

# فصل اول

## مفاهیم و کمیت‌های الکتریکی

هدف‌های رفتاری — با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

- تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی را توضیح دهد.
- شبکه‌های فشار قوی، فشار متوسط و فشار ضعیف را با هم مقایسه کند.
- نحوه توزیع برق به مناطق شهری و روستایی را از نظر سطح ولتاژ توضیح دهد.
- موارد استفاده از برق در کشاورزی را توضیح دهد.
- کمیت‌های الکتریکی (جریان، اختلاف پتانسیل، مقاومت، توان، راندمان، فرکانس و اختلاف فاز) را توضیح دهد.
- مدار الکتریکی را توضیح دهد.
- عناصر مدار الکتریکی و مشخصات آنها را توضیح دهد.
- قانون اهم را به کار بندد.
- اتصالات مقاومت‌ها را توضیح دهد.
- انواع مولتی‌متر و موارد کاربرد آن را بیان کند.
- روش استفاده از مولتی‌متر را توضیح دهد.
- جریان متناوب را تشریح کند.
- خازن را تعریف کند.
- مشخصات فنی خازن را توضیح دهد.
- سیم‌پیچ را توضیح دهد.
- مولتی‌متر را برای اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی به کار برد.

عملی	نظری	
۴	۶	ساعت

کاربرد انرژی الکتریکی در بخش کشاورزی رو به رشد است. از روشنایی اتاق‌ها، کارگاه‌ها، سالن‌های مرغداری و گاوداری تا راه‌اندازی الکتروپمپ‌های موجود در یک مزرعه، سیستم‌های آبیاری نوین، نقاله‌ها، فن‌های تهویه، شیردوش‌ها، آسیاب‌ها و میکسرها و تجهیزاتی مانند آن همگی مواردی هستند که در آنها انرژی الکتریکی به کار گرفته می‌شود. بنابراین یکی از نیازهای هنرجویان رشته کشاورزی، داشتن اطلاعات مربوط به برق می‌باشد. در این فصل درباره تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی توضیحاتی داده می‌شود و برخی مفاهیم پایه برق مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## تولید انرژی الکتریکی

به محلی که در آن انرژی الکتریکی تولید می‌شود نیروگاه برق گفته می‌شود. در نیروگاه برق برای تولید انرژی الکتریکی از طریق مولدهای الکتریکی، به یک انرژی مکانیکی نیاز است تا بتوان محور مولدها را به حرکت درآورد. انرژی مکانیکی می‌تواند نیروی آب، نیروی بخار آب، نیروی یک موتور احتراقی و غیر آنها باشد. تولید انرژی الکتریکی به روش‌های زیر امکان پذیر است:

### ◀ با استفاده از انرژی آب



یکی از ساده‌ترین روش‌های تولید انرژی الکتریکی استفاده از انرژی آب است. در این روش پس از احداث سد و انباشته کردن آب در پشت آن، از نیروی آب برای چرخاندن توربین و مولد برق استفاده می‌کنند. مولد برق پس از چرخش، انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند (شکل ۱-۱).

شکل ۱-۱- تولید انرژی الکتریکی با استفاده از انرژی آب

### ◀ با استفاده از انرژی سوخت‌های فسیلی

استفاده از سوخت‌های مختلف یکی از شیوه‌های تولید انرژی الکتریکی است. انرژی حرارتی حاصل شده از سوخت (گاز) در زیر دیگ‌های بخار باعث تبخیر آب می‌شود. بخار آب با فشار به پره‌های توربین برخورد می‌کند و توربین را به حرکت در می‌آورد. این حرکت به محور مولد منتقل می‌شود و مولد، انرژی الکتریکی تولید می‌کند (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- تولید انرژی الکتریکی با انرژی حاصل از سوخت

## ◀ با استفاده از انرژی هسته‌ای

نیروگاه‌های هسته‌ای نیز اساس کاری شبیه نیروگاه‌های حرارتی دارند تنها تفاوت این نیروگاه‌ها در سوخت آنها است. در نیروگاه هسته‌ای برای تهیه سوخت از اورانیوم استفاده می‌کنند. برای این منظور هستهٔ اتم اورانیوم را می‌شکافند. فرایند شکافت هسته‌ای در رآکتور هسته‌ای انجام می‌شود. انرژی گرمایی حاصل از شکافت هستهٔ اورانیوم بسیار زیاد است، لذا از آن برای تولید بخار آب استفاده می‌کنند (در اثر شکافت نیم کیلوگرم اورانیوم انرژی معادل بیش از  $150^{\circ}$  تن زغال سنگ به دست می‌آید). بخار آب تولید شده وارد توربین می‌شود و آن را به حرکت در می‌آورد در نتیجه مولد برق به کار می‌افتد و برق تولید می‌کند. ایران در زمینهٔ تکنولوژی هسته‌ای، چه از لحاظ تأمین انرژی الکتریکی و چه از نظر بهره‌برداری‌های صلح آمیز آن در زمینه‌های صنعت، کشاورزی، پزشکی و خدمات، به موفقیت‌های بسیار چشمگیری دست یافته است (شکل ۳-۱).



شکل ۳-۱- تولید انرژی الکتریکی با استفاده از انرژی هسته‌ای

## ◀ با استفاده از انرژی خورشیدی

در این روش انرژی تابشی خورشیدی بدون بهره‌گیری از دستگاه‌های متحرک، مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. دستگاهی که این عمل را انجام می‌دهد «سلول خورشیدی» یا «باتری خورشیدی» نام دارد. نمونه‌ای از باتری‌های خورشیدی را در ماشین حساب‌ها یا روشنایی چراغ‌های خیابان‌ها دیده‌اید. خورشید به‌عنوان منبع این انرژی، از بین نمی‌رود و به محیط زیست آسیب نمی‌رساند (شکل ۴-۱). ایران در منطقه‌ای قرار گرفته است که در ایام سال آفتاب زیادی دارد. اگر از این انرژی به روش علمی در بخش کشاورزی و روستایی به کار گرفته شود، می‌تواند بخش زیادی از نیاز برق کشور در بخش کشاورزی را تأمین کند.



شکل ۴-۱- تولید انرژی الکتریکی با از انرژی خورشید

## ■ انرژی باد



شکل ۵-۱- تولید انرژی الکتریکی با انرژی باد

در این روش انرژی باد برای چرخاندن پره‌های توربین به کار برده می‌شود. محور توربین به محور مولد برق متصل است و حرکت را به آن انتقال می‌دهد، با حرکت مولد، انرژی الکتریکی تولید می‌شود. به این نیروگاه، «نیروگاه بادی» می‌گویند. این نیروگاه، در محل‌هایی ساخته می‌شود که باد در آن نقاط، در بیشتر روزهای سال می‌وزد. نمونه‌ای از این نیروگاه در شهر منجیل از استان گیلان احداث شده است (شکل ۵-۱).

## پژوهش



در مورد تولید انرژی الکتریکی توسط انواع انرژی‌های نو، مانند انرژی خورشیدی و انرژی باد پژوهش کنید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید (در پایگاه اینترنتی سازمان انرژی‌های نو (سانا) به نشانی [www.suna.org](http://www.suna.org) می‌توانید راجع به انرژی‌های نو به اطلاعات بیشتری دسترسی پیدا کنید).

## انتقال انرژی الکتریکی

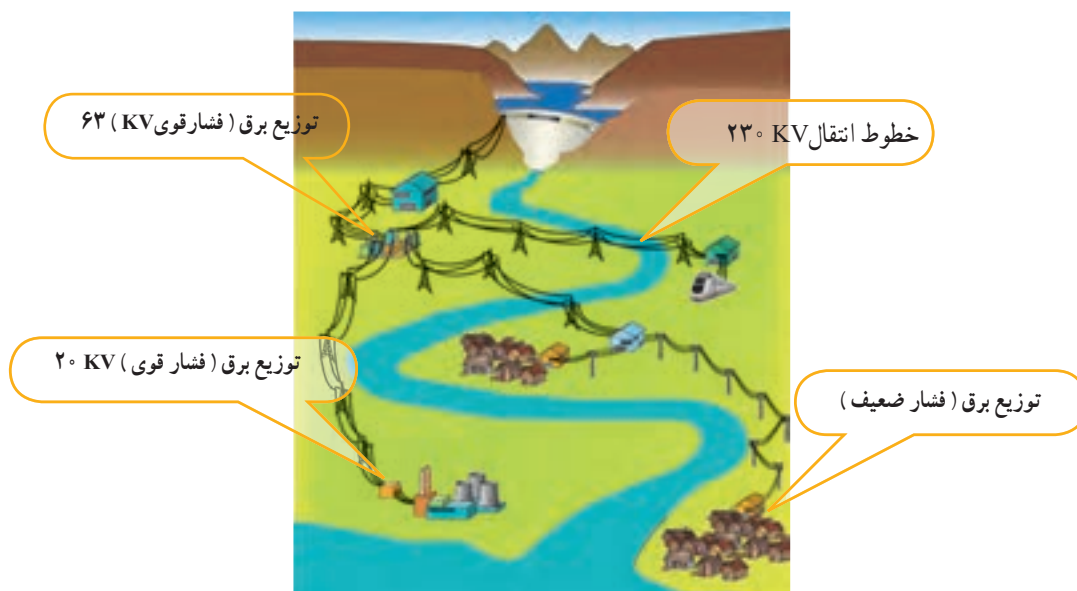
انرژی الکتریکی پس از تولید، با کمک سیم‌های هوایی و دکل‌ها (پایه‌های فلزی) از محل نیروگاه برق به سمت شهرها و روستاها انتقال می‌یابد. مقدار ولتاژ خطوط انتقال برق در ایران  $23^{\circ}$  و  $40^{\circ}$  کیلو ولت است (شکل ۶-۱). برای کاهش هزینه‌های انتقال، در ابتدای خطوط انتقال، ولتاژ برق افزایش داده می‌شود و پس از انتقال در مقصد، ولتاژ در چند مرحله کاهش می‌یابد.



شکل ۶-۱- انتقال انرژی الکتریکی با دکل‌ها

## توزیع انرژی الکتریکی

گفتیم که انرژی الکتریکی تولید شده در نیروگاه، توسط خطوط انتقال به مراکز مصرف می‌رسد. در مدخل مراکز مصرف، که عمدتاً شهرها و روستاها و مناطق مسکونی هستند، ابتدا ولتاژ خیلی زیاد انتقالی تا حدی (۱۳۲ و ۶۳ کیلو ولت) کاهش می‌یابد. با این حال هنوز ولتاژ زیاد است. این ولتاژ در مرحله‌ای دیگر به مقدار ۲۰ کیلو ولت کاهش می‌یابد و پس از آن در مزارع کشاورزی و محلات که مرحله آخر هستند به ولتاژهای ۴۰۰ ولت سه فاز و ۲۳۰ ولت یک فاز (قابل استفاده برای مصرف کننده‌ها) تبدیل و توزیع می‌شود. شکل ساده‌ای از تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی در شکل ۱-۷ نشان داده شده است. توزیع انرژی الکتریکی نیز توسط کابل‌های زمینی یا سیم‌های هوایی انجام می‌گیرد (شکل ۸-۱).



