به نام خدا

کاربرد الکترونیک در کشاورزی

مکانیک ماشین های کشاورزی

رسول لقمانپور زرینی

عضو هیات علمی دانشگاه فنی و حرفه ای – آموزشکده کشاورزی ساری

نیمسال دوم ۱۳۹۸

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، شیر دوش‌ها، آسیاب‌ها و میکسرها و تجهیزاتی مانند آن همگی مواردی هستند که در آنها انرژی الکتریکی به کار گرفته می‌شود. بنابراین یکی از نیازهای هنرجویان رشتهٔ کشاورزی، داشتن اطلاعات مربوط به برق می‌باشد. در این فصل دربارهٔ 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 مولّدهای الکتریکی، به یک انرژی مکانیکی نیاز است تا بتوان محور مولّدها را به حرکت در آورد. 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 مولّد برق استفاده‌می‌کنند. مولّد برق پس از چرخش، انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند (شکل۱ــ۱).

شکل۱ــ۱ــ 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. بخارآب با فشار به پره‌های توربین برخورد می‌کند و توربین را به حرکت در می‌آورد. این حرکت به محور مولّد منتقل می‌شود و مولّد، انرژی الکتریکی تولید می‌کند (شکل۲ــ۱).

شکل۲ــ۱ــ 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 بخارآب استفاده می‌کنند (در اثر شکافت نیم کیلوگرم **اورانیوم** انرژی معادل بیش از ۱۵۰۰ تن زغال سنگ به دست می‌آید). بخار آب تولیدشده وارد توربین می‌شود و آن را به حرکت در می‌آورد در نتیجه مولّد 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 (شکل۳ــ۱).

شکل۳ــ۱ــ 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 (شکل۴ــ۱). 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.

شکل۴ــ۱ــ تولید انرژی الکتریکی با از انرژی خورشید

انرژی باد

در این روش انرژی باد برای چرخاندن پره‌های توربین به کار برده می‌شود. محور توربین به محور مولّد برق متصل است و حرکت را به آن انتقال می‌دهد، با حرکت مولّد، 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 (شکل۵ــ ۱).

شکل۵ــ۱ــ تولید انرژی الکتریکی با انرژی باد

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 می‌توانید راجع به انرژی‌های نو به اطلاعات بیشتری دسترسی پیدا کنید).

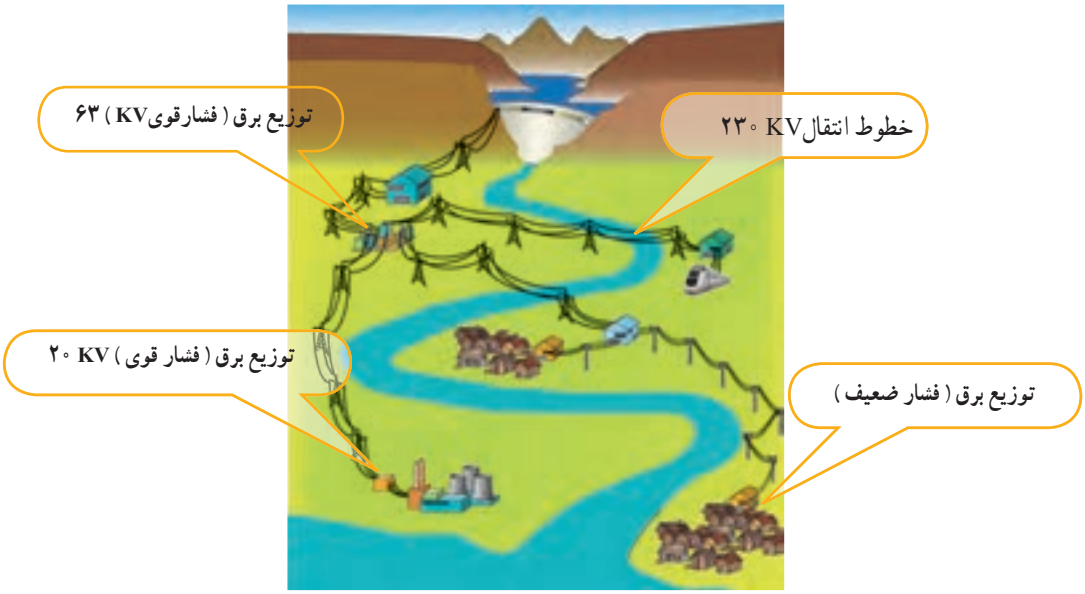
انتقال انرژی الکتریکی

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 ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلو ولت است (شکل۶ــ۱). 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.

شکل۶ــ۱ــ 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 مرحلهٔ 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 ۷ــ۱ نشان داده شده است. توزیع انرژی الکتریکی نیز توسط کابل‌های زمینی یا سیم‌های هوایی انجام می‌گیرد (شکل۸ ــ۱).



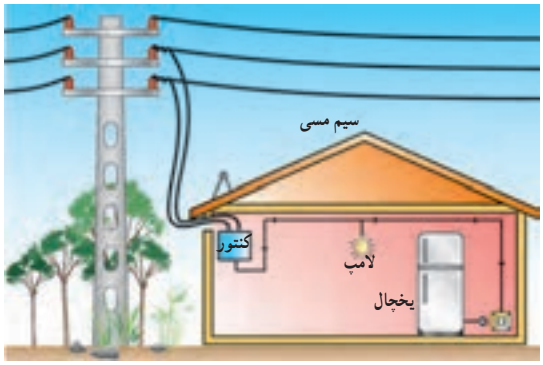
شکل ۷ــ ۱ ــ تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی

شکل ۸ ــ۱ــ تبدیل ولتاژ ۲۰ کیلو ولت به ۴۰۰ و ۲۳۰ ولت

توزیع برق در شبکهٔ برق ایران، در محلات و خیابان‌ها به‌صورت پنج سیمه و توسط تیرهای برق صورت می‌گیرد. در شکل ۹ــ۱ هر کدام از این سیم‌ها نام‌گذاری شده‌اند.

شکل ۹ــ۱ــ نام‌گذاری سیم‌های تیر چراغ برق

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



شکل ۱۰ــ۱ــ نحوهٔ اتصال برق منازل مسکونی

در صنایع و کشاورزی که مصرف کننده‌های سه فاز (مانند الکتروموتورهای سه فاز) به‌همراه مصرف‌کننده‌های تک‌فاز 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 جنبهٔ عملی دارد، به سادگی فرا گیرند.

کمیّت‌های الکتریکی

شدّت جریان

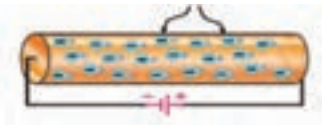
هرگاه بخواهیم از انرژی الکتریکی برای انجام کاری استفاده کنیم، لازم است الکتریسیته تولید شده را در مدار جاری کنیم. به عبارت دیگر اگر بتوانیم با دادن انرژی به یک اتم، الکترون‌های آن را آزاد و آن را در یک مسیر حرکت دهیم «**جریان الکتریکی**» به وجود می‌آید.

