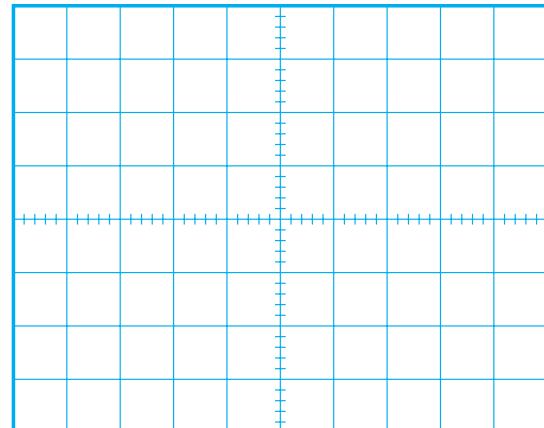
### ب - به دست آوردن فرکانس رزونانس در مدار RLC موازی

وسایل مورد نیاز را آمده کنید.

مدار شکل ۹-۴۳ را روی برد بیندید.



شکل ۹-۴۳ مدار عملی آزمایش



شکل ۹-۴۲ شکل موج خروجی مدار

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را نزدیک عدد مربوط به فرکانس رزونانس که در مرحله‌ی 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 ماکزیمم مقدار یعنی  $I_T = \frac{V_S}{R}$  می‌رسد.

■ در یک فرکانس خاص دامنه ولتاژ خروجی بیشترین مقدار را دارد . این فرکانس را یادداشت کنید.

$$f = \dots$$

■ این فرکانس همان فرکانس رزونانس مدار است که از راه عملی به دست آمده است .

■ مقدار فرکانس سیگنال ژنراتور را طبق جدول ۹-۲ 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  $I_T = \frac{V_s}{R}$  می‌رسد.

■ در یک فرکانس خاص دامنه ولتاژ خروجی بیشترین مقدار را دارد. این فرکانس را یادداشت کنید.

$$f_r = \dots$$

■ 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

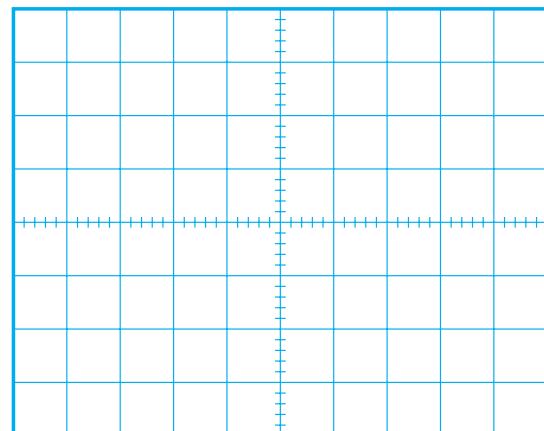
■ با استفاده از رابطه‌ی  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  فرکانس رزونانس مدار را محاسبه و یادداشت کنید.

$$f_r = \dots$$

■ کلید انتخاب موج را روی حالت سینوسی قرار دهید.  
■ فانکشن ژنراتور را روی فرکانس رزونانس محاسبه شده و دامنه ولتاژ ۱۰ ولت پیک تو پیک سینوسی تنظیم کنید.

■ پروف 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 ۹-۴۴ رسم کنید. و دامنه پیک تو پیک سیگنال خروجی و فرکانس را یادداشت کنید.



شکل ۹-۴۴ شکل موج خروجی مدار

$$V_{p-p} = \dots \text{ V}$$

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

■ 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.

**۹-۸-۴ نتایج آزمایش:**  
نتایج حاصل از آزمایش‌های الف و ب را به طور خلاصه بیان کنید.



## ۹-۹ فیلترها (Filters)

### ۹-۹-۱ تعریف فیلتر

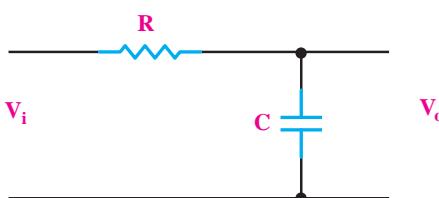
به طور کلی دامنه‌ی سیگنال‌های ولتاژ متناوب سینوسی با فرکانس‌های مختلف که از فیلتر غیرفعال عبور می‌کنند تضعیف می‌شوند. در فیلترهای فعال برای تقویت دامنه‌ی سیگنال‌های عبوری، از تقویت کننده استفاده می‌شود.

#### أنواع فیلتر

- در یک دسته بندی کلی فیلترها را می‌توان به چهار دسته به شرح زیر تقسیم کرد:
- الف: فیلتر پایین‌گذر (Low pass filter – LPF)
  - ب: فیلتر بالاگذر (High pass filter – HPF)
  - ج: فیلتر میان‌گذر (فیلتر عبور باند) (Band Pass Filter – BPF)
  - د: فیلتر میان‌نگذر (فیلتر حذف باند) (Band Reject Filter – BRF)

### ۹-۹-۲ فیلتر پایین‌گذر

فیلتر پایین‌گذر، فیلتری است که از فرکانس معینی به پایین رابه راحتی از خود عبور می‌دهد. در شکل ۹-۴۸ یک نمونه فیلتر پایین‌گذر RC نشان داده شده است.



شکل ۹-۴۸ فیلتر پایین‌گذر RC

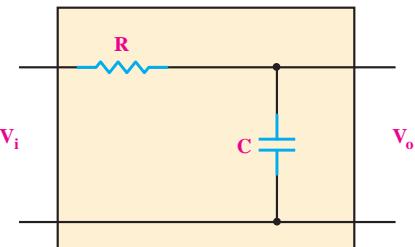
این فیلتر فرکانس‌های خیلی کم (صفر) تا فرکانس  $f_C$  (فرکانس قطع) را از خود عبور می‌دهد. برای نشان دادن محدوده‌ی عبور فرکانس‌ها، از یک منحنی به نام منحنی پاسخ فرکانسی استفاده می‌شود، شکل ۹-۴۹.

فیلترها مدارهای الکترونیکی 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.



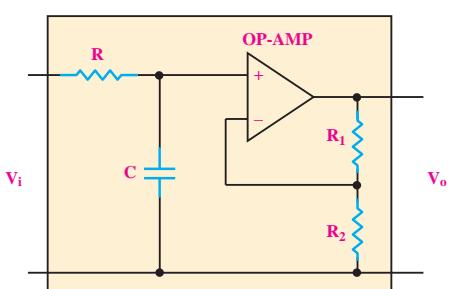
شکل ۹-۴۵ فیلتر

ساختمان بعضی از فیلترها از مقاومت اهمی، سلف و خازن تشکیل می‌شود. به این نوع فیلترها، فیلترهای غیرفعال می‌گویند، شکل ۹-۴۶.



شکل ۹-۴۶ فیلتر غیرفعال

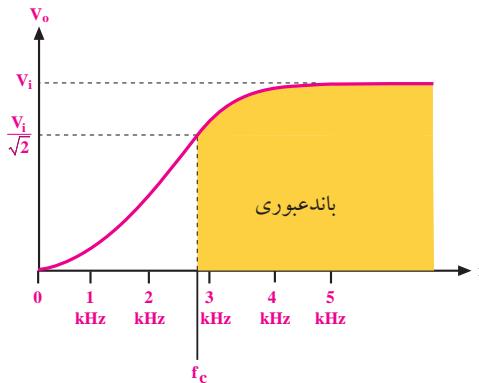
دسته‌ی دیگری از فیلترها، از قطعات الکترونیک، سلف، خازن و مقاومت اهمی تشکیل می‌شوند که به آن‌ها فیلترهای فعال می‌گویند. در شکل ۹-۴۷ یک نمونه فیلتر فعال نشان داده شده است.



شکل ۹-۴۷ فیلتر فعال

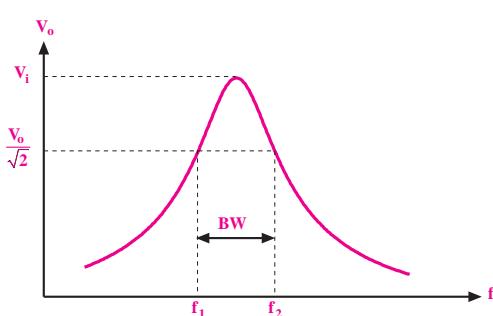
در شکل ۹-۵۱، منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر نشان داده شده است. همان‌طور که از منحنی پاسخ فرکانسی شکل ۹-۵۱ مشخص است، از فرکانس معینی به بالا را فیلتر از خود عبور می‌دهد. در فرکانس  $f_C$  و فرکانس‌های بیشتر از  $f_C$  دامنه ولتاژ خروجی فیلتر قابل قبول است. فرکانس قطع ( $f_C$ ) از

$$\text{رابطه‌ی } f_C = \frac{1}{2\pi RC} \text{ به دست می‌آید.}$$

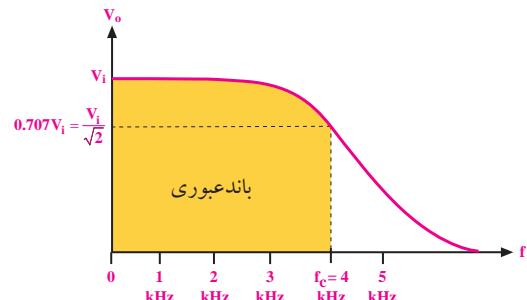


شکل ۹-۵۱ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر

**۹-۹-۴ فیلتر میان‌گذر**  
فیلتر میان‌گذر، فیلتری است که فقط محدوده‌ای از فرکانس‌ها را که بین دو مقدار  $f_1$  و  $f_2$  قرار دارد از خود عبور می‌دهد. در این نوع فیلتر، فرکانس‌های کمتر از  $f_1$  یا بیشتر از  $f_2$  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  $\frac{V_i}{\sqrt{2}}$  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.

$$\text{فرکانس قطع فیلتر پایین‌گذر } RC \text{ از رابطه‌ی}$$

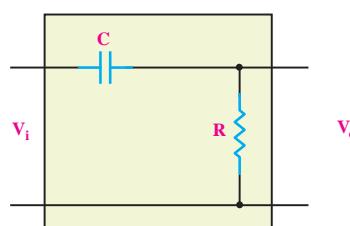
به دست می‌آید.

#### نکته‌ی مهم

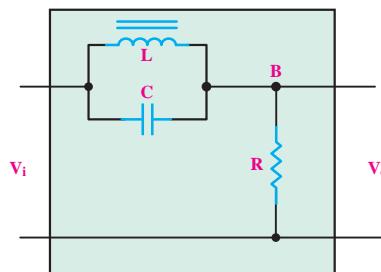
در فرکانس قطع مقدار دامنه‌ی ولتاژ خروجی  $\frac{V_i}{\sqrt{2}}$  دامنه‌ی ولتاژ ورودی می‌شود.

#### ۹-۹-۳ 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.

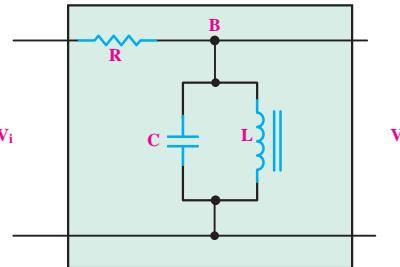


شکل ۹-۵۰ یک نمونه فیلتر بالاگذر



شکل ۹-۵۵ یک نمونه فیلتر میانگذر (فیلتر حذف باند)

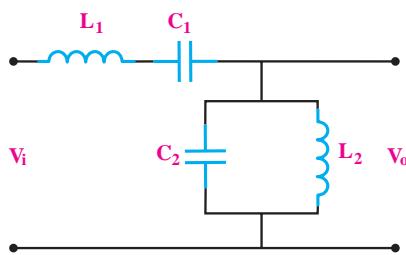
در شکل ۹-۵۳ یک نمونه فیلتر میانگذر نشان داده شده است.



شکل ۹-۵۳ یک نمونه فیلتر میانگذر

برای تشخیص نوع فیلتر میانگذر یا میانگذر سه حد فرکانس،  $f_r = f_l = \infty$  و  $f_c = 0$  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؟

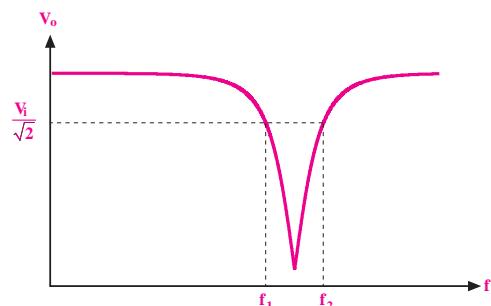


شکل ۹-۵۶

فرکانسی که در آن ولتاژ خروجی دقیقاً برابر  $\frac{V_i}{\sqrt{2}}$  باشد را فرکانس قطع فیلتر می‌گویند و آن را با  $f_c$  نشان می‌دهند.

#### ۹-۹-۵ فیلتر میانگذر (فیلتر حذف باند)

فیلتر میانگذر، 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 میانگذر (فیلتر حذف باند)

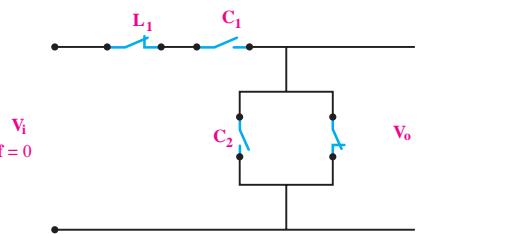
در شکل ۹-۵۵ یک نمونه فیلتر میانگذر نشان داده شده است.

$$f_c = 0 \Rightarrow \begin{cases} X_L = 2\pi f L = 2\pi \times 0 \times L = 0 \\ X_C = \frac{1}{2\pi f c} = \frac{1}{2\pi \times 0 \times c} = \infty \end{cases}$$

مدار معادل فیلتر مورد نظر در این حالت، به صورت شکل ۹-۵۷ می‌کنیم.

همان‌طور که می‌دانید در فرکانس رزونانس ( $f_r$ )، امپدانس سیم پیچ ( $X_L$ ) 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.

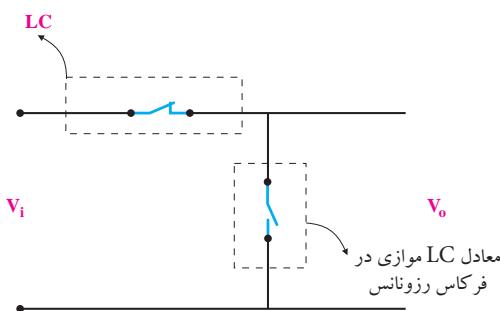
معادل LC سری در فرکانس رزونانس



شکل ۹-۵۷ مدار در فرکانس  $f=0$

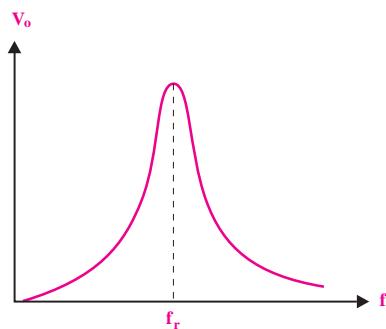
در ادامه مقدار فرکانس را  $f=\infty$  قرار می‌دهیم و مدار

معادل را رسم می‌کنیم.



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.

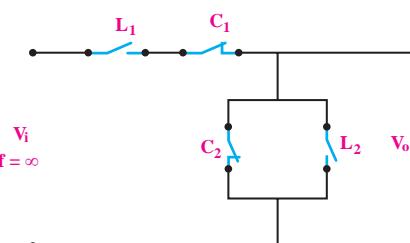


شکل ۹-۶۰ پاسخ فرکانسی فیلتر

با توجه به پاسخ فرکانسی رسم شده در شکل ۹-۶۰ می‌بینیم که فیلتر مورد بحث از نوع فیلتر میان‌گذر است.

$$f = \infty \Rightarrow \begin{cases} X_L = 2\pi f L = 2\pi \times \infty \times L = \infty \\ X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \times \infty \times C} = 0 \end{cases}$$

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 سیم پیچ  $L$  در فرکانس  $f=0$ ، ولتاژ خروجی صفر می‌شود. بنابراین در مدار شکل ۹-۵۸ به علت اتصال کوتاه بودن خازن  $C_1$  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

## ۹-۱۰ آزمایش شماره (۳)

زمان اجرا: ۶ ساعت آموزشی

### ۹-۱۰-۱ هدف‌های آزمایش

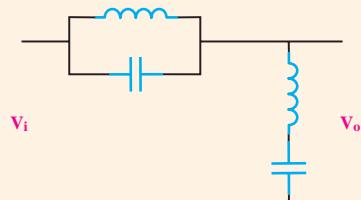
بررسی عملی انواع فیلترهای پایین گذر، بالاگذر، میان گذر و حذف باند

### 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 کanal	یک دستگاه
۳	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۴	مقاومت اهمی $1K\Omega$ ، $100 \Omega$	از هر کدام یک عدد
۵	خازن های $22nf$ و $10nf$	از هر کدام یک عدد
۶	بویین $10 mH$	یک عدد
۷	سیم رابط یک سرگیره سوسماری $50$ سانتی متری	دو رشته
۸	سیم رابط یک سرگیره سوسماری $50$ سانتی متری	چهار رشته

### تمرين کلاسي ۲: فیلتر شکل ۹-۶۱ از نظر

منحنی پاسخ فرکانسی، چه نوع فیلتری است؟

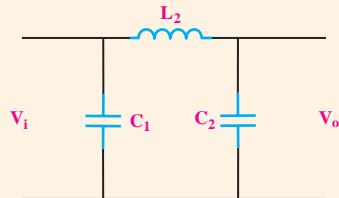


شکل ۹-۶۱



### تمرين کلاسي ۳: فیلتر شکل ۹-۶۲ از چه

نوع فیلتری است؟



شکل ۹-۶۲



### توجه



با توجه به قطعات موجود در آزمایشگاه می‌توانید مقادیر سلف و خازن را در کلیه‌ی آزمایش‌ها تغییر دهید.

### ۹-۱۰-۳ مراحل اجرای آزمایش

■ پروب کanal ۱ (CH ۱) را به نقطه A و پروب

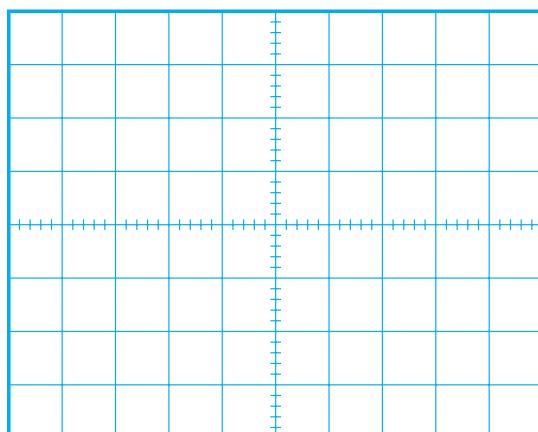
کanal ۲ (CH ۲) را به نقطه B وصل کنید.

■ 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 توپیک و فرکانس سیگنال ها

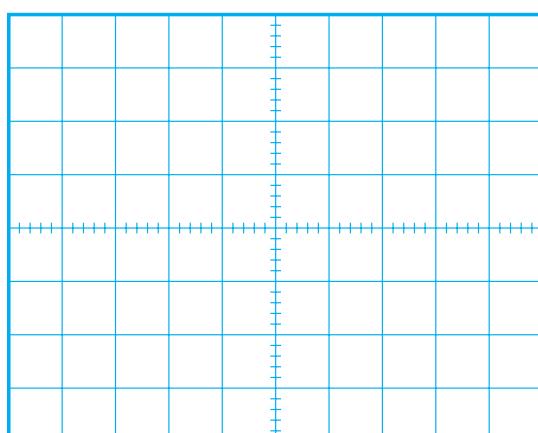
را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.



$$f = \dots \text{Hz}$$

$$V_{i_{p-p}} = \dots \text{V}$$

شکل ۹-۶۴ سیگنال ورودی



$$f = \dots \text{Hz}$$

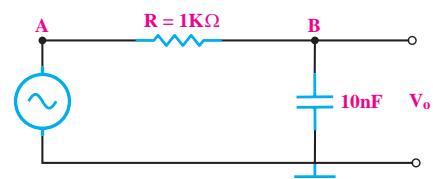
$$V_{o_{p-p}} = \dots \text{V}$$

شکل ۹-۶۵ سیگنال خروجی

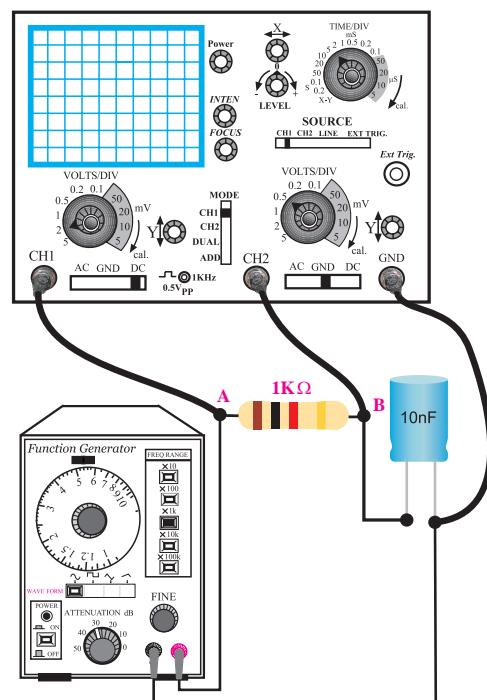
### الف- بررسی فیلتر پایین گذر و اندازه گیری فرکانس قطع

فیلتر

مدار شکل ۹-۶۳ را روی بردبرد بیندید.



الف - نقشه‌ی فنی مدار



ب- مدار عملی

شکل ۹-۶۳ مدار آزمایش

### ■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و روی فرکانس ۱۵KHz

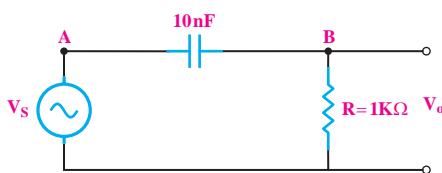
سینوسی و دامنه ولتاژ ۱۰ ولت پیک توپیک تنظیم کنید.

### ■ اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم های لازم را روی

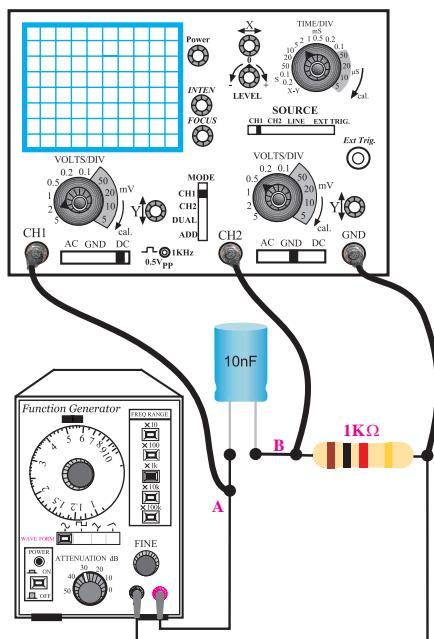
ب- بررسی فیلتر بالا گذر و اندازه‌گیری فرکانس قطع فیلتر  
مدار شکل ۹-۶۶ را روی بردبرد بینید.

اگر محل اتصال مقاومت و خازن را در آزمایش قبل جایه‌جا کنید، در این حالت فیلتر پایین گذر به فیلتر بالا گذر تبدیل می‌شود.

### توجه



الف - نقشه فنی مدار



ب- مدار عملی

شکل ۹-۶۶

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و روی فرکانس ۱۶KHz یکنواختی و دامنه‌ی ولتاژ ۱۰ ولت پیک توپیک تنظیم کنید.

■ با استفاده از رابطه‌ی  $f_C = \frac{1}{2\pi RC}$  فرکانس قطع فیلتر پایین گذر را محاسبه و یادداشت کنید.

$$f_C = \dots \text{Hz}$$

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را روی فرکانس قطع ( $f_C$ ) محاسبه شده تنظیم کنید. در این حالت دامنه‌ی ولتاژ خروجی را اندازه‌گیرید و در جدول ۹-۴ یادداشت کنید.

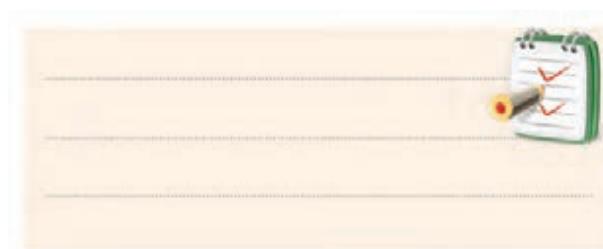
جدول ۹-۴

فرکانس سیگنال	ولتاژ ورودی	ولتاژ خروجی
ژنراتور	$V_{P-P}$	$V_{P-P}$
$f_c - 3$ KHz		
$f_c - 2$ KHz		
$f_c - 1$ KHz		
$f_c$		
$f_c + 1$ KHz		
$f_c + 2$ KHz		
$f_c + 3$ KHz		

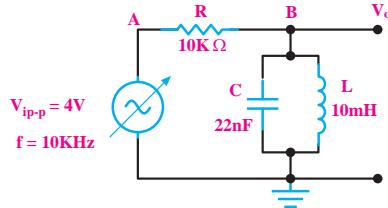
■ طبق جدول ۹-۴ فرکانس سیگنال ژنراتور را تغییر دهید. در هر مرحله دامنه‌ی پیک توپیک ورودی و خروجی را اندازه‌گیرید و یادداشت کنید.

**سوال ۲:** با توجه به جدول ۹-۴ بیشینه‌ی ولتاژ خروجی

برای کدام سیگنال ورودی به وجود می‌آید؟ چرا؟



■ اسیلوسکوپ را روشن کنید.



الف - نقشه فنی مدار

■ پرروب کانال ۱ (CH ۱) را به نقطه‌ی A و پرروب

کانال ۲ (CH ۲) را به نقطه‌ی B وصل کنید.

$$\text{با استفاده از رابطه‌ی } f_c = \frac{1}{2\pi RC} \text{ فرکانس قطع فیلتر}$$

بالا گذر را محاسبه کنید و مقدار آن را بنویسید.

$$f_c = \dots \text{ Hz}$$

■ با تغییر فرکانس سیگنال ژنراتور، بیشینه‌ی دامنه‌ی

سیگنال خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_o = \dots \text{ V}$$

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را آنقدر تغییر دهید تا

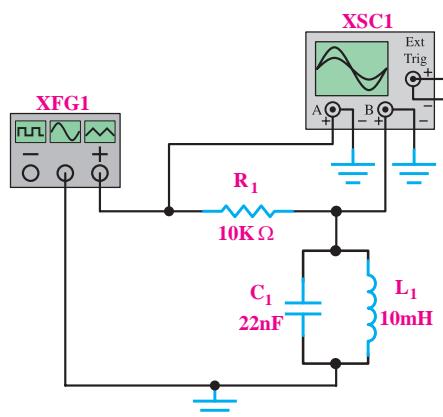
دامنه‌ی سیگنال خروجی به  $\frac{7}{7}$  درصد بیشترین مقدار ولتاژ خروجی برسد.

فرکانس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$f_c = \dots \text{ Hz}$$

**سوال ۳:** آیا مقدار فرکانس اندازه گیری شده با مقدار

فرکانس  $f$  محاسبه شده در مراحل قبل یکسان است؟ توضیح دهید.



ب- مدار عملی

شکل ۹-۶۷ مدار آزمایش

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و روی فرکانس

۱۰ آسینوسی و دامنه‌ی ولتاژ  $V_{p-p} = 10 \text{ V}$  تنظیم کنید.

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید.

■ پرروب کانال ۱ (CH ۱) را به نقطه‌ی A و پرروب

کانال ۲ (CH ۲) را به نقطه‌ی B وصل کنید.

■ با تغییر فرکانس سیگنال ژنراتور، بیشینه‌ی دامنه‌ی

سیگنال خروجی را اندازه بگیرید.

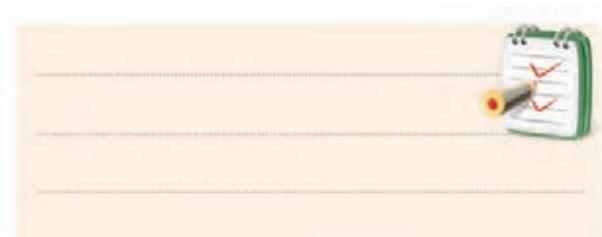
$$V_o = \dots \text{ V}$$

■ در چه فرکانسی دامنه‌ی ولتاژ خروجی بیشترین مقدار

را دارد، یادداشت کنید.

$$f_r = \dots$$

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را آنقدر کاهش دهید تا



ج: بررسی فیلترهای میان‌گذر و میان‌نگذر و اندازه گیری

فرکانس رزونانس ( $f_r$ )، فرکانس قطع پایین ( $f_L$ ) و فرکانس قطع

بالا ( $f_H$ ).

■ مدار شکل ۹-۶۷ را روی بردبرد بیندید.

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و روی فرکانس ۱۰ KHz سینوسی و دامنه ولتاژ  $V_{p-p}$  ۱۶ تنظیم کنید.  
اسیلوسکوپ را روشن کنید.

■ پرورب کانال ۱ (CH ۱) را به نقطه A و پرورب کانال ۲ (CH ۲) را به نقطه B وصل کنید.  
با تغییر فرکانس سیگنال ژنراتور، کمترین دامنه سیگنال خروجی را اندازه بگیرید.

$V_o = \dots \text{V}$  کمترین مقدار ولتاژ خروجی در چه فرکانسی دامنه ولتاژ خروجی کمترین مقدار را دارد.

$$f_r = \dots \text{Hz}$$

فرکانس سیگنال ژنراتور را آنقدر افزایش دهید تا دامنه سیگنال خروجی به ۷۰/۷ درصد بیشترین مقدار ولتاژ ورودی برسد.

فرکانس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$f_H = \dots \text{Hz}$$

فرکانس سیگنال ژنراتور را آنقدر کاهش دهید تا دامنه سیگنال خروجی به ۷۰/۷ درصد بیشترین مقدار ولتاژ ورودی برسد.

فرکانس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$f_L = \dots \text{Hz}$$

پهنهای باند فیلتر میانگذر را اندازه گیری کنید.

$$BW = f_H - f_L = \dots \text{KHz}$$

#### ۹-۱۰ نتایج آزمایش:

نتایج حاصل از آزمایش های الف، ب، ج را به طور خلاصه بنویسید.



دامنه سیگنال خروجی به ۷۰/۷ درصد بیشترین مقدار ولتاژ خروجی بررسد.

فرکانس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$f_L = \dots \text{Hz}$$

فرکانس سیگنال ژنراتور را آنقدر افزایش دهید تا دامنه سیگنال خروجی به ۷۰/۷ درصد بیشترین مقدار ولتاژ خروجی بررسد.

فرکانس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$f_H = \dots \text{Hz}$$

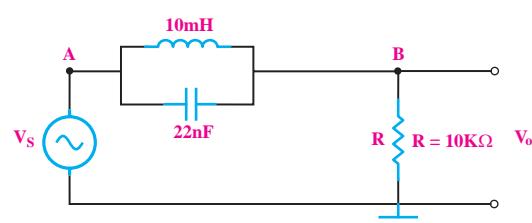
پهنهای باند فیلتر میانگذر را اندازه گیری کنید.

$$BW = f_H - f_L = \dots \text{Hz}$$

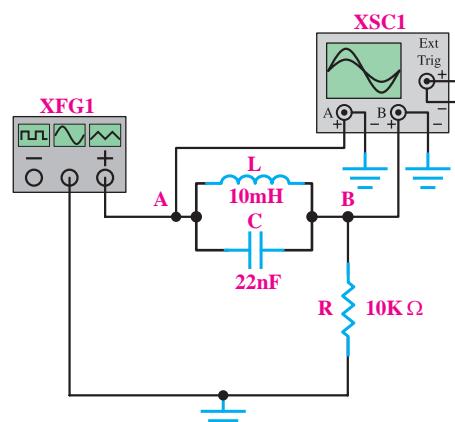
#### نکته های مهم

اگر محل اتصال مقاومت R با محل اتصال مدار رزونانس LC جایجا شود، فیلتر میانگذر به فیلتر میانگذر تبدیل می شود.