شکل ۱-۷ - تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی

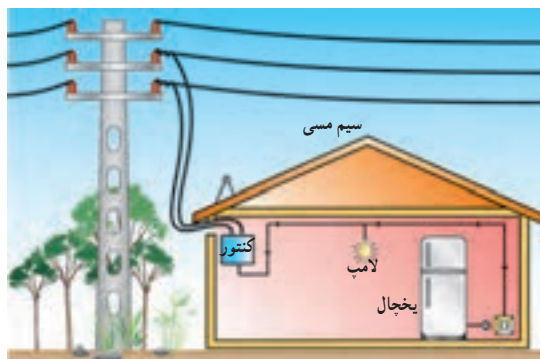


شکل ۸-۱ - تبدیل ولتاژ ۲۰ کیلو ولت به ۴۰۰ و ۲۳۰ ولت



شکل ۹-۱- نام‌گذاری سیم‌های تیر چراغ برق

توزیع برق در شبکه برق ایران، در محلات و خیابان‌ها به صورت پنج سیمه و توسط تیرهای برق صورت می‌گیرد. در شکل ۹-۱ هر کدام از این سیم‌ها نام‌گذاری شده‌اند.



شکل ۱۰-۱- نحوه اتصال برق منازل مسکونی

برای مشترکانی مانند منازل مسکونی و واحدهای تجاری، که مصرف‌کننده‌های تک فاز دارند، باید کابلی دو سیمه با یک فاز و یک نول اختصاص داده شود.

در صنایع و کشاورزی که مصرف‌کننده‌های سه فاز (مانند الکتروموتورهای سه فاز) به همراه مصرف‌کننده‌های تک فاز داریم. باید کابل چهار سیمه با سه فاز و یک نول اختصاص داده شود. در این بخش به تشریح مفاهیم پایه در برق می‌پردازیم. هنرجویان با درک این مفاهیم می‌توانند موضوعات مرتبط با برق را در فصل‌های بعدی کتاب که جنبه عملی دارد، به سادگی فرا گیرند.

## کمیت‌های الکتریکی

### ◀ شدت جریان

هرگاه بخواهیم از انرژی الکتریکی برای انجام کاری استفاده کنیم، لازم است الکتریسیته تولید شده را در مدار جاری کنیم. به عبارت دیگر اگر بتوانیم با دادن انرژی به یک اتم، الکترون‌های آن را آزاد و آن را در یک مسیر حرکت دهیم «جریان الکتریکی» به وجود می‌آید.

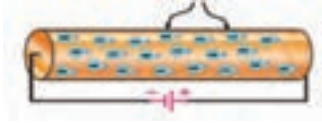
حرکت الکترون‌های آزاد در درون سیم به صورت «ضربه‌ای» صورت می‌گیرد. یعنی الکترون‌ها با یکدیگر برخورد می‌کنند و از اتمی به اتم دیگر منتقل می‌شوند. سرعت این ضربه‌ها در حدود سرعت سیر نور (۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه) است. ضربه‌های انرژی را که از یک الکترون به الکترون دیگر برخورد می‌کند و باعث جا به جایی آن می‌شود، را در اصطلاح جریان الکتریکی می‌نامند. در شکل (۱۱-۱) ضربه‌های انرژی وارد شده به الکترون‌ها را مشاهده می‌کنید. این ضربه مانند وارد کردن ضربه یک گوی به چند گوی در تماس با هم است.



الف) ضربه‌های انرژی وارد شده به الکترون‌ها در یک سیم

شکل ۱۱-۱

الکترون‌ها



شکل ۱۲-۱ حرکت الکترون‌ها در یک سیم

تعداد الکترون‌هایی که انرژی هم جهت دارند میزان شدت جریان الکتریکی را تعیین می‌کنند (شکل ۱۲-۱).

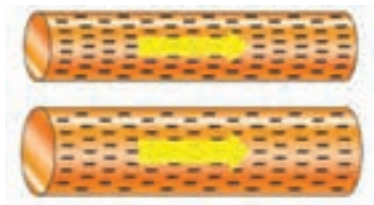
شدت جریان الکتریکی را با حرف (I) نشان می‌دهند. بنا بر تعریف، مقدار بار الکتریکی (الکترون‌های آزاد) که از یک نقطه سیم طی مدت زمانی معین عبور می‌کند «شدت جریان الکتریکی» می‌نامند و واحد آن آمپر (A) می‌باشد.

در مدارهای الکتریکی برای اندازه‌گیری شدت جریان وسیله‌ای به نام آمپرمتر که علامت اختصاری آن **A** است، به کار می‌رود (شکل ۱۳-۱).



شکل ۱۳-۱ تصاویر دو نمونه آمپرمتر

شدت جریان با تراکم الکترون‌های در حال حرکت در سیم معرفی می‌شود. برای نمونه اگر بخواهیم شدت جریانی معادل ۵ آمپر را از دو سیم مانند شکل ۱۴-۱ عبور دهیم، دیده می‌شود که تراکم و فشردگی الکترون‌های جاری در سیم شکل (ب) از سیم (الف) بیشتر است. زیرا سطح مقطع سیم (ب) از سیم (الف) کوچک‌تر است.



(ب)

(الف)

شکل ۱۴-۱ تراکم جریان در سیم‌ها

### ◀ اختلاف پتانسیل الکتریکی

نیروی را که باعث به وجود آمدن جریان الکتریکی در مدار می‌شود «نیروی محرکه الکتریکی» می‌نامند. بنا به تعریف هر بار الکتریکی که بتواند بار الکتریکی دیگری را با عمل جذب یا دفع به حرکت در آورد کاری انجام می‌شود. لذا به نیروی محرکه ای که بتواند بار الکتریکی را به حرکت در آورد «پتانسیل الکتریکی» می‌گویند.

«پتانسیل الکتریکی» یا به اختصار «ولتاژ»، «توانایی انجام کار» نیز نامیده می‌شود.

پتانسیل الکتریکی از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$V = \frac{W}{q}$$

هرگاه کار الکتریکی (W) بر حسب ژول و مقدار بار الکتریکی (Q) بر حسب کولن باشد، پتانسیل الکتریکی (V) بر حسب ولت

به دست می‌آید. ولتاژهایی که در کارهای روزمره با آن سرو کار داریم عبارت‌اند از:

■ ۱/۵ ولت - ولتاژ پیل‌های خشک (قلمی)

■ ۹ ولت - ولتاژ پیل‌های کتابی

■ ۱۲ ولت - ولتاژ باتری‌های ماشین

■ ۲۲۰ ولت - ولتاژ منازل مسکونی (برق تک فاز)

■ ۳۸۰ ولت - ولتاژ مراکز صنعتی (برق سه فاز)

در رسم مدارها پیل (باتری) را با علامت  $\text{||-|}$  نشان می‌دهیم (شکل ۱۵-۱).



شکل ۱۵-۱- باتری موتورسیکلت

برای اندازه‌گیری ولتاژ از وسیله‌ای به نام ولت‌متر که علامت اختصاری آن به صورت  $\text{V}$  است، استفاده می‌شود.



شکل ۱۶-۱- تصاویر ولت‌متر

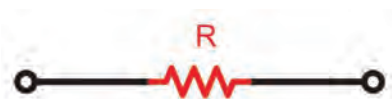
## مقاومت الکتریکی

«مقاومت الکتریکی» خاصیتی از ماده است که در برابر عبور جریان الکتریکی از خود مخالفت نشان می‌دهد. مقاومت الکتریکی سیم‌های رابط به صورت ناخواسته در مدارهای الکتریکی وجود دارد. این مقاومت در مدار تلفات الکتریکی ایجاد می‌کند که به صورت گرما خود را نشان می‌دهند.

مقاومت می‌تواند عاملی از پیش تعیین شده باشد که به صورت یک مصرف‌کننده در مدارهای الکتریکی قرار گیرد. رشته سیم حرارتی (المنت) دستگاه جوجه‌کشی مقاومتی است که، نه تنها مزاحم نیست بلکه می‌تواند حرارت مورد نیاز دستگاه را تولید کند. مقدار مقاومت الکتریکی را بر حسب اهم ( $\Omega$ ) می‌سنجند. علامت اختصاری مقاومت و عنصر واقعی آن در شکل ۱۷-۱ نشان داده شده است.



ب) مقاومت الکتریکی



الف) علامت اختصاری مقاومت الکتریکی

شکل ۱۷-۱





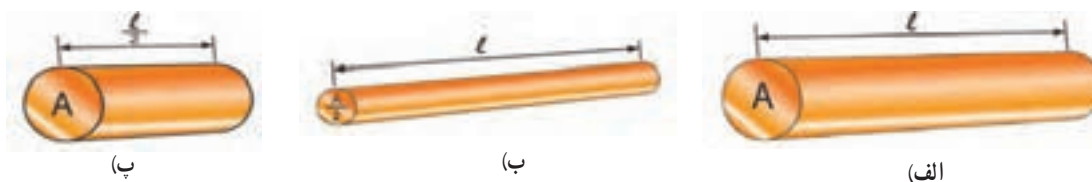
دستگاهی که مقدار مقاومت را می‌سنجد «اُهم متر» نام دارد. در شکل ۱۸-۱ روش اتصال مقاومت به اُهم متر و سنجش اندازه مقاومت نشان داده شده است. مقدار مقاومت الکتریکی به عوامل فیزیکی و الکتریکی گوناگونی بستگی دارد.

شکل ۱۸-۱- چگونگی اندازه‌گیری مقاومت با اُهم متر

### عوامل فیزیکی مؤثر در مقدار مقاومت الکتریکی

هرگاه سه قطعه سیم با مشخصات داده شده در شکل ۱۹-۱ را داشته باشیم و مقدار مقاومت‌های هر یک از آنها را جداگانه اندازه بگیریم به نتایجی می‌رسیم که نشان دهنده ارتباط بین عوامل فیزیکی مؤثر در مقاومت الکتریکی یک‌هادی است. برای بررسی عوامل، به موارد زیر توجه می‌کنیم:

- مقاومت سیم (الف) را اندازه می‌گیریم و آن را به عنوان مقاومت مبنا یادداشت می‌کنیم.
- مقاومت سیم (ب) را که سطح مقطع آن نصف سطح مقطع سیم الف است اندازه می‌گیریم. مشاهده می‌شود مقدار مقاومت این سیم به دو برابر مقدار مقاومت مبنا افزایش یافته است.
- در مرحله سوم مقاومت سیم (پ) را که طول آن نصف طول سیم (الف) است، اندازه می‌گیریم، مشاهده می‌شود مقدار مقاومت این سیم به نصف مقدار مقاومت سیم الف (مقاومت مبنا) کاهش یافته است.
- با مقایسه مقاومت سیم‌های الف، ب و پ در می‌یابیم که مقاومت یک سیم با طول آن رابطه مستقیم و با سطح مقطع آن نسبت عکس دارد.



شکل ۱۹-۱- سیم‌ها در طول‌ها و سطح مقطع‌های متفاوت

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

مقدار مقاومت سیم را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

R - مقاومت سیم بر حسب اُهم

l - طول سیم بر حسب متر

A - سطح مقطع سیم بر حسب میلی‌متر مربع

$\rho$  - مقاومت مخصوص سیم بر حسب  $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

پیش از توضیح قوانین اساسی برق لازم است به بررسی برخی از تعاریف پایه‌ای بیردازیم و با تعدادی از اجزای مدارهای

الکتریکی آشنا شویم.