حرکت الکترون‌های آزاد در درون سیم به صورت «ضربه‌ای» صورت می‌گیرد. یعنی الکترون‌ها با یکدیگر برخورد می‌کنند و از اتمی‌به 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 به‌جایی آن می‌شود، را در اصطلاح جریان الکتریکی می‌نامند. در شکل (۱۱ــ۱) ضربه‌های انرژی وارد شده به الکترون‌ها را مشاهده می‌کنید. این ضربه مانند وارد کردن ضربهٔ یک گوی به چند گوی در تماس با هم است.

الف) ضربه‌های انرژی وارد شده به الکترون‌ها در یک سیم

شکل۱۱ــ۱

تعداد الکترون‌هایی که انرژی هم جهت دارند میزان شدّت جریان الکتریکی را تعیین می‌کنند (شکل۱۲ــ۱).



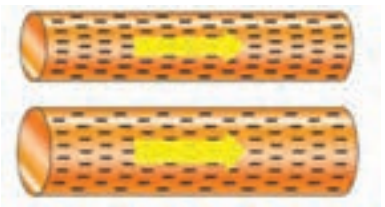
شکل ۱۲ــ ۱ــ حرکت الکترون‌ها در یک سیم

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

در مدارهای الکتریکی برای اندازه‌گیری شدّت جریان وسیله‌ای به نام آمپرمتر که علامت اختصاری آن Ⓐ است، به‌کار می‌رود (شکل۱۳ــ۱).

شکل۱۳ــ ۱ــ تصاویر دو نمونه آمپرمتر

شدت جریان با تراکم الکترون‌های در حال حرکت در سیم معرفی می‌شود. برای نمونه اگر بخواهیم شدّت جریانی معادل ۵ آمپر را از دو سیم مانند شکل۱۴ــ۱ 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.



شکل۱۴ــ۱ــ تراکم جریان در سیم‌ها

اختلاف پتانسیل الکتریکی

نیرویی را که باعث به وجود آمدن جریان الکتریکی در مدار می‌شود «نیروی محرکهٔ الکتریکی» می‌نامند. بنا به تعریف هر بار الکتریکی که بتواند بار الکتریکی دیگری را با عملِ 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 رابطهٔ 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) برحسب ولت

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

- ۱/۵ ولت ــ ولتاژ پیل‌های خشک (قلمی)
- ۹ ولت ــ ولتاژ پیل‌های کتابی
- ۱۲ ولت ــ ولتاژ باتری‌های ماشین
- ۲۲۰ ولت ــ ولتاژ منازل مسکونی (برق تک فاز)
- ۳۸۰ ولت ــ ولتاژ مراکز صنعتی (برق سه فاز)

در رسم مدارها پیل (باتری)را با علامت ⊣⊢ نشان می‌دهیم (شکل۱۵ــ۱).

شکل۱۵ــ۱ــ باتری موتورسیکلت

برای اندازه‌گیری ولتاژ از وسیله‌ای به نام ولت‌متر که علامت اختصاری آن به صورت –Ⓥ– است، استفاده می‌شود.

شکل۱۶ــ۱ــ تصاویر ولت متر

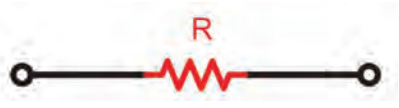
مقاومت الکتریکی

«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 به‌صورت 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 اُهم (Ω) می‌سنجند.

علامت اختصاری مقاومت و عنصر واقعی آن در شکل۱۷ــ۱ نشان داده شده است.



الف) علامت اختصاری مقاومت الکتریکی

ب) مقاومت الکتریکی

شکل۱۷ــ۱

دستگاهی که مقدار مقاومت را می‌سنجد «**اُهم متر**» نام دارد. در شکل۱۸ــ ۱ روش اتصال مقاومت به اهم متر و سنجش اندازه مقاومت نشان داده شده است.

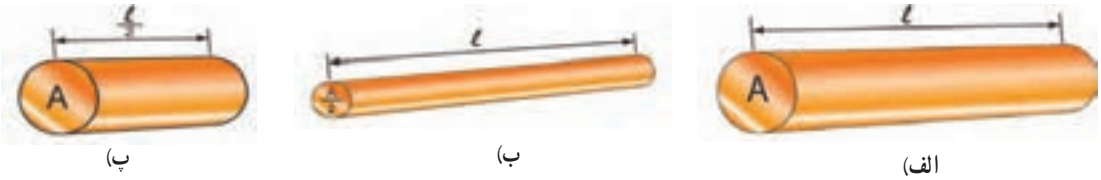
مقدار مقاومت الکتریکی به عوامل فیزیکی و الکتریکی گوناگونی بستگی دارد.

شکل۱۸ــ۱ــ چگونگی اندازه‌گیری مقاومت با اُهم متر

عوامل فیزیکی مؤثر در مقدار مقاومت الکتریکی

هرگاه سه قطعه سیم با مشخصات داده شده در شکل ۱۹ــ۱ را داشته باشیم و مقدار مقاومت‌های هر یک از آنها را جداگانه اندازه بگیریم به نتایجی می‌رسیم که نشان دهندهٔ 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 به‌عنوان 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 مقایسهٔ مقاومت سیم‌های الف، ب و پ در می‌یابیم که مقاومت یک سیم با طول آن رابطهٔ مستقیم و با سطح مقطع آن نسبت عکس دارد.



پ) ب) الف)

شکل۱۹ــ ۱ــ سیم‌ها در طول‌ها و سطح مقطع‌های متفاوت

مقدار مقاومت سیم را می‌توان از رابطهٔ زیر به دست آورد : $R = \rho \frac{l}{A}$

R ــ مقاومت سیم برحسب اُهم

L ــ طول سیم برحسب متر

A ــ سطح مقطع سیم برحسب میلی‌مترمربع

ρ ــ مقاومت مخصوص سیم برحسب $\frac{\Omega.mm^2}{m}$

پیش از توضیح قوانین اساسی برق لازم است به بررسی برخی از تعاریف پایه‌ای بپردازیم 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.