■ مدار شکل ۹-۶۸ را روی بردبرد بیندید.



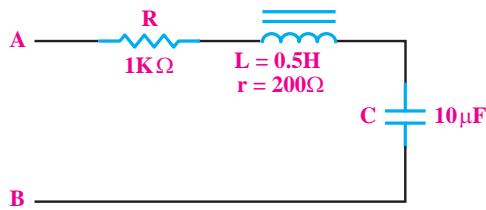
الف - نقشه فنی مدار



ب - مدار عملی

شکل ۹-۶۸

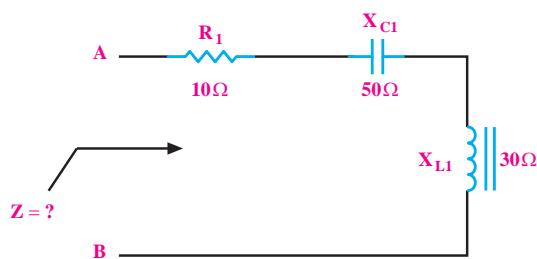
## آزمون پایانی فصل ۹



شکل ۹-۷۱

الف - ۳۰ ب - ۲۰۰ ج - ∞ د - صفر

۵- در شکل ۹-۷۲ مقدار Z چند اهم است؟

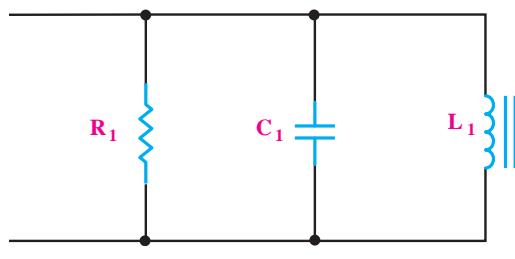


شکل ۹-۷۲

الف - ۳۰ د - ۹۰ ب - √۱۹۰۰ ج - √۵۰۰

۶- در شکل ۹-۷۳ فرکانس رزونانس از کدام رابطه به

دست می آید؟

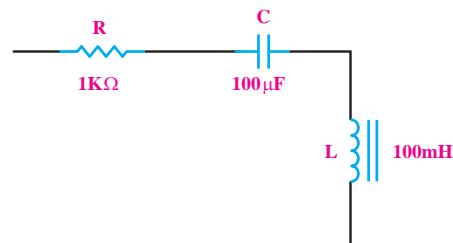


شکل ۹-۷۳

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{ب} \quad \frac{1}{2\pi RC} \quad \text{الف}$$

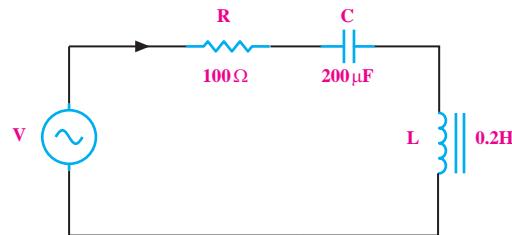
$$\frac{1}{2\pi\sqrt{RC}} \quad \text{د} \quad \frac{1}{2\pi LC} \quad \text{ج}$$

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.



$$v = 200 \sin 100t$$

شکل ۹-۷۰

۳- در مدار شکل ۹-۷۰ جریان مؤثر مدار و توان تلف

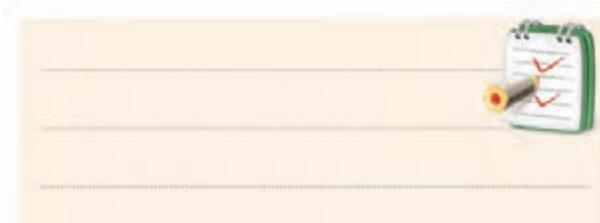
شده در مقاومت ۱۰۰ اهم را حساب کنید.



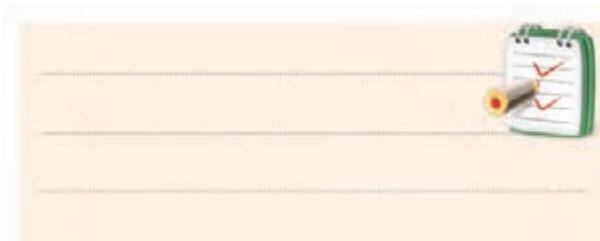
۴- در شکل ۹-۷۱ اگر به دو سر A و B یک اهم متر

وصل کنیم، اهم متر چند اهم را نشان می دهد.

۱۲- در مدار RLC موازی رابطه‌ی امپدانس را در فرکانس رزونانس بنویسید.



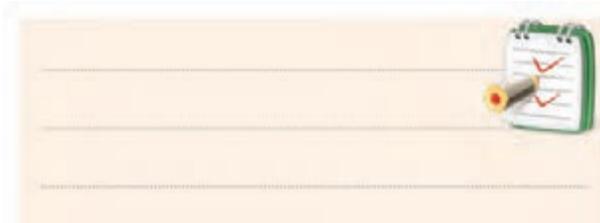
۱۳- رزونانس را تعریف کنید.



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 پهنهای باند را دقیقاً شرح دهید.



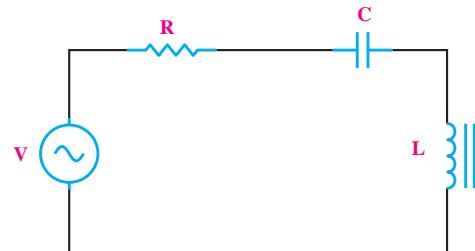
۷- در مدار RLC موازی در حال تشدید یا رزونانس، امپدانس مدار ..... است.

الف- حداقل      ب- حداقل

۸- پهنهای باند در یک مدار RLC سری در حال رزونانسی از کدام رابطه به دست می‌آید؟

$$\text{الف- } \frac{Q_r}{f_r} \quad \text{ب- } \frac{f_r}{Q_r}$$

۹- در شکل ۹-۷۴ در فرکانس رزونانس ولتاژ دو سر مقاومت ..... است.



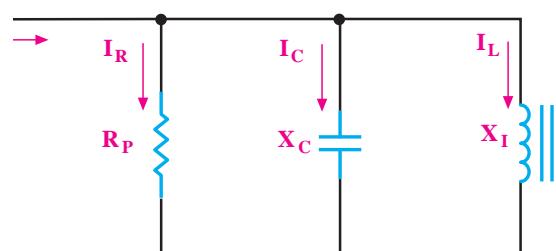
شکل ۹-۷۴

الف- حداقل      ب- حداقل

۱۰- در شکل ۹-۷۴ در فرکانس رزونانس مقدار Z کدام است؟

$$\text{الف) } \frac{R}{2} \quad \text{ب) } \sqrt{R} \quad \text{ج) } R$$

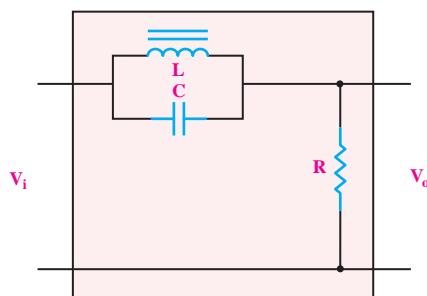
۱۱- در شکل ۹-۷۵ در فرکانس رزونانس کدام رابطه درست است؟



شکل ۹-۷۵

$$\text{الف- } I = I_R - I_L - I_C \quad \text{ب- } I = I_L - I_C \quad \text{ج- } I = I_R - I_L$$

۲۱- شکل ۹-۷۷ چه نوع فیلتری است؟



شکل ۹-۷۷

۱۷- رابطه‌ی ضریب کیفیت در مدار RLC سری کدام است؟

$$\frac{\text{ماکزیمم انرژی ذخیره شده}}{\text{انرژی تلف شده در یک سیکل}} = \frac{2\pi \times Q}{Q}$$

الف)

$$\frac{\text{انرژی تلف شده در یک سیکل}}{\text{ماکزیمم انرژی ذخیره شده}} = \frac{Q}{2\pi}$$

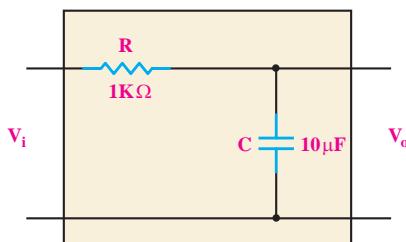
ب)

۱۸- در مدار شکل ۹-۷۶ فرکانس رزونانس را به دست آورید.

- ۲۲- منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر، چه نوع اطلاعاتی در اختیار ما می‌گذارد؟
- الف) پایین گذر
  - ب) بالا گذر
  - ج) میان گذر
  - د) میان نگذر



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. پهنه‌ی باند چند هرتز است؟

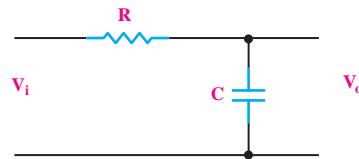
$$\text{الف) } \frac{200}{\pi} \text{ ج) } \frac{2000}{\pi} \text{ د) } 2000$$

۲۰- در فرکانس قطع یک فیلتر RC، رابطه‌ی  $R/X_C$  کدام است؟

$$\text{الف) } R < X_C \quad \text{ب) } R = X_C \quad \text{ج) } R > X_C$$

۲۴- فیلتر RC شکل ۹-۷۹ فرکانس‌های زیاد را از خود

عبور ..... .



شکل ۹-۷۹

الف) می‌دهد ..... الگ) نمی‌دهد

۲۷- فرکانس تشدید مدار RLC سری با مقادیر زیر را

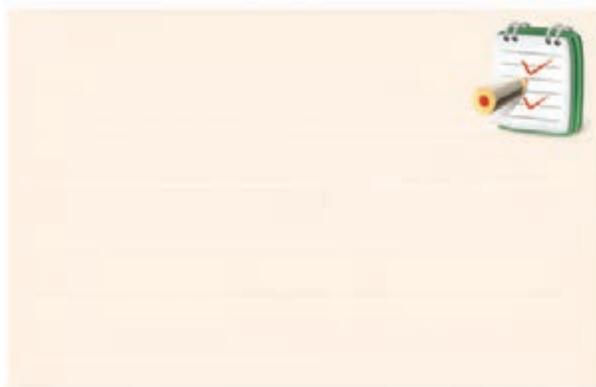
محاسبه کنید.

$$R = 40\Omega \text{ و } L = 300\mu H \text{ و } C = 300\text{PF}$$

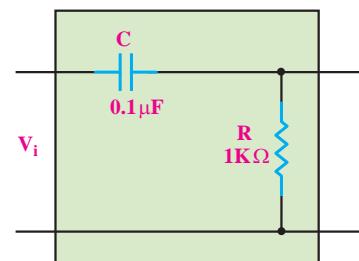


۲۸- در یک مدار فیلتر بالاگذر RC مقدار مقاومت

۱۶KΩ است. مقدار C حداقل چقدر باشد تا موجی با فرکانس ۱ KHz به خوبی عبور کند؟



۲۵- فرکانس قطع فیلتر شکل ۹-۸۰ چند هرتز است؟



شکل ۹-۸۰

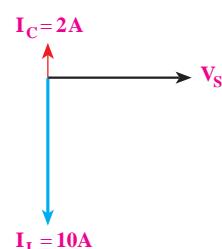
الف- ۱۰۰۰ ب- ۱۰۰

$$\frac{5000}{\pi} \text{ د- } \frac{100}{\pi} \text{ ج- }$$

۲۶- دیاگرام برداری یک مدار LC موازی مطابق شکل

۹-۸۱ است. در صورتی که مقدار راکتانس خازنی ۵۰ 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	شماره‌ی	عنوان توانایی	نمایشگر	زمان آموزش	نمایشگر
کار	توانایی	توانایی بررسی مشخصات و خصوصیات دیود	U <sub>۳</sub>	۱۰	۶ ۴ ۲
کار	توانایی	توانایی تجزیه و تحلیل مدارهای دیودی	U <sub>۳</sub>	۱۱	۸ ۸ ۱۸ ۲۶
کار	توانایی	توانایی کار با دیودهای خاص	U <sub>۳</sub>	۱۲	۶ ۶ ۲
جمع کل					۴۸ ۲۸ ۲۰

## فصل دهم

### مشخصات و خصوصیات دیود

**هدف کلی:** تحلیل دیود به زبان ساده

هدف های رفتاری: پس از پایان این فصل از فرآگیرنده انتظار می رود که:



- ۱- تفاوت بین نیمههادی‌ها، عایق‌ها و هادی‌ها را شرح دهد.
- ۲- ویژگی‌های اتم سیلیسیوم و ژرمانیوم را بیان کند.
- ۳- نیمههادی نوع N و P 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.

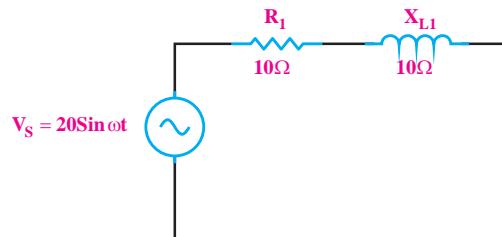
ساعت آموزش			توانایی شماره‌ی ۱۰
جمع	عملی	نظری	
۱۰	۴	۶	

## 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

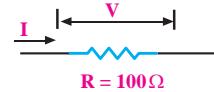
۶- ناخالصی به کار برده شده در نیمه هادی نوع P چند

۱- آمپر متر در مدار به صورت ..... قرار می گیرد.

الف) سری      ب) موازی

۲- توان تلف شده در مقاومت R از کدام رابطه به دست

می آید؟



الف) RI<sup>2</sup>

ج)  $\frac{V^2}{R}$

ب) V.I

د) هر سه مورد

۳- انرژی تلف شده در مقاومت ۱۰۰Ω در شکل زیر در ظرفیتی است؟

مدت ۳ دقیقه چند ژول است؟

الف) ۳      ب) ۴      ج) ۵      د) ۶

۷- شرط هدایت یک دیود کدام است؟

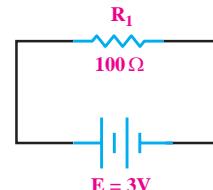
الف) ولتاژ مثبت آند به اندازه ۰/۶ ولت از کاتد بیشتر باشد.

ب) جریان در مدار به اندازه کافی وجود داشته باشد.

ج) فقط کافی است ولتاژ آند به اندازه ۰/۶ ولت مثبت باشد.

د) موارد الف و ب

۸- اجسام موجود در طبیعت از نظر هدایت الکتریکی به چند دسته‌ی کلی تقسیم می شوند؟ نام ببرید.

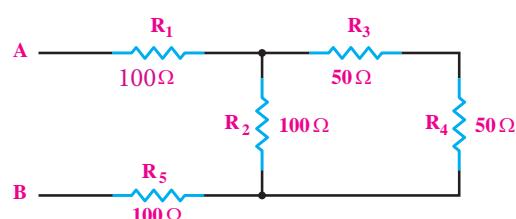


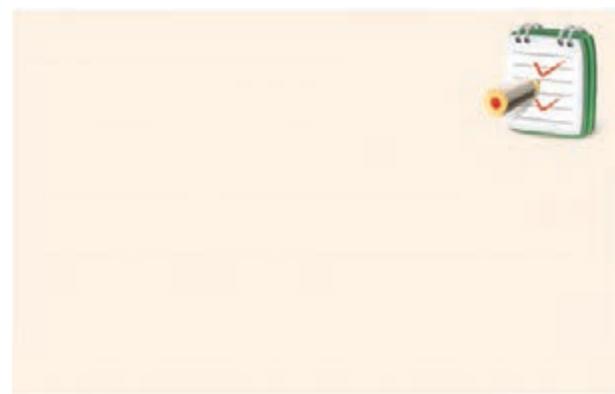
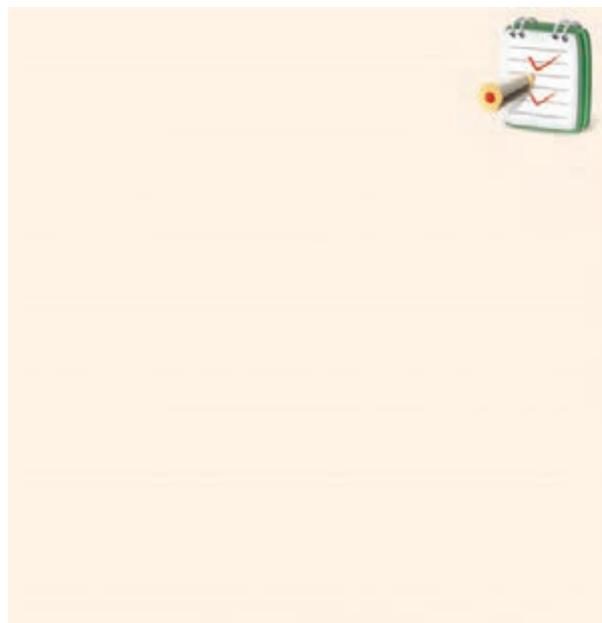
الف) ۱۸۲      ب) ۱۸/۲

ج) ۱۶/۲      د) ۱۶۲

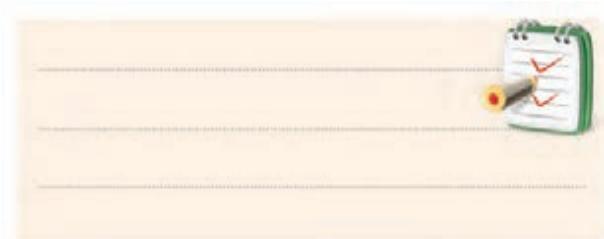
۴- در شکل زیر مقاومت معادل از دو نقطه‌ی A و B چند

اهم است؟





۹- دو نمونه از مهم‌ترین نیمه‌هادی‌هایی که در صنعت الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گیرند را نام ببرید.



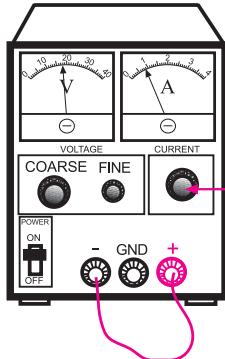
۱۰- تمامی نیمه‌هادی‌ها در آخرین لایه‌ی اتم خود دارای ۴ الکترون هستند.

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 حداقل

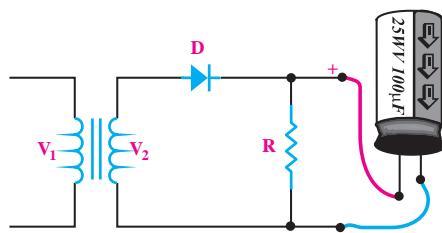
به  $100\text{ mA}$  محدود کنید.



بالین ولوم جریان خروجی را روی  $100\text{ mA}$  آمپر تنظیم کنید.

۶- هنگام اتصال خازن الکتروولتی به خروجی

یکسوکنده‌ها، حتماً قطب مثبت خازن را به قطب مثبت خروجی یکسوکنده و قطب منفی را به قطب منفی یکسوکنده وصل کنید.



در صورت اتصال خازن الکتروولتی به صورت معکوس به منبع ولتاژ، خازن منفجر می‌شود.

۷- هنگام اتصال دیود به مدار، کاتد و آند آن را از قبل شناسایی کنید. معمولاً روی کاتد علامت‌هایی مانند یک حلقه‌ی رنگی یا یک نقطه می‌گذارند.

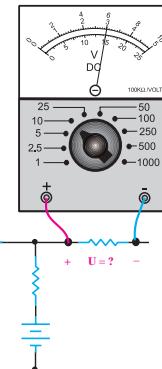
۸- سیم‌های رابط را محکم ببندید تا در اثر لرزش یا برخورد دست قطع نشوند.

### نکات ایمنی (۱)



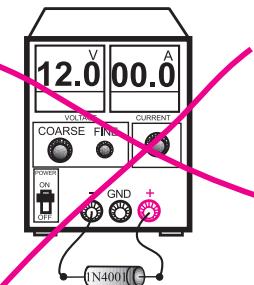
۱- هنگام اندازه‌گیری ولتاژ، ولت‌متر را بین دو نقطه‌ی مورد

نظر به صورت موازی بیندید.



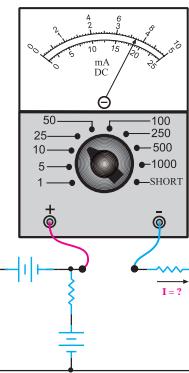
۲- هیچ وقت یک قطعه‌ی نیمه‌هادی مانند دیود را در

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.



## ۱۰-۱ دیود

### ۱-۱ ساختمان اتمی نیمه‌هادی‌ها

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 (۱۰-۳) ساختمان اتمی سیلیسیوم و ژرمانیوم نشان

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

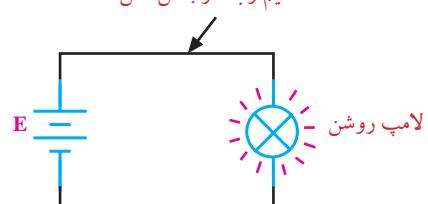
عبور می‌دهند. مس، آلومینیوم، سایر فلزات و بعضی از اسیدها

جزء هادی‌ها هستند. در شکل ۱۰-۱ سیم رابط از جنس مس

است و جریان برق را به راحتی از خود عبور می‌دهد و لامپ

را روشن می‌کند.

سیم رابط از جنس مس



شکل ۱۰-۱ سیم مسی هادی

عایق‌ها اجسامی هستند که جریان برق را به سادگی از

خود عبور نمی‌دهند. مواردی مانند شیشه، انواع پلاستیک‌ها و

هوایی هستند. در شکل ۱۰-۲ سیم رابط از جنس پلاستیک

است و جریان برق را از خود عبور نمی‌دهد، در نتیجه لامپ

روشن نمی‌شود.

شکل ۱۰-۳ ساختمان اتمی نیمه‌هادی‌های سیلیسیوم و ژرمانیوم

وقتی اتم‌های ژرمانیوم یا سیلیسیوم در کنار یکدیگر قرار

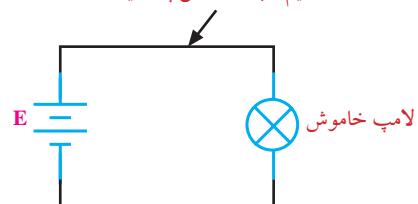
می‌گیرند و به صورت مولکول در می‌آیند، با یکدیگر پیوند

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

سیم رابط از جنس پلاستیک



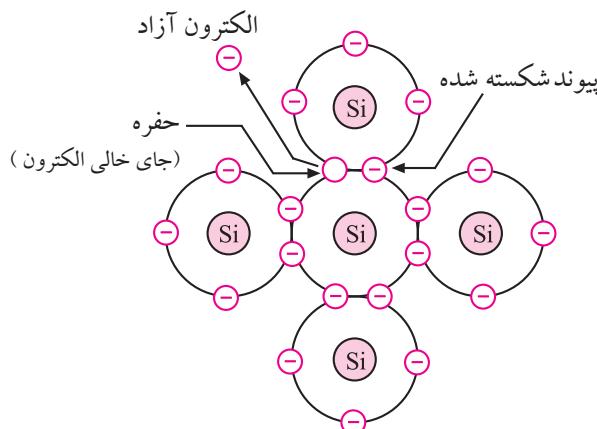
شکل ۱۰-۲ سیم پلاستیکی (مانند طناب) عایق است

الکترون آزاد به الکترونی گفته می شود که به هیچ اتمی وابسته نباشد.

یک جسم هشت ظرفیتی در نظر گرفت. در شکل ۱۰-۴ ۱۰<sup>-۴</sup> پیوند اشترانکی اتم های سیلیسیوم نشان داده شده است.

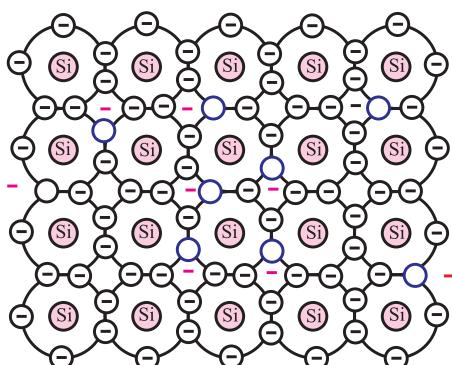
وقتی یک پیوند شکسته می شود، یک الکترون آزاد می شود. جای خالی الکترون را حفره می گویند. شکل

. ۱۰-۶



شکل ۱۰-۶ جای خالی الکترون را حفره می نامند.

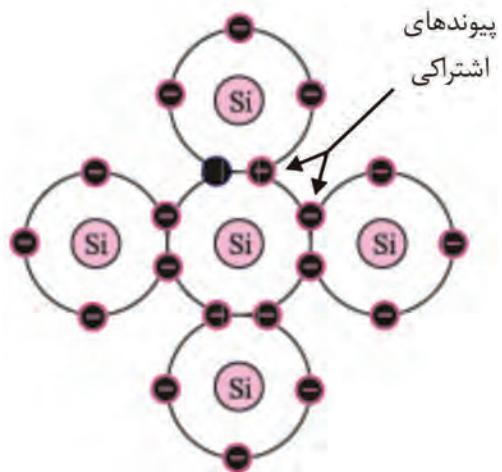
هر قدر انرژی خارجی بیشتری مانند حرارت به اتم داده شود، پیوندهای بیشتری شکسته می شوند و الکترون های زیادتری را آزاد می کنند ، شکل ۱۰-۷.



شکل ۱۰-۷ در اثر حرارت پیوندهای بیشتری می شکنند.

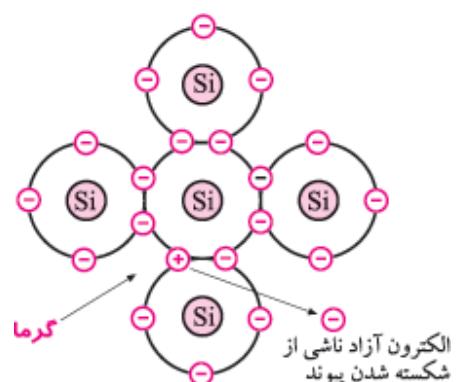
عبور جریان برق از یک جسم به تعداد الکترون های آزاد آن جسم بستگی دارد. بنابراین سیلیسیوم یا ژرمانیوم خالص در صفر درجه کلوین که هیچ الکترون آزادی ندارند، عایق

محسوب می شوند، شکل ۱۰-۸.



شکل ۱۰-۴ پیوند اشترانکی اتم های سیلیسیوم

پیوندهای تشکیل شده (پیوندهای اشترانکی) در سیلیسیوم یا ژرمانیوم در دمای صفر درجه کلوین (قریباً ۲۷۳- درجه سانتی گراد یا سلسیوس) کاملاً محکم هستند. زیرا هیچ گونه انرژی خارجی وجود ندارد که قادر باشد این پیوندها را بشکند. ولی در دمای اتاق (۲۷ درجه سانتی گراد یا ۳۰۰ درجه کلوین) تعدادی از پیوندها می شکنند. به ازای شکست هر پیوند یک الکترون آزاد می شود. شکل ۱۰-۵ یک پیوند شکسته شده را نشان می دهد که یک الکترون آزاد را به وجود آورده است.



شکل ۱۰-۵ الکترون آزاد

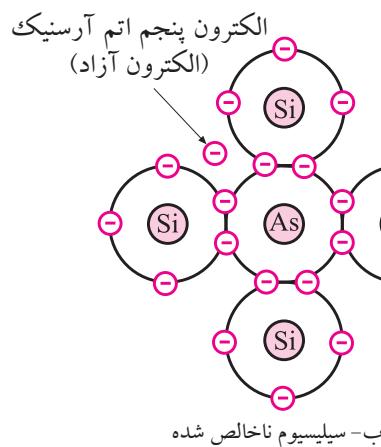
لازم به یادآوری است که حفره (جای خالی الکترون) را می‌توان به عنوان یک بار مثبت در نظر گرفت زیرا قادر است الکtron را جذب کند. در عمل وقتی تعدادی پیوند می‌شکنند الکترون‌های آزاد دائمًا با حفره‌ها ترکیب می‌شوند.

### ۱۰-۱-۲ نیمه‌هادی‌های نوع N و P

#### الف- نیمه‌هادی نوع N

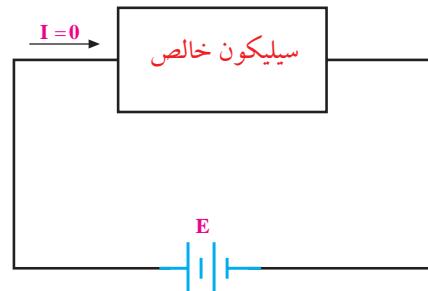
اگر به یک قطعه نیمه‌هادی خالص سیلیسیوم، یک اتم پنج ظرفیتی مانند آرسنیک به عنوان ناخالصی اضافه کنیم، چهار الکترون مدار خارجی اتم آرسنیک با چهار الکترون مجاور اتم‌های سیلیسیوم پیوند اشتراکی تشکیل می‌دهند و الکترون پنجم آرسنیک به هیچ یک از اتم‌ها وابسته نیست. در حقیقت اتم پنجم به عنوان الکترون آزاد محسوب می‌شود.

شکل ۱۰-۱۰ اتم آرسنیک را در بین اتم‌های سیلیسیوم نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۱۰ نیمه‌هادی 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 نیمه‌هادی‌هایی که ناخالصی پنج ظرفیتی به آن‌ها اضافه شده باشد، نیمه‌هادی

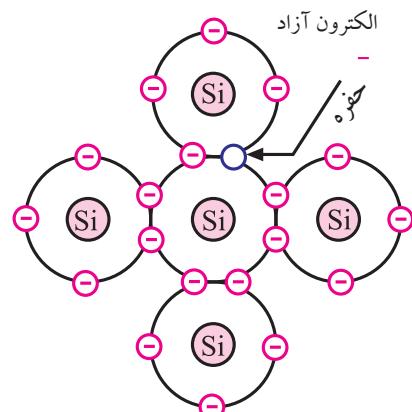


شکل ۱۰-۸ رفتار یک قطعه سیلیسیوم خالص

در دمای صفر درجه کلوین

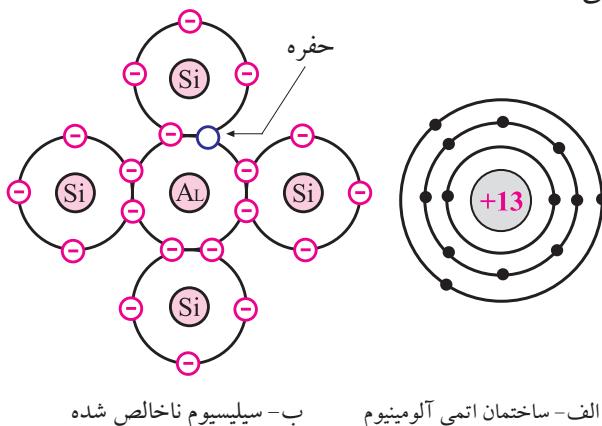
یک قطعه سیلیکون خالص در دمای صفر درجه کلوین هیچ الکترون آزادی ندارد و جریان برق را هدایت نمی‌کند.

ولی در دمای اتاق (۳۰ درجه کلوین)، 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 ۱۰-۹. بنابراین اندازه‌ی هدایت الکتریکی یک قطعه نیمه‌هادی خالص متناسب با درجه حرارت تغییر می‌کند.



شکل ۱۰-۹ حفره بار الکتریکی مثبت دارد.

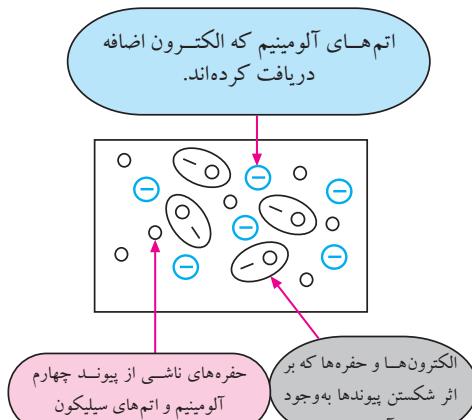
شکل ۱۰-۱۲ اتم آلمینیوم را در بین اتم‌های سیلیسیوم نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۱۲ نیمه‌هادی نوع P

چون این قطعه سیلیسیوم ناخالص شده، یک الکترون کم دارد پس بار الکتریکی آن مثبت است. به نیمه‌هادی‌هایی که ناخالصی سه ظرفیتی به آن‌ها اضافه شده باشد، نیمه‌هادی نوع P- مثبت (Positive) می‌گویند.