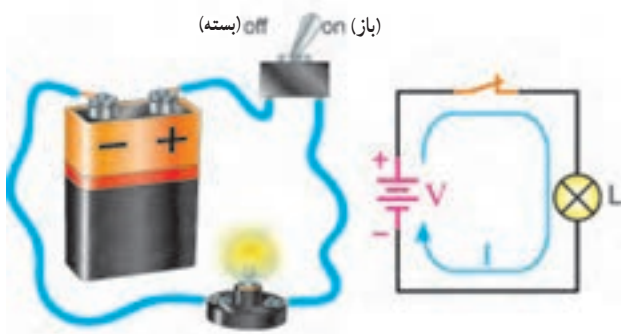
## مدار الکتریکی

مسیری را که شامل منبع تغذیه، مصرف کننده و سیم‌های رابط باشد «مدار الکتریکی ساده» گویند. در یک مدار الکتریکی، منبع تغذیه (مولد)، تأمین کننده انرژی است و می‌تواند باتری یا ژنراتور باشد. مصرف کننده (بار)، انرژی الکتریکی را به انرژی مورد نیاز تبدیل و مصرف می‌کند. وظیفه سیم‌های رابط، انتقال انرژی الکتریکی از منبع تغذیه به مصرف کننده است. در شکل ۱-۲۰ تصویر یک مدار الکتریکی ساده را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱-۲۰ مدار الکتریکی ساده

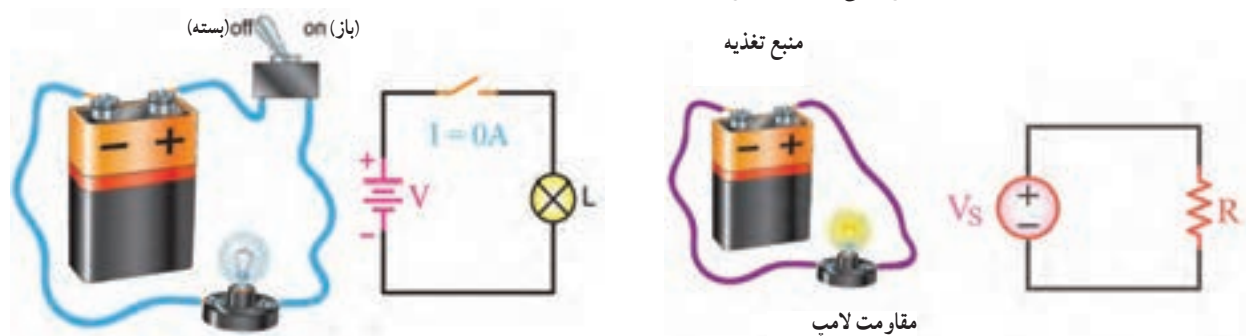
در مدارهای الکتریکی، علاوه بر سه عامل اصلی فوق، از اجزای دیگری نیز استفاده می‌شود. از جمله این اجزا می‌توان کلید، فیوز و وسایل اندازه‌گیری را نام برد. اگر اجزای فوق در مدار الکتریکی وجود نداشته باشند، ایرادی در کار پیش نمی‌آید، ولی مدار بدون کنترل و حفاظت خواهد بود.



شکل ۱-۲۱ مدار الکتریکی بسته (کامل)

کلید جریان را در مدارهای الکتریکی قطع و وصل می‌کند. اگر برای عبور جریان الکتریکی، مسیر کاملی از قطب مثبت باتری، سیم‌های رابط و مصرف کننده به قطب منفی وجود داشته باشد آن مدار را «مدار بسته» یا «مدار کامل» می‌گویند. در شکل ۱-۲۱ نمونه‌ای از یک مدار الکتریکی بسته را مشاهده می‌کنید.

اگر مسیر عبور جریان به دلایلی مانند قطع شدن سیم‌های رابط، سوختن فیوز، قطع مصرف کننده یا قطع شدن کلید کامل نباشد مدار را «مدار باز» یا «مدار ناقص» می‌گویند (شکل ۱-۲۲).

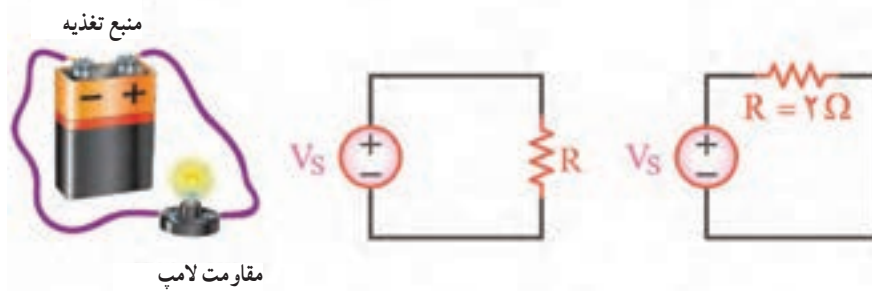


(ب)

شکل ۱-۲۲ مدار الکتریکی باز

(الف)

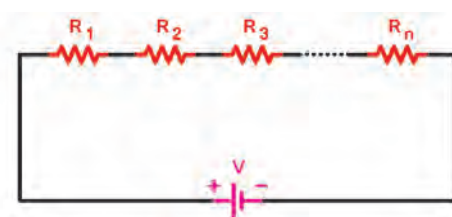
در یک مدار الکتریکی، مصرف کننده در برابر عبور جریان از خود مقاومت نشان می‌دهد و شدت جریان را تنظیم می‌کند بنابراین در مدار مصرف کننده را با علامت اختصاری مقاومت نشان داده می‌شود (شکل ۲۳-۱).



شکل ۲۳-۱- مدار الکتریکی بسته

## روش‌های اتصال (هم‌بندی) مقاومت‌ها

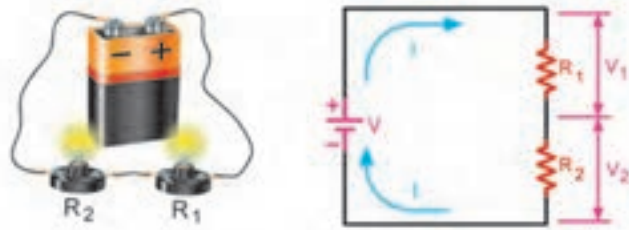
### ■ اتصال سری



شکل ۲۴-۱- اتصال سری مقاومت‌ها

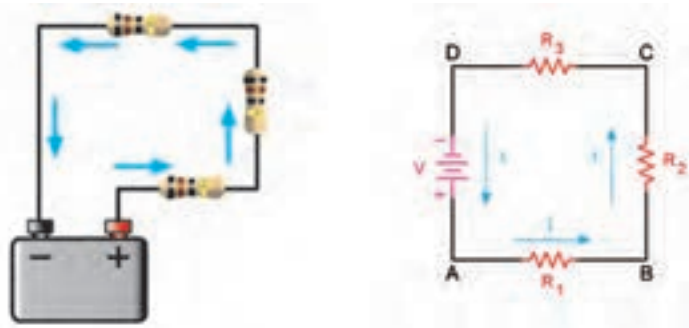
هرگاه دو یا چند مقاومت به صورت متوالی (دنبال هم - پشت سرهم) به یکدیگر اتصال داده شوند، اتصال مقاومت‌ها را «سری» گویند. در این مدار مقاومت‌ها چنان به هم بسته می‌شوند که انتهای مقاومت اول به ابتدای مقاومت دوم و انتهای مقاومت دوم به ابتدای مقاومت سوم وصل شده باشد، اگر به همین ترتیب تا آخرین مقاومت ادامه یابد می‌گوییم مقاومت‌ها به روش سری بسته شده است (شکل ۲۴-۱).

شکل ۲۵-۱ یک نمونه واقعی و نقشه فنی مدار اتصال سری مقاومت‌ها را که در آن دو لامپ با مقاومت‌ها شبیه‌سازی شده‌اند، نشان می‌دهد.



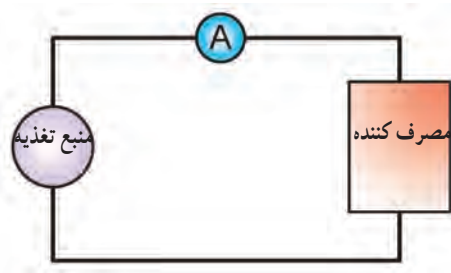
شکل ۲۵-۱- اتصال سری دو لامپ

در مدار سری برای عبور جریان الکتریکی همواره فقط یک مسیر وجود دارد (شکل ۲۶-۱).



شکل ۲۶-۱- شدت جریان یکسان در همه عناصر مدار سری

دستگاه اندازه‌گیری آمپر متر در مدار به صورت سری بسته می‌شود.



(ب) مدل مداری

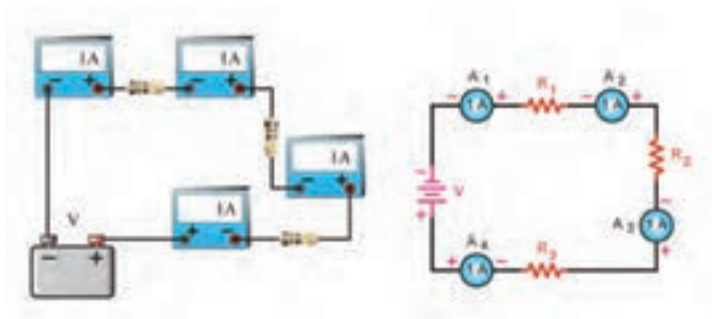


(الف) تصویر واقعی

شکل ۲۷-۱. نحوه اتصال آمپر متر در مدار الکتریکی

عامل مشترک در مدار سری: چنانچه مداری

را مانند شکل ۲۸-۱ می‌بینید که هر یک از آمپر مترها، جریان‌های یکسان (یک آمپر) را نشان می‌دهند.



شکل ۲۸-۱. آمپر مترها در یک مدار سری جریان یکسانی نشان می‌دهند.

در مدار الکتریکی با مقاومت‌های سری، فقط یک مسیر وجود دارد، در نتیجه شدت جریان در تمام مقاومت‌ها مساوی و ثابت است. به همین دلیل، در مدارهای سری، شدت جریان را می‌توان به عنوان یک عامل مشترکی برای تمام عناصر موجود در مدار دانست. در این مدار، برای شدت جریان رابطه روبرو برقرار است:

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = I_4$$

نکته

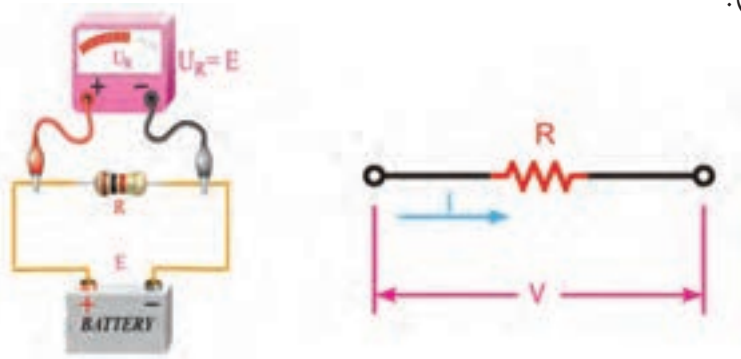


در مدار سری، اگر یکی از مصرف کننده‌ها از مدار خارج شوند به دلیل اینکه فقط یک مسیر برای عبور جریان وجود دارد، مدار باز شده و همه مصرف کننده‌ها از مدار خارج می‌شوند. برای نمونه در شکل ۲۹-۱ اگر یکی از لامپ‌ها باز (قطع) شود یا بسوزد بقیه لامپ‌ها نیز خاموش می‌شوند.