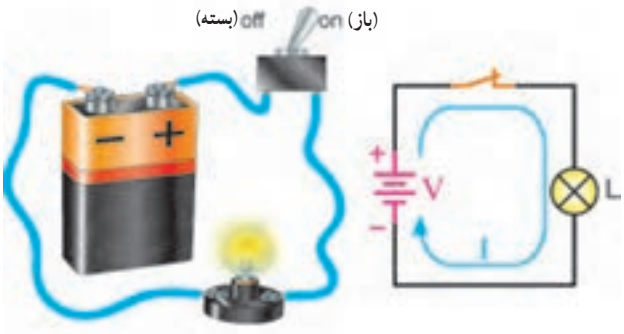
در یک مدار الکتریکی، **منبع تغذیه** (مولّد)، تأمین کننده انرژی است و می‌تواند باتری یا ژنراتور باشد. **مصرف‌کننده** (بار)، انرژی الکتریکی را به انرژی مورد نیاز تبدیل و مصرف می‌کند. وظیفهٔ **سیم‌های رابط**، انتقال انرژی الکتریکی از منبع تغذیه به مصرف‌کننده است. در شکل ۲۰ــ۱ تصویر یک مدار الکتریکی ساده را مشاهده می‌کنید.

شکل۲۰ــ۱ مدار الکتریکی ساده

در مدارهای الکتریکی، علاوه بر سه عامل اصلی فوق، از اجزای دیگری نیز استفاده می‌شود. از جملهٔ 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.

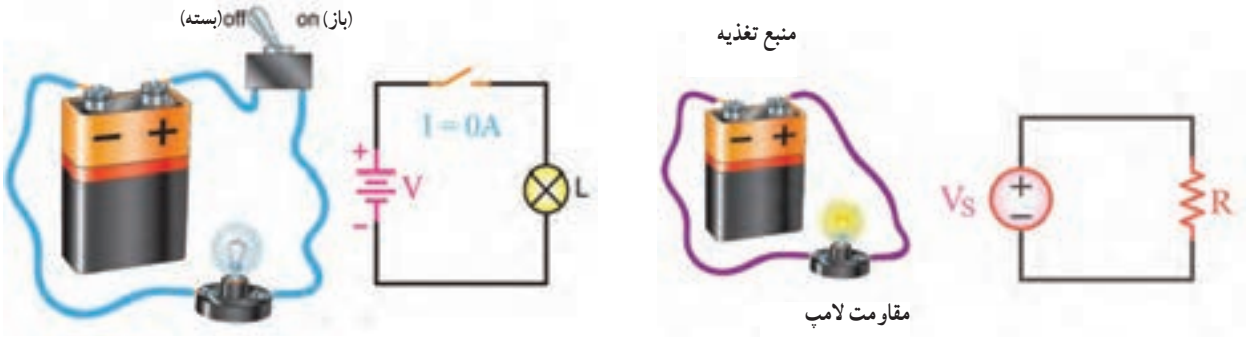
کلید جریان را در مدارهای الکتریکی قطع و وصل می‌کند.

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 ۲۱ــ۱ نمونه‌ای از یک مدار الکتریکی بسته را مشاهده می‌کنید.



شکل۲۱ــ ۱ مدار الکتریکی بسته (کامل)

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(شکل۲۲ــ۱).

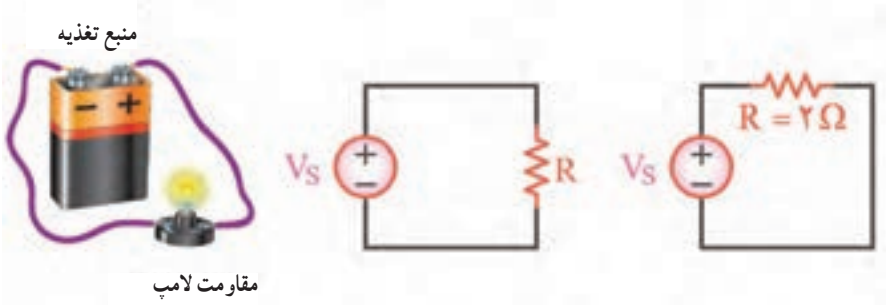


ب)

الف)

شکل۲۲ــ۱ مدار الکتریکی باز

در یک مدار الکتریکی، مصرف کننده در برابر عبور جریان از خود مقاومت نشان می‌دهد و شدت جریان را تنظیم می‌کند بنابراین در مدار مصرف‌کننده را با علامت اختصاری مقاومت نشان داده می‌شود (شکل۲۳ــ ۱).

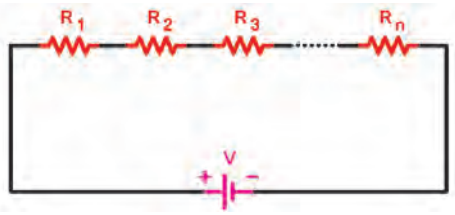


شکل۲۳ــ۱ــ مدار الکتریکی بسته

روش‌های اتصال(هم‌بندی) مقاومت‌ها

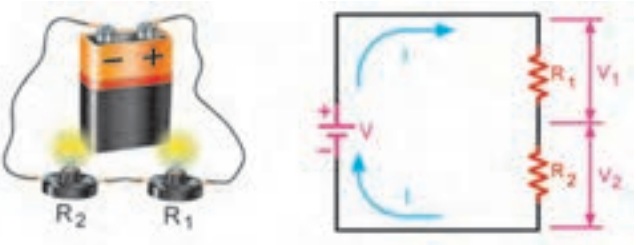
اتصال سری

هرگاه دو یا چند مقاومت به صورت متوالی (دنبال‌هم ــ 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 (شکل۲۴ــ۱).



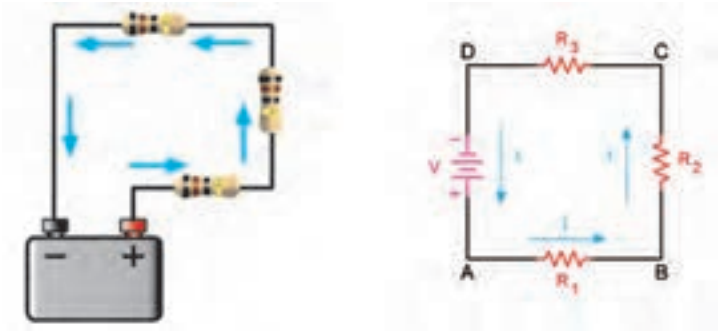
شکل۲۴ــ۱ــ اتصال سری مقاومت‌ها

شکل۲۵ــ۱ یک نمونه واقعی و نقشه فنی مدار اتصال سری مقاومت‌ها را که در آن دو لامپ با مقاومت‌ها شبیه‌سازی شده‌اند، نشان می‌دهد.



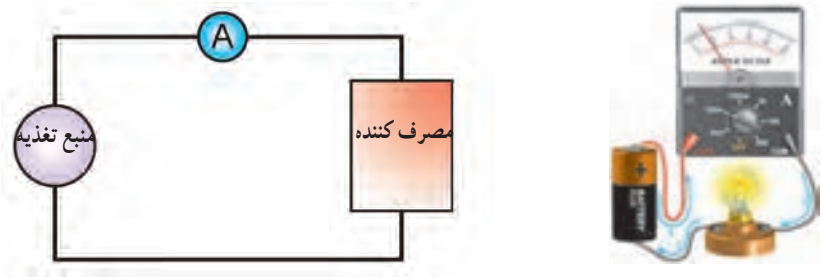
شکل۲۵ــ۱ــ اتصال سری دو لامپ

در مدار سری برای عبور جریان الکتریکی همواره فقط یک مسیر وجود دارد (شکل۲۶ــ۱).