همان‌طور که در شکل ۱۰-۱۲ مشاهده می‌شود در محل پیوند چهارم اتم آلمینیوم با اتم سیلیسیوم یک حفره به وجود آمده است. در این شرایط الکترون‌های ناشی از شکسته شدن پیوندهای دیگر، این حفره را پر می‌کنند، لذا بار الکتریکی اتم آلمینیوم منفی می‌شود. یک قطعه نیمه‌هادی نوع P را می‌توان به صورت شکل ۱۰-۱۳ نشان داد.

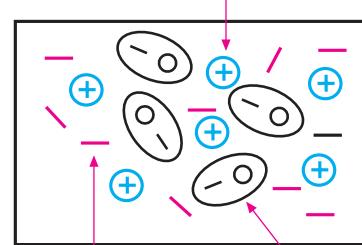


شکل ۱۰-۱۳ نیمه‌هادی نوع P

نوع N- منفی (Negative) می‌گویند.

از طرف دیگر چون اتم آرسنیک یک الکترون از دست داده است لذا دارای بار الکتریکی مثبت است. بنابراین یک قطعه نیمه‌هادی نوع N را می‌توان به صورت شکل ۱۰-۱۱ نشان داد.

اتم‌های آرسنیک که یک الکترون از دست داده‌اند و دارای بار الکتریکی مثبت شده‌اند



الکترون‌های اضافی ناشی از شکستن پنجم اتم آرسنیک  
شکستن پیوند‌ها به وجود آمده‌اند

شکل ۱۰-۱۱ نیمه‌هادی نوع N

بیشتر بدانید:

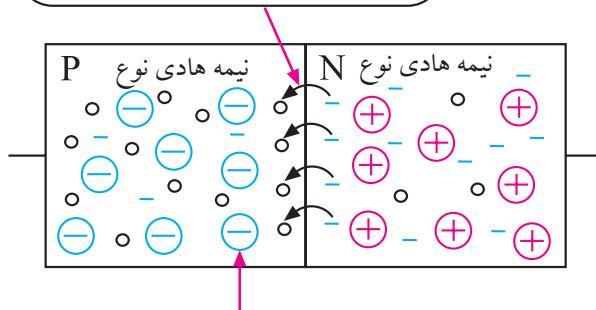
میزان ناخالصی موجود در کریستال نوع N، تقریباً تعداد یک اتم آرسنیک در مقابل  $10^7$  اتم سیلیسیوم است.

### ب- نیمه‌هادی نوع P

به یک قطعه نیمه‌هادی خالص سیلیسیوم یا ژرمانیوم، یک اتم سه ظرفیتی مانند آلمینیوم به عنوان ناخالصی اضافه می‌کنیم. در این حالت سه الکترون مدار خارجی اتم آلمینیوم با سه الکترون مجاور اتم‌های سیلیکون پیوند اشتراکی تشکیل می‌دهند. در محل پیوند چهارم بین اتم‌های آلمینیوم و سیلیسیوم یک حفره (جای خالی الکترون) به وجود می‌آید.

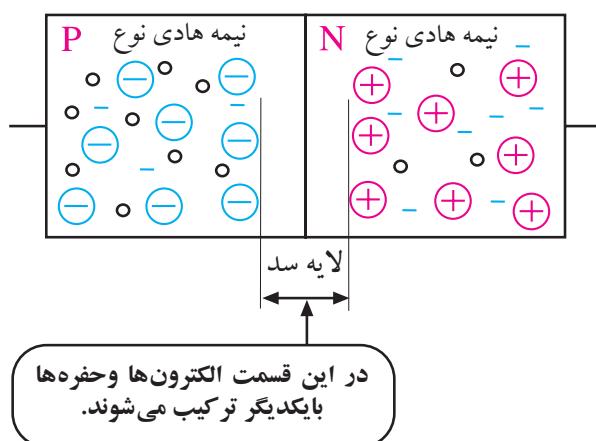
### ۱۰-۱ اتصال PN (دیود)

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 همان‌ام ریک دیگر را دفع می‌کنند.

شکل ۱۰-۱۵ ترکیب الکترون‌ها و حفره‌ها در مرز پیوند PN



در این قسمت الکترون‌ها و حفره‌ها بایکدیگر ترکیب می‌شوند.

شکل ۱۰-۱۶ نمایش لایه‌ی سد

به خاطر بارهای مثبت و منفی به وجود آمده در اثر ناخالصی‌های عناصر پنج و سه ظرفیتی، در دو طرف لایه‌ی 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

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 ۱۰-۱۶ پیوند PN یا دیود را نشان می‌دهد.



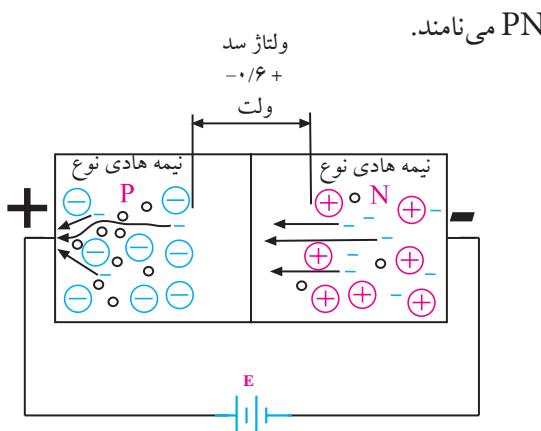
شکل ۱۰-۱۶ اتصال PN یا دیود

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 لایه‌ی بسیار نازک خالی شده از الکترون و حفره به وجود می‌آورند. به این لایه، «لایه‌ی سد» می‌گویند، شکل‌های ۱۰-۱۵ و ۱۰-۱۶.

«لایه‌ی سد» می‌گویند، شکل‌های ۱۰-۱۵ و ۱۰-۱۶.

را جذب می‌کنند. بنابراین در این مدار قطب منفی منبع، الکترون‌های موجود در نیمه‌هادی نوع N را دفع و قطب مثبت باقی الکترون‌ها را که دارای بار الکتریکی منفی هستند جذب می‌کند. اگر ولتاژ باقی الکترون‌ها را بیشتر از  $0.6$  ولت باشد، این ولتاژ بر ولتاژ سد غلبه می‌کند و آن را می‌شکستن لایه‌ی سد الکترون‌های رانده شده از قطب منفی باقی در درون نیمه‌هادی نوع N، از سد عبور می‌کند و جذب قطب مثبت باقی می‌شوند، بدین ترتیب جریان در مدار برقرار می‌شود. این نوع اتصال را **اتصال موافق (مستقیم)** کریستال



شکل ۱۰-۱۸ کریستال PN در حالت موافق

اتصال PN را **دیود می‌نامند** و آن را با علامت قراردادی

(نماد فنی) شکل ۱۰-۱۹ نشان می‌دهند.



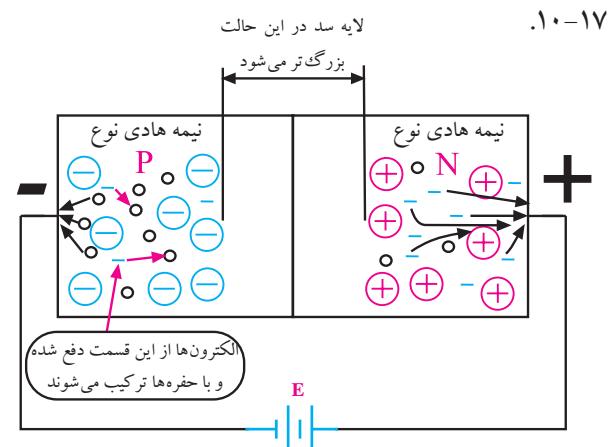
شکل ۱۰-۱۹ علامت قراردادی دیود

در یک دیود پایه‌ی اتصال داده شده به نیمه‌هادی نوع P را آند و پایه‌ی اتصال داده شده به نیمه‌هادی نوع N را کاتد نام‌گذاری می‌کنند. در شکل ۱۰-۲۰ نمونه‌هایی از دیود نشان داده شده است.

نوع P را به قطب منفی باقی وصل کنیم، الکترون‌های موجود در نیمه‌هادی نوع N به سمت قطب مثبت حرکت می‌کنند و حفره‌های موجود در نیمه‌هادی نوع P جذب قطب منفی می‌شوند.

باید توجه داشته باشیم که حفره‌ها حرکت نمی‌کنند زیرا جای خالی الکترون‌ها هستند. هنگامی که قطب منفی باقی الکترون‌ها را می‌راند و آن را با حفره‌ها ترکیب می‌کند چنین به نظر می‌رسد که حفره‌ها به سمت قطب منفی در حرکت هستند.

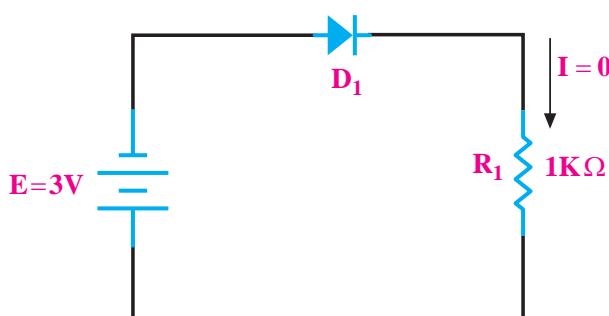
بنابراین در این حالت، در مدار یا در اتصال PN الکترون‌ها حرکت نمی‌کنند و در مدار جریان برقرار نمی‌شود، شکل



شکل ۱۰-۱۷ اتصال کریستال PN به باقی در حالت مخالف

هر قدر ولتاژ منبع بزرگ‌تر باشد ضخامت لایه‌ی سد افزایش می‌یابد. این نوع اتصال را **اتصال مخالف (معکوس)** کریستال PN می‌نامند.

در شکل ۱۰-۱۸ نیمه‌هادی نوع P را به قطب مثبت باقی و نیمه‌هادی نوع N را به قطب منفی اتصال داده‌ایم. می‌دانیم دوبار همان یکدیگر را دفع و دوبار غیر همان یکدیگر



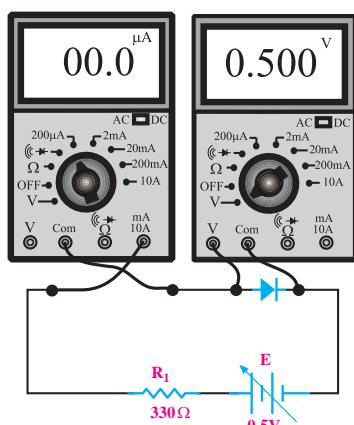
دیود در بایاس مخالف قرار گرفته است لذا در مدار جریان صفر است.

#### ب- بایاس مخالف

شکل ۱۰-۲۱ بایاسینگ دیود

#### ۱۰-۴ منحنی مشخصه‌ی دیود

اگر یک دیود از جنس سیلیسیوم 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 نمی‌کند و میلیآمپر متر صفر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۲۲

حال اگر ولتاژ منبع تغذیه را به آرامی زیاد کنیم، مادامی که ولت‌متر کمتر از ۰/۵ ولت را نشان می‌دهد، میلیآمپر متر هم چنان جریان صفر را نشان خواهد داد. چنان‌چه ولتاژ را



شکل ۱۰-۲۰ نمونه‌هایی از انواع دیودها

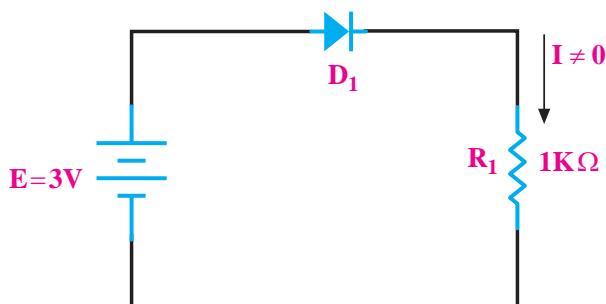
**نکته‌ی مهم:**

یک دیود هنگامی هدایت می‌کند که دو شرط زیر برقرار باشد.

- الف- ولتاژ آند تقریباً ۰/۶ ولت بیشتر از ولتاژ کاتد باشد.
- ب- مقدار جریان در مدار به اندازه‌ی کافی باشد.

اتصال دیود یا هر قطعه‌ی الکترونیکی دیگر را به ولتاژ DC بایاس می‌گویند.

همان‌طور 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 می‌گویند. در بایاس معکوس جریان دیود تقریباً صفر است. در بایاس مستقیم با توجه به ولتاژ منع و مقدار مقاومت، جریان در مدار برقرار می‌شود.

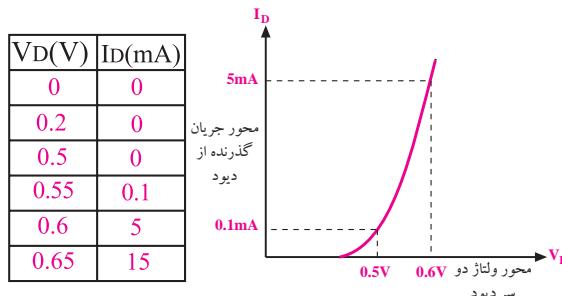


دیود در بایاس موافق قرار گرفته است لذا در مدار جریان برقرار است.

#### الف - بایاس موافق

دیود می‌گویند. این منحنی را معمولاً کارخانه‌ی سازنده‌ی دیود در اختیار مصرف کنندگان قرار می‌دهد.

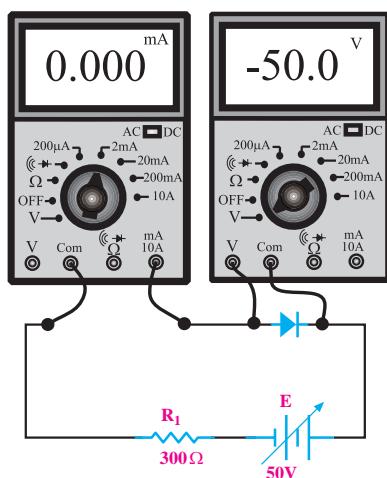
کمی از نیم ولت بیشتر کنیم، میلی‌آمپر متر جریان خیلی کمی را نشان می‌دهد، شکل ۱۰-۲۳.



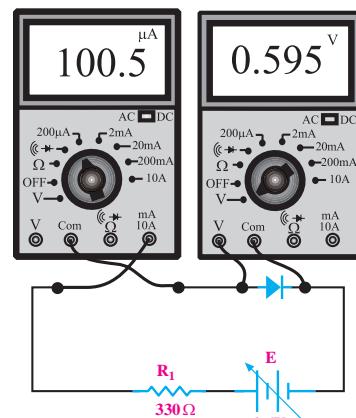
الف- منحنی مشخصه دیود  
ب- جدول مقادیر جریان  
و ولتاژ دوسر دیود

شکل ۱۰-۲۵

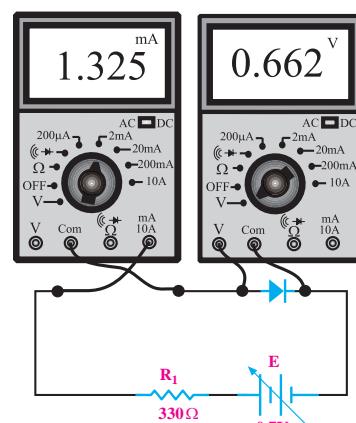
از منحنی مشخصه‌ی ولت-آمپر دیود می‌توانیم مقدار جریان عبوری از دیود را برای ولتاژهای مختلف به دست آوریم. هم‌چنین می‌توانیم در برابر عبور مقدار مشخصی جریان از دیود، افت ولتاژ دوسر دیود را تعیین کنیم.  
اگر مدار شکل (۱۰-۲۶) را بیندیم و ولتاژ منبع تغذیه را زیاد کنیم، حتی به ۵۰ ولت برسانیم، میلی‌آمپر متر 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



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 ۱۰-۲۴.



در صورتی که مراحل بالا را برای ولتاژهای مختلف تکرار کنیم و برای هر مقدار از ولتاژ دوسر دیود، (مثلاً ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ ولت) جریان گذرنده از دیود را همانند شکل ۱۰-۲۵-ب در جدول یادداشت کنیم، می‌توانیم منحنی مشخصه‌ی دیود را در محورهای مختصات رسم کنیم، شکل ۱۰-۲۵-الف. به منحنی شکل ۱۰-۲۵ الف منحنی مشخصه‌ی «ولت-آمپر»

در دیود علاوه بر مقاومت‌ها، ولتاژ لایه‌ی سد نیز وجود دارد. از طرفی چون دیود فقط در یک جهت جریان را از خود عبور می‌دهد لذا می‌توان مدار معادل شکل ۱۰-۲۹ را در مورد دیود به کار برد.



ولتاژ سد برای دیود ژرماتیوم تقریباً  $0.2$  ولت است.  
ولتاژ سد برای دیود سیلیکون تقریباً  $0.6$  ولت است.

شکل ۱۰-۲۹ مدار معادل دیود

## ۱۰-۲ تشخیص پایه‌های دیود و سالم بودن آن به وسیله‌ی اهم‌متر

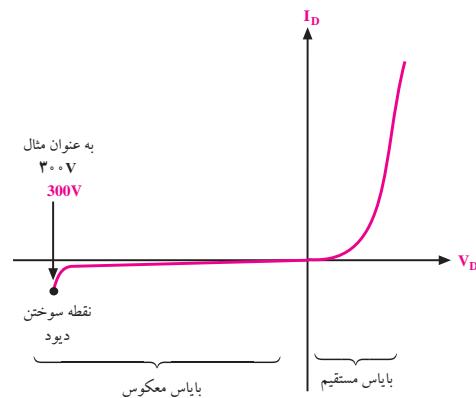
### ۱۰-۲-۱ استفاده از اهم‌متر عقربه‌ای

برای تشخیص پایه‌های دیود، اهم‌متر عقربه‌ای را به دو سر دیود وصل کنید و اهم آن را اندازه‌بگیرید. سپس اتصال دیود را بر عکس کنید و دوباره اهم آن را اندازه‌بگیرید. در یک حالت، اهم‌متر مقاومت کم و در حالت دیگر اهم‌متر مقاومت زیاد را نشان می‌دهد. در حالتی که مقدار مقاومت کم است، دیود از طریق باتری داخلی اهم‌متر، در بایاس مستقیم قرار می‌گیرد. در حالتی که اهم‌متر، مقاومت زیادی را نشان می‌دهد، دیود از طریق باتری داخلی اهم‌متر در بایاس معکوس قرار دارد. در این شرایط اصطلاحاً می‌گویند «دیود از یک طرف راه می‌دهد و از طرف دیگر راه نمی‌دهد». در

شکل ۱۰-۳۰ این دو حالت نشان داده شده است.

در حالت معکوس جریان بسیار کمی از دیود عبور می‌کند که بسیار ناچیز و قابل صرف نظر کردن است.

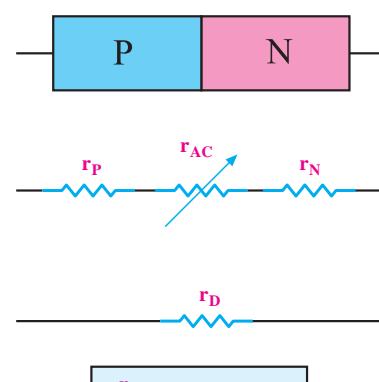
شکل ۱۰-۲۷ منحنی مشخصه‌ی ولت-آمپر دیود را هنگامی که دیود در بایاس مستقیم و در بایاس معکوس، قرار دارد نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۲۷ منحنی مشخصه‌ی دیود در بایاس موافق و مخالف

### ۱۰-۲-۲ مدار معادل دیود

برای یک دیود معمولی می‌توان یک مدار معادل رسم کرد. با توجه به شکل ۱۰-۲۸ نیمه‌هادی نوع P دارای مقاومت اهمی  $r_p$ ، نیمه‌هادی نوع N دارای مقاومت اهمی  $r_N$ ، لایه‌ی سد نیز دارای یک مقاومت اهمی است که آن را با  $r_{AC}$  نشان می‌دهند، مجموعه‌ی این مقاومت‌ها را  $r_D$  می‌نامند.



شکل ۱۰-۲۸ مقاومت معادل دیود

## ۱۰-۲-۲ استفاده از مولتی‌متر دیجیتالی برای آزمایش دیود

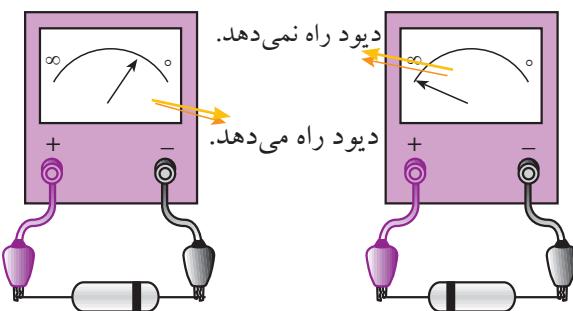
اغلب مولتی‌مترهای دیجیتالی دارای وضعیت آزمایش دیود هستند. هر گاه کلید سلکتور مولتی‌متر دیجیتالی را در وضعیت تست دیود قرار دهیم و دیود به وسیلهٔ مولتی‌متر در بایاس موافق قرار گیرد، مولتی‌متر دیجیتالی ولتاژ بایاس موافق دیود را نشان می‌دهد. مقدار ولتاژ موافق برای دیودهای سیلیسیومی در حدود  $0.7$  ولت و برای دیودهایی از جنس ژرمانیوم حدود  $0.2$  ولت است. شکل ۱۰-۳۲ این حالت را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۳۲ دیود در بایاس موافق

اگر دیود به صورت بایاس مخالف به مولتی‌متر دیجیتالی وصل شود، معمولاً مولتی‌متر ولتاژ بایاس مخالف اعمال شده به وسیلهٔ باتری دستگاه را که در دو سر دیود افت می‌کند، نشان می‌دهد. این ولتاژ ممکن است در دستگاه‌های مختلف از  $1/5$  تا  $3$  ولت باشد.

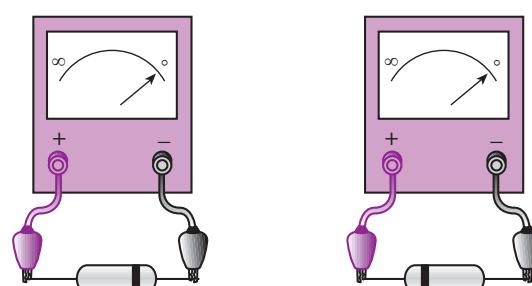
شکل ۱۰-۳۳ این حالت را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۳۰ تشخیص پایه‌های دیود

در حالتی که اهم‌متر مقاومت کمی را نشان می‌دهد، ترمینال مثبت اهم‌متر به آند دیود و ترمینال منفی اهم‌متر به کاتد دیود اتصال دارد. به این ترتیب می‌توانیم آند و کاتد دیود را تعیین کنیم. توجه داشته باشید، مقدار مقاومتی که اهم‌متر نشان می‌دهد به حوزه‌ی کار (رنج) کلید سلکتور اهم‌متر بستگی دارد. در مولتی‌مترهای عقربه‌ای ممکن است قطب‌های خروجی اهم‌متر معکوس باشد، یعنی پایانه‌ی مثبت اهم‌متر به قطب منفی باتری داخلی و پایانه‌ی منفی اهم‌متر به قطب مثبت باتری داخلی اهم‌متر وصل باشد. در این صورت قطب‌های دیود برعکس می‌شود.

اگر دیود معیوب، مثلاً قطع شده باشد، در این صورت اگر اهم‌متر را به پایه‌های دیود اتصال دهیم، در هر دو حالت اهم‌متر مقاومت  $\infty$  (بی‌نهایت) را نشان می‌دهد. چنان‌چه دیود معیوب اتصال کوتاه شده باشد، در هر دو حالت اتصال ترمینال‌های اهم‌متر به دیود، اهم‌متر مقاومت صفر را نشان می‌دهد. شکل ۱۰-۳۱ این دو حالت را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۳۱ دیود معیوب شده و اتصال کوتاه است.



دیود قطع

شکل ۱۰-۳۳ دیود در بایاس مخالف

شکل ۱۰-۳۴ تست دیود معیوب (قطع)

اگر دیود اتصال کوتاه باشد، در هر دو حالت روی صفحه‌ی نمایش دستگاه، ولتاژ صفر نشان داده می‌شود. شکل ۱۰-۳۵ این حالت را نشان می‌دهد.

در برخی از مولتی‌مترها وقتی دیود در حالت مخالف قرار می‌گیرد روی صفحه‌ی نمایش عدد ۱ یا شرایط دیگری ظاهر می‌شود. شرایط نمایش صفحه را در کاتالوگ دستگاه می‌نویسنند.



دیود اتصال کوتاه

شکل ۱۰-۳۵ تست دیود معیوب (اتصال کوتاه)

در حالتی که دیود در بایاس موافق قرار دارد، سیم منفی (سیم مشترک یا COM) به کاتد دیود و سیم مثبت به آند 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 ۱۰-۳۴ این دو حالت دیده می‌شود.

### ۱۰-۳ آزمایش شماره (۱)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

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.

$$\text{ مقاومت دیود} = R \quad \Omega$$

قطب‌های اهم متر را عوض کنید و سپس مقاومت دیود را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$\text{ مقاومت دیود} = R \quad \Omega$$

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 ۱۰-۱ را کامل کنید.

بررسی وضعیت دیود در بایاس مستقیم و معکوس و چگونگی آزمایش آن

### ۱۰-۳-۲ 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 $1N4001$ یا مشابه	یک عدد
۴	دیود ژرمانیوم	یک عدد
۵	مقاومت $1K\Omega$	یک عدد
۶	منبع تغذیه $15V$ -	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

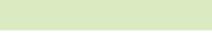
جدول ۱۰-۱

ردیف	شماره فنی دیود	شكل ظاهری دیود	وضعیت دیود اهم در گرایش معکوس	اهم در گرایش مستقیم
۱	$1N4004$			
۲				
۳				

- در جدول ۱۰-۱ وضعیت دیود را از نظر سالم و ناسالم کنید و جدول را کامل کنید.
- مراحل آزمایش را با اهم متر دیجیتالی انجام دهید و بودن، بررسی کنید.
- آند و کاتد دیود را مشخص کنید.
- مراحل آزمایش را برای دو نمونه دیگر دیود تکرار فصل دهم

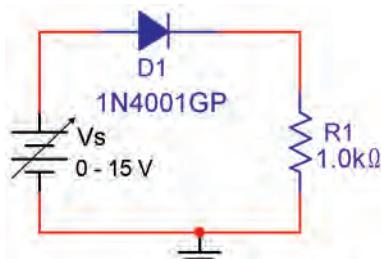
■ با اندازه‌گیری ولتاژ دیود در گرایش مستقیم و معکوس ■ ردیف ۱ جدول ۲-۱۰ به عنوان نمونه تکمیل شده تعیین وضعیت دیود از نظر سالم یا ناسالم بودن توسط اهمتر است. یجیتالی، جدول ۲-۱۰ را کامل کنید.

جدول ١٠-٢

وضعیت دیود	ولتاژ دو سر دیود در	شکل ظاهری دیود	شماره فنی دیود	ردیف
گرایش معکوس مستقیم				
۱	۱ N4007		۰/۶۵۵	۲/۶
۲				
۳				

■ مدار شکل ۱۰-۳۶ را روی برد بندید.  
دیود را N4001 انتخاب کنید.

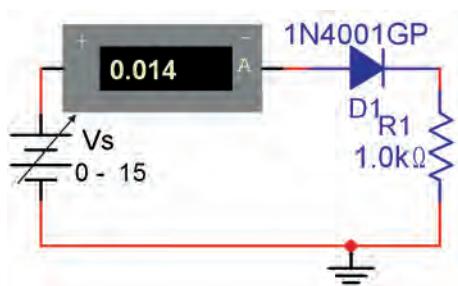
$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{\dots}{\dots} = \dots$$



آمپر متر را مطابق شکل ۱۰-۳۷ با مدار سری کنید.

ولتاژ منبع را آنقدر تغییر دهید تا ولتاژ دو سر بار برابر با ۵

ولت شود و چریان عبوری از دیوید را اندازه پگیرید.



شکا ۳۷-۱۰

$$L \equiv \dots \text{ mA}$$

■ حی بان اندازه‌گیری شده توسط آمیر متّ و حی بان

محاسبه شده از رابطه  $\frac{V_{RL}}{R}$  را با هم مقایسه کنید.

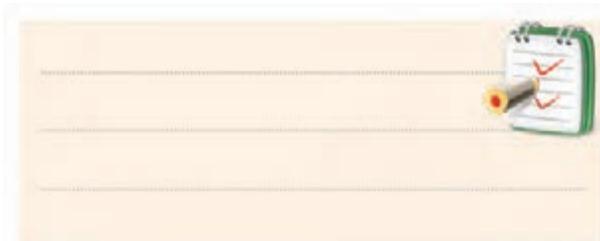
■ ولتاژ منبع تغذیه‌ی  $V_s$  را آن قدر تغییر دهید تا ولتاژ دو سر بار پر ابر با ۵ ولت شود.

■ به وسیله‌ی ولت‌متر ولتاژ دو سر دیود را اندازه بگیرید و آن را بادداشت کنید.

$$V_D = \dots \text{ ولت}$$

با توجه به رابطه‌ی  $I_D = \frac{V_{RL}}{R_L}$  جریان عبوری از دیود را محسسه کنند.

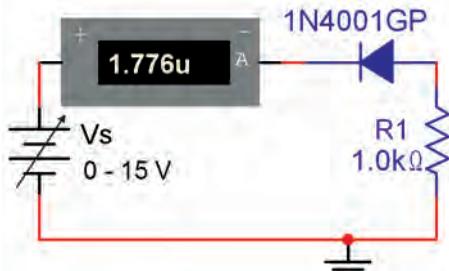
$$I_D = \frac{V_{RL}}{R_L} = \frac{\dots}{\dots} = \dots$$



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.



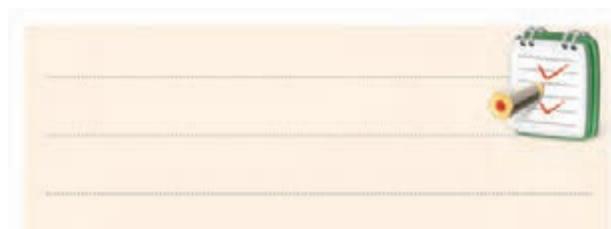
شکل ۱۰-۳۸

■ 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 می‌کند؟

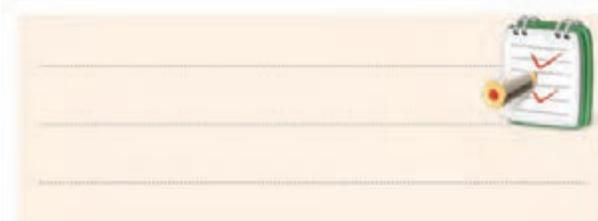


سؤال ۲: آیا ولتاژ دو سر دیود در بایاس مخالف با ولتاژ منبع ( $V_s$ ) برابر است؟

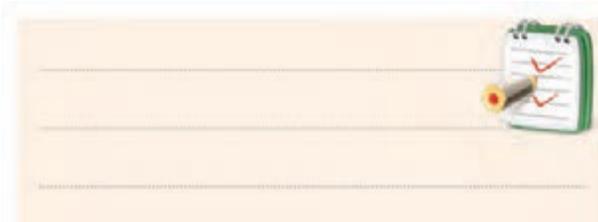
## آزمون پایانی فصل (۱۰)



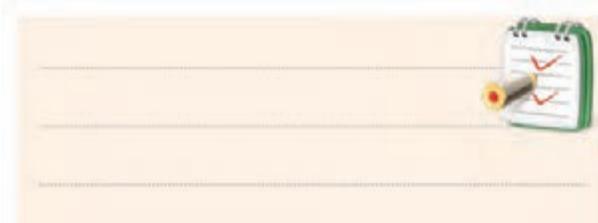
- الف) ۰/۲  
ب) ۰/۷  
ج) صفر  
د) بی‌نهایت



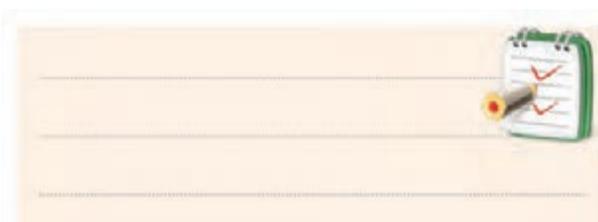
۶- برای هدایت دیود چه شرایطی لازم است؟ توضیح دهید.