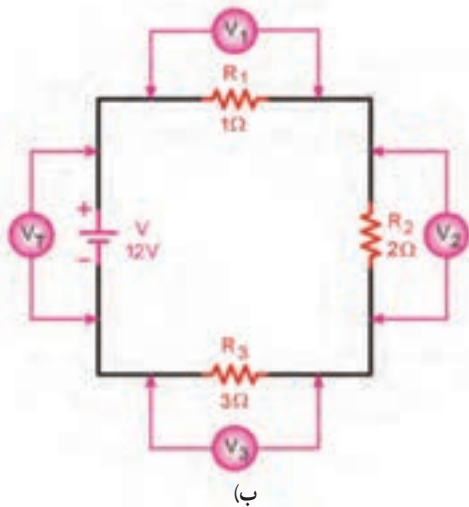
شکل ۲۹-۱

عامل غیر مشترک در مدار سری: بر اثر عبور جریان الکتریکی از هر مقاومت الکتریکی، در دو سر آن افت ولتاژی به وجود می‌آید. مقدار این افت ولتاژ با ولت‌متر اندازه‌گیری می‌شود. برای این کار کافی است دو سر ولت‌متر را به دو سر مقاومت الکتریکی متصل کنیم (شکل ۳-۱).

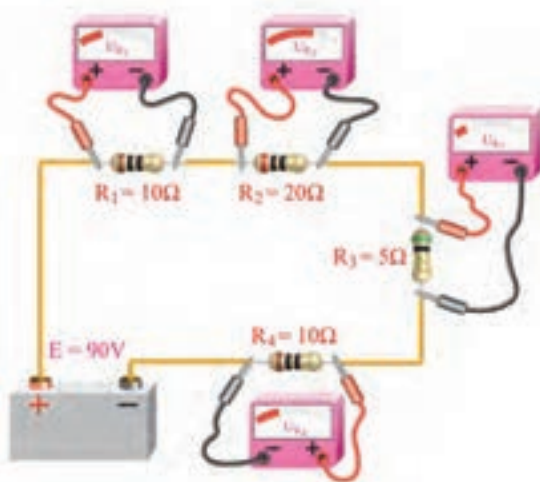


شکل ۳-۱- افت ولتاژ در دو سر یک مقاومت

اگر مداری را مانند شکل ۳۱-۱ الف ببینیم، ولت‌مترها مقادیر ولتاژ متفاوتی را در دو سر مقاومت‌ها نشان می‌دهند. ولت‌مترهای ۱، ۲، ۳ و ۴ اندازه ولتاژهای دو سر مقاومت‌های  $R_1$ ،  $R_2$ ،  $R_3$  و  $R_4$  را نشان می‌دهند.



(ب)

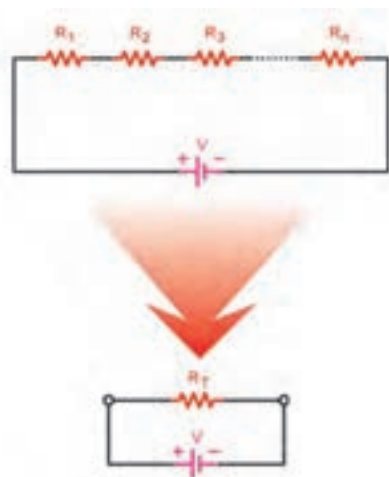


(الف)

شکل ۳۱-۱- مجموع افت ولتاژها در مدار سری با ولتاژ منبع تغذیه برابر است.

در مدار بسته شکل ۳۱-۱ ب، ولت‌متر  $V_T$  ولتاژ کل مدار را نشان می‌دهد که برابر مجموع ولتاژهای نشان‌داده شده در ولت‌مترهای  $V_1$ ،  $V_2$ ،  $V_3$  است به زبان ساده‌تر بررسی کنید: با بررسی شکل ۳۱-۱ ب اندازه‌ای را که ولت‌متر  $V_1$ ،  $V_2$ ،  $V_3$  نشان می‌دهد، تعیین کنید. ولتاژ کل منبع تغذیه به نسبت مقدار مقاومت‌ها بین مقاومت‌های مدار تقسیم می‌شود و می‌توانیم بنویسیم:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$



شکل ۳۲-۱- مقاومت معادل

مقاومت معادل در مدار سری : مقاومت کل یا «مقاومت معادل» به مقاومتی گفته می‌شود که بتواند به تنهایی اثر همه مقاومت‌های موجود در مدار را داشته باشد و جایگزین همه آنها شود و شدت جریان مدار تغییری نکند.

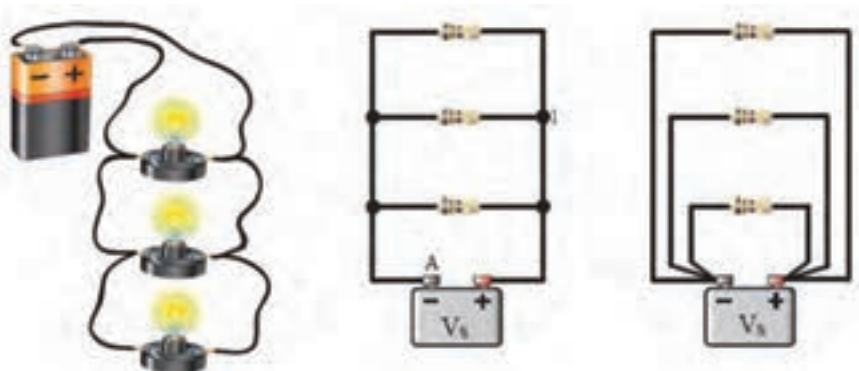
با توضیح‌های داده شده درباره مدارهای سری، رابطه‌ی نهایی مقاومت معادل  $R_T$  به صورت زیر به دست می‌آید.

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

مقاومت معادل مدار شکل ۳۱-۱ را به دست آورید.

## ■ اتصال موازی مقاومت‌ها

اگر دو یا ( $n$ ) مقاومت، به ترتیبی بسته شوند که یک طرف هر یک از آنها به یکدیگر و طرف دیگر آنها نیز به یکدیگر متصل شوند، این اتصال را «اتصال موازی» می‌گویند. شکل ۳۳-۱ تصویر سه مقاومت و سه لامپ را، که به صورت موازی اتصال دارند، نشان می‌دهد.

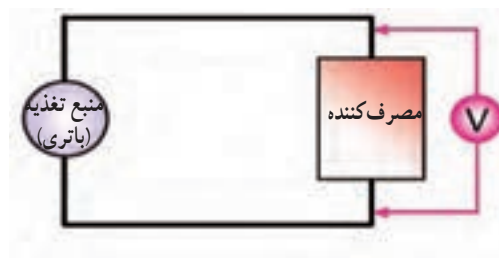


شکل ۳۳-۱- اتصال موازی مقاومت‌ها و لامپ‌ها

در این مدارها یک طرف مقاومت‌ها در نقطه A و طرف دیگر مقاومت‌ها در نقطه B به هم وصل شده‌اند. بین دو نقطه A و B قطب‌های (+) و (-) باتری اتصال داده شده است. برای اندازه‌گیری ولتاژ، ولت‌متر در مدار موازی بسته می‌شود (شکل ۳۴-۱).



ب) مدل مداری

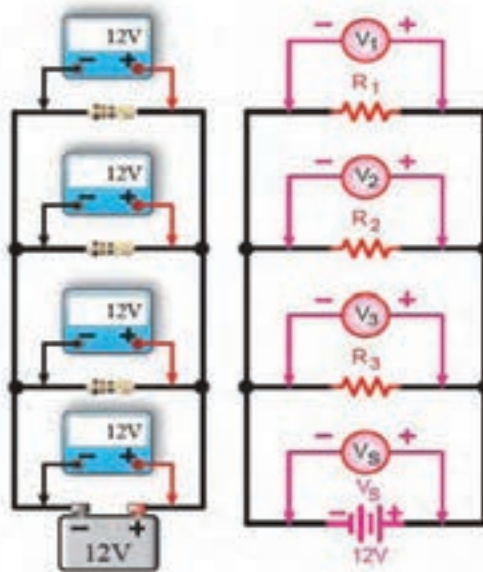


الف) تصویر واقعی

شکل ۳۴-۱ اتصال ولت‌متر در مدار

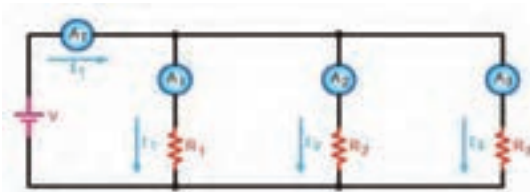
عامل مشترک در مدار موازی : در مدارهای موازی چون دو سر هر مقاومت مستقیماً به دو سر باتری متصل است، بنابراین ولتاژ دو سر همه مقاومت‌ها با هم برابرند. مساوی بودن ولتاژ در مدار موازی عامل مشترک مدار در نظر گرفته می‌شود. با اتصال مداری مانند شکل ۱-۳۵ مطلب گفته شده تأیید می‌شود (شکل ۱-۳۵).

پس برای مدارهای موازی می‌توان رابطه زیر را نوشت :  $V_T = V_1 = V_2 = V_3 = V_4$



شکل ۱-۳۵- برابر بودن ولتاژ عناصر مدار موازی با ولتاژ منبع تغذیه

عامل غیر مشترک در مدار موازی : در مدارهای موازی عاملی را که برای تمام عناصر مقدار ثابتی ندارد «عامل غیر مشترک» می‌نامیم. جریان در هر شاخه یک مدار موازی به نسبت عکس مقدار مقاومت‌های هر شاخه، تقسیم می‌شود. یعنی شاخه‌ای که مقدار مقاومت کمتری دارد جریان بیشتری از خود عبور می‌دهد.



شکل ۱-۳۶- در مدار موازی شاخه‌ای که اندازه مقاومت کمتری دارد، جریان بیشتری از خود عبور می‌دهد.

رابطه جریان کل را می‌توان بر اساس این قانون به صورت مقابل نوشت :  $I_T = I_1 + I_2 + I_3$

مقاومت معادل در مدار موازی : برای محاسبه مقاومت معادل در مدار موازی می‌توانید رابطه زیر را به کار ببرید.

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



– اندازه مقاومت معادل هر مدار موازی، از کوچکترین مقاومت موجود در مدار نیز کمتر است.  
– بین دو مقاومت موازی شده با منبع تغذیه، مقاومتی که مقدار کمتری دارد، جریان بیشتری را از خود عبور می‌دهد.

## اندازه‌گیری کمیتهای الکتریکی

برای اندازه‌گیری ولتاژ از ولت متر، اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی از اهم متر و اندازه‌گیری جریان الکتریکی از آمپر متر، استفاده می‌شود. به طور کلی وقتی کلمه متر به صورت پسوند با واحد کمیتهای اندازه‌گیری می‌آید، نام دستگاهی می‌شود که آن کمیته را اندازه می‌گیرد، مثل آمپر متر، ولت متر، اهم متر و... از آنجایی که در هر کار فنی برقی، به هر سه دستگاه اندازه‌گیری ولت متر، اهم متر و آمپر متر، نیاز است برای کار از یک دستگاه اندازه‌گیری به نام «مولتی متر» که هر سه کمیته ولتاژ، جریان و مقاومت الکتریکی را می‌تواند اندازه‌گیری کند، استفاده می‌شود.