شکل۲۶ــ۱ــ شدت جریان یکسان در همه عناصر مدار سری

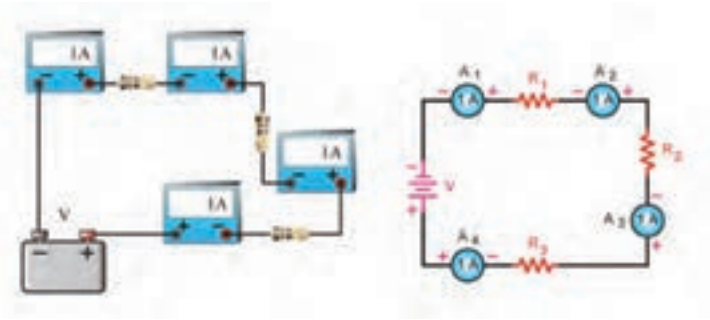
دستگاه اندازه‌گیری آمپرمتر در مدار به صورت سری بسته می‌شود.



الف) تصویر واقعی ب) مدل مداری

شکل۲۷ــ۱ــ نحوهٔ اتصال آمپرمتر در مدار الکتریکی

عامل مشترک در مدار سری : چنانچه مداری را مانند شکل ۲۸ــ۱ می‌بینید که هر یک از آمپرمترها، جریان‌های یکسان (یک آمپر) را نشان می‌دهند.



شکل۲۸ــ۱ــ آمپرمترها در یک مدار سری جریان یکسانی نشان می‌دهند.

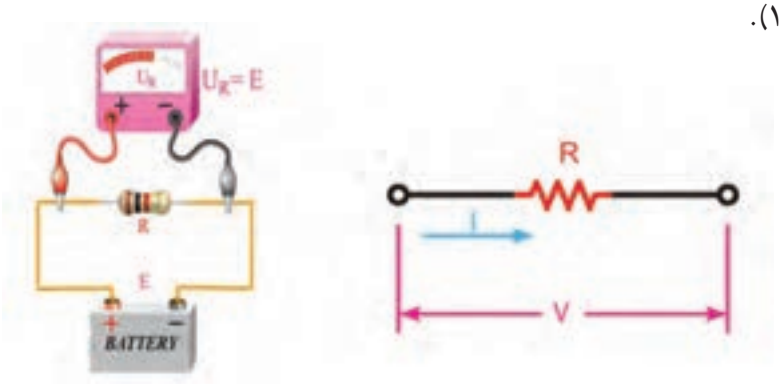
در مدار الکتریکی با مقاومت‌های سری، فقط یک مسیر وجود دارد، در نتیجه شدت جریان در تمام مقاومت‌ها مساوی و ثابت است. به همین دلیل، در مدارهای سری، شدت جریان را می‌توان به عنوان یک عامل مشترکی برای تمام عناصر موجود در مدار دانست. در این مدار، برای شدت جریان رابطهٔ روبه‌رو برقرار است : $I_T=I_1=I_2=I_3=I_4$

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 همهٔ مصرف‌کننده‌ها از مدار خارج می‌شوند. برای نمونه در شکل۲۹ــ۱ اگر یکی از لامپ‌ها باز (قطع) شود یا بسوزد بقیهٔ لامپ‌ها نیز خاموش می‌شوند.

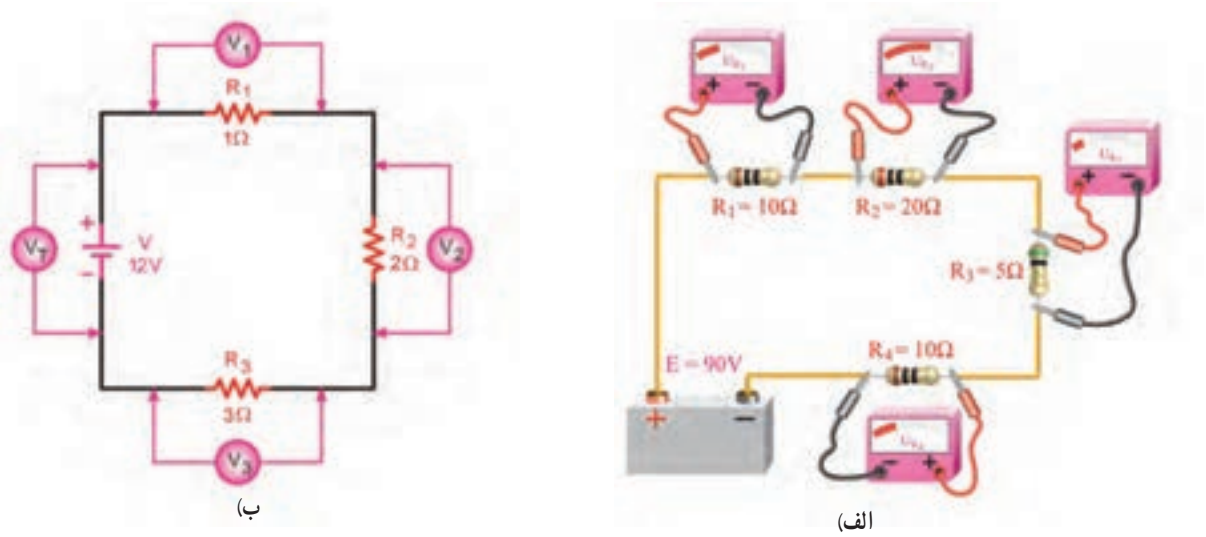
شکل۲۹ــ۱

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 ۳۰ــ ۱).



شکل ۳۰ــ۱ــ افت ولتاژ در دو سر یک مقاومت

اگر مداری را مانند شکل۳۱ــ۱ الف ببندیم، ولت مترها مقادیر ولتاژ متفاوتی را در دو سر مقاومت‌ها نشان می‌دهند. ولت‌مترهای ۱، ۲ ، ۳ و۴ اندازه ولتاژهای دو سر مقاومت‌های R_1، R_2 ، R_3 و R_4را نشان می‌دهند.



شکل۳۱ــ۱ــ مجموع افت ولتاژها در مدار سری با ولتاژ منبع تغذیه برابر است.