۷- بایاس دیود را توضیح دهید.



۸- چگونگی تشکیل لایه‌ی سد در اتصال PN را توضیح دهید.

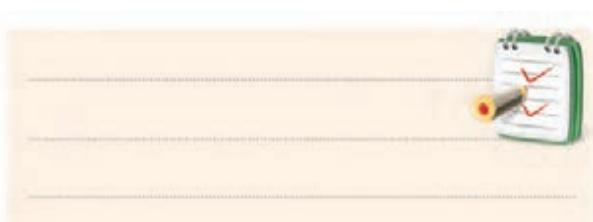


۹- مقدار پتانسیل سد برای نیمه‌هادی نوع سیلیسیومی و ژرمانیومی چند میلی‌ولت است؟

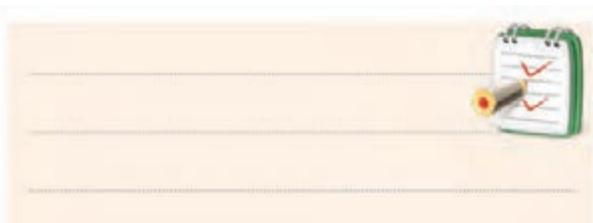
۱- ساختمان نیمه‌هادی‌های نوع N و p را شرح دهید.



۲- در یک قطعه سیلیکون خالص، حفره چگونه به وجود می‌آید؟ شرح دهید.



۳- توضیح دهید که در اتصال PN چگونه در یک جهت جریان به راحتی عبور می‌کند و در جهت دیگر جریان عبور نمی‌کند.



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؟



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 دیوودی

**هدف کلی:** تحلیل نظری و عملی یکسوسازها

هدف های رفتاری: پس از پایان این فصل از فرآگیرنده انتظار می رود که:



- ۱- مدار یکسوساز نیم موج را رسم کند و طرز کار مدار شرح دهد.
- ۲- مقدار متوسط ولتاژ خروجی یکسوسکننده 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 را شرح دهد.
- ۴- مدار یکسوساز تمام موج پل را رسم کند و طرز کار خازنی، مشاهده کند و مقدار آن را اندازه بگیرد.
- ۵- نقش صافی ها در یکسوسکننده ها را شرح دهد.
- ۶- نحوه استفاده از منبع تغذیه متقارن را توضیح دهد.
- ۷- نحوه عملکرد مدارهای کلیپر (clipper) و کلمپر (clamper) را شرح دهد.
- ۸- طرز کار مدارهای چند برابر کننده ولتاژ را شرح مشاهده کند و مقدار آن را اندازه بگیرد.
- ۹- طرز کار کلید ۱۱۰/۲۲۰ را توضیح دهد.
- ۱۰- نحوه عملکرد مدار آشکارساز پیک توپیک را کند.

 ساعت آموزش	توانایی شماره‌ی ۱۱		
جمع	عملی	نظری	
۲۶	۱۸	۸	

## پیش آزمون فصل (۱۱)



۶- نحوه‌ی عملکرد یکسوساز تمام موج را شرح دهید.



۱- مقدار متوسط یک موج سینوسی که یکسوزده

نیم موج است کدام است؟

- ب)  $\frac{2Vm}{\pi}$       الف)  $\frac{Vm}{\pi}$   
د)  $\frac{Vm}{2}$       ح)  $2Vm$

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  $6/0$  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

۷- نحوه‌ی عملکرد یکسوساز نیم موج را با رسم شکل

شرح دهید.

۰/۶ مثبت تر باشد.

د) موارد الف و ب



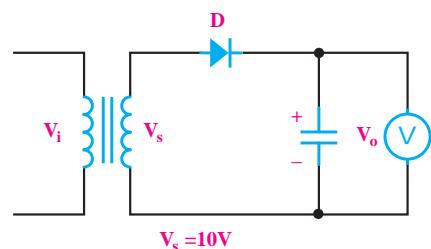
۴- هر قدر ظرفیت خازن را زیادتر کنیم، ولتاژ خروجی

یکسوزنده‌ها ثابت‌تر می‌شود.

غلط

صحیح

۵- در شکل زیر  $V_o$  چند ولت است؟



الف) ۱۰      ۹/۴

ج) ۱۴/۱      ۱۳/۵

۸- در یکسوساز پل ، جریان هر دیود برابر است با ..... است.

الف)  $I_L$       ب)  $\frac{I_L}{2}$

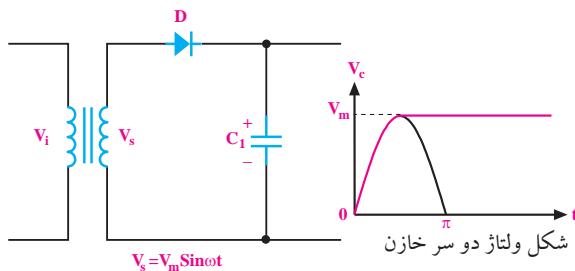
۹- انتخاب دقیق ظرفیت خازن در صافی ها، بستگی به مقدار ولتاژ ضربان یا ضربان قابل قبول دارد.

صحیح       غلط

۱۰- خرابی های 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، ایزووله شدن مدار از برق شهر است.

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)  $4V_m$

صحیح       غلط

۱۲- با کلید ..... می‌توانیم دستگاه‌های الکترونیکی را در کشور ایران و سایر کشورها استفاده کنیم.

## ۱۱-۱ یکسوزاژها یا رکتی فایرها (Rectifiers)

### ۱۱-۱-۱ یکسوزاژ نیم موج

یک دیود هنگامی هدایت می کند که دو شرط زیر در آن برقرار باشد:

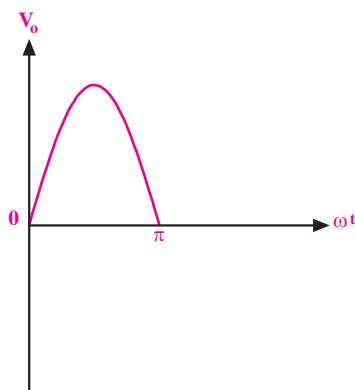
**الف:** ولتاژ آند تقریباً  $7/0$  ولت مثبت تر از ولتاژ کاتد باشد.

**ب:** جریان عبوری از مدار به اندازه‌ی 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  $7/0$  ولت مثبت تر از کاتد است.



شکل ۱۱-۳ هدایت دیود در نیم‌سیکل مثبت در تحلیل مدارهای ساده‌ی دیودی مانند یکسوزاژها، اغلب از افت ولتاژ  $7/0$  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 یکسوزاژ را در شرایطی که دیود هدایت می شود نشان می دهد.

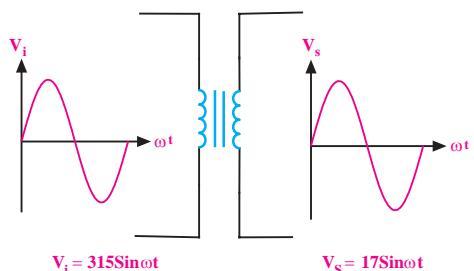


شکل ۱۱-۴ شکل موج خروجی در نیم سیکل مثبت

در نیم‌سیکل منفی، دیود در بایاس معکوس قرار می گیرد، لذا هدایت نمی کند و جریان در مدار صفر است. بنابراین ولتاژ خروجی یکسوزاژ در نیم‌سیکل منفی (از  $\pi$  تا  $2\pi$ ) نشان داده شده است.

یک ترانسفورماتور قادر است ولتاژ موجود مثلاً ولتاژ

برق شهر یعنی  $220$  ولت را به ولتاژ مورد نیاز مثلاً  $12$  ولت تبدیل کند. اگر به مدار اولیه‌ی ترانسفورماتور یک شکل موج سینوسی بدهیم، در مدار ثانویه‌ی آن نیز شکل موج سینوسی دریافت می کنیم، شکل ۱۱-۲.

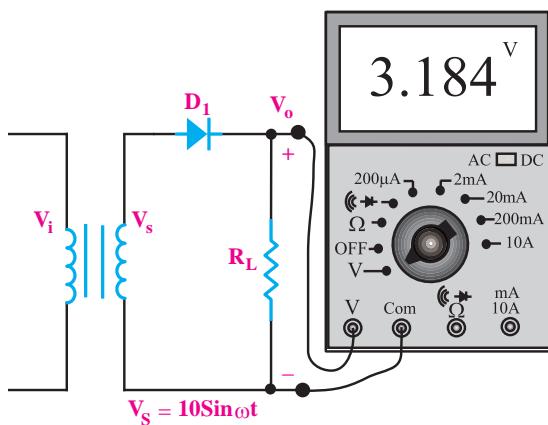


شکل ۱۱-۲ ترانسفورماتور

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  $7/0$  ولت در دو سر آن به وجود می آید.

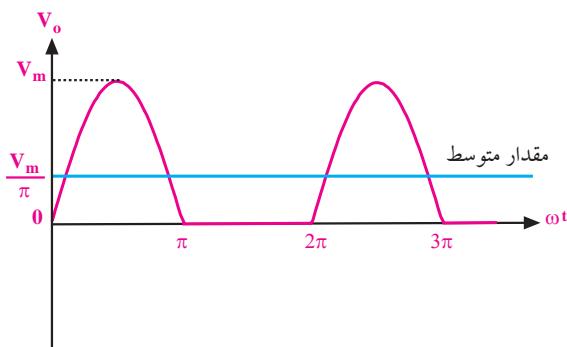
به مدار شکل ۱۱-۷ یکسوکنده‌ی نیم موج می‌گویند.

اگر یک ولت‌متر DC را به خروجی مدار شکل ۱۱-۷ بیندیم، 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

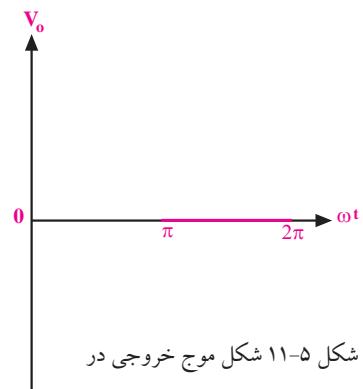
مقدار متوسط یک موج سینوسی که به صورت نیم موج یکسو شده است برابر  $V_{ave} = V_{DC} = \frac{Vm}{\pi}$  است، شکل ۱۱-۹.



شکل ۱۱-۹ تعیین مقدار متوسط از روی شکل موج

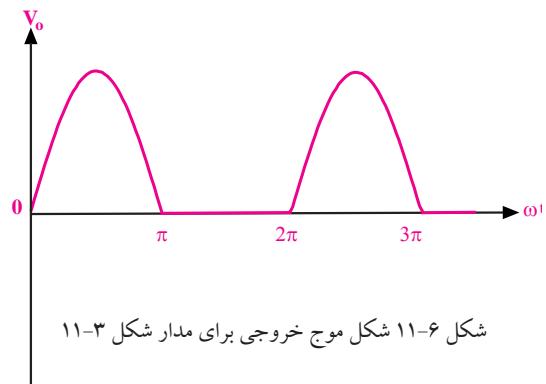
## ۱۱-۱-۲ یکسوساز تمام موج

یکسوساز تمام موج با استفاده از ترانسفورماتور سر وسط اگر یک ترانسفورماتور دارای دو سیم پیچ ثانویه باشد، در خروجی آن دو ولتاژ جدا از هم داریم. این دو ولتاژ می‌توانند فصل یازدهم



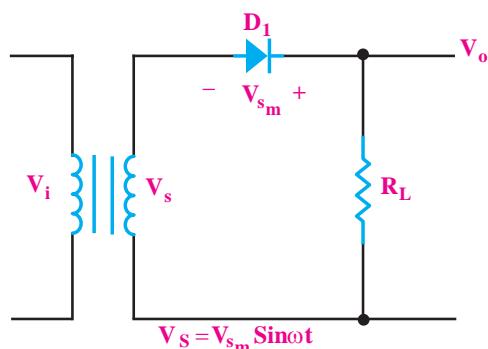
شکل ۱۱-۵ شکل موج خروجی در نیمسیکل منفی

شکل موج ولتاژ خروجی این مدار مانند شکل ۱۱-۶ است.



شکل ۱۱-۶ شکل موج خروجی برای مدار شکل ۱۱-۳

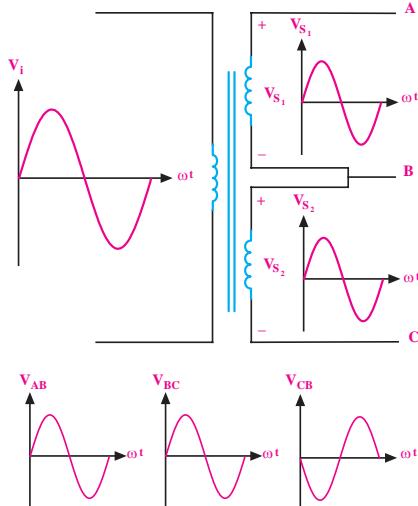
حداکثر ولتاژی که در بایاس مستقیم ( $V_F$ ) می‌تواند دو سر دیود افت کند، حدود یک ولت است. در بایاس معکوس میزان افت ولتاژ دو سر دیود برابر با ماکزیمم ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور می‌شود. هنگام انتخاب دیود باید به این نکته یعنی حداکثر ولتاژ مخالف دیود توجه کنیم، شکل ۱۱-۷.



ماکزیمم ولتاژ ثانویه

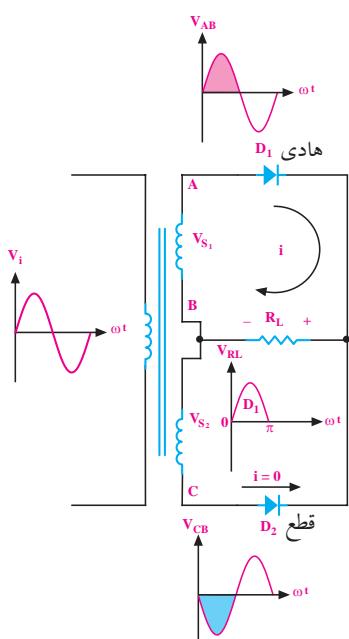
شکل ۱۱-۷

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 ۱۱-۱۲ در می آید.



شکل ۱۱-۱۲ نمایش ترانسفورماتور با ثانویه سه سر

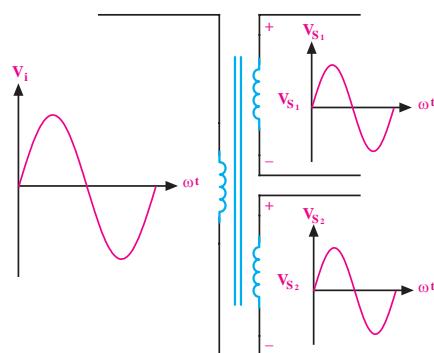
اگر مدار شکل ۱۱-۱۳ را بیندیم، در نیم سیکل مثبت دیود D<sub>1</sub> هادی می شود و دیود D<sub>2</sub> در بایاس معکوس قرار می گیرد. بنابراین شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت اهمی در نیم سیکل مثبت تقریباً مشابه شکل موج ولتاژ دو سر ثانویه ترانسفورماتور است.



شکل ۱۱-۱۳ در نیم سیکل مثبت دیود D<sub>1</sub> هادی و دیود D<sub>2</sub> قطع است.

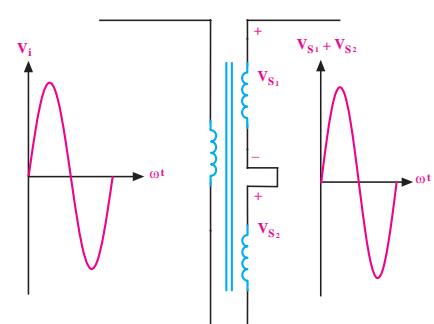
با یکدیگر برابر یا نابرابر باشند که به تعداد دورهای سیم پیچ ثانویه بستگی دارد.

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 ۱۱-۱۰ این شکل موج ها نشان داده شده اند. علامت های «+» و «-» روی نماد فنی سیم پیچ های ثانویه مربوط به قطب ولتاژ های لحظه ای در نیم سیکل مثبت است. توجه داشته باشید که در نیم سیکل منفی علامت ها عوض می شوند.



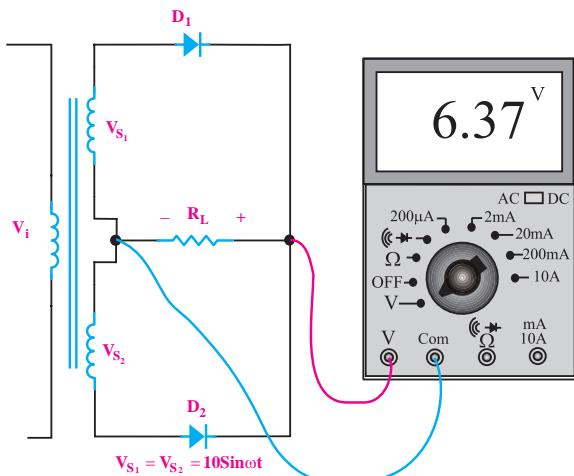
شکل ۱۱-۱۰ ترانسفورماتور با دو سیم پیچ ثانویه جدا از هم

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.



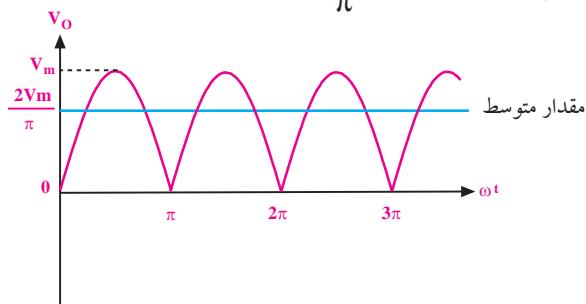
شکل ۱۱-۱۱ اتصال سری دو سیم پیچ ثانویه در ترانسفورماتور

اگر یک ولت‌متر DC را به دو سر بار ( مقاومت اهمی ) وصل کنیم، ولت‌متر DC مقدار متوسط شکل موج سینوسی یکسوز شده را نشان می‌دهد، شکل ۱۱-۱۶.



شکل ۱۱-۱۶ اندازه‌گیری ولتاژ DC در یکسوز ساز تمام موج

مقدار متوسط شکل موج سینوسی یکسوز شده به صورت تمام موج و برابر با  $\frac{2V_m}{\pi}$  است، شکل ۱۱-۱۷.



شکل ۱۱-۱۷ تعیین مقدار متوسط در یکسوز ساز تمام موج

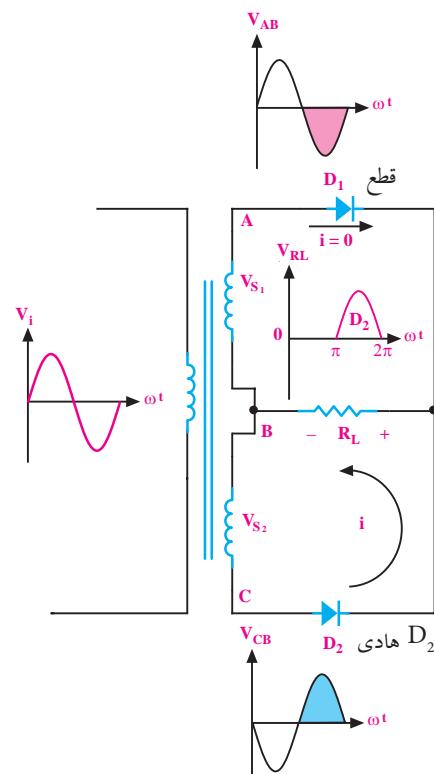
به یکسوز ساز شکل ۱۱-۱۶ یکسوز ساز تمام موج می‌گویند.

**موارد زیر را به خاطر داشته باشید:**

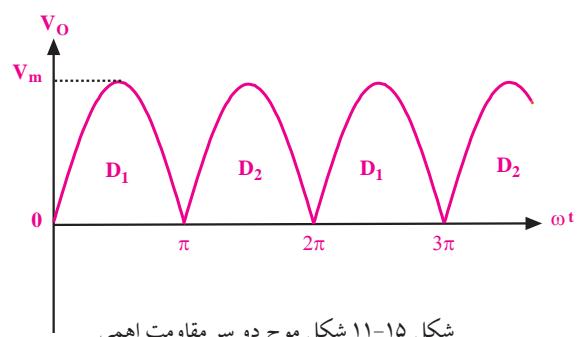
الف: در یکسوز ساز تمام موج با ترانسفورماتور سر وسط، جریان گذرنده از هر دو دیود برابر است.  $I_D = \frac{1}{2} I_L$

ب: ولتاژ معکوس دو سر هر دیود در یکسوز ساز تمام موج برابر  $2V_m$  است.

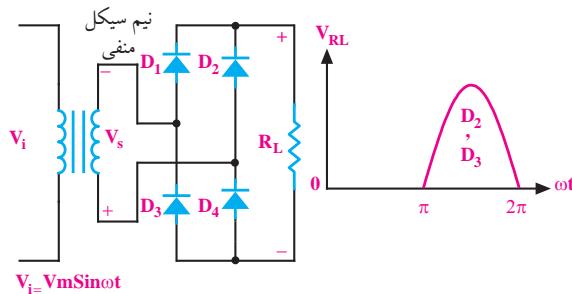
در نیم‌سیکل منفی، دیود  $D_1$  قطع و دیود  $D_2$  هادی است، لذا شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت اهمی در نیم‌سیکل منفی، تقریباً مشابه شکل موج ولتاژ دو سر ثانویه‌ی ترانسفورماتور (  $V_{S2}$  ) می‌شود. در شکل ۱۱-۱۴ شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت یا  $V_0$  در فاصله‌ی  $\pi$  تا  $2\pi$  ( نیم‌سیکل منفی ) نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۱۴ در نیم‌سیکل منفی دیود  $D_1$  قطع و دیود  $D_2$  هادی است. شکل ولتاژ دو سر مقاومت اهمی در یک سیکل کامل به صورت شکل ۱۱-۱۵ در می‌آید.

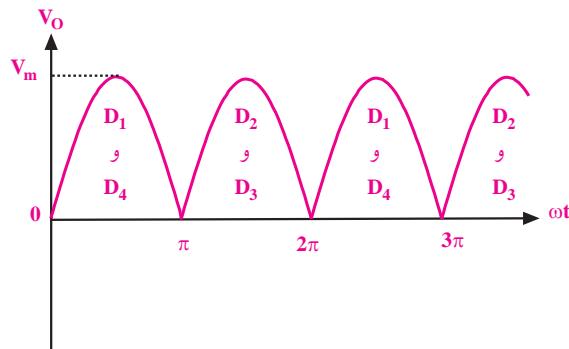


شکل ۱۱-۱۵ شکل موج دو سر مقاومت اهمی



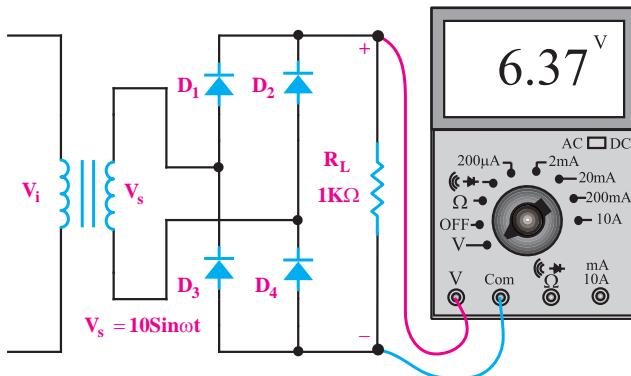
شکل ۱۱-۲۰ هدایت دیودهای  $D_1$  و  $D_2$  در یکسوساز پل

در شکل ۱۱-۲۱ شکل موج ولتاژ خروجی یکسوساز پل گرتز یک فازه نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۲۱ شکل موج خروجی یکسوساز پل

مقدار متوسط ولتاژ یکسوساز شده برابر با  $V_{DC} = V_{ave} = \frac{2Vm}{\pi}$  است. در شکل ۱۱-۲۲ اگر از افت ولتاژ دو سر دیودها صرف نظر کنیم، مقدار متوسط ولتاژ یعنی  $V_{ave} = \frac{2Vm}{\pi} = \frac{2 \times 10}{\pi} = 6.37$  V را نشان می‌دهد.

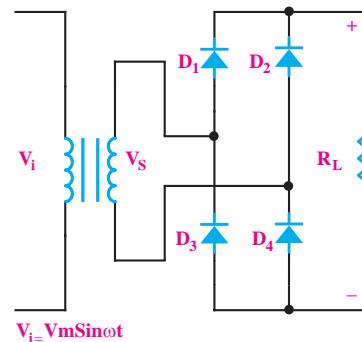


شکل ۱۱-۲۲ اندازه‌گیری مقدار متوسط ولتاژ خروجی

یکسوساز پل به وسیله‌ی ولت‌متر

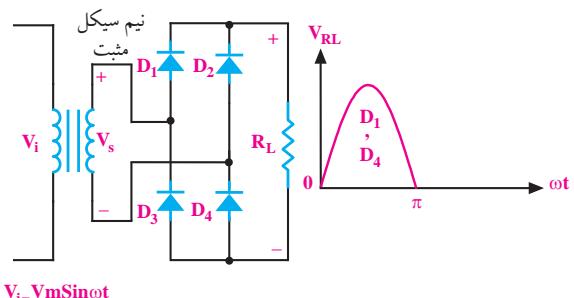
### ۱۱-۱-۳ یکسوساز پل گرتز یک فازه (پل دیود)

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  $D_2$  هدایت می‌کنند و دیودهای  $D_3$  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  $D_2$  در یکسوساز پل

در نیم‌سیکل منفی، دیودهای  $D_3$  و  $D_4$  هدایت می‌کنند و دیودهای  $D_1$  و  $D_2$  در بایاس معکوس قرار می‌گیرند. شکل موج ولتاژ خروجی در نیم‌سیکل منفی را در شکل ۱۱-۲۰ ملاحظه می‌کنید.

#### ۱۱-۴ صافی‌ها

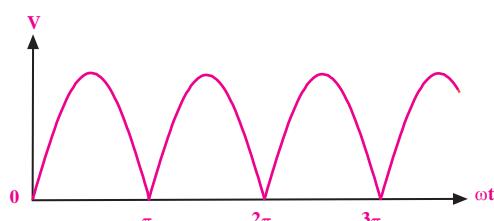
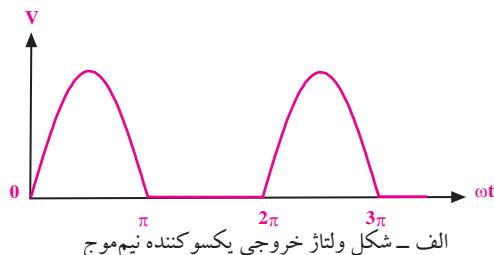
مدارهای الکترونیکی معمولاً نیاز به ولتاژ ثابتی مانند

شکل موج ۱۱-۲۵ دارند.



شکل ۱۱-۲۵ ولتاژ ثابت

همانطور که مشاهده شد، شکل موج ولتاژ خروجی یکسوسازهای نیم موج و تمام موج یک‌فازه دارای ضربان‌هایی است. مقدار ولتاژ آن در نقاط  $\omega t = \pi$  و  $\omega t = 2\pi$  و  $\omega t = 3\pi$  و ..... به صفر می‌رسد. شکل ۱۱-۲۶.



شکل ۱۱-۲۶ شکل موج ولتاژ خروجی

یکسوسازهای نیم موج و تمام موج

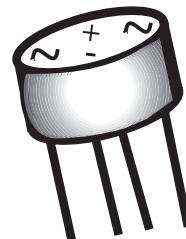
برای تبدیل ولتاژ ضرباندار دریافتی از خروجی یکسوسازها به ولتاژ ثابت، از یک خازن که با بار موازی می‌شود استفاده می‌کنند. این مدار برای توانهای کم به کار می‌رود، شکل ۱۱-۲۷.

#### نکات مهم

در یکسوساز پل، جریان هر دیود برابر با نصف جریان مصرف کننده (بار) یعنی  $I_D = \frac{1}{2} I_L$  است.

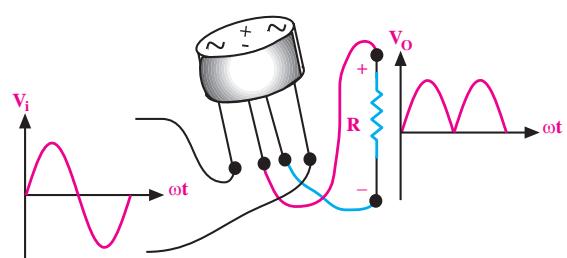
حداکثر ولتاژ معکوسی که در دو سر هر دیود در یکسوساز پل افت می‌کند، برابر با  $V_m$  است.

ممولاً 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.



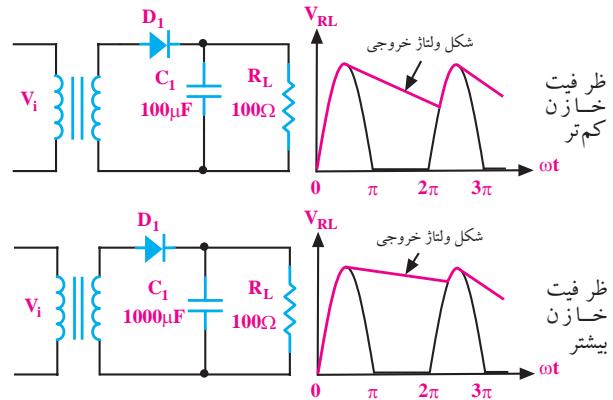
شکل ۱۱-۲۳ یک نمونه پل دیود

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 یکسوسه است که آن را با علامت «+» (قطب مثبت) و علامت «-» (قطب منفی) مشخص می‌کنند. از این دو پایه‌ی ولتاژ، خروجی یکسوسه دریافت می‌شود، شکل ۱۱-۲۴.

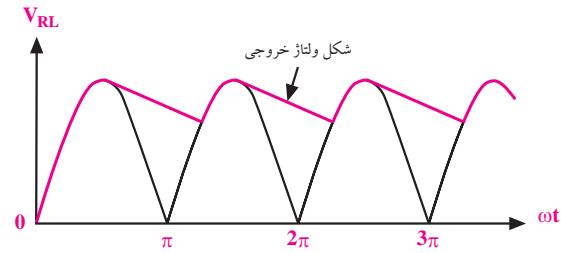
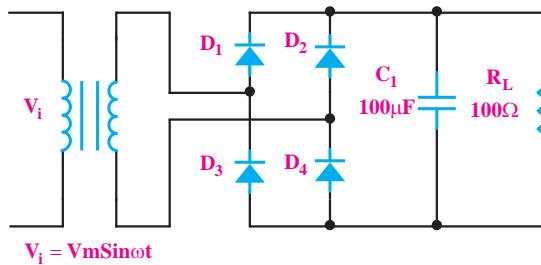


شکل ۱۱-۲۴ چگونگی اتصال پل دیود

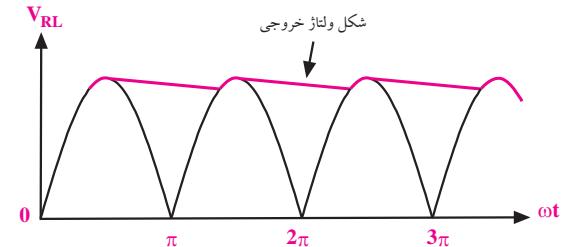
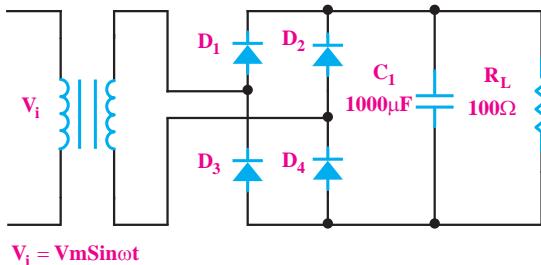
هر قدر ظرفیت خازن بیشتر باشد شکل ولتاژ خروجی صاف تر (ثابت تر) می شود. در شکل های ۱۱-۲۸-الف و ب، این خازن به وضوح برای یکسوساز تمام موج پل نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۲۷ ظرفیت خازن بیشتر، شکل موج صاف تر

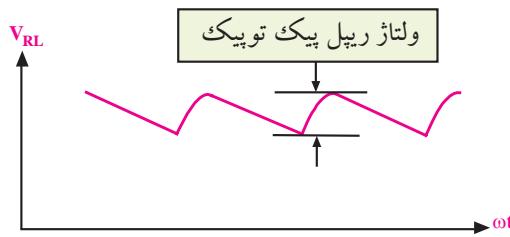


الف - شکل ولتاژ خروجی یکسوسکننده با خازن ۱۰۰ میکروفاراد



ب - شکل ولتاژ خروجی یکسوسکننده با خازن ۱۰۰۰ میکروفاراد

شکل ۱۱-۲۸ هر قدر ظرفیت خازن بیشتر باشد شکل موج ولتاژ خروجی صاف تر می شود.