### مولتی متر

مولتی متر به یک دستگاه اندازه‌گیر چند منظوره است، به عبارت دیگر دستگاهی که بتواند چند کمیته را اندازه بگیرد، مولتی متر نامیده می‌شود. مولتی مترها از نظر ساختمان در دو نوع آنالوگ (عقربه‌ای) و دیجیتال ساخته می‌شوند. سیمای ظاهری هر مولتی متر از سه قسمت تشکیل شده است.

۱- صفحه نشان دهنده ۲- سلکتور یا کلید گردان انتخاب کننده ۳- ترمینال‌های ورودی و کلیدهای تنظیم کننده (شکل ۳۷-۱).



شکل ۳۷-۱- مولتی متر آنالوگ و دیجیتال

گام‌های اندازه‌گیری یک کمیته الکتریکی با مولتی متر:

- ۱- مولتی متر را روشن کنید.
- ۲- یکی از پراب‌ها (سیم‌های مولتی متر) را در محل یکی از ترمینال‌های ورودی یعنی (COM) قرار دهید.
- ۳- نوع کمیته مورد اندازه‌گیری را تعیین کنید و پراب دیگر را متناسب با نوع کمیته مورد نظر، در محل ترمینال ورودی دیگر،



مثلاً V یا A قرار دهید.

- ۴- با توجه به نوع جریان برق (DC یا AC) و همچنین کمیت مورد اندازه‌گیری، سلکتور را روی همان نوع جریان و کمیت قرار دهید. محدوده مقدار اندازه‌گیری (رنج) را تعیین و سلکتور را روی آن رنج قرار دهید. برای اینکه دستگاه اندازه‌گیری آسیب نبیند، دقت کنید که رنج انتخابی روی دستگاه از رنج کمیت اندازه‌گیری بیشتر باشد. مثلاً اگر می‌خواهید مقدار ولتاژ برق شهر (۲۲۰ ولت) را اندازه‌گیری کنید رنج انتخابی سلکتور باید بیشتر از ۲۲۰ باشد.
- ۵- دو سر دو پراب را به محل مورد نظر اتصال دهید. به نوع اتصال سری یا موازی دقت کنید.
- ۶- مقدار اندازه‌گیری شده را قرائت کنید.

## نکات ایمنی در کاربرد دستگاه‌های اندازه‌گیری



- ۱- در برخی از مواقع که در اندازه‌گیری با مولتی‌متر دچار اشتباه می‌شوید، فیوز داخل آن عمل می‌کند و داخل فیوز ذوب و قطع می‌شود. در این حالت باید فیوز را عوض کنید. شکل ۳۸-۱ یک نمونه فیوز را نشان می‌دهد. در هنگام تعویض فیوز، به مقدار جریانی که روی قسمت فلزی آن حک شده است، دقت کنید.



شکل ۳۸-۱- فیوز مولتی‌متر

- ۲- در آغاز هر اندازه‌گیری با مولتی‌متر آنالوگ با یک پیچ‌گوشی پیچ تنظیم صفر را طوری تنظیم کنید که عقربه دقیقاً روی عدد صفر قرار گیرد.
- ۳- برای اندازه‌گیری کمیتی که مقدار آن را نمی‌دانید، نخست از بالاترین سطح (رنج) اندازه‌گیری شروع کنید.
- ۴- هنگامی که سلکتور را روی آمپر می‌گذارید، مولتی‌متر را باید به صورت سری و هنگام اندازه‌گیری ولتاژ، آن را موازی در مدار موازی ببندید.
- ۵- هنگام اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی باید جریان برق را قطع کنید.
- ۶- اگر هنگام جابه‌جا کردن مولتی‌متر به آن ضربه وارد شود، حساسیت خود را از دست می‌دهد.



هدف: اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی

وسایل مورد نیاز: باتری، سیم رابط، کلید، سرپیچ، لامپ، مولتی‌متر و پیچ گوشتی

مراحل انجام کار:

۱- یک مدار الکتریکی شامل منبع تغذیه (باتری)، لامپ و

سیم رابط را ببندید.

۲- مولتی‌متر را روشن کنید. پراب‌ها را به ترمینال‌های

ورودی COM و V وصل کنید. سلکتور را روی کمیت ولتاژ از

نوع «DC» و رنج آن را روی بیشترین اندازه قرار دهید. سر دو

پراب را به دو سر لامپ اتصال دهید و مقدار ولتاژ اندازه‌گیری شده

را بخوانید (شکل ۳۹-۱).



شکل ۳۹-۱- اندازه‌گیری ولتاژ

۳- پراب‌ها را به ترمینال‌های ورودی «COM» و «A» وصل

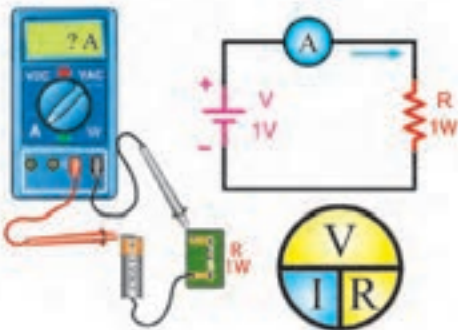
کنید. سلکتور را روی کمیت جریان از نوع «DC» و کلید گردان را

روی بیشترین اندازه قرار دهید. سیم رابط را از یک محل قطع کنید و

سر دو پراب را به دو سر آن اتصال دهید. با این کار مولتی‌متر به صورت

سری در مدار قرار می‌گیرد. حال شدت جریان اندازه‌گیری شده را

بخوانید (شکل ۴۰-۱).



شکل ۴۰-۱- اندازه‌گیری جریان

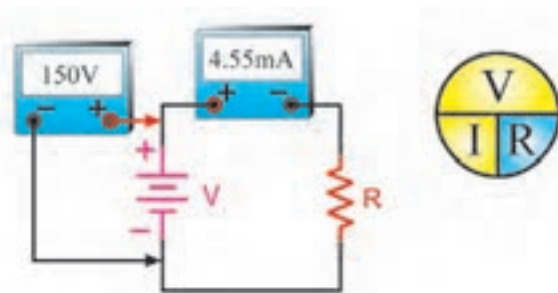
۴- مدار الکتریکی را باز کنید. پراب‌ها را به ترمینال‌های

ورودی «COM» و «Ω» وصل کنید. سلکتور را روی کمیت اهم

و رنج آن را روی بیشترین اندازه قرار دهید. سر دو پراب را به دو

سر مقاومت اتصال دهید و اندازه مقاومت الکتریکی اندازه‌گیری

شده را بخوانید (شکل ۴۱-۱).



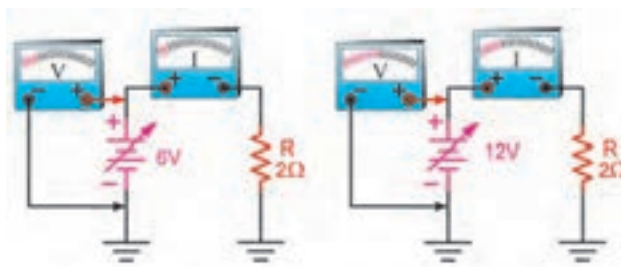
شکل ۴۱-۱- اندازه‌گیری مقاومت

۵- شرح کار و نتایج به دست آمده را در دفتر گزارش کار

یادداشت نمایید.

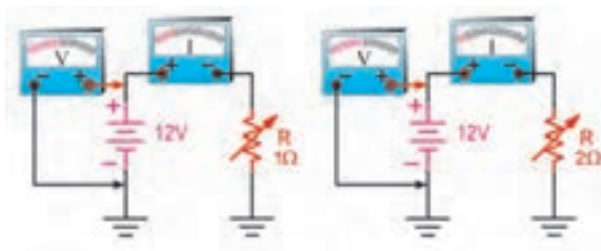
## قانون اهم

اگر مقاومت یک مدار را ثابت نگه داریم و ولتاژ منبع تغذیه را افزایش دهیم، شدت جریان افزایش می‌یابد (شکل ۱-۴۲).



شکل ۱-۴۲- مقاومت ثابت، ولتاژ متغیر

همچنین اگر ولتاژ منبع تغذیه را ثابت نگه داریم و مقدار مقاومت مدار را افزایش دهیم، جریان مدار کاهش می‌یابد (شکل ۱-۴۳).



شکل ۱-۴۳- ولتاژ ثابت، مقاومت متغیر

افزایش  $I$   $\rightarrow$  افزایش  $V$  : افزایش  $R$  ثابت  
کاهش  $I$   $\rightarrow$  افزایش  $R$  : افزایش  $V$  ثابت

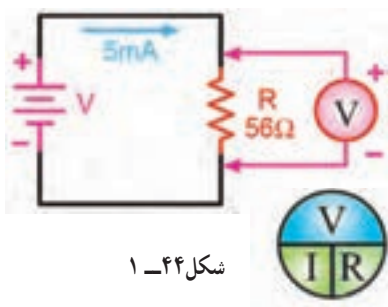
یعنی می‌توانیم بنویسیم :

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

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

نتایج آزمایش‌های اهم به نام قانون اهم شناخته می‌شود، رابطه قانون اهم را می‌توانیم به سه صورت بنویسیم.

همان گونه که دیده می‌شود اگر دو جزء از معادله معلوم باشد، می‌توان به آسانی جزء سوم را به دست آورد.

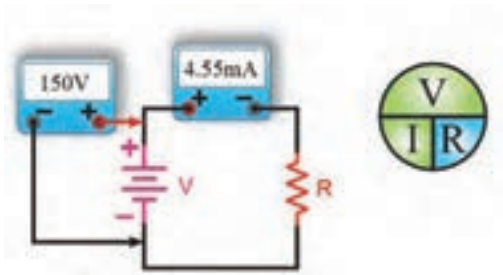


شکل ۱-۴۴

مثال : در مدار شکل ۱-۴۴، ولت متر چه ولتاژی را نشان می‌دهد؟  
حل :

$$V = R \times I$$

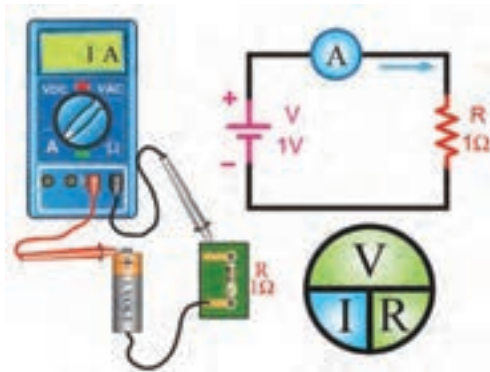
$$V = 56 \times 5 \times 10^{-2} = 0.28 \text{ V}$$



شکل ۱-۴۵

مثال: در مدار شکل ۱-۴۵ اندازه مقاومت چند کیلو اهم است؟  
حل:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{150}{4/55 \times 10^{-3}} = \frac{150 \times 10^3}{4/55} = 33 \times 10^3 = 33 \text{ K}\Omega$$



شکل ۱-۴۶

مثال: جریان عبوری از مقاومت مدار شکل ۱-۴۶ چند میلی آمپر است؟  
حل:

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

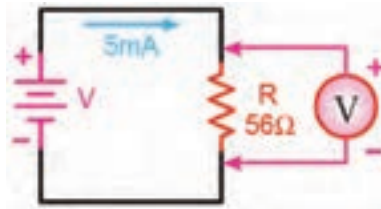
$$1 \text{ A} = 1000 \text{ mA}$$



هدف : بررسی قانون اهم

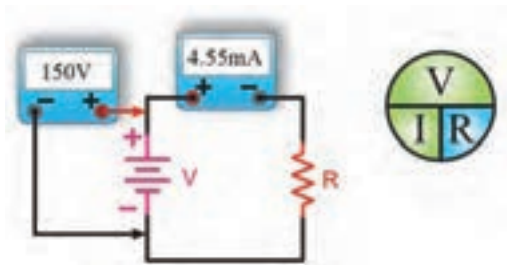
وسایل مورد نیاز : باتری، سیم رابط، کلید، سرپیچ، لامپ، آمپرتر، ولت‌متر و اهم‌متر  
مراحل انجام کار :

- ۱- مطابق شکل ۱-۴۷ مدار را ببندید (مقادیر عناصر با توجه به امکانات کارگاه انتخاب شود).
- ۲- آمپرتر را به صورت سری در مدار قرار دهید و مقدار اندازه‌گیری شده را توسط آن یادداشت نمایید.
- ۳- ولت‌متر را به دو سر مصرف‌کننده متصل نمایید. مقدار اندازه‌گیری شده را یادداشت نمایید.  
آیا مقدار اندازه‌گیری شده توسط ولت‌متر با مقدار محاسبه شده از طریق رابطه یکسان است؟



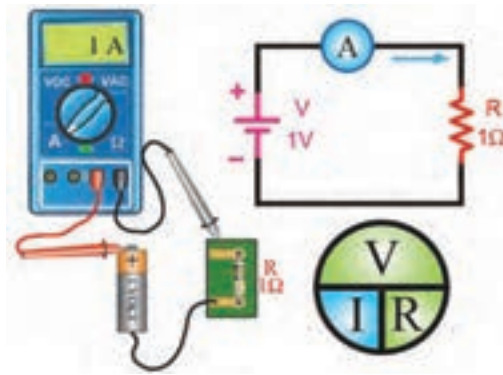
شکل ۱-۴۷

- ۴- مقادیر عناصر را تغییر دهید و مداری با مقدار مقاومت نامعلوم مطابق شکل ۱-۴۸ ببندید.



شکل ۱-۴۸

- ۵- آمپرتر و ولت‌متر را در مدار قرار داده و مقادیر ولتاژ منبع تغذیه و جریان مدار را اندازه‌گیری کرده و یادداشت نمایید.
- ۶- اندازه مقاومت را محاسبه کنید.
- ۷- پس از باز کردن مقاومت از مدار، اندازه مقاومت را با اهم‌متر اندازه‌گیری کنید.
- ۸- اندازه اندازه‌گیری شده مقاومت با اهم‌متر را با اندازه محاسبه شده با رابطه، مقایسه نمایید.
- ۹- مقاومت یک اهمی را به یک منبع تغذیه یک ولتی شکل ۱-۴۹ ببندید.
- ۱۰- اندازه جریان مدار را با رابطه محاسبه نمایید.
- ۱۱- آمپرتر را در مدار سری ببندید و شدت جریان مدار را اندازه‌گیری نمایید.
- ۱۲- مقدار اندازه‌گیری شده جریان را با اندازه محاسبه شده، مقایسه کنید.



شکل ۴۹-۱

۱۳- گزارش کار خود را در دفتر گزارش کار یادداشت کنید.

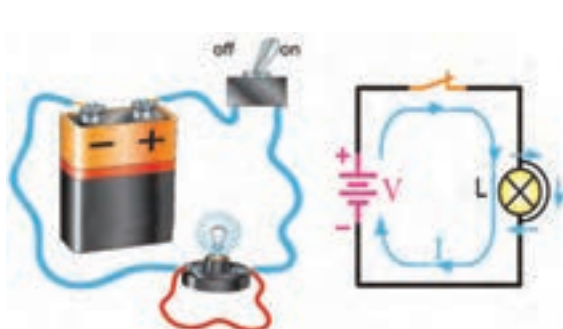
### نکته



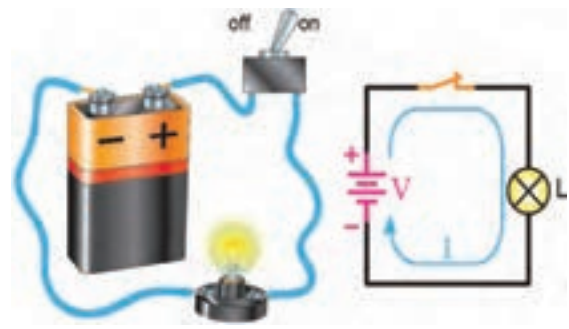
یکی از حالاتی که ممکن است در مدارهای الکتریکی به وجود آید، حالت «اتصال کوتاه» است. این حالت می‌تواند موجب عمل کردن فیوز مدار یا حتی سوختن برخی از قطعات آن شود.

اتصال کوتاه در مدار به شرایطی گفته می‌شود که مقاومت مصرف کننده (بار) به صفر برسد، یعنی دو سر مصرف کننده با سیمی که مقاومتی ندارد به یکدیگر متصل شوند. با ایجاد چنین حالتی جریان بسیار زیادی از مدار خواهد گذشت، زیرا با قرار دادن مقدار صفر در مخرج رابطه زیر، جریان بسیار زیاد شده و وسایل الکتریکی که در مسیر این جریان زیاد قرار بگیرند، خواهند سوخت (شکل ۵۰-۱) و (شکل ۵۱-۱).

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{0} = \infty$$



شکل ۵۱-۱- دو سر لامپ اتصال کوتاه شده



شکل ۵۰-۱- مدار الکتریکی در حالت عادی

## توان الکتریکی

اندازه کار انجام شده در واحد زمان را «توان» یا «قدرت» گویند و می‌توان آن را از رابطه زیر به دست آورد.

$$P = \frac{W}{t}$$

W – اندازه کار انجام شده بر حسب ژول (J)،

t – مدت زمان انجام کار بر حسب ثانیه (S)،

P – توان (قدرت) بر حسب ژول بر ثانیه (J/S) یا وات (w).

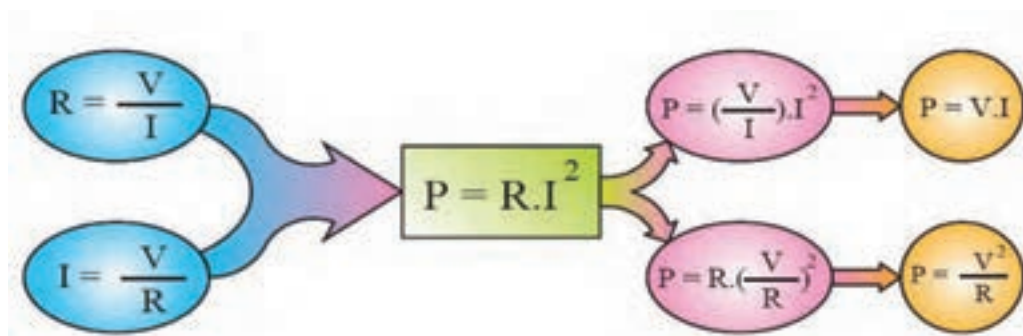
یک وات توان را می‌توان چنین تعریف کرد:

هرگاه برای انجام کاری در مدت زمان یک ثانیه یک ژول انرژی استفاده شود، می‌گوییم توان یک وات است. از آنجایی که با

رابطه الکتریکی آشنا هستیم پس می‌توان رابطه توان را بر پایه آن برای یک مقاومت معلوم به این گونه نیز محاسبه کرد:  $P = R \times I^2$

اگر در رابطه فوق به کمک قانون اهم یک بار به جای R و بار دیگر به جای I معادل پارامتری هر یک را قرار دهیم دو رابطه

دیگر برای توان به دست می‌آید. نمودار ۱-۱ چگونه مراحل به دست آوردن روابط را نشان می‌دهد.



نمودار ۱-۱



شکل ۱-۵۲ – روش بستن وات متر در مدار

توان الکتریکی را با واحد دیگری به نام «اسب بخار» نیز بیان می‌کنند. هر اسب بخار

۷۳۶ وات است.

مقدار توان مصرفی در مدارهای الکتریکی را با وسیله‌ای به نام «وات متر»

اندازه‌گیری می‌کنند. علامت اختصاری این وسیله W است. یک نمونه وات متر را در

شکل (۱-۵۲) می‌بینید.

توان مصرفی کل یک مدار الکتریکی که از چند جزء تشکیل شده است از حاصل جمع توان‌های تک تک عناصر مدار به دست

می‌آید. برای محاسبه توان هر یک از عناصر لازم است دو کمیت از سه کمیت V و I و R معلوم باشد تا بتوان یکی از روابط P را به

کار برد.

حاصل ضرب توان در زمان را «انرژی» می‌گویند. برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی از کنتور استفاده می‌کنند. امروزه کنتورها تک فاز و سه فاز دیجیتال ساخته می‌شوند. برای پرهیز از مصرف برق در زمان‌های پرمصرف و تشویق مردم به مصرف برق در زمان‌های کم مصرف این کنتورها می‌توانند مقدار انرژی الکتریکی مصرفی را در سه فاصله زمانی در شبانه روز ثبت کنند. این سه فاصله زمانی شامل زمان‌های کم مصرف، مصرف متوسط و اوج مصرف است. اوج مصرف در کشور ما در تابستان بین ساعات ۱۹ تا ۲۳ و در زمستان بین ساعات ۱۸ تا ۲۲ است.



شکل ۵۳-۱- کنتورهای تک فاز و سه فاز دیجیتال

### ضریب بهره (راندمان) الکتریکی

در هنگام تبدیل انرژی‌ها به یکدیگر، مقداری از انرژی به نوع دیگری از انرژی غیرمفید تبدیل می‌شود. این انرژی را «انرژی تلف شده» می‌نامند. برای نمونه در یک موتور الکتریکی، که انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود بخشی از انرژی الکتریکی که موتور دریافت کرده است به صورت‌های زیر تلف می‌شود:

الف) اصطکاک قسمت‌های مکانیکی گردنده

ب) گرما در سیم‌های حامل جریان

ج) گرما در سیم پیچی و هسته

چون مقدار توان تلف شده در همه دستگاه‌ها یکسان نیست.

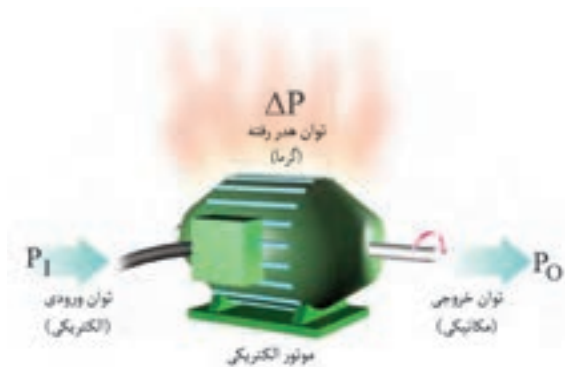
میزان کارایی هر وسیله با اصطلاح «کارایی» یا «راندمان» یا بازده بیان می‌شود. نمودار ۲-۱ وضعیت مصرف کننده‌ها را از نظر ورودی و خروجی نشان می‌هد.