در مدار بستهٔ شکل۳۱ــ۱ب، 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 ۳۱ــ۱ ب اندازه‌ای را که ولت‌متر V_1،V_2و V_3 نشان می‌دهد، تعیین کنید. ولتاژ کل منبع تغذیه به نسبت مقدار مقاومت‌ها بین مقاومت‌های مدار تقسیم می‌شود و می‌توانیم بنویسیم :

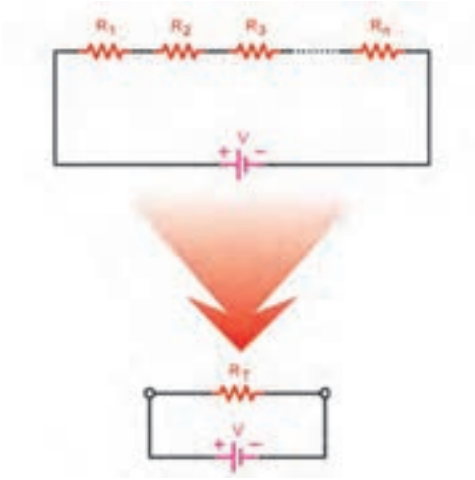
$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

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 شدّت جریان مدار تغییری نکند.

با توضیح‌های داده شده درباره مدارهای سری، رابطهٔ نهایی مقاومت معادل R_T به‌صورت زیر به‌دست می‌آید.

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

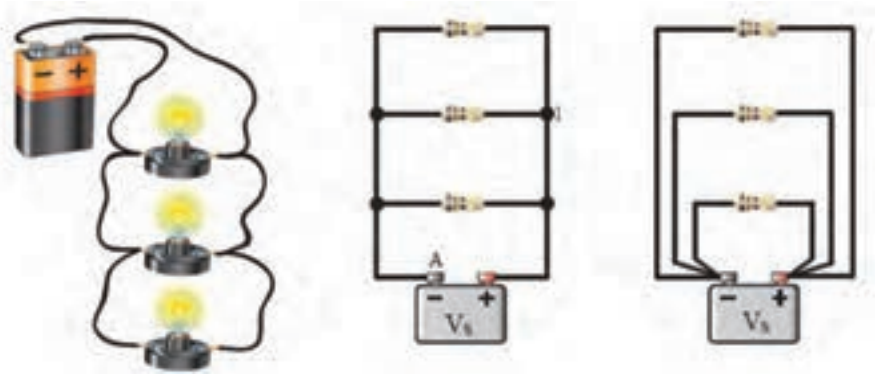
مقاومت معادل مدار شکل ۳۱ــ۱ب را به دست آورید.



شکل ۳۲ــ۱ــ مقاومت معادل

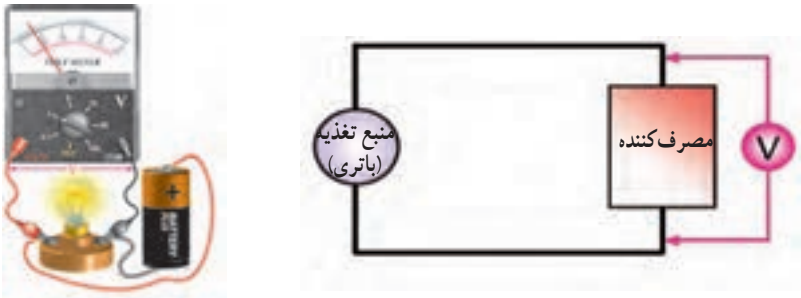
▪ اتصال موازی مقاومت‌ها

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 ۳۳ــ۱ تصویر سه مقاومت و سه لامپ را، که به‌صورت موازی اتصال دارند، نشان می‌دهد.



شکل ۳۳ــ۱ــ اتصال موازی مقاومت‌ها و لامپ‌ها

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

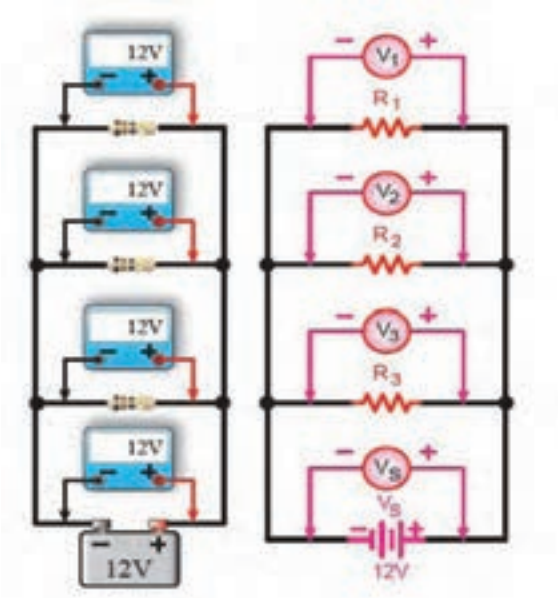


الف) تصویر واقعی ب) مدل مداری

شکل ۳۴ــ۱ اتصال ولت‌متر در مدار

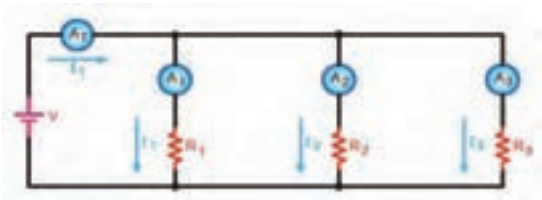
عامل مشترک در مدار موازی : در مدارهای موازی چون دو سر هر مقاومت مستقیماً به دو سر باتری متصل است، بنابراین ولتاژ دو سر همهٔ مقاومت‌ها با هم برابرند. مساوی بودن ولتاژ در مدار موازی عامل مشترک مدار در نظر گرفته می‌شود. با اتصال مداری مانند شکل ۳۵ــ۱ مطلب گفته شده تأیید می‌شود (شکل۳۵ــ۱).

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



شکل ۳۵ــ۱ــ 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 غیرمشترک**» می‌نامیم. جریان در هر شاخهٔ 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.



شکل۳۶ــ۱ــ در مدار موازی شاخه‌ای که اندازه مقاومت کمتری دارد، جریان بیشتری از خود عبور می‌دهد.

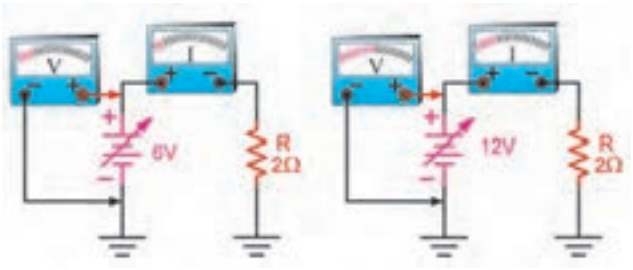
رابطهٔ جریان کل را می‌توان بر اساس این قانون به صورت مقابل نوشت : $I_T=I_1+I_2+I_3$

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

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

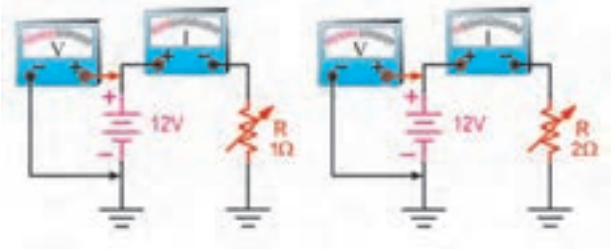
قانون اُهم

اگر مقاومت یک مدار را ثابت نگه داریم و ولتاژ منبع تغذیه را افزایش دهیم، شدّت جریان افزایش می‌یابد (شکل۴۲ــ۱).