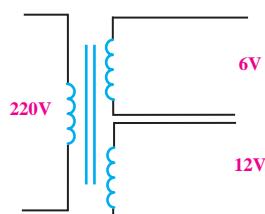
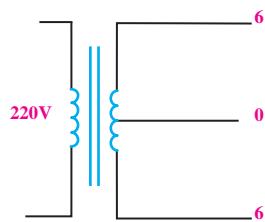


شکل ۱۱-۲۹ مقدار پیک توپیک ضربان یا ریپل (ripple)

انتخاب مقدار دقیق ظرفیت خازن بستگی به مقدار ولتاژ ضربان (ripple) یا ضربان قابل قبول در مدارهای الکترونیکی دارد. لازم به یادآوری است که برای کم کردن دامنه‌ی ولتاژ ریپل، 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

شکل ۱۱-۳۱ نماد فنی دو نوع ترانسفورماتور یکی از مزیت‌های استفاده از ترانسفورماتور در مدار تغذیه‌ی دستگاه‌های الکترونیکی، ایزووله 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.

همان‌طور که قبلاً گفته شد، ترانسفورماتور تغذیه یا ترانسفورماتور قدرت به ترانسیستور 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 بر حسب نیاز، ممکن است چند سر با ولتاژ‌های مختلف وجود داشته باشد. شکل ۱۱-۳۰ ساختمان یک نوع ترانسفورماتور تغذیه را نشان می‌دهد.

### 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 بدن (هسته)



شکل ۱۱-۳۰ ساختمان یک نوع ترانسفورماتور در شکل ۱۱-۳۱ نماد فنی دو نوع ترانسفورماتور با ولتاژ ثانویه متفاوت را مشاهده می‌کنید.

### ۱۱-۳ آزمایش شماره‌ی (۱)

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های زیر را روی

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی 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.

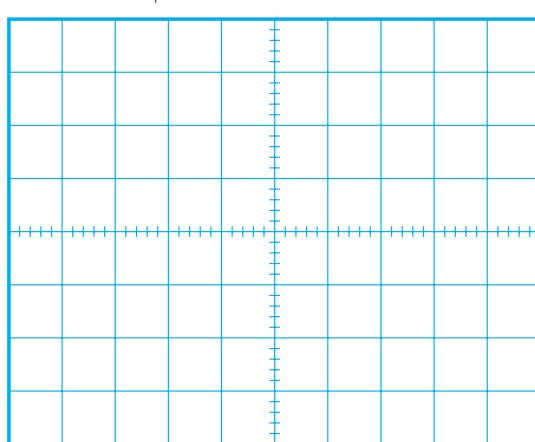
■ به کمک ولوم V/Position خط اشعه را در وسط صفحه تنظیم کنید.

■ 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

### ۱۱-۳-۱ هدف آزمایش:

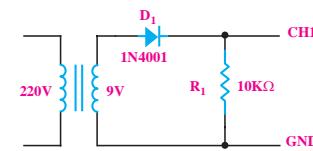
مشاهده و اندازه‌گیری شکل موج ولتاژ خروجی یکسوساز نیم موج یک فازه بدون صافی خازنی و با صافی خازنی.

### ۱۱-۳-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

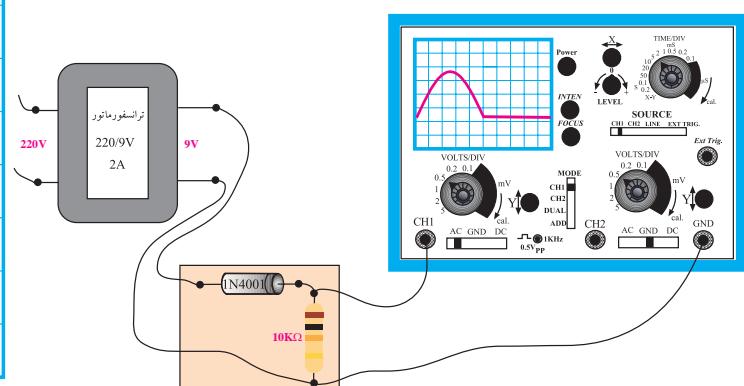
ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	اسیلوسکوپ یک یا دو کاناله	یک دستگاه
۲	مولتی‌متر	یک دستگاه
۳	ترانسفورماتور ۲۲۰/۹ V	یک عدد
۴	مقاومت ۱۰KΩ	یک عدد
۵	خازن ۴۷۰μF/۳۵ V	یک عدد
۶	دیود ۱N4001	یک عدد
۷	سیم رابط دو سر گیره سوسماری	شش رشته
۸	سیم رابط یک سر گیره سوسماری	شش رشته

### ۱۱-۳-۲ مراحل اجرای آزمایش:

■ مدار شکل ۱۱-۳۲ را روی بردبرد بیندید.



الف - شماتیک مدار



ب - مدار عملی

شکل ۱۱-۳۲ مدار عملی یکسوساز نیم موج

یادداشت کنید. ولت متر DC، مقدار متوسط ولتاژ را نشان

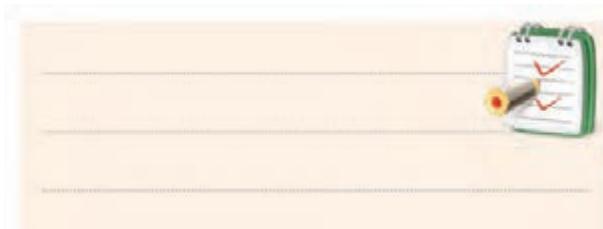
می دهد.

■ دامنه سیگنال نشان داده شده روی صفحه حساس

را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

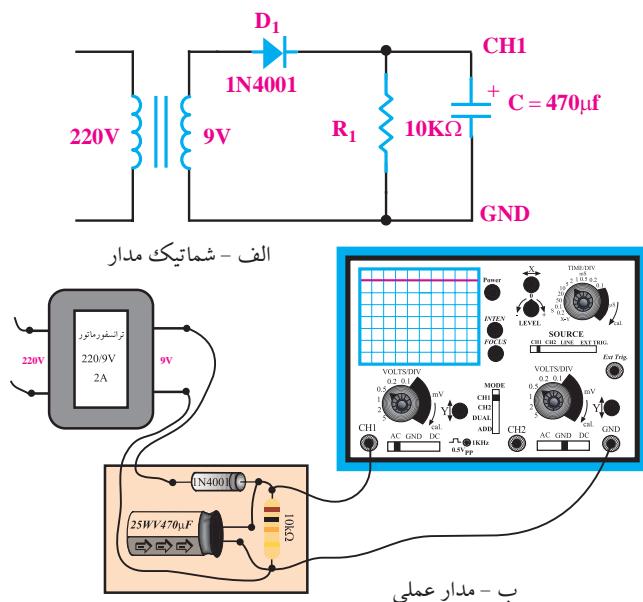
$$V = \text{ولتاژ را که ولت متر نشان می دهد.}$$

**سوال 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 مطالب پردازید.

■ مدار شکل ۱۱-۳۵ را بیندید.



شکل ۱۱-۳۵ یکساز نیم موج با صافی خازنی

■ ورودی ترانسفورماتور را به ولتاژ برق شهر وصل

$$V = \text{دامنه سیگنال}$$

$$= \frac{Vm}{\pi} = \frac{V}{\pi} = \frac{3}{14} V$$

■ اولیه ترانسفورماتور را از برق شهر جدا کنید.

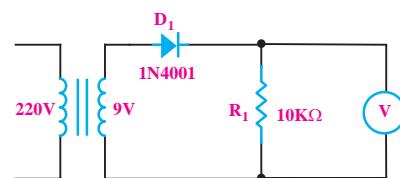
■ اسیلوسکوپ را از مدار جدا کنید (خاموش کنید).

■ تنظیم های انجام شده روی اسیلوسکوپ را تغییر

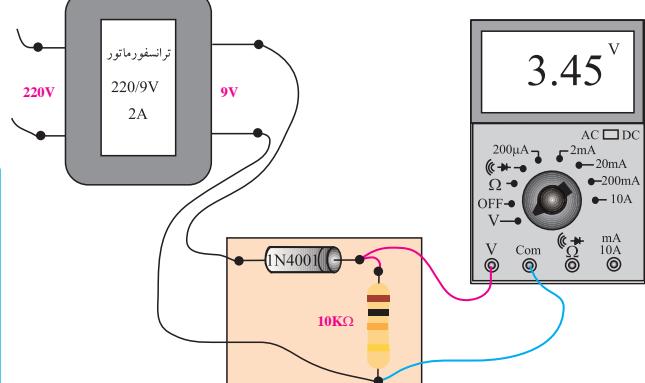
ندهید.

■ یک ولت متر DC به دو سر مقاومت بیندید و رنج

ولت متر را روی ۲۰ ولت بگذارید ، شکل ۱۱-۳۴.



الف - نقشه فنی مدار



شکل ۱۱-۳۴ اندازه گیری ولتاژ DC با ولت متر

■ ورودی ترانسفورماتور را با احتیاط به برق شهر وصل

کنید.

■ ولتاژ را که ولت متر DC نشان می دهد بخوانید و کنید.

## ۱۱-۴ آزمایش شماره‌ی (۲)

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

■ موج نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس را در

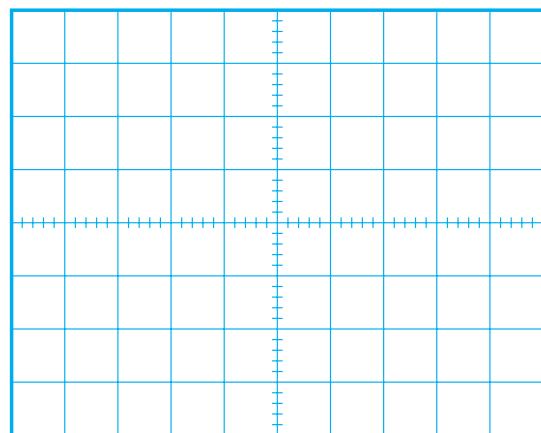
نمودار شکل ۱۱-۳۶ با مقیاس مناسب رسم کنید.

### ۱۱-۴-۱ هدف آزمایش:

بررسی عملی یکسوساز تمام موج با ترانسفورماتور سر  
وسط

### ۱۱-۴-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	اسیلوسکوپ یک یا دو کاناله	یک دستگاه
۲	مولتی‌متر دیجیتالی	یک دستگاه
۳	ترانسفورماتور $220/2 \times 9\text{V}$	یک عدد
۴	دیود $1N4001$	دو عدد
۵	مقاومت $1K\Omega$	یک عدد
۶	سیم رابط	به مقدار کافی



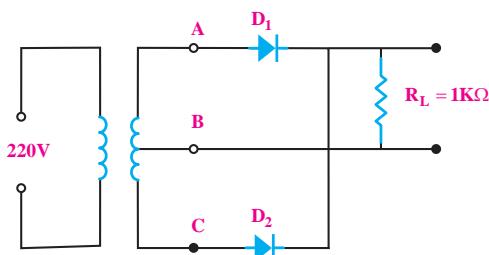
شکل ۱۱-۳۶

سوال ۲: خازن  $470\text{nF}$  میکروفاراد چه نقشی در شکل موج ولتاژ خروجی دارد؟ با توجه به شکل ۱۱-۳۶ توضیح دهید.



### ۱۱-۴-۳ مراحل اجرای آزمایش:

■ مداری مطابق شکل ۱۱-۳۷ روی بردبرد بیندید.



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.

### ۱۱-۴-۴ 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.

$$V_{m_{RL}} = \dots\dots\dots\dots\dots V$$

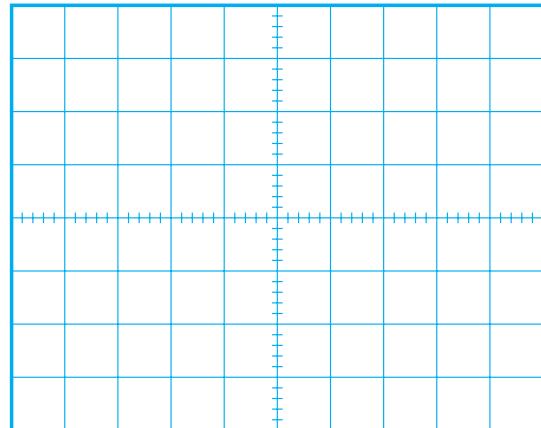
■ پریود موج دو سر بار را اندازه بگیرید سپس فرکانس آن را اندازه بگیرید.

$$T = \dots\dots\dots\dots\dots$$

$$f = \frac{1}{T} = \dots\dots\dots\dots\dots$$

■ به وسیله‌ی ولت‌متر DC مقدار متوسط (میانگین) ولتاژ دو سر بار را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{m_{RL}}(DC) = \dots\dots\dots\dots\dots V$$



شکل ۱۱-۳۸ شکل موج خروجی

■ دامنه‌ی موج را اندازه بگیرید.

$$V_{m_{AB}} = \dots\dots\dots\dots\dots V$$

■ اسیلوسکوپ را بین نقاط CB وصل کنید.

■ شکل موج بین نقاط B و C را در نمودار شکل ۱۱-۳۸ با رنگ دیگری رسم کنید.

■ دامنه‌ی موج بین نقاط B و C را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

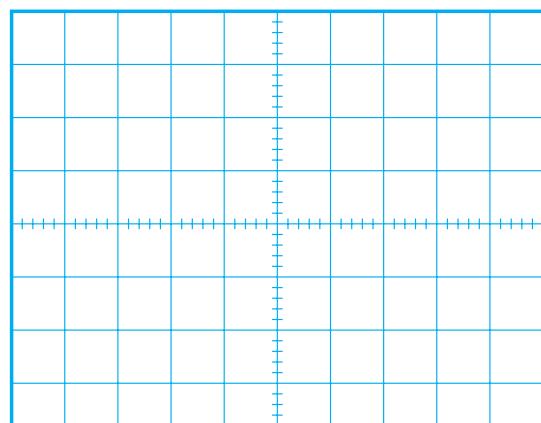
$$V_{m_{RL}} = \frac{2Vm}{\pi} = \dots\dots\dots\dots\dots V$$

**سوال ۳:** مقدار میانگین ولتاژ دو سر بار را که از فرمول

محاسبه نموده‌اید با مقدار اندازه گیری شده مقایسه کنید و در صورت اختلاف در مورد آن توضیح دهید.



■ اسیلوسکوپ را به دو سر بار وصل کنید و شکل موج دو سر بار را برای یک سیکل کامل روی نمودار شکل ۱۱-۳۹ با مقیاس مناسب رسم کنید.



شکل ۱۱-۳۹ شکل موج دو سر بار

#### ۱۱-۴-۴ نتایج آزمایش:

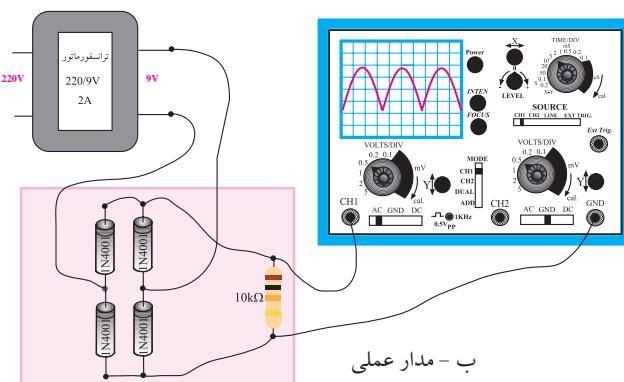
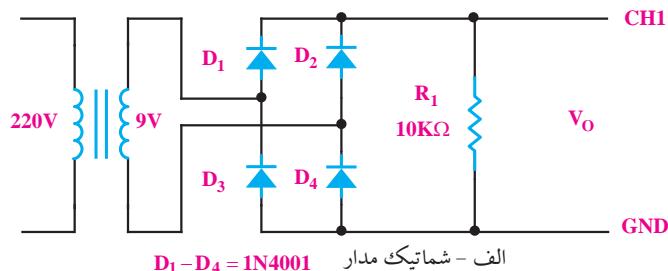
آنچه را که در این آزمایش فراگرفته اید به اختصار شرح دهید.



ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	اسیلوسکوپ یک یا دو کاناله	یک دستگاه
۲	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۳	ترانسفورماتور $220/9\text{V}$	یک عدد
۴	مقاومت $10\text{K}\Omega$	یک عدد
۵	خازن $470\mu\text{F}/35\text{V}$	یک عدد
۶	دیود $1\text{N}4001$	چهار عدد
۷	سیم رابط دو سر گیره سوسماری	شش رشته
۸	سیم رابط یک سر گیره سوسماری	شش رشته

#### ۱۱-۵-۳ مراحل اجرای آزمایش:

مدار شکل ۱۱-۴۰ را روی برد بیندید.



شكل ۱۱-۴۰ مدار عملی یکسوساز پل

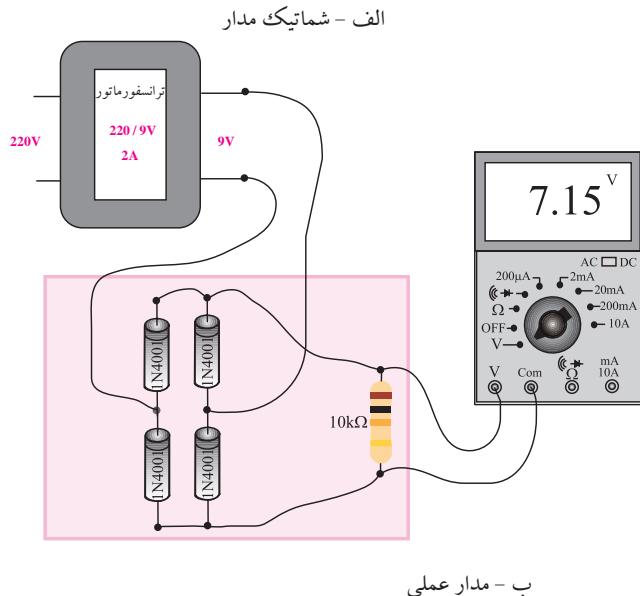
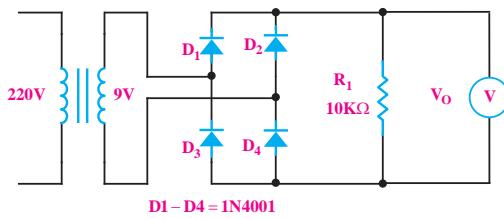
#### ۱۱-۵ آزمایش شماره (۳)

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

#### ۱۱-۵-۱ هدف آزمایش:

مشاهده و اندازه گیری شکل موج ولتاژ خروجی یکسوساز

تمام موج بدون خازن صافی و با صافی خازنی



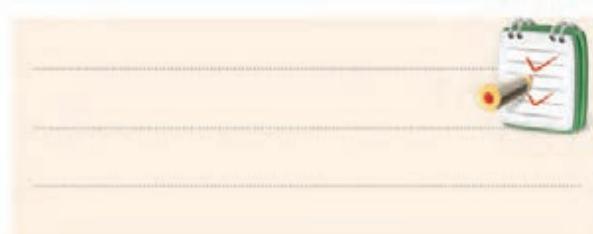
شکل ۱۱-۴۲ اندازه گیری ولتاژ خروجی با ولت متر DC

■ ورودی ترانسفورماتور را با احتیاط به برق شهر وصل کنید.

■ ولتاژ را که ولت متر نشان می دهد بخوانید و یادداشت کنید.

$$V = ..... V$$

**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.

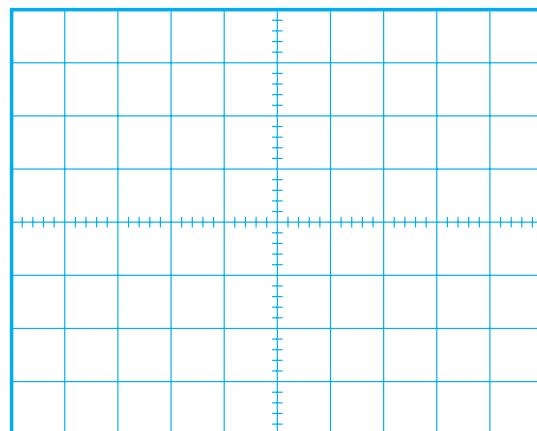


■ ورودی ترانسفورماتور را با احتیاط کامل به برق ۲۲۰ ولت وصل کنید.

■ اسیلوسکوپ را مانند آزمایش شماره ۱ تنظیم کنید.

■ شکل موج نشان داده شده روی صفحه ای حساس

اسیلوسکوپ را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۱۱-۴۱ رسم کنید.



شکل ۱۱-۴۱

■ دامنه ای سیگنال نشان داده شده روی صفحه ای حساس

را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V = ..... V$$

$V = \frac{2Vm}{\pi} = \frac{2 \times .....}{\pi} = ..... V$

■ اولیه ای ترانسفورماتور را از برق شهر جدا کنید.

■ اسیلوسکوپ را از مدار جدا کنید (خاموش نکنید).

■ تنظیم های انجام شده روی اسیلوسکوپ را تغییر ندهید.

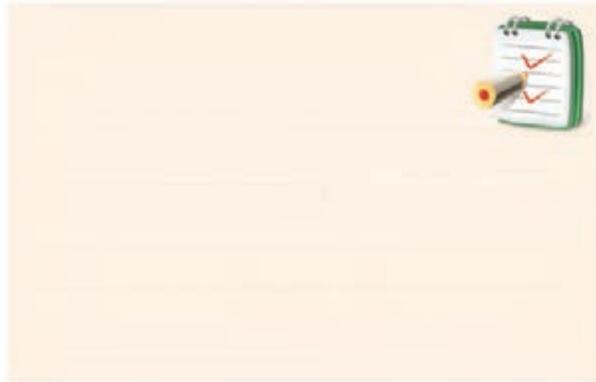
■ یک ولت متر DC به دو سر مقاومت  $10\text{ k}\Omega$  بیندید

و رنچ آن را روی ۲۰ ولت DC قرار دهید، شکل ۱۱-۴۲

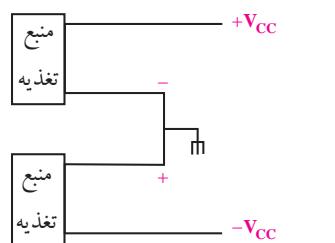
**سؤال ۵:** چرا با موازی کردن خازن به دو سر بار، شکل موج ولتاژ خروجی به صورت یک خط درآمده است؟  
توضیح دهید.

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.

**۱۱-۴ نتایج آزمایش:**  
آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.



**۱۱-۶ منبع تغذیه‌ی متقارن**  
گاهی در مدارهای الکترونیکی نیاز به ولتاژهای قرینه است. بلوک دیاگرام یک منبع تغذیه‌ی متقارن را در شکل ۱۱-۴۵ نشان داده‌ایم.

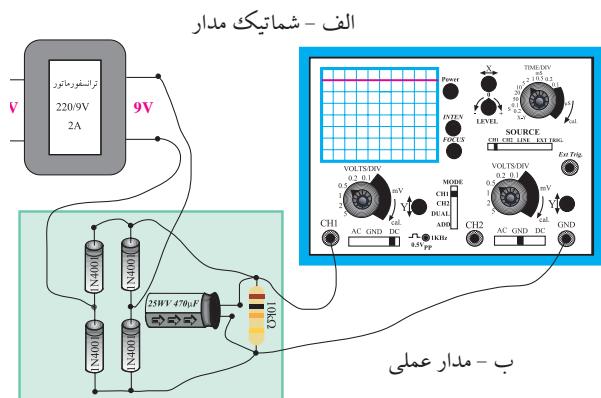
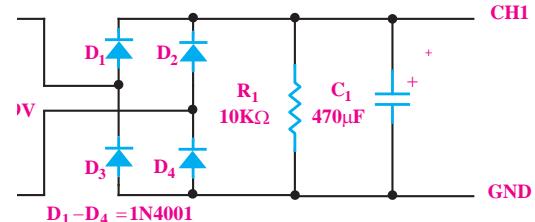


شکل ۱۱-۴۵ بلوک دیاگرام منبع تغذیه‌ی متقارن

در شکل ۱۱-۴۶ مدار یک منبع تغذیه‌ی متقارن رسم شده است.

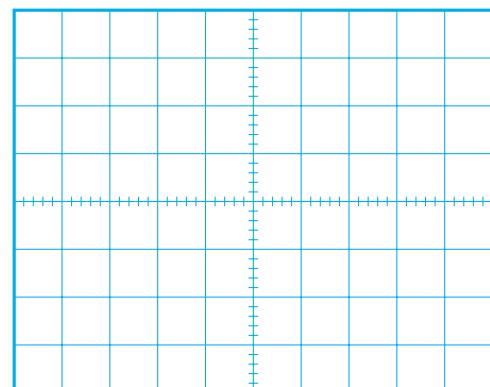
در صورتی که نتوانستید به سؤال فوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت‌های قبلی مراجعه کنید و به مرور دوباره مطالب پردازید.

■ مدار شکل ۱۱-۴۳ را بیندید.

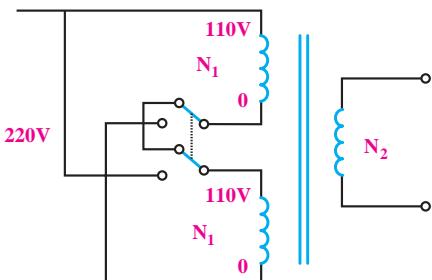


شکل ۱۱-۴۳ مدار عملی یکسوساز تمام موج با صافی خازنی ورودی ترانسفورماتور را با احتیاط کامل به برق شهر وصل کنید.

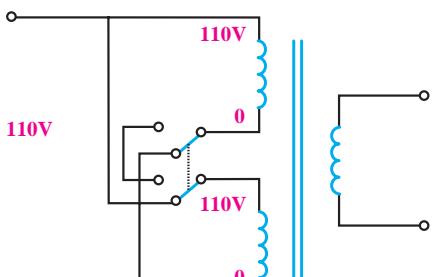
■ شکل موج نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۱۱-۴۴ رسم کنید.



شکل ۱۱-۴۴



حالت ۲۲۰ ولت



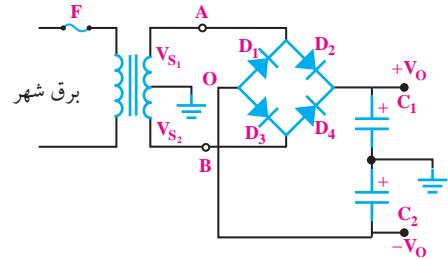
حالت ۱۱۰ ولت

شکل ۱۱-۴۷

همان طور که ملاحظه می شود، در حالت ۲۲۰ ولت، دو سیم پیچ اولیه با هم سری می شوند و تمام تعداد دور اولیه (N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>) در مدار قرار می گیرد.

در حالت ۱۱۰ ولت دو نیمهٔ سیم پیچ در اولیه با هم موازی می شوند و تعداد دور اولیه را به نصف حالت قبل می رسانند. در این حالت ولتاژ خروجی ثابت می ماند و دستگاه به طور طبیعی کار می کند.

**۱۱-۷-۲ کلید ۲۲۰/۱۱۰ در منابع تغذیه بدون ترانسفورماتور**  
در منابع تغذیه‌ی سوئیچینگ معمولاً از ترانسفورماتور استفاده نمی شود و برق شهر را مستقیماً توسط یکسوساز پل یکسو می کنند. در این نوع منابع تغذیه برای داشتن امکان کار در دو حالت ۲۲۰ و ۱۱۰ ولت شکل ۱۱-۴۸ را به کار می برند.



شکل ۱۱-۴۶ مدار منبع تغذیه‌ی متقارن

V<sub>S1</sub> و V<sub>S2</sub> دو سیگنال سینوسی است که ۱۸۰ 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<sub>1</sub> و D<sub>2</sub> هادی و دیودهای D<sub>3</sub> و D<sub>4</sub> قطع هستند. خازن‌های C<sub>1</sub> و C<sub>2</sub> دامنه‌ی ماکزیمم ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور شارژ می شوند. زمانی که A نسبت به O منفی است، B نسبت به O مثبت است و دیودهای D<sub>1</sub> و D<sub>2</sub> هادی و D<sub>3</sub> و D<sub>4</sub> قطع هستند. ولتاژ دو سر خازن C<sub>1</sub> برابر با ولتاژ دو سر خازن C<sub>2</sub> است.

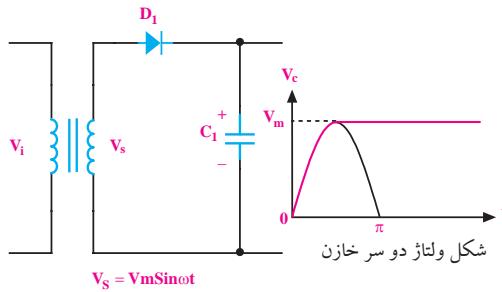
## ۲۲۰/۱۱۰ کلید ۷

بعضی از دستگاه‌های الکترونیکی دارای کلید ۲۲۰/۱۱۰ هستند. با این کلید می توانیم دستگاه‌ها را در کشور ایران و سایر کشورهایی که ولتاژ برق آن‌ها ۱۱۰ ولت است، مورد استفاده قرار دهیم.

## ۱۱-۷-۳ عملکرد کلید در منابع تغذیه با ترانسفورماتور

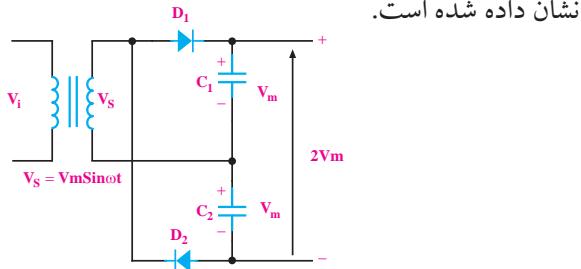
اساس کار و عملکرد این کلید در دستگاه‌هایی که دارای ترانسفورماتور هستند بسیار ساده است. با استفاده از یک کلید دو پل دو راهه (تبديل دو پل) مانند شکل ۱۱-۴۷ می توانیم دو نیمهٔ سیم پیچ را در حالت ۲۲۰ ولت با هم سری و در حالت ۱۱۰ ولت با هم موازی کنیم.

لذا ولتاژ دو سر آن برابر با  $V_m$  باقی می‌ماند.



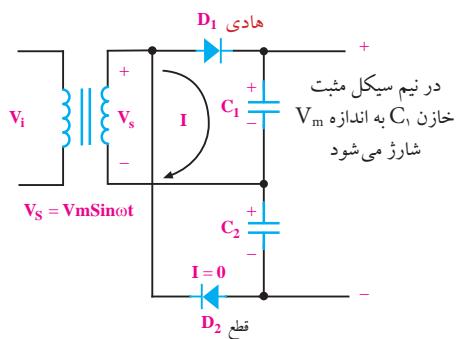
شکل ۱۱-۴۹ ولتاژ دو سر خازن به اندازه‌ی تقریباً  $V_m$  شارژ می‌شود

در شکل ۱۱-۵۰ یک مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ با استفاده از یک ترانسفورماتور، دو عدد دیود و دو عدد خازن نشان داده شده است.