به طور کلی نسبت توان گرفته شده (خروجی) به توان داده شده (ورودی) را «بازده یا راندمان» گویند. ضریب بهره، که معرف مقدار عددی راندمان است همیشه بر حسب درصد بیان می‌شود. هر قدر عدد راندمان بیشتر باشد نشان دهنده آن است که کیفیت و کارایی دستگاه بهتر است. اگر توان ورودی را با  $(P_1)$  و توان خروجی را با  $(P_2)$  و ضریب بهره را با « $\eta$ » نشان دهیم، رابطه آن به صورت زیر خواهد شد:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100$$

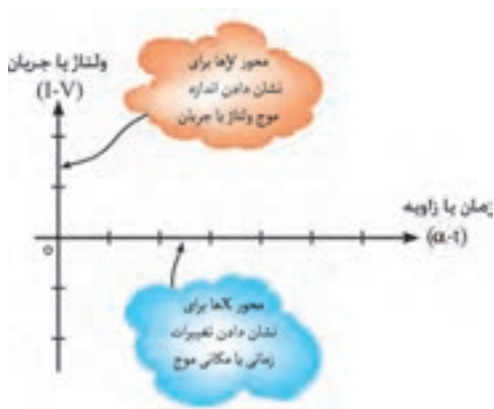




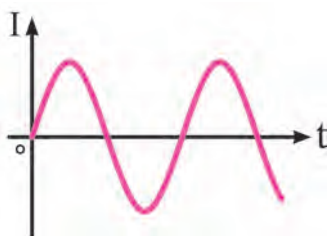
شکل ۱-۵۴- توان و تلفات در موتور الکتریکی



شکل ۱-۵۵- توان و تلفات در لامپ معمولی



شکل ۱-۵۶- محورهای مختصاتی برای رسم شکل موج



شکل ۱-۵۷- جریان متناوب در مدار الکتریکی

در محاسبه میزان راندمان یک وسیله الکتریکی باید به نوع توان یا انرژی ورودی و خروجی آن توجه کرد و در محاسبه مقدار راندمان یا کارایی، آن را در نظر داشت. در یک موتور الکتریکی توان ورودی آن ( $P_1$ ) از نوع انرژی الکتریکی، ولی توان خروجی آن ( $P_2$ ) از نوع انرژی مکانیکی است (شکل ۱-۵۴).

همچنین در یک لامپ، توان ورودی ( $P_1$ ) انرژی الکتریکی است و توان خروجی ( $P_2$ ) مفید از نوع انرژی نورانی و توان غیر مفید ( $\Delta P$ ) گرما است.

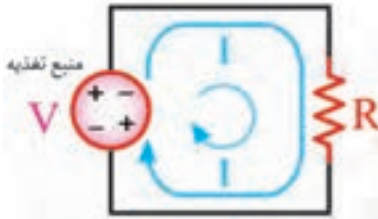
## جریان متناوب

جریان متناوب به جریانی گفته می‌شود که در طی مدت زمان مشخص، اندازه و جهت آن تغییر می‌کند و این تغییر به تناوب ادامه می‌یابد. در مدارهای الکتریکی، تغییرات ولتاژ یا جریان نسبت به زمان را به شکل موج، نشان می‌دهند. برای رسم شکل موج، در محور مختصات، محور عمودی نشانگر ولتاژ یا جریان و محور افقی معرف زمان یا زاویه است. بالای محور افقی را بخش مثبت موج و پایین آن را بخش منفی موج می‌گویند.

جریان الکتریکی متناوب نخست در یک جهت جریان می‌یابد، سپس جهت خود را عوض می‌کند و در خلاف جهت قبل جاری می‌شود (شکل ۱-۵۷).

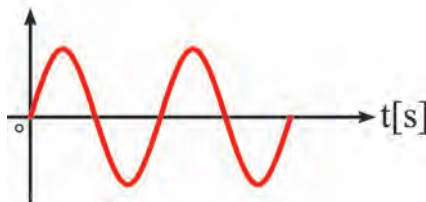
## مشخصات جریان متناوب :

چرخه (سیکل) : در یک کار یا فرایند که به طور متناوب تکرار می شود به هر تکرار یک چرخه گفته می شود برای نمونه در یک جریان سینوسی متناوب یک نیم موج مثبت و منفی با هم یک سیکل یا چرخه را تشکیل می دهند.



شکل ۱-۵۸

بسامد (فرکانس) : به تعداد سیکل ها (نوسانات) در مدت زمان یک ثانیه «فرکانس» می گویند. واحد فرکانس هرترز (Hz) است. فرکانس برق ایران ۵۰ هرترز است. در شکل ۱-۵۹ مقدار فرکانس ۲ هرترز است.



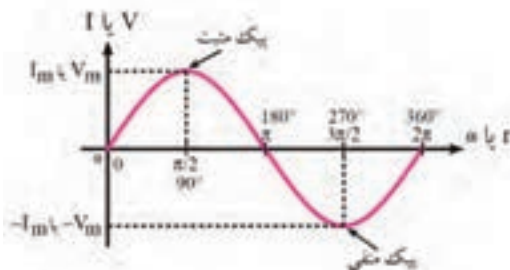
شکل ۱-۵۹ فرکانس



فرکانس متر برای اندازه گیری فرکانس به کار برده می شود (شکل ۱-۶۰). فرکانس متر در مدار موازی بسته می شود.

شکل ۱-۶۰ فرکانس متر

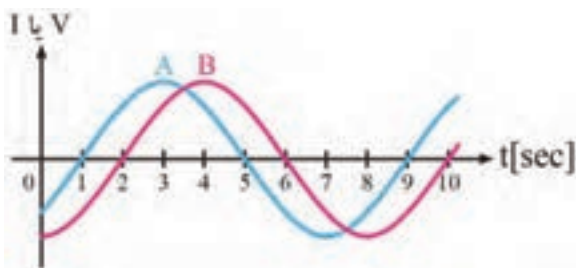
مقدار ماکزیمم (پیک) : به حداکثر مقداری که ولتاژ و جریان سینوسی در هر سیکل می توانند به آن دست یابند، مقدار ماکزیمم گویند. (شکل ۱-۶۱).



شکل ۱-۶۱ مقدار ماکزیمم موج

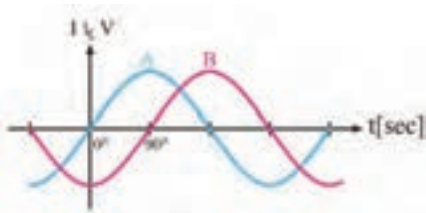
اختلاف فاز : فاز اصطلاحی است که وضعیت زمانی یا مکانی

دو یا چند یک موج را نسبت به یک مبدأ مشخص بیان می کند. برای تعیین میزان اختلاف بین دو یا چند موج از اصطلاح اختلاف فاز استفاده می کنند. در شکل ۱-۶۲ موج A و B به اندازه یک ثانیه با هم اختلاف فاز (اختلاف زمانی) دارند. موج A یک ثانیه نسبت به موج B جلوتر است. یعنی موج A یک ثانیه زودتر از موج B به مقدار ماکزیمم و صفر می رسد.



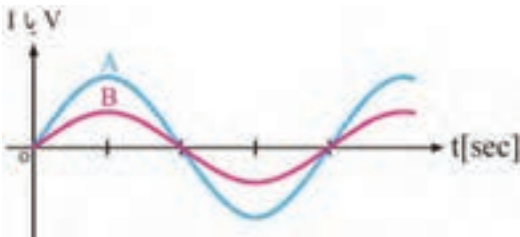
شکل ۱-۶۲ اختلاف فاز یک ثانیه

$$1 \text{ Hz} = \frac{1}{s}$$



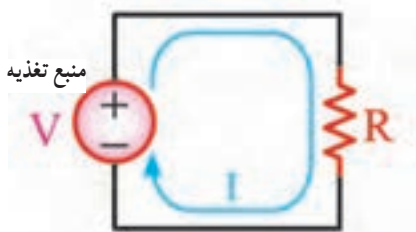
شکل ۱-۶۳- اختلاف فاز ۹۰ درجه

در شکل ۱-۶۳ موج A به اندازه ۹۰ درجه از موج B جلوتر است یا به عبارتی دیگر، دو موج A و B به اندازه ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند.



شکل ۱-۶۴- دو موج هم فاز

در شکل (۱-۶۴) دو موج با هم، هم فازند و هیچ اختلاف فازی ندارند. چون نقطه شروع هر دو موج یکسان است و این دو موج در مقادیر ماکزیمم (پیک) اختلاف دارد.



شکل ۱-۶۵- مدار با جریان مستقیم

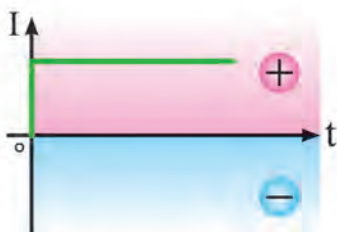
### ◀ جریان مستقیم

اگر قطب‌های منبع ولتاژ مدار هرگز تغییر نکند، جهت جریان ثابت می‌ماند و به آن «جریان مستقیم یا DC» می‌گویند (شکل ۱-۶۵).



شکل ۱-۶۶

اگر جریان مستقیم (DC) از قطعه سیمی عبور کند، طبق قرارداد سوی جریان از قطب مثبت به قطب منفی است. در این حالت فرض می‌شود الکترون‌ها از قطب مثبت به قطب منفی منتقل می‌شوند (شکل ۱-۶۶).



شکل ۱-۶۷- موج جریان مستقیم

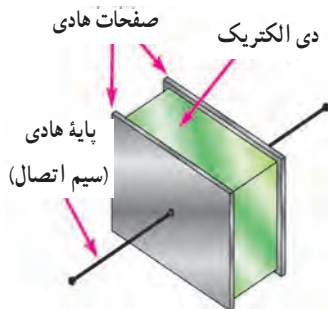
موج‌هایی که دارای قسمت منفی نیستند، موج مستقیم نامیده می‌شوند. برق باتری‌ها دارای موج مستقیم است (شکل ۱-۶۷).

## خازن

خازن وسیله‌ای است که می‌تواند الکتریسیته را در خود ذخیره کند، همان گونه که یک مخزن آب برای ذخیره کردن آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۶۸-۱، تعدادی از انواع خازن‌ها، که در موتورهای الکتریکی کاربرد زیادی دارند، نشان داده شده است.



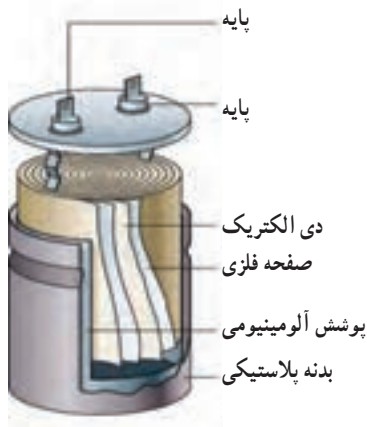
شکل ۶۸-۱- نمونه‌های مختلف خازن



شکل ۶۹-۱- ساختمان داخلی و نشانه اختصاری خازن

### ◀ ساختمان خازن

خازن از دو صفحه هادی، که بین آنها عایق (دی الکتریک) شده است، تشکیل می‌شود. شکل ۶۹-۱ طرح ساده یک خازن مسطح و نشانه اختصاری آن را نشان می‌دهد.



شکل ۷۰-۱- صفحات خازن

خازن دارای دو بخش اصلی است.

**الف) صفحات خازن:** صفحات خازن هادی هستند و بیشتر از ورقه‌های

نازک از جنس آلومینیوم، روی یا نقره ساخته می‌شوند.