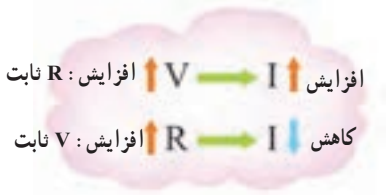
شکل۴۲ــ۱ــ مقاومت ثابت، ولتاژ متغیّر

همچنین اگر ولتاژ منبع تغذیه را ثابت نگه داریم و مقدار مقاومت مدار را افزایش دهیم، جریان مدار کاهش می‌یابد (شکل۴۳ــ۱).

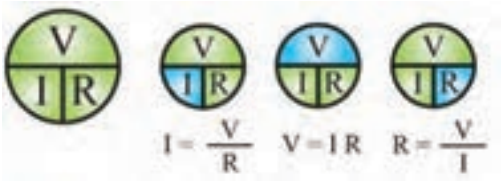


شکل۴۳ــ۱ــ ولتاژ ثابت، مقاومت متغیر

یعنی می‌توانیم بنویسیم :



نتایج آزمایش‌های اُهم به نام قانون اُهم شناخته می‌شود، رابطهٔ قانون اُهم را می‌توانیم به سه صورت بنویسیم.



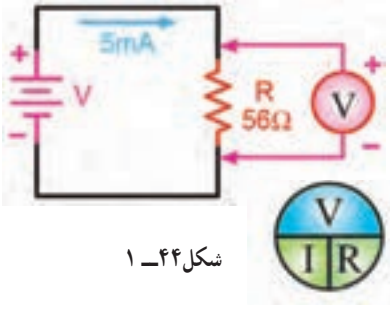
همان گونه که دیده می‌شود اگر دو جزء از معادله معلوم باشد، می‌توان به آسانی جزء سوم را به دست آورد.

مثال : در مدار شکل ۴۴ــ۱، ولت متر چه ولتاژی را نشان می‌دهد؟

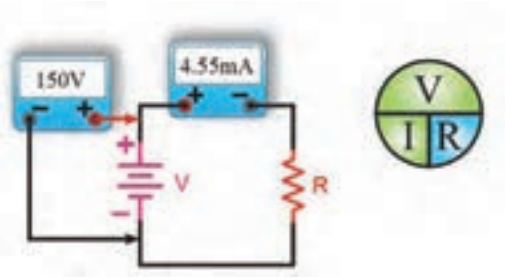
حل :

$$V=R\times I$$

$$V=۵۶\times۵\times۱۰^{-۳}=۰/۲۸\ v$$



شکل۴۴ــ ۱



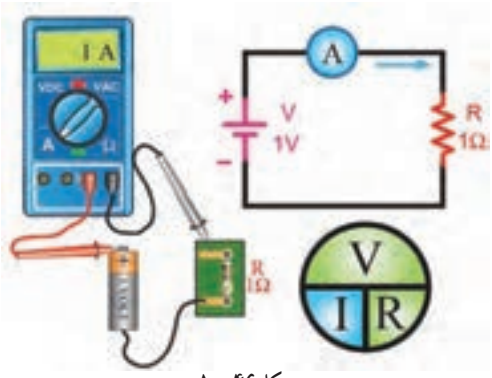
شکل۴۵ــ ۱

مثال : در مدار شکل ۴۵ــ۱ اندازه مقاومت چند کیلواُهم است؟

حل :

$$R=\frac{V}{I}=\frac{۱۵۰}{۴/۵۵\times۱۰^{-۳}}=\frac{۱۵۰\times۱۰^{۳}}{۴/۵۵}=$$

$$=۳۳\times۱۰^{۳}=۳۳K\Omega$$



شکل۴۶ــ ۱

مثال : جریان عبوری از مقاومت مدار شکل ۴۶ــ۱ چند میلی‌آمپر است؟

حل :

$$I=\frac{V}{R}=\frac{۱}{۱}=۱A$$

$$۱\ A=۱۰۰۰\ mA$$

توان الکتریکی

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

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

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

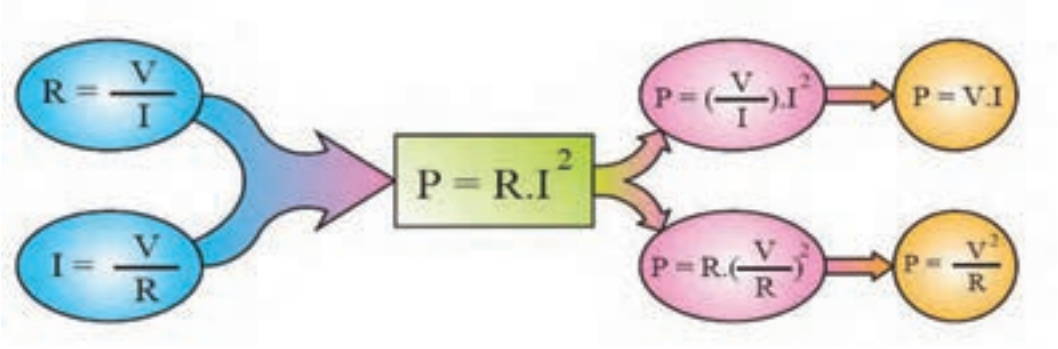
t ــ مدت زمان انجام کار بر حسب ثانیه (S)،

P ــ 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 رابطهٔ الکتریکی آشنا هستیم پس می‌توان رابطهٔ 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 اُهم یک بار به جای R و بار دیگر به جای I معادل پارامتری هر یک را قرار دهیم دو رابطهٔ دیگر برای توان به دست می‌آید. نمودار ۱ــ۱ چگونگی مراحل به دست آوردن روابط را نشان می‌دهد.



نمودار ۱ــ ۱

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 به‌نام «وات متر» اندازه‌گیری می‌کنند. علامت اختصاری این وسیله W است. یک نمونهٔ وات متر را در شکل (۵۲ــ۱) می‌بینید.

شکل۵۲ــ۱ــ روش بستن وات متر در مدار

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 محاسبهٔ توان هر یک از عناصر لازم است دو کمیّت از سه کمیّت V و I و R معلوم باشد تا بتوان یکی از روابط P را به کار برد.