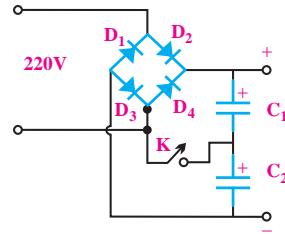
شکل ۱۱-۵۰ یک نمونه مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ

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 می‌گیرند. لذا دیود  $D_1$  هادی شده و خازن  $C_1$  تا مقدار تقریباً  $V_m$  شارژ می‌شود، شکل ۱۱-۵۱.



شکل ۱۱-۵۱ 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 می‌گیرد. لذا دیود  $D_2$  هادی می‌شود و



شکل ۱۱-۴۸

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 می‌کند. در حالت ورودی ۲۲۰ ولت کلید K باز است و دو خازن  $C_1$  و  $C_2$  به عنوان صافی با هم سری می‌شوند. در این حالت هر یک از خازن‌ها تقریباً به اندازه‌ی ۱۵۵ ولت شارژ می‌شوند و ولتاژ خروجی به  $V_m = 310V$  DC می‌رسد.

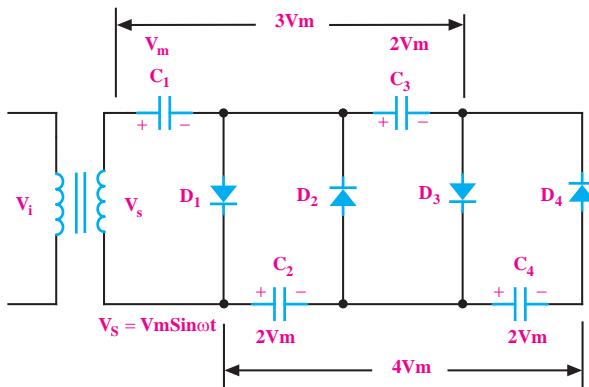
در حالت ۱۱۰ ولت، کلید K وصل می‌شود و مدار را به یک دو برابر کننده‌ی ولتاژ تبدیل می‌کند. در این شرایط هر یک از خازن‌های  $C_1$  و  $C_2$  به اندازه‌ی  $V = 155\sqrt{2}V = 110V$  شارژ می‌شوند و ولتاژ خروجی به همان مقدار ۳۱۰V می‌رسانند.

## ۱۱-۸ چند برابر کننده‌های ولتاژ

به کمک ترانسفورماتور، دیودها و خازن‌ها، می‌توان 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.

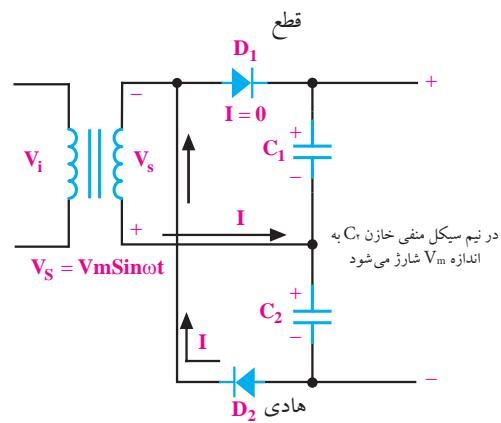
در شکل ۱۱-۴۹ در نیم سیکل مثبت، وقتی دیود  $D_1$  هادی شد (ولت  $V_s \geq 0.7V$ )، خازن شروع به شارژ شدن می‌کند و تقریباً تا یک ولتاژ  $(V_m)$  شارژ می‌شود. هنگامی که ولتاژ ثانویه از  $V_m$  کمتر می‌شود، دیود در بایاس مخالف قرار می‌گیرد و قطع می‌شود، زیرا ولتاژ کاتد دیود برابر با  $V_m$  است. با توجه به شرایط موجود، خازن نمی‌تواند تخلیه شود،

به کمک مدار شکل ۱۱-۵۵ می‌توان مقدار ولتاژ را به سه، چهار یا چند برابر ولتاژ ماکریم 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

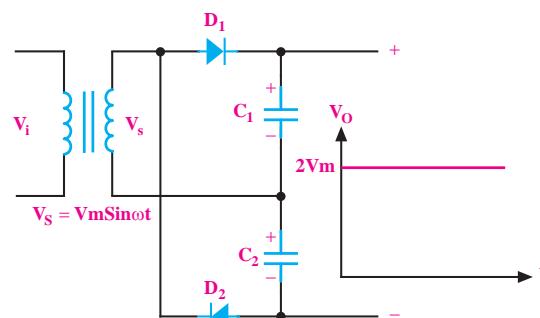
خازن  $C_1$  را تقریباً تا مقدار  $V_m$  (ولتاژ پیک) شارژ می‌کند، شکل ۱۱-۵۲.



شکل ۱۱-۵۲ مسیر شارژ خازن در نیم سیکل منف

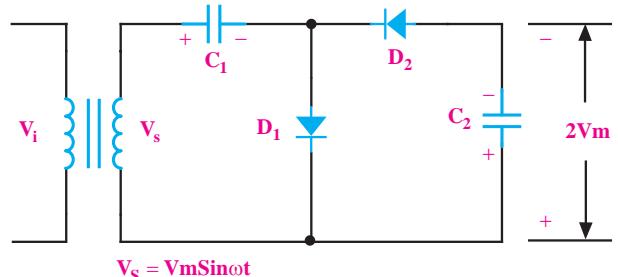
با توجه به شکل ۱۱-۵۳ ولتاژ خروجی  $V_O$  برابر با  $2V_m$  می‌شود.

$$V_{C1} + V_{C2} = 2V_m$$



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

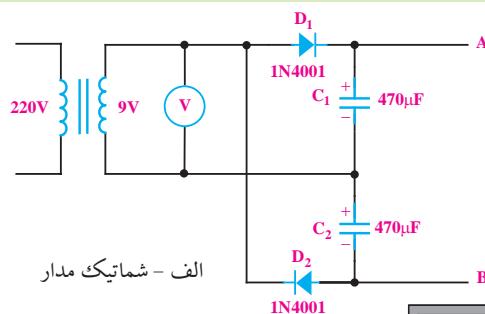
### ۱۱-۹-۳ مراحل اجرای آزمایش:

مدار شکل ۱۱-۵۶ را روی برد بندید.

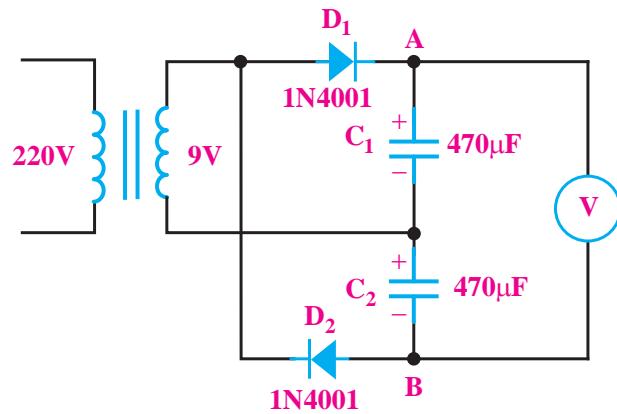
- ولت متر را از نقاط A و B جدا کنید.
- حوزه‌ی کار ولت متر را روی حالت AC روی ۲۰ V قرار دهید و ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور را اندازه بگیرید، شکل ۱۱-۵۷ و یادداشت کنید.

شکل ۱۱-۵۷ ولتاژی را که ولت متر AC نشان می دهد.

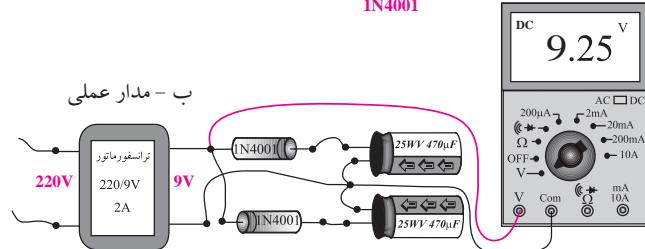
$$V_m = \sqrt{2} V_{eff} = 1 / 41 \times \dots = \dots V$$



الف - شماتیک مدار



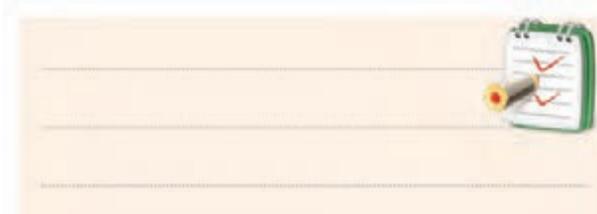
الف - شماتیک مدار



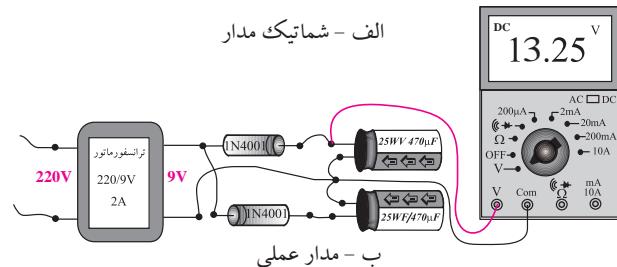
شکل ۱۱-۵۷ اندازه گیری ولتاژ AC در مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ

**سؤال ۶:** آیا ولتاژ دو سر خازن به اندازه‌ی  $V_m$  است

یا کم‌تر؟ توضیح دهید.



**سؤال ۷:** آیا  $V_{AB} = V_{C_1} + V_{C_2}$  دقتاً برابر با  $(V_{C_1} + V_{C_2})$  است؟ چرا؟ توضیح دهید.



ب - مدار عملی

شکل ۱۱-۵۶ یک نمونه مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ

رنج ولت متر DC را روی ۳۰ ولت قرار دهید.

با احتیاط کامل و رودی ترانسفورماتور را به برق ۲۰

ولت وصل کنید.

■ ولت متر را به دو سر خازن  $C_1$  وصل کنید و ولتاژی را که ولت متر نشان می دهد بخوانید و یادداشت کنید.

$$V_{C_1} = \dots V$$

■ 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.

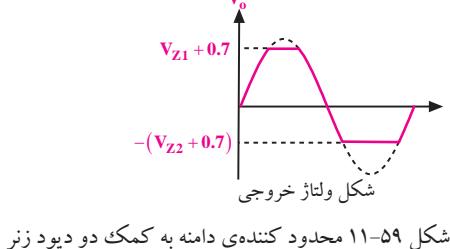
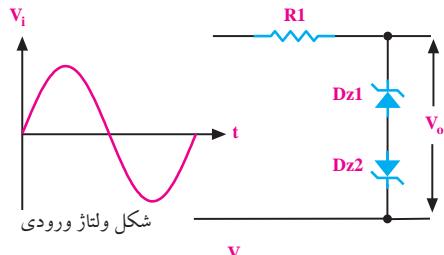
$$V_{C_2} = \dots V$$

■ ولت متر را از دو سر خازن  $C_2$  جدا کنید و ولتاژ بین

نقاط A و B را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

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

مجرد این که دامنه‌ی ولتاژ ورودی کمی بیش تراز  $V_z$  می‌شود، دیود زنر به منطقه‌ی هدایت می‌رود و ولتاژ دو سر آن ثابت باقی می‌ماند. در ادامه‌ی نیم سیکل به محض این که ولتاژ ورودی کمتر از  $V_z$  شود، دیود به ناحیه‌ی قطع می‌رود و  $V_o = V_0$  می‌شود. در نیم سیکل منفی اگر دامنه‌ی ولتاژ به  $0.7V$  ولت برسد، دیود هادی می‌شود و ولتاژ دو سر آن که در حقیقت همان ولتاژ خروجی در نیم سیکل منفی است روی  $0.7V$  ولت ثابت باقی می‌ماند. اگر بخواهیم دامنه‌ی سیگنال ورودی را در هر دو نیم سیکل مثبت و منفی روی دامنه‌ی دلخواه محدود کنیم، می‌توانیم مدار شکل ۱۱-۵۹ را به کار ببریم.



در مدار شکل ۱۱-۵۹ در نیم سیکل مثبت دامنه‌ی ورودی در حد  $(V_{z1} + 0.7V)$  و در نیم سیکل منفی در حد  $-(V_{z2} + 0.7V)$  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 ۱۱-۶۰ عملکرد مدار کلمپر نشان داده شده است.

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.

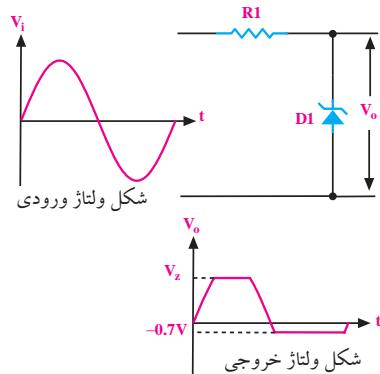
### ۱۱-۹ نتایج آزمایش:

آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به اختصار شرح دهید.



### ۱۱-۱۰ مدار کلپر قیچی کننده (Clipper)

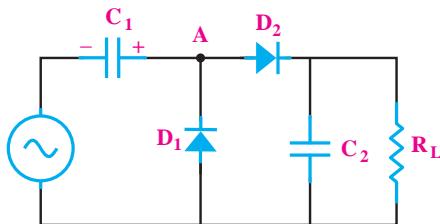
با استفاده از دیود زنر<sup>۱</sup> می‌توان مداری را طراحی کرد که دامنه‌ی سیگنال‌های ورودی را محدود کند. شکل ۱۱-۵۸ یک مدار محدود کننده ساده را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۵۸ یک نمونه مدار محدود کننده دامنه و شکل موج خروجی آن

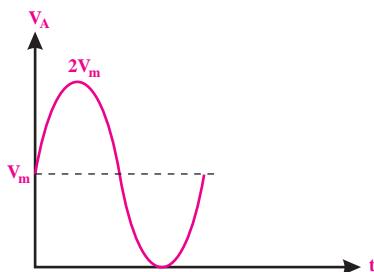
با توجه به شکل ۱۱-۵۸ در نیم سیکل مثبت، مادامی که دامنه‌ی سیگنال ورودی به  $V_z$  نرسیده است دیود زنر قطع است و ولتاژ‌های ورودی و خروجی با یکدیگر برابرند ( $V_o = V_0$ ). به

<sup>۱</sup>- دیود زنر قطعه‌ای است که در بیان مخالف کار می‌کند در بیان مستقیم مانند دیود معمولی عمل می‌کند. در فصل ۱۲ درباره این دیود توضیح داده شده است.



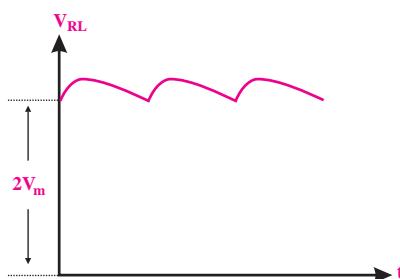
شکل ۱۱-۶۳ آشکارساز پیک تو پیک

دیود  $D_1$  و خازن  $C_1$  به عنوان مهارکننده 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

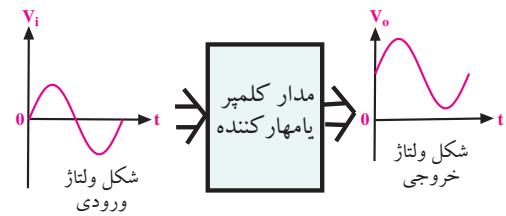
دیود  $D_2$  و خازن  $C_2$  به عنوان آشکارساز پیک عمل می‌کنند. به طور معمول ثابت زمانی  $C_L \cdot R_L$  باید خیلی بزرگتر از پریود سیگنال ورودی باشد تا مدار بتواند عمل کند. شکل موج دو سر بر را در شکل ۱۱-۶۵ نشان داده‌ایم.



شکل ۱۱-۶۵

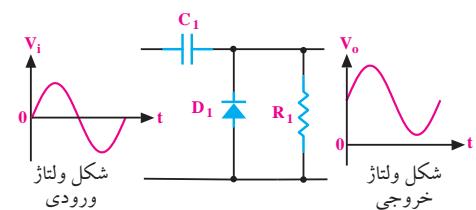
به مداری که عمل فوق را انجام می‌دهد، آشکارساز

پیک تو پیک می‌گویند.

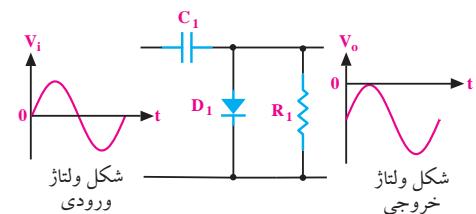


شکل ۱۱-۶۰ عملکرد مدار کلمپر

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 آشکارساز نوک به نوک

**peak to peak detector**

چنان‌چه یک مدار مهارکننده DC و یک آشکارساز پیک (یکسوساز پیک) را پشت سر هم بیندیم، یک مدار آشکارساز پیک تو پیک شکل می‌گیرد. به مدار آشکارساز پیک تو پیک، آشکارساز نوک به نوک نیز می‌گویند.

مدار این آشکارساز در شکل ۱۱-۶۳ رسم شده است.

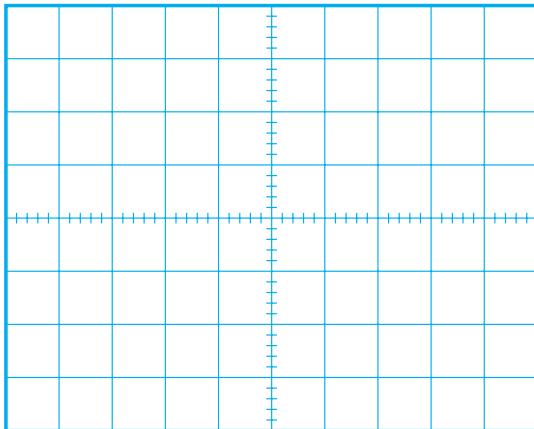
## ۱۱-۱۳ آزمایش شماره‌ی (۵)

زمان اجرا: ۵ ساعت آموزشی

### ۱۱-۱۳-۱ هدف آزمایش:

اندازه‌گیری و مشاهده‌ی ولتاژ خروجی مدار کلیپر و مدار  
کلمپر

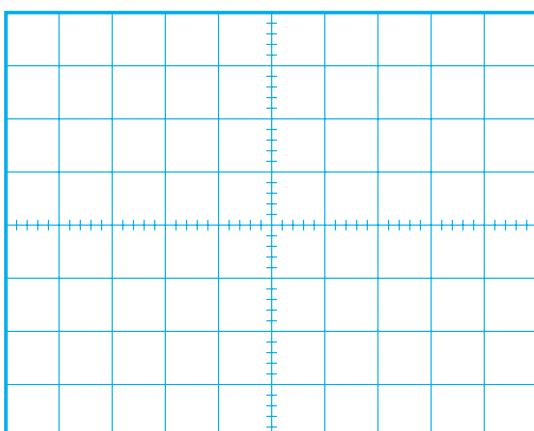
### ۱۱-۱۳-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:



شکل ۱۱-۶۷

در شکل ۱۱-۶۷ جهت دیود را معکوس کنید.

شکل موج ولتاژهای ورودی و خروجی را به وسیله‌ی اسیلوسکوپ مشاهده کنید و با مقایس مناسب در نمودار شکل ۱۱-۶۸ رسم نمایید.



شکل ۱۱-۶۸

ولتاژ برش را اندازه‌گیرید و یادداشت کنید.

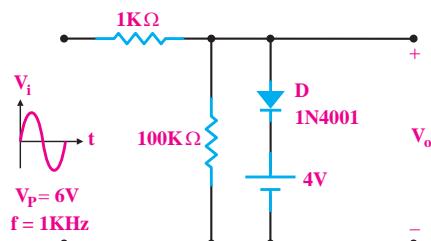
$$V_C = \dots\dots\dots\dots\dots V$$

مدار شکل ۱۱-۶۹ را روی برد بندید.

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 $2N74V$ یا نوع دیگر	دو عدد
۶	دیود $1N4001$ یا معادل آن	یک عدد
۷	خازن $470\mu F$ ، $25V$	یک عدد
۸	مقاومت $\frac{1}{2}W$ و $1K\Omega$	یک عدد
۹	مقاومت $\frac{1}{2}W$ و $100K\Omega$	یک عدد

### ۱۱-۱۳-۳ مراحل آزمایش:

مدار شکل ۱۱-۶۶ را روی برد بندید. سیگنال ژنراتور صوتی را به ورودی آن متصل کنید.



شکل ۱۱-۶۶

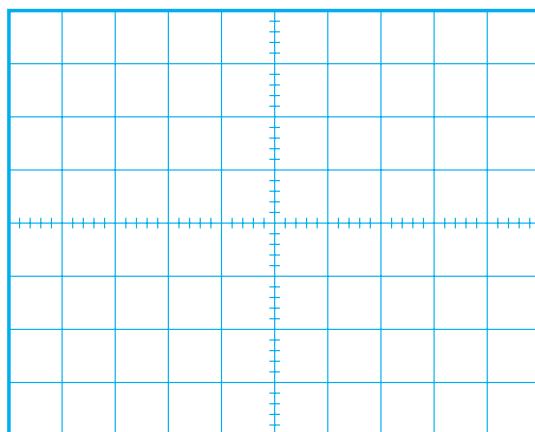
به وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج ولتاژهای ورودی

و خروجی را در نمودار شکل ۱۱-۶۷ رسم کنید.

■ سیگنال ژنراتور صوتی را به ورودی مدار متصل کنید.

■ به وسیله‌ی اسیلوسکوپ، شکل موج‌های ورودی و خروجی را مشاهده کنید و آن را با مقایس مناسب در نمودار

## شكل ٧٢-١١ رسم نمایید.



شکل ۱۱-۷۲

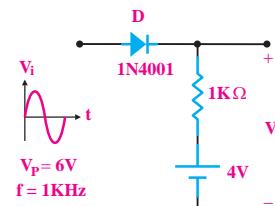
■ ولتاژ پیک تو پیک خروجی  $V_{O_p}$  را اندازه بگیرید و بادداشت کنید.

$$V_{O_{P-P}} = \dots V$$

مداد، شکا ۷۳-۱۱، ۱، ۹۰۲، پ دپ د سند بد.

The circuit diagram shows a full-wave rectifier. A sinusoidal input voltage  $V_i$  (labeled  $t$ ) is applied to two反向二极管 (反向二极管) connected in series with the AC source. The output voltage is split into two paths. Each path contains a 2.7V zener diode connected in series with a 1N4001 diode. The outputs of these two paths are connected in series to provide a full-wave rectified output  $V_o$ . A 10KΩ load resistor is connected between the output node and ground.

۱۱-۷۳ شکا

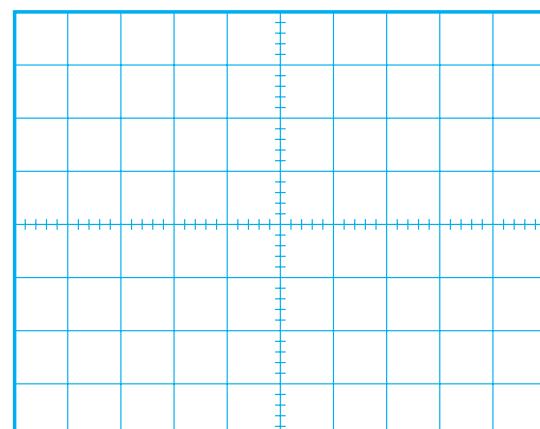


۱۱-۶۹ شکل

سیگنال ژنراتور صوتی را به ورودی مدار متصل کنید.

■ شکل موج ولتاژهای ورودی و خروجی را به وسیله‌ی

شکار ۱۱-۷۰، سمنامید.

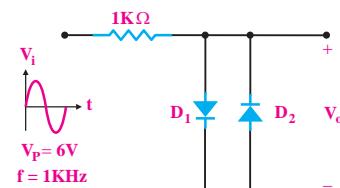


۱۱-۷۰

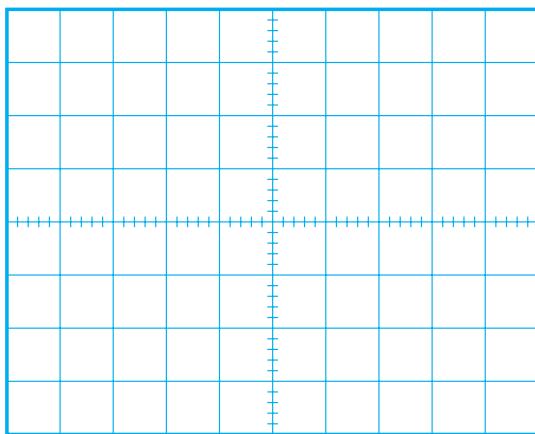
ولتاژ بیش از اندازه بگیرید و بادداشت کنید.

$$V_C = \dots V$$

مدار شکا، ۱۱-۱۱، ادواری، پر دیر د سندید.



۱۱-۷۱ شکا

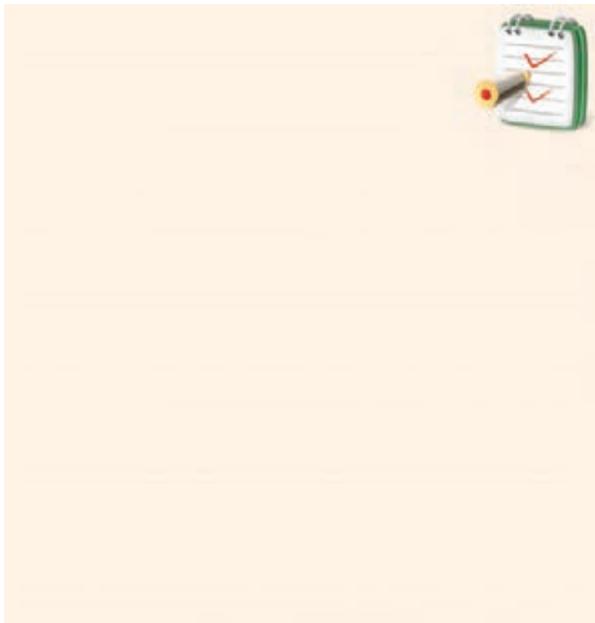


شکل ۱۱-۷۶

■ ولتاژ DC خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

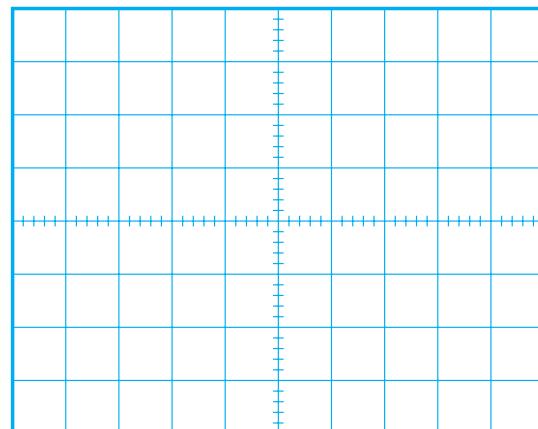
$$V_{odc} = \dots\dots\dots\dots\dots V$$

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



■ سیگнал ژنراتور صوتی را به ورودی مدار متصل کنید.

■ به وسیله اسیلوسکوپ شکل موج های ورودی و خروجی را مشاهده کنید و آن را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۱۱-۷۴ رسم نمایید.

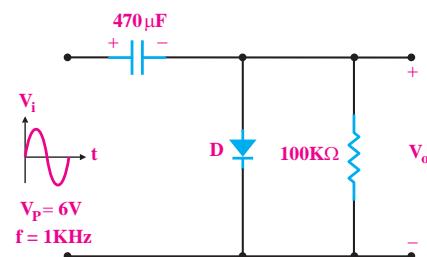


شکل ۱۱-۷۴

■ ولتاژ پیک تو پیک خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{Op-p} = \dots\dots\dots\dots\dots V$$

■ مدار شکل ۱۱-۷۵ را روی بردبرد بیندید.



شکل ۱۱-۷۵

■ سیگнал ژنراتور صوتی را به ورودی مدار متصل کنید.

■ به وسیله اسیلوسکوپ، شکل موج ولتاژهای ورودی و خروجی را مشاهده کنید و آن را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۱۱-۷۶ رسم کنید.

## آزمون پایانی فصل (۱۱)



۱- طرز کار مدار یکسوساز نیم موج را شرح دهید.



- 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) افزاینده
- ۶- یک مزیت استفاده از ترانسفورماتور در قسمت تغذیه دستگاهها، اینوله 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) همهی موارد
- ۸- عملکرد کلید ۲۰/۱۱۰ را در منابع تغذیه با ترانسفورماتور شرح دهید.

۲- مقدار متوسط ولتاژ خروجی مدار یکسوساز نیم موج را محاسبه کنید.

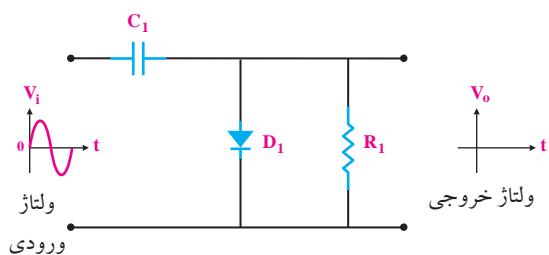


۳- مقدار متوسط یک موج سینوسی یکسوسه به صورت تمام موج برابر با ..... است.

- ۱۱- افزایش ولتاژ به کمک مدارهای چند برابر کننده‌ی ولتاژ فقط برای جریان‌های بسیار کم امکان‌پذیر است.

□ صحیح      □ غلط

- ۱۲- شکل موج خروجی مدار شکل ۱۱-۷۷ را رسم کنید.



شکل ۱۱-۷۷

- ۹- مدار یک آشکار ساز پیک تو پیک را رسم کنید و راجع به نحوه‌ی عملکرد آن توضیح دهید.



\_\_\_\_\_

- ۱۰- یک نمونه مدار کلیپر را رسم کنید و عملکرد آن را توضیح دهید.



\_\_\_\_\_

## فصل دوازدهم

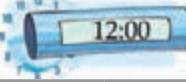
### کار با دیودهای خاص

**هدف کلی:** آشنایی با دیودهای خاص و ترانزیستور و مدار عملی ثبت کننده ولتاژ با دیود زنر

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



- ۱- ساختمان دیود زنر را شرح دهد.
- ۲- منحنی مشخصه‌ی «ولت-آمپر» دیود زنر رادر بایاس
- ۳- طرز کار دیود زنر را شرح دهد.
- ۴- مدار ساده‌ی یک تنظیم کننده ولتاژ به کمک دیود توضیح دهد.
- ۵- خصوصیات دیود اتصال نقطه‌ای را شرح دهد.
- ۶- عملکرد دیود خازنی را توضیح دهد.
- ۷- علامت قراردادی 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 اپتوکوپلر را بارسم مدار توضیح دهد.
- ۱۱- منحنی مشخصه‌ی دیود تونلی را رسم کند.

 ساعت آموزش	توانایی شماره ۱۲ و بخشی از ۱۳		
جمع	عملی	نظری	
۱۲	۶	۶	

## پیش آزمون فصل (۱۲)



ب) شاتکی

د) تونلی

الف) خازنی

ج) LED

۷- کدام جمله در مورد دیود اپتو کوپلر صحیح است؟

الف) وقتی ولتاژ ورودی را تغییر دهیم، میزان نور LED و جریان خروجی تغییر می کند.

ب) مزیت اصلی این دیود درایزوله کردن مدار خروجی از مدار ورودی است.

ج) زوج نوری یک جفت دیود نوردهنده و دیود نوری است.

د) مهمی موارد

۸- در دیود..... افزایش ولتاژ مستقیم باعث کاهش جریان دیود می شود.

۹- دیود .....  A K دیود

واز جنس..... است.