**ب) ماده عایق (دی الکتریک):** ماده عایق به کار رفته بین صفحات خازن را دی الکتریک گویند. این ماده عایق می‌تواند هوا،

خلأ، کاغذ، شیشه، میکا، روغن و... باشد.

## ◀ ویژگی های خازن

برخی از ویژگی های فنی خازن عبارتند از :

**الف) ظرفیت :** مقدار توانایی یک خازن در ذخیره کردن الکتریسیته را «**ظرفیت خازن**» می گویند. به عبارت دیگر ظرفیت خازن برابر است با مقدار باری که باید روی یکی از صفحات خازن ذخیره شود تا پتانسیل آن نسبت به صفحه دیگر به اندازه یک ولت افزایش یابد. ظرفیت خازن را با حرف C نمایش می دهند و آن را با واحد فاراد می سنجند. مقدار ظرفیت خازن را روی بدنه آن یا در برگه مشخصات (کالانما) آن مشخص می کنند. ظرفیت خازن را می توان از رابطه زیر به دست آورد :

$$C = \frac{q}{V}$$

که در آن :

C – ظرفیت خازن (بر حسب فاراد)

q – بار الکتریکی ذخیره شده در صفحات (بر حسب کولن)

V – ولتاژ دو سر خازن (بر حسب ولت) است.

چون فاراد واحد بسیار بزرگی است. لذا از واحدهای کوچک تر مانند میکروفاراد یا  $\frac{1}{1000000}$  فاراد استفاده می شود. که آن را با  $\mu F$  نشان می دهند.  $10^{-6} F = 1 \mu F$  یا  $1 F = 10^6 \mu F$



ظرفیت خازن  $10 \mu F$

شکل ۱-۷۱

اولین موضوعی که در انتخاب یک خازن باید به آن توجه کرد، ظرفیت آن است. در شکل ۱-۷۱ مقدار ظرفیت خازن  $10 \mu F$  است. شاید مقدار ظرفیت خازن مورد نیاز ما در حوزه خازن های استاندارد موجود در بازار نباشد. ولی شاید بتوانیم به کمک چند خازن، مقدار ظرفیت خازن معادل را بسازیم.



ولتاژ کار ۴۵۰ ولت

شکل ۱-۷۲

**ب) ولتاژ کار :** به پیشینه ولتاژی که می توان به خازن اعمال کرد، به گونه ای که عایق دی الکتریک آن آسیب نبیند، ولتاژ کار خازن می گویند. توجه به مقدار این ولتاژ بسیار مهم است. مقدار ولتاژ اعمال شده به خازن باید مساوی یا کمتر از مقدار ولتاژ کار خازن باشد. مقدار ولتاژ کار را روی خازن می نویسند یا توسط کارخانه سازنده در برگه مشخصات (کاتالوگ) آن آورده می شود.

ج) تُلرانس : به بیشینه انحراف مجاز ظرفیت خازن نسبت به ظرفیت اسمی آن، تُلرانس گویند. در شکل ۱-۷۳ تُلرانس ظرفیت خازن ده درصد است. یعنی ظرفیت خازن می تواند ده درصد بیشتر یا ده درصد کمتر از مقدار ظرفیت نوشته شده روی آن باشد.



شکل ۱-۷۳

د) ضریب حرارتی : به بیشینه میزان تغییر ظرفیت خازن به ازای یک درجه تغییر دما ضریب حرارتی می گویند.

#### بررسی :

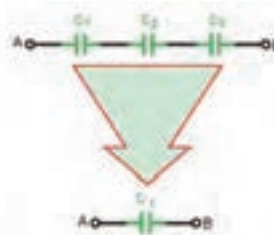
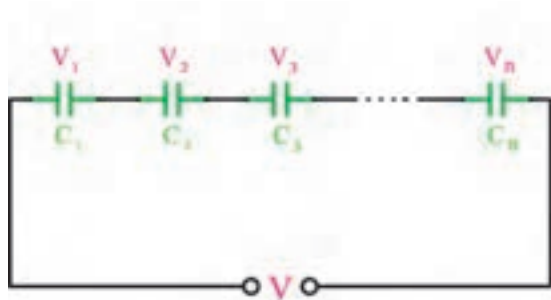
در روی تصاویر خازن مشخصات فنی نوشته شده را در جدول بنویسید. این کار را روی خازن واقعی که از هنرآموز دریافت می کنید، تکرار کنید.

تُلرانس	ولتاژکار	ظرفیت	خازن
			شکل ۱-۷۱
			شکل ۱-۷۲
			شکل ۱-۷۳
			بررسی شده در کلاس



اگر خازنی مورد نیاز باشد که در محدوده ظرفیت‌های استاندارد نباشد، می‌توان با متصل کردن چند خازن به صورت سری، موازی یا ترکیبی، ظرفیت خازن دلخواه را به دست آورد. اصطلاحاً به خازنی که می‌تواند جایگزین تمام خازن‌های مدار شود، خازن معادل گویند.

الف) اتصال سری خازن‌ها: اتصال دو (یا n) خازن مانند شکل ۱-۷۴ اتصال سری است. ظرفیت خازن معادل در مدار سری را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:



$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

شکل ۱-۷۴- اتصال سری خازن‌ها



شکل ۱-۷۵

همان‌گونه که از رابطه دیده می‌شود ظرفیت خازن معادل در مدارهای سری مانند رابطه مقاومت‌های موازی است.

مثال: ظرفیت خازن معادل از دو نقطه A و B در شکل

۱-۷۵ چند میکروفاراد است؟

پاسخ:

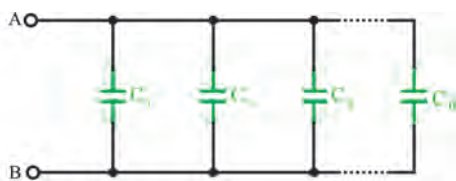
$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

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

$$C_T = \frac{12}{6} = 2 \mu F$$

نکته

خازن‌ها را پیش از اتصال در مدار، نخست باید دشارژ (تخلیه) کنید. برای دشارژ خازن می‌توانید دو سر آن را با یک مقاومت به یکدیگر ببندید.



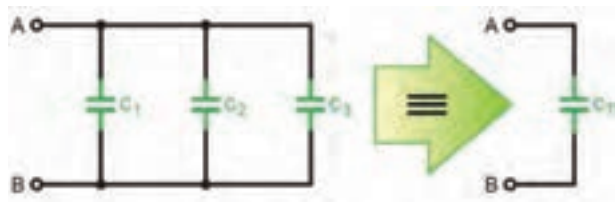
شکل ۱-۷۶- اتصال موازی خازن‌ها

ب) اتصال موازی خازن‌ها: هرگاه دو یا n خازن مانند شکل

۱-۷۶ به یکدیگر وصل شوند، این اتصال را «موازی» گویند.



ظرفیت خازن معادل در مدار موازی را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

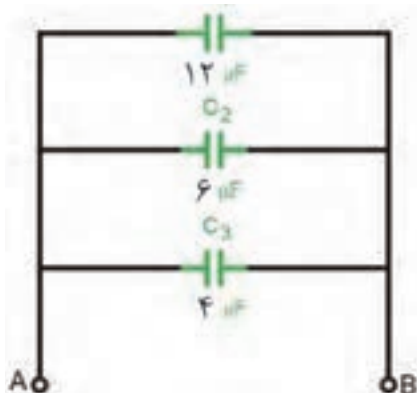


$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

شکل ۱-۷۷ - خازن معادل

همان گونه که در رابطه مشخص است، ظرفیت خازن معادل در مدارهای موازی مانند رابطه مربوط به مقاومت‌های سری است.

مثال: ظرفیت خازن معادل از دو نقطه A و B در شکل ۱-۷۸ چند میکروفاراد است؟



شکل ۱-۷۸

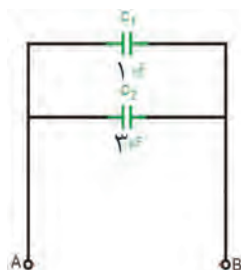
پاسخ:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 12 + 6 + 4 = 22 \mu F$$

مثال: خازن‌های ۱، ۳، ۶ و ۱۲ میکروفارادی موجود است، اما خازن مورد نظر ما با ظرفیت چهار میکروفاراد در دسترس نیست، چگونه از میان این خازن‌ها، خازن معادل را می‌سازید؟

روش اول: می‌توانیم مانند شکل ۱-۷۹ دو خازن ۱ و ۳ میکروفارادی را با هم موازی کنیم، در نتیجه داریم:

$$C_T = C_1 + C_2 = 1 + 3 = 4 \mu F$$



شکل ۱-۷۹

روش دوم: می‌توانیم طبق شکل ۱-۸۰ دو خازن ۱۲ و ۶ میکروفارادی را با هم سری کنیم، در نتیجه داریم:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{12 \times 6}{12 + 6} = 4 \mu F$$



شکل ۱-۸۰

همان گونه که در پاسخ دو روش می‌بینید، نتیجه دو روش یکسان است.



## بویین (سیم پیچ)



اگر به دور محور یا هسته‌ای، چند حلقه سیم پیچیده شود، بویین یا سیم پیچ به وجود می‌آید. این سیم پیچ می‌تواند انرژی الکتریکی را به صورت میدان مغناطیسی در خود ذخیره کند. به سیم پیچ، «سلف» نیز می‌گویند. در شکل ۱-۸۱ یک نمونه بویین به همراه علامت اختصاری آن نشان داده شده است. از سیم پیچ‌ها یا سلف‌ها در ساخت انواع رله‌های مغناطیسی و موتورهای الکتریکی استفاده می‌شود.



شکل ۱-۸۱ سیم پیچ

## ساختمان بویین :

یک بویین دارای دو بخش اصلی است.



الف) سیم پیچ : سیم با روکش عایق لاک‌ی که روی یک قرقره پیچیده شده است.

شکل ۱-۸۲ سیم پیچ روی قرقره پیچیده شده



شکل ۱-۸۳ هسته آهنی

ب) هسته : جنس هسته از مواد مغناطیسی مانند آهن، ساخته می‌شود که تمام خطوط میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط سیم پیچ را به آسانی از خود عبور می‌دهد. نقش هسته هدایت شار مغناطیسی تولید شده سیم پیچ است. در شکل ۱-۸۳ یک نمونه هسته نشان داده شده است.

- ۱- چگونگی توزیع برق به مناطق شهری و روستایی را از نظر سطح ولتاژ توضیح دهید.
- ۲- کمیت‌های الکتریکی جریان، اختلاف پتانسیل، مقاومت، توان، راندمان، فرکانس، اختلاف فاز را تعریف کنید.
- ۳- یک مدار الکتریکی را به همراه تمام اجزای آن ترسیم کنید.
- ۴- عناصر مدار الکتریکی و مشخصات آنها را توضیح دهید.
- ۵- قانون اهم را شرح دهید.
- ۶- انواع اتصالات مقاومت‌ها را نام ببرید و ویژگی‌های هر یک را توضیح دهید.
- ۷- انواع مولتی‌متر را از نظر ساختمان نام ببرید و روش اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی را با آنها توضیح دهید.
- ۸- نکاتی را که در اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی با مولتی‌متر باید مورد توجه قرار داد، بنویسید.
- ۹- جریان متناوب و جریان مستقیم را با رسم شکل موج‌های هر یک توضیح دهید.
- ۱۰- خازن را تعریف کنید و ساختمان و ویژگی‌های خازن‌ها را توضیح دهید.
- ۱۱- سیم پیچ و ساختمان آن را توضیح دهید.