حاصل‌ضرب توان در زمان را «**انرژی**» می‌گویند. برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی از کنتور استفاده می‌کنند. امروزه کنتورها تک فاز و سه فاز دیجیتالی 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 فاصلهٔ 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.

شکل۵۳ــ۱ــ کنتورهای تک فاز و سه فاز دیجیتالی

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 کارآیی هر وسیله با اصطلاح «**کارآیی**» یا «**راندمان**» یا بازده بیان می‌شود. نمودار **۲ــ۱**وضعیت مصرف کننده‌ها را از نظر ورودی و خروجی نشان می‌دهد.

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 «η» نشان دهیم، رابطهٔ آن به‌صورت زیر خواهد شد :

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

در محاسبهٔ میزان راندمان یک وسیلهٔ الکتریکی باید به نوع توان یا انرژی ورودی و خروجی آن توجه کرد و در محاسبه مقدار راندمان یا کارآیی، 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 ۵۴ــ۱).

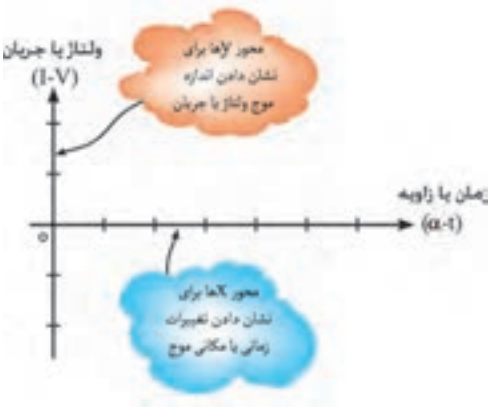
شکل۵۴ــ۱ــ توان و تلفات در موتور الکتریکی

همچنین در یک لامپ، توان ورودی (P_1) انرژی الکتریکی است و توان خروجی (P_2) مفید از نوع انرژی نورانی و توان غیرمفید(ΔP) گرما است.

شکل ۵۵ــ۱ــ توان و تلفات در لامپ معمولی

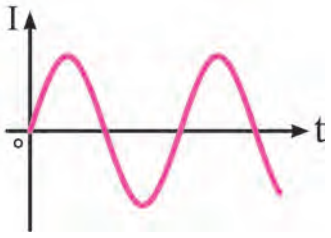
جریان متناوب

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 شکل‌موج، 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.



شکل۵۶ــ۱ــ محورهای مختصاتی برای رسم شکل‌موج

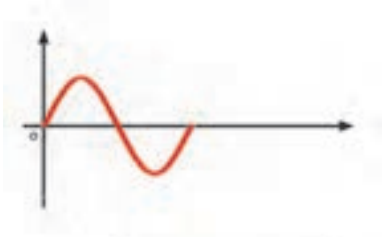
جریان الکتریکی متناوب نخست در یک جهت جریان می‌یابد، سپس جهت خود را عوض می‌کند و در خلاف جهت قبل جاری‌می‌شود (شکل ۵۷ــ۱).

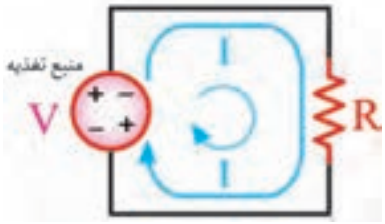


شکل ۵۷ــ۱ــ جریان متناوب در مدار الکتریکی

مشخصات جریان متناوب :

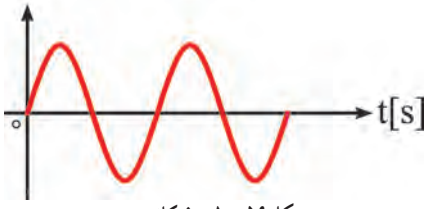
چرخه (سیکل) : در یک کار یا فرایند که به‌طور متناوب تکرار می‌شود به هر تکرار یک چرخه گفته می‌شود برای نمونه در یک جریان سینوسی متناوب یک نیم موج مثبت و منفی با هم یک سیکل یا چرخه را تشکیل می‌دهند.





شکل ۵۸ــ۱

بسامد (فرکانس) : به تعداد سیکل‌ها (نوسانات) در مدت زمان یک ثانیه «فرکانس» می‌گویند. واحد فرکانس هرتز[1] (Hz) است. فرکانس برق ایران ۵۰ هرتز است. در شکل ۵۹ــ۱ مقدار فرکانس ۲ هرتز است.

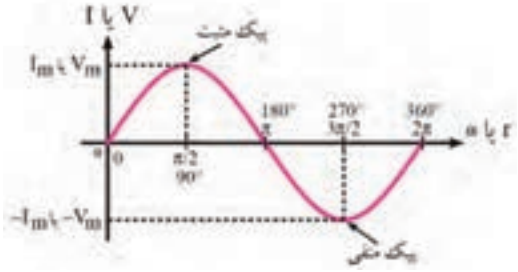


شکل۵۹ــ۱ــ فرکانس

فرکانس‌متر برای اندازه‌گیری فرکانس به کار برده می‌شود (شکل ۶۰ــ ۱). فرکانس متر در مدار موازی بسته می‌شود.

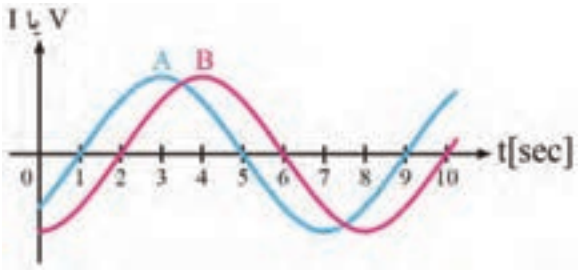
شکل ۶۰ــ۱ــ فرکانس متر

مقدار ماکزیمم (پیک) : به حداکثرِ مقداری که ولتاژ و جریان سینوسی در هر سیکل می‌توانند به آن دست یابند، مقدار ماکزیمم گویند. (شکل ۶۱ــ۱).



شکل۶۱ــ۱ــ مقدار ماکزیمم موج

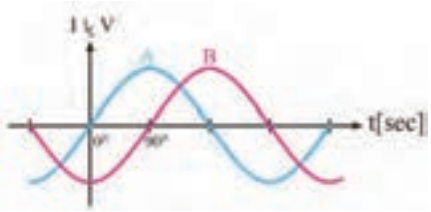
اختلاف فاز : فاز اصطلاحی است که وضعیت زمانی یا مکانی دو یا چند یک موج را نسبت به یک مبدأ مشخص بیان می‌کند. برای تعیین میزان اختلاف بین دو یا چند موج از اصطلاح اختلاف فاز استفاده می‌کنند. در شکل۶۲ــ۱ موج A و B به اندازهٔ یک ثانیه با هم اختلاف فاز (اختلاف زمانی) دارند. موج A یک ثانیه نسبت به موج B جلوتر است. یعنی موج A یک ثانیه زودتر از موج B به مقدار ماکزیمم و صفر می‌رسد.