الف) زنر - سیلیکون

ب) واراکتور - ژرمانیوم

ج) یکسو کننده قدرت - سیلیکون

د) معمولی - ژرمانیوم

۱۰- رابطه بین جریان پایه ها در ترانزیستور کدام است؟

$$I_C = I_E + I_B \quad \text{الف) } I_E = I_C + I_B$$

د) بستگی به نوع ترانزیستور دارد

$$I_B = I_C + I_E \quad \text{ج) } I_B = I_C + I_E$$

۱۱- اتصال کلکتور به بیس نسبت به امیتر - بیس در ولتاژ موافق، مقاومت کم تری دارد.

غلط

صحیح

۱- دیود زندر بایاس موافق مانند یک دیود معمولی یکسو کننده عمل می کند.

غلط

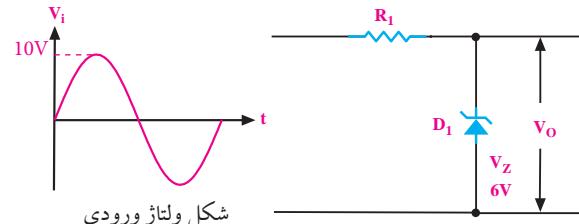
صحیح

۲- توان مجاز یک دیود زنر، ۵ وات و ولتاژ شکست آن ۵ ولت است، ماکریم جریان مجاز دیود زنر چند آمپر است؟

الف) ۲۵ ب) ۱۰ ج) ۱

۳- ولتاژ خروجی مدار شکل زیر رارسم کنید.

(زندر حال هدایت است).



۴- کدام دیود برای یکسو سازی ولتاژ متناوب در فرکانس های خیلی زیاد به کار می رود؟

الف) یکسو کننده معمولی

ب) اتصال نقطه ای

ج) خازنی

د) زنر

۵- دیود ..... یک اتصال PN است که در حالت معکوس به کار می رود.

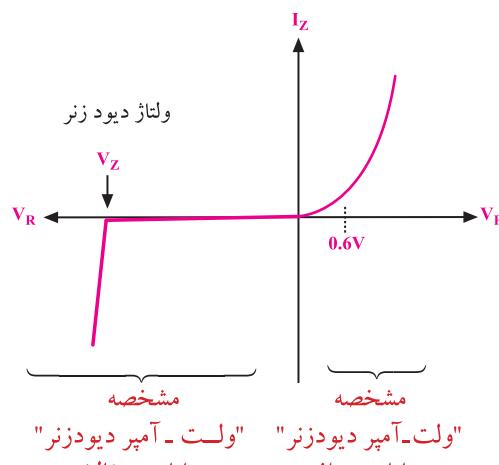
۶- شکل زیر، علامت قراردادی کدام دیود است؟



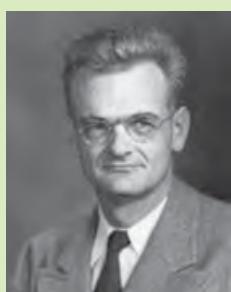
## ۱۲-۱ دیود زنر

دیود زنر در بایاس موافق مانند یک دیود معمولی یکسوکننده عمل می کند، بنابراین منحنی مشخصه‌ی «ولت-آمپر» دیود زنر در بایاس موافق مانند یک دیود معمولی است.

در بایاس مخالف، دیود زنر در ولتاژ معینی هادی می شود که آن را **ولتاژ زنر** می نامند. پس از هادی شدن دیود زنر، ولتاژ دو سر آن ثابت باقی می ماند. بنابراین منحنی مشخصه ولت-آمپر دیود زنر مانند شکل ۱۲-۴ است.



شکل ۱۲-۴- منحنی مشخصه‌ی ((ولت-آمپر)) دیود زنر



۱۲-۵

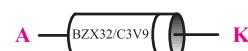
**دکتر کلارنس ملوین زنر:**  
دکترای فیزیک، استاد دانشگاه.  
متولد ۱۹۰۵، مخترع خاصیت  
زنر و شکست دیود زنراست.  
اودر سن ۸۷ سالگی در سال  
۱۹۹۳ دیده از جهان فروبست.

دیود زنر یک اتصال PN است که در بایاس موافق مانند یک دیود معمولی یکسوکننده عمل می کند. در بایاس مخالف تحت ولتاژ خاصی که آن را ولتاژ زنر می نامند دیود ناگهان هادی می شود و جریان را از خود عبور می دهد. در این حالت ولتاژ دو سر آن تقریباً ثابت می ماند. در شکل ۱۲-۱ ساختمان داخلی دیود زنر را مشاهده می کنید.



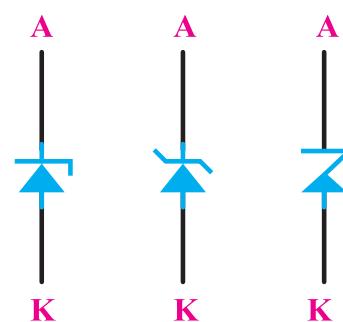
شکل ۱۲-۱ ساختمان داخلی دیود زنر

در شکل ۱۲-۲ یک نمونه دیود زنر را مشاهده می کنید.



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 نیمه‌هادی‌های نوع P و N می توان ولتاژ هادی شدن دیود زنر را در بایاس معکوس تعیین کرد. جنس نیمه‌هادی به کار برده شده در دیود زنر سیلیکون است. دیود زنر را با علامت قراردادی شکل ۱۲-۳ نشان می دهد.



شکل ۱۲-۳ علامت‌های قراردادی دیود زنر

## ۱۲-۱ ولتاژ و توان دیود زنر

$$P_Z = 5 \text{ W}$$

$$V_Z = 6 / 2 \text{ V}$$

$$I_Z = \frac{P_Z}{V_Z} = \frac{5 \text{ W}}{6 / 2} = 0.806 \text{ A} \Rightarrow 806 \text{ mA}$$

ماکزیمم جریان مجاز دیود زنر برابر  $806 \text{ mA}$  می‌باشد.

## ۱۲-۲ تنظیم کننده ولتاژ با استفاده از دیود زنر

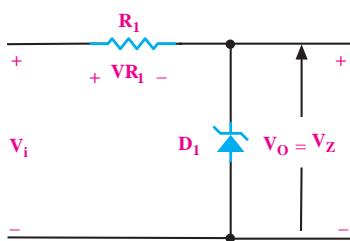
وقتی دیود زنر در بایاس معکوس به کار می‌رود و ولتاژ

بایاس معکوس آن از ولتاژ زنر بیشتر می‌شود، دیود زنر

هدایت می‌کند و ولتاژ دو سر آن تقریباً ثابت باقی می‌ماند.

از این خاصیت دیود زنر برای تنظیم ولتاژ و ثابت نگه داشتن

ولتاژ استفاده می‌شود. شکل ۱۲-۶ یک نمونه تنظیم کننده ولتاژ ساده را به کمک دیود زنر نشان می‌دهد.



شکل ۱۲-۶- یک تنظیم کننده ولتاژ ساده

در مدار شکل ۱۲-۶، رابطه زیر همواره برقرار است.

$$V_i = V_R + V_Z$$

در رابطه بالا مقدار  $V_z$  تقریباً ثابت است. حال اگر

$V_i$  افزایش یابد  $V_R$  نیز زیاد می‌شود و اگر  $V_i$  کم شود

نیز کم می‌شود. بنابراین تغییرات ولتاژ ورودی به  $V_R$  منتقل

می‌شود، شکل ۱۲-۷.

$$V_i^{\uparrow} = V_R^{\uparrow} + V_Z$$

$$V_i^{\downarrow} = V_R^{\downarrow} + V_Z$$

معمولًاً ولتاژ شکست دیودهای زنر را با استاندارد E24 می‌سازند. همچنین هر دیود زنر دارای توان معینی است. در

جدول ۱۲-۱ رایج‌ترین توان‌های دیود زنر ( $0.5 \text{ W}$ ،  $1/3 \text{ W}$ ،  $1/5 \text{ W}$ )، با توجه به ولتاژهای متناسب با این توان‌ها مشخص شده‌اند. یادآور می‌شود دیودهایی با توان  $1 \text{ W}$  و  $2 \text{ W}$  و  $10 \text{ W}$  نیز ساخته می‌شوند.

جدول ۱۲-۱

توان زنر								
ولتاژ	۰.۵W			۱/۳W			۱/۵W	
	۵/۱V	۱۰V	۴/۷V	۱۱V	۷V	۶۲V	۲/۷V	۶/۲V
۵/۶V	۲۰V	۵/۱V	۱۲V	۳V	۶۸V	۲/۰V	۶/۸V	۱۶V
۶/۲V		۵/۶V	۱۳V	۳۳V	۷۵V	۲/۴V	۷/۵V	۱۸V
۶/۸V		۶/۲V	۱۵V	۳۶V	۱۰۰V	۳/۶V	۸/۲V	۲۰V
۱۰V		۳/۹V	۱۶V	۳۹V	۲۰۰V	۳/۹V	۴/۱V	۴۴V
۱۱V		۴/۳V	۱۸V	۴۳V		۴/۳V	۱۰V	۴۷V
۱۲V		۴/۷V	۲۰V	۴۷V		۴/۷V	۱۱V	۴۰V
۱۵V		۵/۱V	۲۲V	۵۱V		۵/۱V	۱۲V	
۲۰V		۵/۶V	۲۴V	۵۶V		۵/۶V	۱۳V	

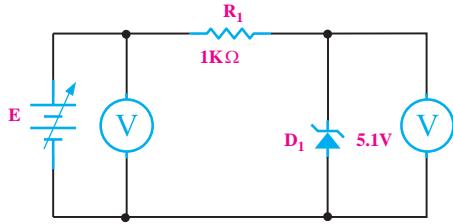
در مدارهای الکترونیکی دیودهای زنر  $0.5 \text{ W}$  وات بیشترین کاربرد را دارند. امروزه دیودهای زنر با توان‌های زیاد مثلاً بالای یک وات، کاربرد کمتری دارند. به جای دیودهای زنر توان بالا، قطعات ترکیبی الکترونیکی دیگری ساخته شده‌اند که عملکرد بسیار بهتری از دیودهای زنر دارند. در یک دیود زنر رابطه زیر همیشه برقرار است.

$$P_Z = V_Z \cdot I_Z \quad \text{و} \quad I_Z = \frac{P_Z}{V_Z}$$

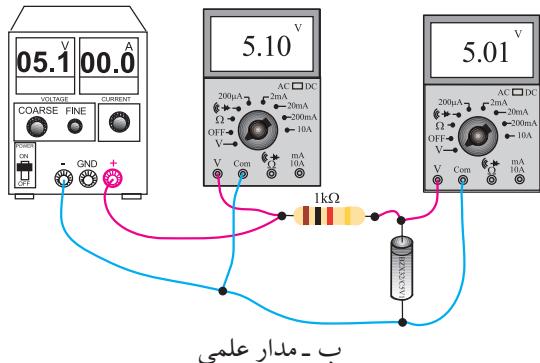
بنابراین با توجه به این توان دیود زنر و ولتاژ زنر، ماکزیمم جریان مجاز دیود زنر قابل محاسبه است. در مدار الکترونیکی باید به این مسئله توجه کرد.

### ۱۲-۳-۳ مراحل اجرای آزمایش:

- منع تغذیه را روشن کنید.
- ولتاژ خروجی را روی ۵ ولت تنظیم کنید
- مدار شکل ۱۲-۸ را بیندید.



الف - شماتیک مدار

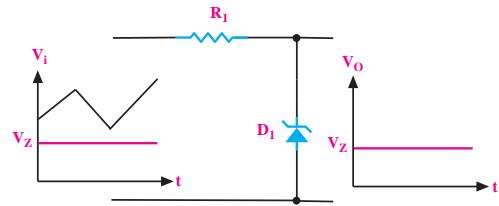


شکل ۱۲-۸ مدار آزمایش

- رنج ولت مترها را روی AUTO یا ۲۰ V قرار دهید.
- ولتاژ خروجی را (به ازای  $V_i = 5V$ ) بخوانید و در جدول ۱۲-۲ یادداشت کنید.

جدول ۱۲-۲

ولتاژ ورودی ( $V_i$ )(V)	ولتاژ خروجی ( $V_o$ )(V)
5	
6	
9	
11	
13	
15	



شکل ولتاژ ورودی

شکل ولتاژ خروجی

شکل ۱۲-۷-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 کننده ولتاژ را رگولاتور Regulator نیز می نامند.

### ۱۲-۳ آزمایش شماره ۱(۱) تنظیم کننده ولتاژ

مدت زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

#### ۱۲-۳-۱ هدف آزمایش:

بررسی و آزمایش مدار تنظیم کننده ولتاژ (رگولاتور) ساده

با استفاده از دیود زنر

#### ۱۲-۳-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۲	منبع تغذیه ۰-۱۵V/1A	یک دستگاه
۳	مقاومت ۱KΩ	یک عدد
۴	دیود زنر ۵V	یک عدد
۵	سیم رابط دو سر گیره سوسماری	چهار رشته
۶	سیم رابط یک سر گیره سوسماری	چهار رشته

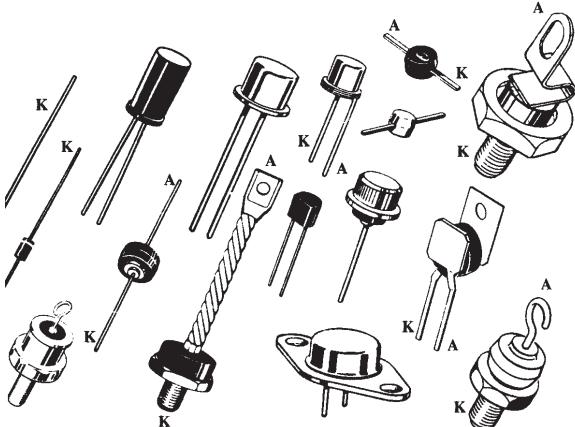
## ۱۲-۴ انواع دیودها

به کمک نیمه هادی های نوع  $N$  و  $P$  انواع دیود را با کاربردهای ویژه نیز می سازند. در ادامه بحث تعدادی از انواع این دیودها را به اختصار مورد بررسی قرار می دهیم.

تاکنون دیود معمولی و دیود زنر را بررسی کردیم.

### ۱-۱۲-۴ دیود یکسوساز معمولی: این دیود را در

مباحث قبلی مورد بررسی قرار دادیم و یادآورمی شود که دیودهای یکسوساز معمولی برای جریان های متوسط ( $I_F$ ) حدود  $50\text{ mA}$  تا چند صد آمپر ساخته می شوند و در محدوده فرکانس  $50$  یا  $60$  هرتز کار می کنند. برای یکسوسازی در فرکانس های بالا باید از دیودهای سریع استفاده کنیم. دیودهای سریع گران قیمت هستند و در بازار به سادگی یافت نمی شوند. در شکل ۱۲-۹ نمونه هایی از دیودهای یکسوسازی معمولی نشان داده شده اند.



شکل ۱۲-۹ نمونه هایی از دیودهای معمولی یکسوساز

### ۱۲-۴-۲ دیود اتصال نقطه ای

این دیود برای یکسوسازی ولتاژ متناوب در فرکانس های خیلی زیاد ساخته می شود، جنس این دیود ممکن است ژرمانیوم یا سیلیسیوم باشد. دیود اتصال نقطه ای برای آشکار سازی امواج دریافت شده در رادیو و تلویزیون به کار می رود.

### ■ ولتاژ ورودی را کمی افزایش دهید تا ولت متر ( $V_i$ )

مقدار  $6$  ولت را نشان دهد. در این حالت ولتاژ  $V$  را با استفاده از ولت متر اندازه بگیرید و در جدول ۱۲-۲ مقابله  $V_i = 6V$  یادداشت کنید.

### ■ ولتاژ ورودی را مطابق جدول ۱۲-۲ افزایش دهید

و ولتاژ های خروجی را در هر مرحله اندازه بگیرید و در جدول ۱۲-۲ بنویسید تا جدول تکمیل شود.

### ■ با بررسی جدول ۱۲-۲ در می یابیم که در برابر تغییرات

زیاد ولتاژ ورودی، ولتاژ خروجی تغییر محسوسی نکرده است، لذا می توان گفت که ولتاژ خروجی تقریباً ثابت باقی مانده است.

### نکته مهم

معمولأً به خروجی رگولاتوری که فقط از یک دیود زنر تشکیل شده باشد بار متغیر وصل نمی کنند. با توجه به مقدار مقاومت ثابت ( $R_1$ ) سری شده، دیود زنر را طوری محاسبه می کنند که شرایط زیر برقرار باشد.

■ ولتاژ ورودی بیشتر از ولتاژ دیود زنر شود تا دیود هدایت کند و ولتاژ خروجی را ثابت نگه دارد.

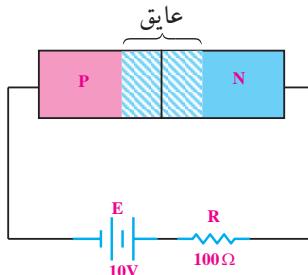
■ توان تلف شده در دیود زنر از مقدار توان مجاز بیشتر نشود.

■ از رگولاتورهای زنری معمولاً در جریان های مصرفی کمتر از  $100\text{ mA}$  استفاده می شود.

### ۱۲-۳-۴ نتایج آزمایش:

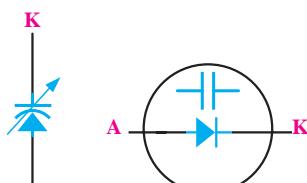
آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته اید به اختصار شرح دهید.





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 نیمه‌هادی و فلز تشکیل می‌شود و زمان تاخیر این نوع دیودها بسیار کم است. علامت قراردادی این دیود در شکل ۱۲-۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۲-۱۴ علامت قراردادی دیود شاتکی

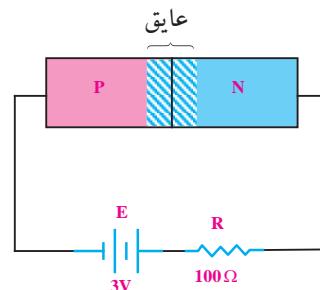
شکل ظاهری این دیود با سایر دیودها تفاوت چندانی ندارد ولی برخی از آنها دارای بدنه‌ی شیشه‌ای هستند. ماکریم جریان مجاز و توان دیود اتصال نقطه‌ای بسیار کم است. در شکل ۱۲-۱۰ یک نمونه دیود اتصال نقطه‌ای را مشاهده می‌کنید.



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.

#### ۱۲-۴-۵ 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 ۱۲-۱۵ یک نمونه LED نشان داده شده است.



شکل ۱۲-۱۷- نمونه هایی از انواع LED

دیود نور دهنده را با علامت قراردادی شکل ۱۲-۱۸ نشان



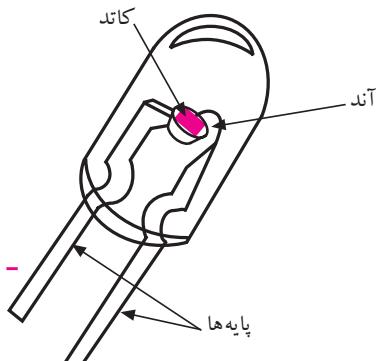
شکل ۱۲-۱۸ علامت قراردادی دیود نور دهنده

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 .۱۲-۱۹

.۱۲-۱۹

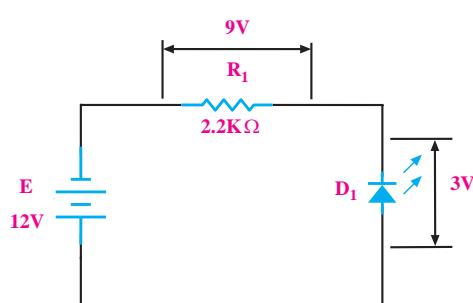
شکل ۱۲-۱۵ یک نمونه LED

ساختمان داخلی یک LED، از یک اتصال ویک انعکاس دهنده نور تشکیل شده است. در شکل ۱۲-۱۶ ساختمان داخلی یک LED را مشاهده می کنید.



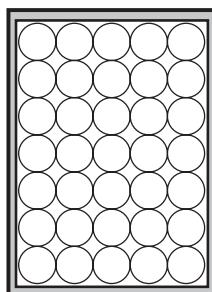
شکل ۱۲-۱۶ ساختمان داخلی یک LED

نور ساطع شده از LED ها به رنگ قرمز، زرد، سبز و آبی است. شکل فیزیکی قسمت نوردهنده این دیودها را به صورت نیم کروی، مربعی و مثلثی می سازند. از دیودهای LED به عنوان لامپ سیگنال در مدارها و دستگاههای الکترونیکی استفاده می شود. در شکل ۱۲-۱۷ نمونه هایی از انواع LED نشان داده شده اند.



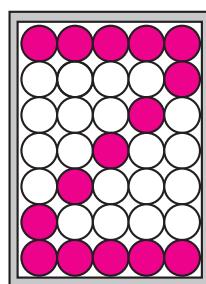
شکل ۱۲-۱۹ نمایش افت ولتاژ در دوسر LED

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.



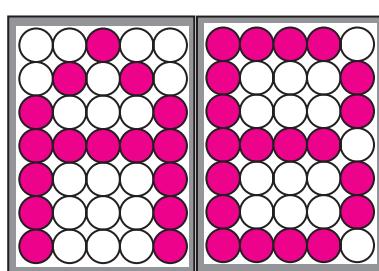
شکل ۱۲-۲۲

در شکل ۱۲-۲۳ چگونگی نمایش Z نشان داده شده است.



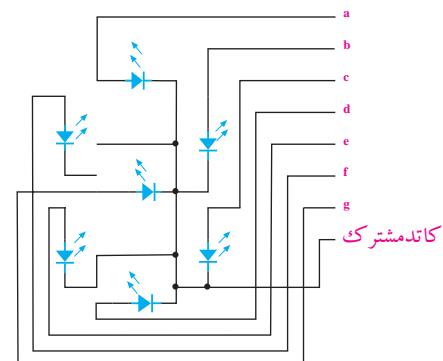
شکل ۱۲-۲۳ نمایش حرف Z

با قرار دادن چند عدد صفحه‌ی نمایش ماتریسی کنار یکدیگر می‌توان متنی را نشان داد. در شکل ۱۲-۲۴ حروف AB به کمک صفحه‌ی نمایش ماتریسی نشان داده شده اند.



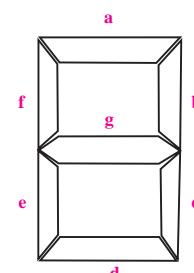
شکل ۱۲-۲۴ صفحه‌ی نمایش ماتریسی

یکی دیگر از موارد کاربرد دیود نور دهنده، نمایش اعداد از صفر تا نه است. برای این منظور یک قطعه الکترونیکی متتشکل از هفت عدد دیود نور دهنده را مطابق 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.



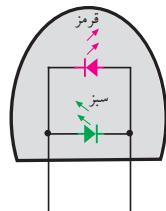
شکل ۱۲-۲۰ ساختمان داخلی سون-سگمنت (کاتد مشترک)

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, e, g, b, a و d روشن شوند عدد ۲ نمایش داده می‌شود. سون-سگمنت‌ها را به صورت آند مشترک و کاتد مشترک می‌سازند.

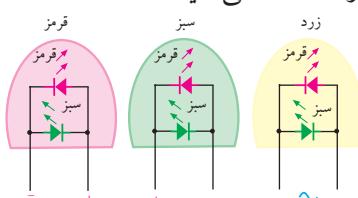


شکل ۱۲-۲۱ شکل ظاهری سون-سگمنت

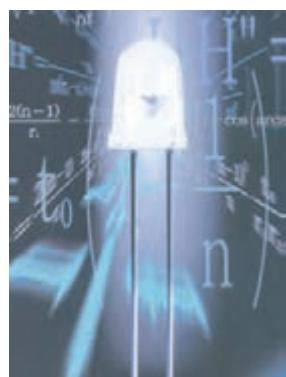
نوع دیگری از LED ها وجود دارند که دو پایه هستند و سه رنگ مختلف تولید می کنند. شکل ۱۲-۲۷ ساختمان داخلی این دیود را نشان می دهد.



شکل ۱۲-۲۷ ساختمان داخلی LED دوپایه‌ی سه رنگ در شکل ۱۲-۲۸ نحوه‌ی تولید نور به رنگ‌های قرمز، سبزونارنجی را مشاهده می کنید.

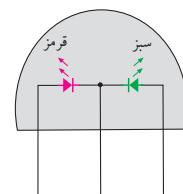


شکل ۱۲-۲۸ نحوه‌ی روشن شدن LED به رنگ‌های قرمز، سبز و زرد به تازگی دیوهای دیگری به نام ULtraBright ساخته شده‌اند که میزان نور دهی آن‌ها فوق العاده زیاد و دهانه برابر یک LED معمولی است. این دیوهای فعلاً به رنگ‌های آبی، سبز، قرمز و سفید در بازار یافت می‌شوند. در شکل ۱۲-۲۹ یک نمونه از این دیوهای فوق العاده زیاد است.

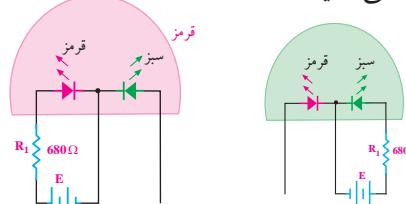


شکل ۱۲-۲۹ یک نمونه LED با نور فوق العاده زیاد

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 شده‌اند. این دیودها دارای سه پایه هستند که یکی از پایه‌ها مشترک بوده و دو پایه‌ی 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 می‌آید.



### تمرین کلاسی ۱: مداری رسم کنید که

توسط آن بتوانید نور نارنجی تولید کنید.

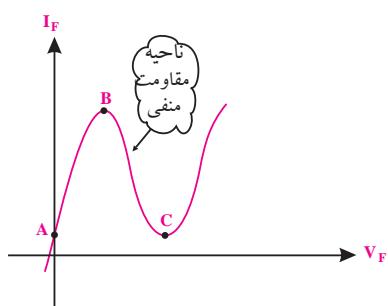
راهنمایی: از شکل ۱۲-۲۶ کمک بگیرید.



بنابراین با تغییر ولتاژ ورودی ( $V_i$ ) میزان نور LED تغییر می کند و جریان  $I_D$  را تغییر می دهد. با تغییر جریان  $I_D$  ولتاژ دو سر  $R_2$  تغییر می کند. به این ترتیب، بدون این که ارتباط مستقیمی با ولتاژ ورودی داشته باشیم، یک ولتاژ متغیر که دقیقاً از تغییرات ورودی تعیت 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 ولتاژ های آن ها با هم متفاوت است را برقرار کنیم. مثلاً با یک ولتاژ کم (۶ ولت) ولتاژ زیاد (۲۲۰ ولت) را کنترل کنیم.

#### ۱۲-۴-۷ 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 (Resistance negative) (Resistance negative) دارای خاصیت مقاومت منفی 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 ۱۲-۳۱ منحنی مشخصه دیود را نشان می دهد.



شکل ۱۲-۳۱ منحنی مشخصه دیود تونلی

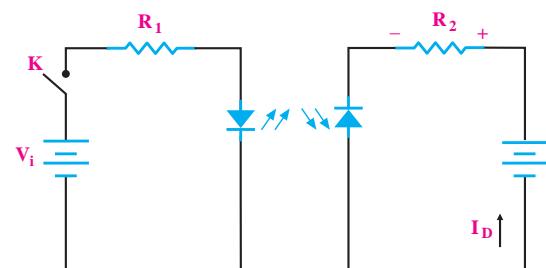
از این دیودها اگر جریان  $20\text{mA}$  بگذرد، نور بسیار زیادی از خود تولید می کنند. در جدول ۱۲-۳ افت ولتاژ دو سر دیودها به ازای عبور جریان  $20\text{mA}$  آورده شده است.

جدول ۱۲-۳

شرایط	$I_F = 20\text{mA}$	
رنگ نور منتشر شده	ولتاژ DC موافق	
	حداکثر نامی	حداکثر ولت
آبی	۳/۵	۴
سبز	۳/۵	۴
قرمز	۲	۲/۵

#### ۱۲-۴-۶ زوج نوری یا اپتوکوپلر (optocoupler)

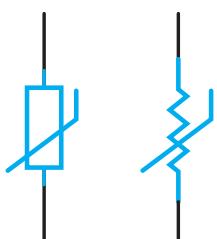
یک جفت دیود نورانی (LED) و دیود نوری است که در یک محفظه قرار می گیرند. در شکل ۱۲-۳۰ اساس کار زوج نوری نشان داده شده است.



در شکل ۱۲-۳۰، اساس کار زوج نوری نشان داده شده است.

در سمتی دیود نور دهنده و در مقابل آن دیود نوری (فتودیود) قرار دارد. باوصل کردن کلید  $K$ ، از دیود نور دهنده جریان عبور می کند و روشن می شود. نور دیود نور دهنده روی فتو دیود اثر می گذارد و جریان معکوس عبوری از آن، افت ولتاژی را در دو سر  $R_2$  ایجاد می کند.

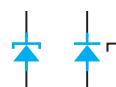
است ولی معمولاً انرژی زیادی ندارند. در عمل پالس‌های سوزنی شکل موجود در ورودی مدارها را توسط فیلترهای مخصوصی حذف می‌کنند. گاهی ممکن است انرژی این پالس‌ها زیاد باشد و از فیلترهای ورودی مدار عبور کند. در اثر وارد شدن این پالس‌ها به مدار، ممکن است به قطعاتی مانند ترانزیستور یا مدارهای مجتمع آسیب برسد. لذا در بعضی از دستگاه‌ها از قطعه‌ای بنام (حذف کننده‌ی اسپایک) Suppressor SPIKE یا (وریستور) استفاده می‌کنند. این قطعه شبیه دو دیود زنر پشت به پشت (Back to Back) با ولتاژ شکست بالا است. در شکل ۱۲-۳۴ نمادهای فنی و شکل ظاهری وریستور (VDR) نشان داده شده است.



شکل ۱۲-۳۴ شکل ظاهری و نمادهای مداری

در مدارهای با ولتاژ برق شهر (۲۲۰ V) معمولاً از وریستور ۴۰۰ ولتی استفاده می‌کنند. این قطعه در شرایط معمولی کار مدار، عملاً نقشی ندارد و مانند مدار باز عمل می‌کند. چنانچه ولتاژ ورودی از ۴۰۰ ولت بیشتر شود، وریستور به حالت فعال در می‌آید و با عبور جریان از خود دامنه‌ی ولتاژ را در مقدار ۴۰۰ ولت محدود می‌کند. وریستور معمولاً در ورودی دستگاه، بعداز فیوز به صورت موازی در مدار قرار می‌گیرد. وریستورها معمولاً قابلیت تحمل جریان‌های لحظه‌ای تا چند صد آمپر را دارند.

نماد فنی دیود تونلی را در شکل ۱۲-۳۲ مشاهده می‌کنید.



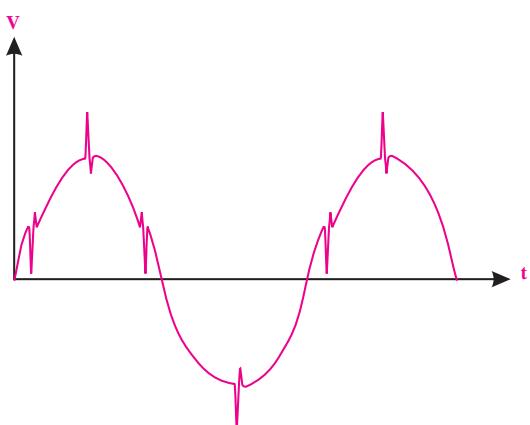
شکل ۱۲-۳۲ نمادهای فنی دیود تونلی

از خاصیت مقاومت منفی دیود تونلی در مدار نوسان ساز فرکانس بالا استفاده می‌شود. نوسان‌ساز مداری است که انرژی DC را به سیگنال AC تبدیل می‌کند.

#### ۱۲-۴-۸ وریستور (Varistor)

برخی از عوامل طبیعی مانند رعد و برق یا پدید آمدن معاویی در شبکه‌ی برق، سبب تداخل امواجی روی برق شهر می‌شود. این تداخل از طریق پالس‌های سوزنی شکل که روی سیگنال سوار می‌شوند رخ می‌دهد. شکل ۱۲-۳۳ نمونه‌هایی از پالس‌های سوزنی (DIP SPIKE) و (VDR) را که روی موج برق شهر نشسته (سوار شده) است نشان می‌دهد.

وریستور را در فصل دوم معرفی کردیم. در این فصل به دلیل بیان دوباره‌ی آن در استاندارد به تشریح تفصیلی آن پرداخته‌ایم.



شکل ۱۲-۳۳ پالس‌های سوزنی روی برق شهر

پالس‌های بالا رونده را اسپایک و پالس‌های پایین رونده را دیپ می‌گویند. دامنه‌های این پالس‌ها ممکن است تا چند هزار ولت برسد. اگرچه دامنه‌ی این پالس‌ها زیاد

## ۱۲-۵ نام گذاری دیود ها

شماره‌ای که امروز نیز استفاده می‌شود به شرح زیر است.

**حروف اول:** جنس نیمه هادی به کار رفته در دیود را مشخص می‌کند. 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 می‌کند.

**A: دیود معمولی یکسوکننده**

**B: دیود واراکتور**

**Y: دیود یکسوکننده قدرت**

**Z: دیود زنر**

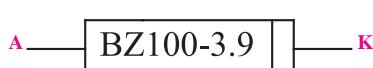
بعد از این دو حرف، سه شماره می‌آید که با مراجعه به جدول می‌توان سایر مشخصات الکتریکی دیود را از روی کاتالوگ کارخانه‌ی سازنده به دست آورد. شکل‌های ۱۲-۳۷ و ۱۲-۳۸.



شکل ۱۲-۳۷ نام گذاری دیودها، به روش جدید



شکل ۱۲-۳۸ دیود واراکتور از جنس ژرمانیوم



شکل ۱۲-۳۹ دیود زنر از جنس سیلیسیوم ۳/۹ ولتی

برای نام گذاری دیودها سه روش مهم وجود دارد. ممکن است بعضی از کارخانه‌ها 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

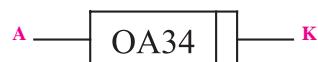
**الف- روش ژاپنی:** در این روش از پیش وند ۱S تعدادی شماره که به دنبال آن می‌آید استفاده می‌شود، شکل ۱۲-۳۵. در این شیوه نام گذاری نوع دیود، جنس دیود و سایر مشخصات آن را نمی‌توان از شماره‌ی دیود به دست آورد. برای این منظور با مراجعه به کاتالوگ‌های مربوطه امکان دسترسی به مشخصات دیود وجود دارد.



شکل ۱۲-۳۵ نام گذاری دیود، به روش ژاپنی

**ب- روش اروپایی:** در روش اروپایی، ابتدا تمامی دیود‌ها را با پیشوند OA و تعدادی شماره مشخص می‌کردند

مانند OA۳۴ شکل ۱۲-۳۶



شکل ۱۲-۳۶ نام گذاری دیودها به روش اروپایی

بعداً روش نام گذاری در اروپا تغییر کرد. به این ترتیب که دیود‌هایی را که بیشتر در مدارهای رادیو تلویزیون به کار می‌روند با دو حرف و سه شماره دیودهای خاص را باشد حرف و دو شماره نام گذاری کردند. سیستم دو حرفی و سه

**نکته‌ی مهم**

هنگام آزمون جدول مربوط به اطلاعات حروف اختصاری دیود را در اختیار فراگیر قرار دهید.

## ۱۲-۶ نحوه استخراج مشخصات دیودها از

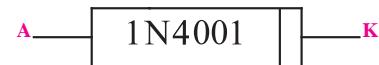
### کتابهای مرجع:

کتابهای مختلفی در زمینه ارائه مشخصات دیودها چاپ شده است. این کتابها در بازار به فراوانی یافت می‌شوند. با توجه به شماره دیود و مراجعه به کتاب می‌توانید اطلاعات مربوط به دیود را به دست آورید. در جدول ۱۲-۵ یک نمونه از این جدول مشخصات دیودها آمده است.

در این مرحله هنر جو باید بتواند با داشتن شماره دیود، با استفاده از کتاب اطلاعات مشخصه‌های دیود (Data book)، تعدادی دیود در اختیار بگیرد و مشخصات مربوط به جنس دیود، ماکریم و لتاژ معکوس مجاز، و لتاژ معکوس شکست، حداکثر جریان مستقیم و ..... را استخراج کند.

**ج-روش امریکایی:** در این روش از پیش وند N استفاده

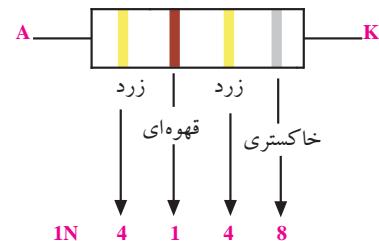
می‌شود و به دنبال آن معمولاً یک شماره چهار رقمی می‌آید. با مراجعه به جدول مشخصات دیودها می‌توان از روی شماره چهار رقمی به نوع دیود و مشخصات آن پی برد، شکل ۱۲-۴۰.



شکل ۱۲-۴۰ نحوه نام‌گذاری دیودها به روش امریکایی

در بعضی از دیودها، به جای شماره چهار رقمی، از چهار نوار رنگی استفاده می‌شود. در این صورت دیگر پیشوند N را روی دیودها نمی‌نویسند. ارقام مربوط به نوارهای رنگی به شرح جدول ۱۲-۴ و مشابه کد رنگی مقاومت‌ها است.

شماره	رنگ	شماره	رنگ
۶	آبی	۰	مشکی
۷	بنفش	۱	فهوه ای
۸	خاکستری	۲	قرمز
۹	سفید	۳	نارنجی
		۴	زرد
		۵	سبز



شکل ۱۲-۴۱- نحوه شماره گذاری دیود ها با استفاده از نوارهای رنگی

جدول ۱۲-۵

TYPE	Manufacturer	Germanium Silicon										USE	CASE			
		V <sub>R</sub>	I <sub>F</sub>	I <sub>FRM</sub>	T <sub>j</sub>	R <sub>thj-a</sub>	I <sub>F</sub> at	V <sub>F</sub> at	C <sub>D</sub>	V <sub>R</sub> at	t <sub>tr</sub> from to	I <sub>F</sub> at	V <sub>R</sub> at	R <sub>L</sub> at		
شماره دیود																شکل ظاهری و ابعاد دیود که در ذیل همین صفحات با توجه به شماره ای که قید شده است. رسم شده اند.
نام کارخانه سازنده																کاربرد مراجعه به جدول ۱۲-۶
جنس دیود	S															مقاومت بار
سیلیکون																ولتاژ معکوس
G																جریان عبوری از مدار به ازای
ماکریم و لوتاژ معکوس مجاز																زمان بازیابی دیود
مقدار متوسط جریان مجاز																این مقدار لوتاژ معکوس
مقدار ماکریم جریان مجاز تکراری																ظرفیت خازن محل اتصال PN به ازای
ماکریم درجه حرارت قابل تحمل محل پیوند PN به محیط																
مقاومت حرارتی دیود از محل پیوند PN به محیط																
به ازای عبور این جریان از دیود																
افت و لوتاژ دو سر دیود به وجود می آید																

جدول ۱۲-۶

کاربرد ستون use در جدول ۱۲-۵	شرح
1	آشکار کنندهٔ نسبی (FM)
2	کاربرد در مدارات لاجیک
3	آشکار کنندهٔ ویدئو
4	ثبت کننده
5	کاربرد در سوئیچ (کلید)
6	کاربرد در سیگنال‌های ضعیف
7	کاربرد در سوئیچ با سرعت زیاد
8	یک سو کنندهٔ معمولی
9	ولتاژ زیاد
10	کاربرد در تلویزیون
11	کاربرد در فرکانس‌های زیاد

## استفاده از برگهی داده‌ها (اطلاعات)

می‌توان به دیود اعمال کرد.

ب)  $V_{RWM}$  ولتاژ معکوس قابل تحمل در شرایط کار عادی

ج)  $V_R$  حداکثر ولتاژ 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  $V_R$  برابر ۵۰ ولت است.

### ۱۲-۶-۴ 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 ۲۵°C است، جریان  $I_R$  در حالت

معمول برابر  $1\mu A$  و حداکثر  $10\mu A$  است. اگر دمای محل

پیوند  $T_z$  به ۱۰۰ درجه سانتی گراد برسد در این شرایط جریان

معکوس به  $50\mu A$  می‌رسد.

برای دست یابی به اطلاعات فوق باید به کتاب  
اطلاعات Data book مراجعه کنید. به خاطر سپردن  
اعداد هیچ ضرورتی ندارد.

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.

### ۱۲-۶-۵ حداکثر جریان مستقیم

یکی از مشخصه‌های مجاز دیود، متوسط جریان قابل

تحمل دیود است که در برگهی اطلاعات به صورت زیر

Average Rectified Forward current.

این جریان را با  $I_0$  نشان می‌دهند. مثلاً دیود ۱N۴۰۰۱

متوسط جریانی که می‌تواند تحمل کند ۱A است. جریان

عبوری از این قطعه باید 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 درنظر گرفتن ضریب اطمینان مناسب، احتمال خرابی

قطعات کاهش می‌یابد.

### ۱۲-۶-۶ 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

۲۵°C عبور کند، در دوسر آن ولتاژی برابر با  $0.9$  تا  $1.1$  ولت

افت می‌کند.

### ۱۲-۶-۷ ولتاژ معکوس شکست

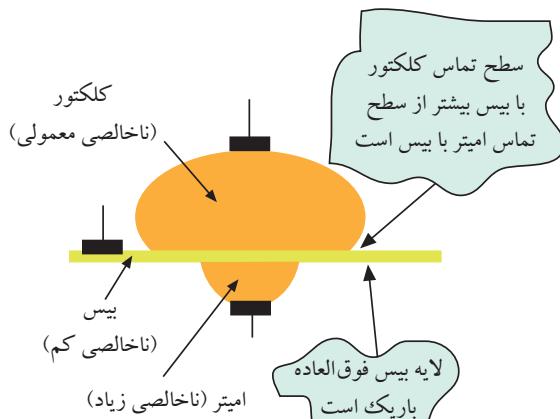
#### (Reverse Breakdown Voltage)

سه پارامتر برای ولتاژ معکوس شکست در کتاب اطلاعات

نوشته می‌شود.

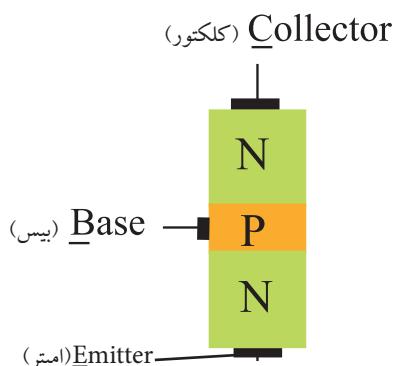
الف)  $V_{RRM}$  ولتاژ معکوسی است به صورت متناوب

## ۱۲-۷ ساختمان و طرز کار ترانزیستور معمولی (BJT)



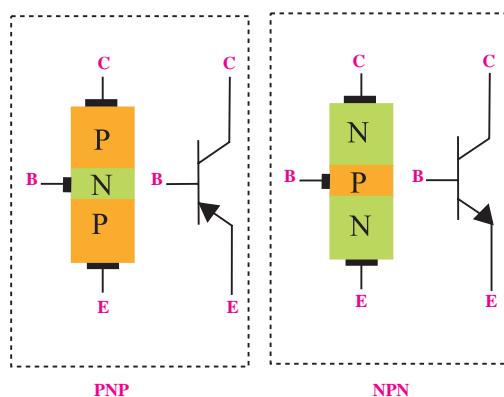
شکل ۱۲-۴۳- مقایسه ابعاد تقریبی یک ترانزیستور معمولی

پایه‌ی کلکتور را با حرف C، پایه‌ی پیس را با حرف B و پایه‌ی امیتر را با حرف E نشان می‌دهند، شکل ۱۲-۴۴.



شکل ۱۲-۴۴- نام پایه‌های ترانزیستور

در شکل ۱۲-۴۵، علامت‌های قرار دادی ترانزیستور NPN و PNP نشان داده شده است.



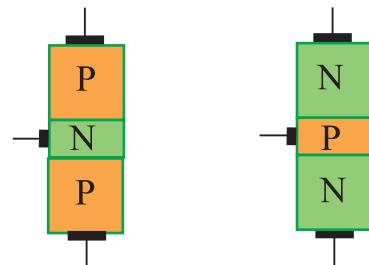
شکل ۱۲-۴۵- علامت قرار دادی ترانزیستورهای NPN و PNP

یک ترانزیستور معمولی، از سه قطعه نیمه هادی نوع P و N تشکیل شده است. نحوه قرار گرفتن نیمه هادی های نوع P و N در گذایگر 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 ۱۲-۴۲ ساختمان داخلی هر دو نوع ترانزیستور نشان داده شده است.



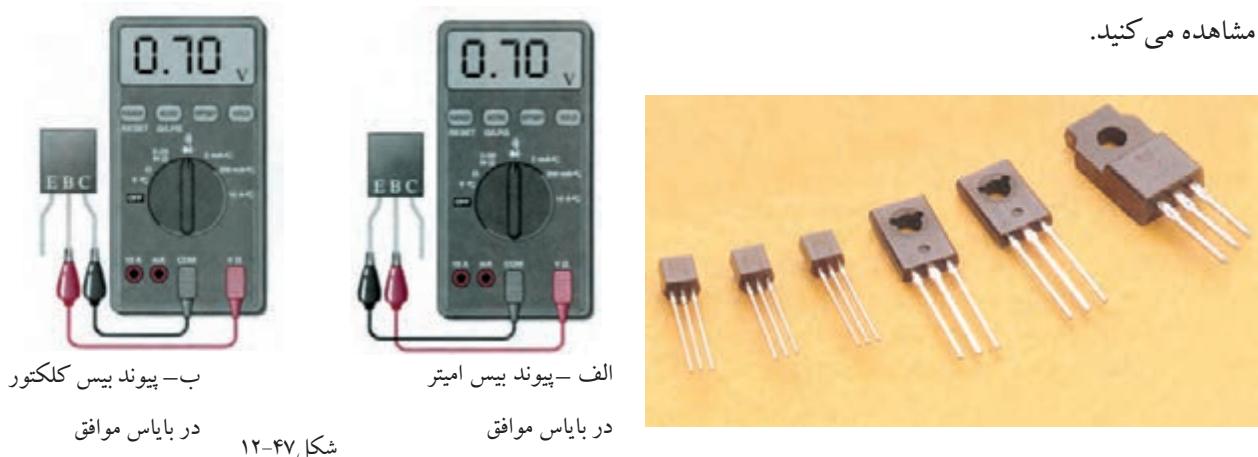
شکل ۱۲-۴۲- نحوه قرار گرفتن نیمه هادی های نوع N و P در ترانزیستور

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، پیس و کلکتور می‌نامند. از نظر ناخالصی، لایه امیتر بیشترین ناخالصی و لایه پیس کمترین ناخالصی را دارد. از نظر ابعاد فیزیکی کلکتور دارای بیشترین ابعاد و لایه پیس کمترین ابعاد را دارد. در شکل ۱۲-۴۳ ابعاد تقریبی یک ترانزیستور معمولی نشان داده شده است.

پایه‌ی دیگر در بایاس موافق قرار دارد، نشان می‌دهد.

در شکل ۱۲-۴۶، نمونه‌هایی از انواع ترانزیستورها را

مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۲-۴۷ در بایاس موافق

ب- پیوند بیس کلکتور

الف- پیوند بیس امیتر

در بایاس موافق

ب- پیوند بیس کلکتور

الف- پیوند بیس امیتر

در بایاس موافق

با استفاده از این آزمایش نوع ترانزیستور را نیز می‌توانید مشخص کنید. در صورتی که در حالت ولتاژ موافق برای دیودهای بیس امیتر و بیس کلکتور، ترمینال مثبت مولتی متر به بیس متصل باشد (شکل ۱۲-۴۷)، ترانزیستور از نوع NPN و اگر ترمینال منفی مولتی متر به پایه‌ی بیس متصل باشد، ترانزیستور از نوع PNP است.

#### ۱۲-۸-۲ تعیین پایه‌های کلکتور و امیتر :

می‌دانیم سطح تماس کلکتور به بیس از سطح تماس امیتر به بیس بیشتر است. بنابراین محل پیوند کلکتور به بیس در ولتاژ موافق در مقایسه با پیوند امیتر بیس مقاومت کمتری دارد. در حالت بایاس موافق، ولتاژ بیس کلکتور را کمی کمتر از ولتاژ بیس امیتر نشان می‌دهد. تفاوت ولتاژها بسیار کم و در حدود هزارم ولت است. شکل ۱۲-۴۸ الف و ب ولتاژ موافق کلکتور بیس را کمتر از ولتاژ موافق امیتر بیس نشان می‌دهد.

شکل ۱۲-۴۶- نمونه‌هایی از انواع ترانزیستور

#### ۱۲-۸ 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 - امیتر 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 امیتر یا دیود بیس کلکتور در بایاس مخالف قرار گیرد، ولتاژ بایاس مخالف دو سر دیود (حدود ۱/۵ تا ۳/۵ ولت) روی صفحه‌ی نمایش مولتی متر نشان داده خواهد شد.

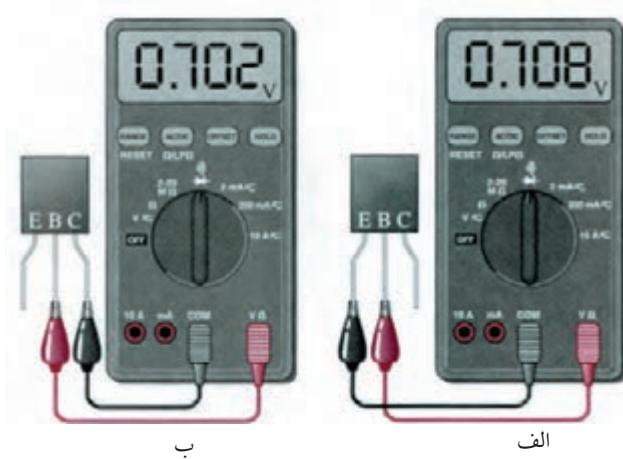
#### ۱۲-۸-۱ تعیین پایه‌ی بیس ترانزیستور

مولتی متر دیجیتالی را روی حالت آزمایش دیود قرار می‌دهیم. با تصال پرrobe 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 ۱۲-۴۷ الف، ب پایه‌ی بیس را که نسبت به دو

اگر ترانزیستور معیوب اتصال کوتاه شده باشد ، در تست دیود بیس امیتر یا بیس کلکتور، مولتی متر ولتاژ صفر ولت را مطابق شکل ۱۲-۵۰ نشان می دهد.



شکل ۱۲-۵۰ ترانزیستور معیوب (اتصال کوتاه)



شکل ۱۲-۴۸

به این ترتیب پایه‌ای که دارای ولتاژ موافق کمتری است کلکتور و پایه‌ای که ولتاژ موافق بیشتری دارد، امیتر است.

### ۱۲-۸-۳ 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 می دهند. برخی دیگر افت ولتاژ دوسر دیود را که توسط مولتی متر به دو سر آن داده می شود، نشان می دهند، این ولتاژ معمولاً از ۱/۵ تا ۳ ولت است.

شکل ۱۲-۴۹ ترانزیستور معیوب (قطع) را نشان می دهد.



شکل ۱۲-۴۹ ترانزیستور معیوب (قطع)

## ۱۲-۹ آزمایش شماره (۲):

تشخیص پایه‌های ترانزیستور

دهید.

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

### ۱۲-۹-۱ هدف آزمایش:

تشخیص نوع NPN یا PNP ترانزیستور و مشخص کردن

پایه‌ها با استفاده از مولتی متر دیجیتالی.

### ۱۲-۹-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۲	NPN ترانزیستور	یک عدد
۳	PNP ترانزیستور	یک عدد
۴	سیم رابط یک سر گیره سوسماری	چهار رشته

### ۱۲-۹-۳ مراحل اجرای آزمایش:

یک عدد ترانزیستور NPN و یک عدد ترانزیستور

PNP را انتخاب کنید.

شكل ظاهری این دو ترانزیستور را در جدول ۱۲-۶

رسم کنید.

پایه‌های این دو ترانزیستور را به دلخواه شماره گذاری کنید.

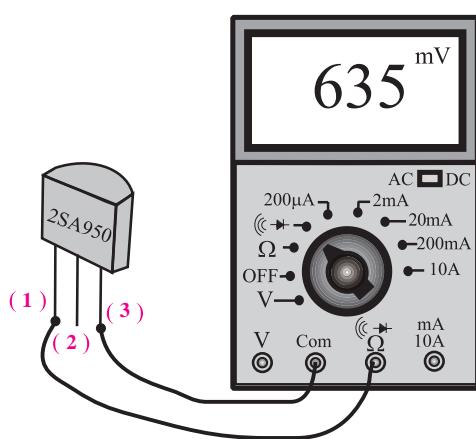
جدول ۱۲-۶

ردیف	شماره ترانزیستور	شكل ظاهری
۱	BC140	
۲		
۳		

کلید سلکتور مولتی متر دیجیتالی را روی حالت

قرار دهید.

### ۱۲-۵۱ آزمایش هنگام اندازه‌گیری V<sub>BE</sub> به مولتی متر اتصال



شکل ۱۲-۵۱ مدار آزمایش هنگام اندازه‌گیری  $V_{BE}$

- مراقب باشد هنگام اندازه‌گیری 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 ۱۲-۷ یادداشت کنید.
- مقادیر ولتاژ‌هارا تا ۳ رقم اعشار بنویسید.

جدول ۱۲-۷

شماره ترانزیستور	
$V_{12} =$	ولت
$V_{13} =$	ولت
$V_{23} =$	ولت
$V_{31} =$	ولت
$V_{21} =$	ولت

جدول ۱۲-۸ یادداشت کنید.

■ مقادیر ولتاژ را تا سه رقم اعشار بنویسید.

جدول ۱۲-۸

شماره ترانزیستور	
$V_{12} =$	ولت
$V_{13} =$	ولت
$V_{23} =$	ولت
$V_{21} =$	ولت
$V_{22} =$	ولت

سؤال ۲: با توجه به مقادیر بدست آمده برای ولتاژ بین

پایه ها، نوع ترانزیستور و پایه های آن را مشخص کنید. جدول

۱۲-۸

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 (V<sub>out</sub>) و پایه ۲ را باید به مشترک یا ترمینال Com وصل کنید. منظور از ولتاژ  $V_{21}$  این است که پایه ۲ به ترمینال خروجی (V<sub>out</sub>) 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

۱۲-۸

(۱) :

(۲) :

(۳) :

نوع ترانزیستور

(۱) :

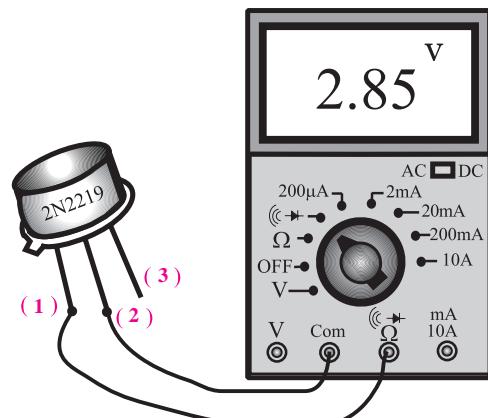
(۲) :

(۳) :

■ ترانزیستور را طبق شکل ۱۲-۵۲ به مولتی متر دیجیتالی

اتصال دهید.

■ 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.



شکل ۱۲-۵۲ اندازه گیری ولتاژ بین پایه ها

■ ولتاژ های خواسته شده را هنگام اتصال ترانزیستور به

مولتی متر از روی صفحه نمایش مولتی متر بخوانید و در

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 پایه‌ی سوم نیز با فرض سالم بدن ترانزیستور قطعاً بیس است.

### ۱۲-۱۰ آزمایش شماره (۳)

زمان اجرا: ۲ ساعت آموزشی

#### ۱۲-۱۰-۱ هدف آزمایش:

استخراج مشخصه‌های دیود با استفاده از کتاب اطلاعات  
مشخصه‌های دیود

#### ۱۲-۱۰-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	دیود ۱N4148	یک عدد
۲	دیود ۱N4001	یک عدد
۳	دیود ۱N4007	یک عدد
۴	دیودهای موجود در کارگاه	از هر یک ، یک عدد
۵	کتاب مشخصه‌های دیود	یک جلد

#### ۱۲-۱۰-۳ مراحل اجرای آزمایش:

■ یک دیود را در اختیار بگیرید.

■ با استفاده از کتاب اطلاعات (Data book)

مشخصه‌های دیودها را استخراج کنید و در جدول ۱۲-۹

یادداشت کنید.

#### ۱۲-۹ نتایج آزمایش:

آن چه در این آزمایش فرا گرفته اید به اختصار شرح دهید.



جدول ۱۲-۹

TYPE	Manufacturer	Germanium Silicon	V <sub>R</sub>	I <sub>F</sub>	I <sub>FRM</sub>	T <sub>j</sub>	R <sub>thj-a</sub>	I <sub>F</sub> at	V <sub>F</sub> at	C <sub>D</sub>	V <sub>R</sub> at	t <sub>rr</sub> from to	I <sub>F</sub> at	V <sub>R</sub> at	R <sub>L</sub>	USE	CASE
1N4148	Ph	S	75	150	450	200		10	1	2	0	4n	10	6	100	7	27

شماره دیود  
نام کارخانه سازنده  
جنس دیود  
S سیلیسیم  
G ژرمانیم  
ماکریم ولتاژ معکوس مجاز  
مقدار متوسط جریان مجاز  
مقدار ماکریم جریان مجاز تکراری  
ماکریم درجه حرارت قبل 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

ظرفیت خازن محل اتصال PN به ازای  
این مقدار ولتاژ معکوس  
زمان بازیابی دیود  
جریان عبوری از مدار به ازای  
ولتاژ معکوس  
مقاومت بار

شکل ظاهری وابعاد  
دیود که در ذیل  
همین صفحات با  
توجه به شماره ای  
که قید شده است،  
رسم شده اند.

کاربرد مراجعه به  
جدول ۱۲-۶

## آزمون پایانی فصل (۱۲)



د) وریستور  ج) خازنی

۶- به علت قابلیت هدایت الکتریکی زیاد فلز ، زمان تاخیر

در دیود ..... بسیار کم است.

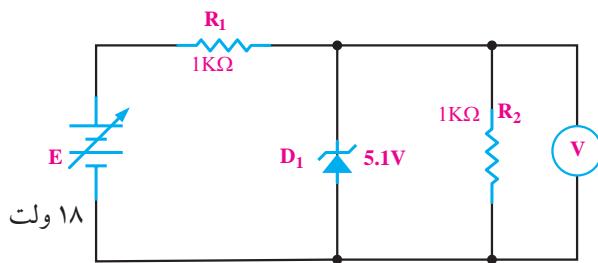
۷- دیود تونلی دارای خاصیت مقاومت منفی است.

غلط  صحیح

۸- ولتاژ  $V_{RRM}$ ، ولتاژ معکوسی است که به صورت متناوب می‌توان به دیود اعمال کرد.

غلط  صحیح

۹- ولتاژ خروجی مدار شکل ۱۲-۵۴ چند ولت است ؟



شکل ۱۲-۵۴

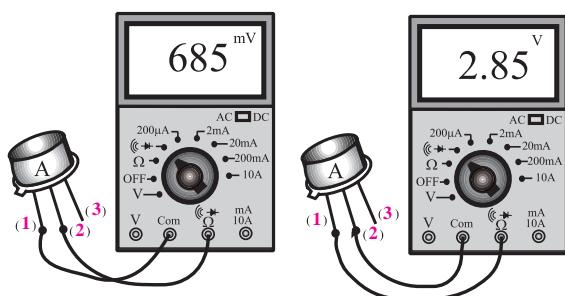
ب) ۱۳/۱  الف) ۸

د) ۵/۱  ج) ۳/۱

۱۰- در شکل ۱۲-۵۵ نوع ترانزیستور A کدام است ؟

الف) NPN  ب) PNP

ج - با این دو آزمایش نمی‌توان تشخیص داد.



شکل ۱۲-۵۵

۱- شرط هدایت یک دیود زنر کدام است ؟

الف) ولتاژ کاتد به اندازه  $V_z$  از آند بیشتر باشد.

ب) ولتاژ آند به اندازه  $V_z$  از کاتد بیشتر باشد.

ج) جریان در مدار حداکثر به اندازه  $10\text{ mA}$  باشد.

د) ولتاژ آند به اندازه  $0.6\text{ V}$  از کاتد بیشتر باشد.

۲- شکل ۱۲-۵۳ نماد کدام نوع دیود است ؟

الف) LED  ب) خازنی

ج) اتصال نقطه ای  د) زنر



شکل ۱۲-۵۳

۳- یک دیود زنر  $10\text{ V}$  ولتی با توان  $0.5\text{ W}$  وات حداکثر چند میلیآمپر را می‌تواند تحمل کند ؟

الف) ۵  ب) ۵۰  ج) ۱۰۰

۴- در مدارهای مختلف، دیود زنر در بایاس ..... و دیود

نور دهنده (LED) در بایاس ..... به کار می‌رود.

الف) مستقیم - معکوس

ب) معکوس - مستقیم

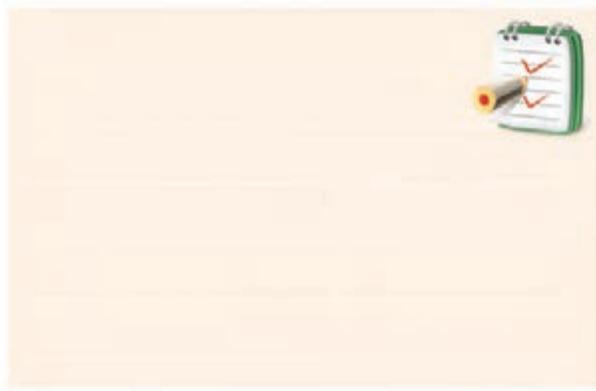
ج) معکوس - معکوس

د) مستقیم - مستقیم

۵- در دیود ..... با تغییر ولتاژ معکوس دو سر آن ، ظرفیت خازنی آن تغییر می‌کند.

الف) اتصال نقطه ای  ب) شاتکی

۱۱- منحنی مشخصه‌ی "ولت - آمپر" دیود زنر رارسم 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 آنجا 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 دستگاههای پزشکی بیمارستانی ۵۲/۳۲/۱/۲ - ۸ محتوای کمتری در مقایسه با دو استاندارد ذکر شده دارند، هنگام تدریس مباحث الکترونیک عمومی به توانایی‌های مندرج در استاندارد مورد تدریس توجه کنید و مباحث اضافی بیان شده در این دو جلد کتاب را حذف نمائید.

## فهرست منابع و مآخذ

۱- مدارهای الکتریکی		
۲- مقاومت سلف خازن در جریان متناوب	۴۸۷/۸	علی عراقی و فریدون علومی
۳- مقاومت سلف خازن در جریان مستقیم	۶۰۵/۵	فتح اله نظریان
۴- مبانی الکتریسیته	۶۰۵/۴	فتح اله نظریان
۵- الکترونیک کاربردی	۶۰۴/۷	شهرام خدادادی
۶- ابزار مقدماتی	۴۸۸/۳	شهرام نصیری سوادکوهی
۷- کارگاه الکترونیک عمومی	۶۰۵/۳	فتح اله نظریان
۸- الکترونیک عمومی (۱)	۴۸۸/۷	سید محمود صموتنی - شهرام نصیری سوادکوهی - یدالله رضازاده و غلامحسین نصری
۹- مبانی برق	۳۵۹/۴۲	سید محمود صموتنی - شهرام نصیری سوادکوهی - ابوالقاسم جاریانی - فتح اله نظریان و محمود همتایی
۱۰- اصول الکترونیک (۱)	۳۵۸/۱۸	فریدون قیطرانی و دیگران
۱۱- دیود و ترانزیستور	۶۰۵/۶	سعید خرازیزاده
۱۲- آزمایشگاه مبانی مخابرات و رادیو	۴۷۲/۱	مجتمع فنی تهران
		فتح اله نظریان
		یدالله رضازاده - سید محمود صموتنی - شهرام نصیری سوادکوهی و محمود شبانی