شکل۶۲ــ۱ــ اختلاف فاز یک ثانیه

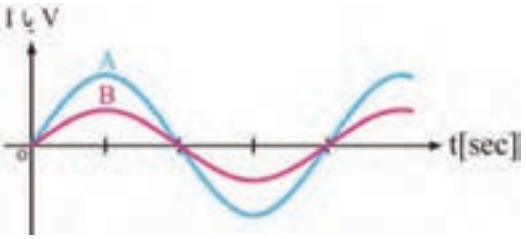
۱ــ $Hz=\frac{1}{s}$

در شکل ۶۳ــ۱ موج A به اندازهٔ ۹۰ درجه از موج B جلوتر است یا به عبارتی دیگر، دو موج A و B به اندازهٔ ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند.



شکل۶۳ــ۱ــ اختلاف فاز ۹۰ درجه

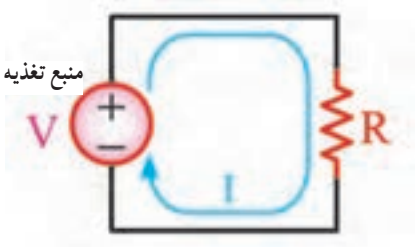
در شکل (۶۴ــ۱) دو موج با هم، هم‌فازند و هیچ اختلاف فازی ندارند. چون نقطهٔ شروع هر دو موج یکسان است و این دو موج در مقادیر ماکزیمم(پیک) اختلاف دارد.



شکل۶۴ــ۱ــ دو موج هم فاز

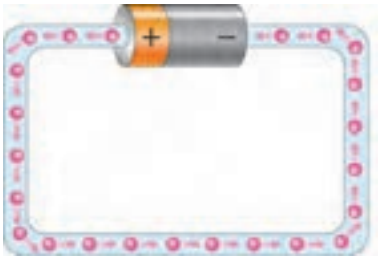
جریان مستقیم

اگر قطب‌های منبع ولتاژ مدار هرگز تغییر نکند، جهت جریان ثابت می‌ماند و به آن «جریان مستقیم یا DC» می‌گویند (شکل۶۵ــ۱).



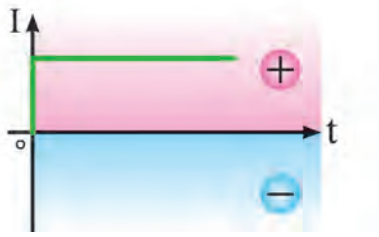
شکل۶۵ــ۱ــ مدار با جریان مستقیم

اگر جریان مستقیم (DC) از قطعه سیمی‌عبور 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 (شکل۶۶ــ۱).



شکل۶۶ــ ۱

موج‌هایی که دارای قسمت منفی نیستند، موج مستقیم نامیده می‌شوند. برق باتری‌ها دارای موج مستقیم است (شکل۶۷ــ۱).



شکل۶۷ــ۱ــ موج جریان مستقیم

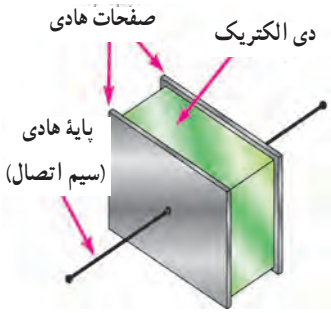
خازن

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 ۶۸ــ۱، تعدادی از انواع خازن‌ها، که در موتورهای الکتریکی کاربرد زیادی دارند، نشان داده شده است.

شکل ۶۸ــ۱ــ نمونه‌های مختلف خازن

ساختمان خازن

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



شکل ۶۹ــ۱ــ ساختمان داخلی و نشانه اختصاری خازن

خازن دارای دو بخش اصلی است.

الف) صفحات خازن : صفحات خازن‌هادی هستند و بیشتر از ورقه‌های نازک از جنس آلومینیوم، روی یا نقره ساخته می‌شوند.

شکل ۷۰ــ۱ــ صفحات خازن

ب) مادهٔ عایق (دی‌الکتریک) : مادهٔ عایق به کار رفته بین صفحات خازن را دی الکتریک گویند. این مادهٔ عایق می‌تواند هوا، خلأ، کاغذ، شیشه، میکا، روغن و... باشد.

ویژگی‌های خازن

برخی از ویژگی‌های فنی خازن عبارت‌اند از :

الف) ظرفیت : مقدار توانایی یک خازن در ذخیره کردن الکتریسیته را «**ظرفیت خازن**» می‌گویند. به عبارت دیگر ظرفیت خازن برابر است با مقدار باری که باید روی یکی از صفحات خازن ذخیره شود تا پتانسیل آن نسبت به صفحهٔ دیگر به اندازهٔ یک ولت افزایش یابد. ظرفیت خازن را با حرف C نمایش می‌دهند و آن را با واحد فاراد می‌سنجند. مقدار ظرفیت خازن را روی بدنهٔ آن یا در برگهٔ مشخصات (کالانما) آن مشخص می‌کنند. ظرفیت خازن را می‌توان از رابطهٔ زیر به دست آورد :

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

که در آن :

C ــ ظرفیت خازن (بر حسب فاراد)

qــ بار الکتریکی ذخیره شده در صفحات (بر حسب کولن)

Vــ ولتاژ دو سر خازن (بر حسب ولت)است.

چون فاراد واحد بسیار بزرگی است. لذا از واحدهای کوچک‌تر مانند میکروفاراد یا $\frac{۱}{۱۰۰۰۰۰۰}$ فاراد استفاده می‌شود. که آن را با μF نشان می‌دهند. $۱F=۱۰^{۶}\mu F$ یا $۱\mu F=۱۰^{-۶}F$

شکل ۷۱ــ۱

اولین موضوعی که در انتخاب یک خازن باید به آن توجه کرد، ظرفیت آن است. در شکل ۷۱ــ۱ مقدار ظرفیت خازن ۱۰μF است. شاید مقدار ظرفیت خازن مورد نیاز ما در حوزه خازن‌های استاندارد موجود در بازار نباشد. ولی شاید بتوانیم به کمک چند خازن، مقدار ظرفیت خازن معادل را بسازیم.

شکل ۷۲ــ۱

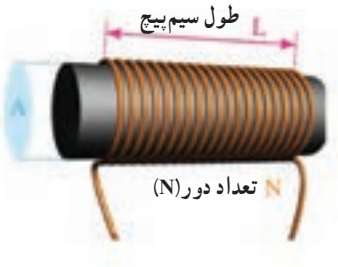
ب) ولتاژ کار : به بیشینه ولتاژی که می‌توان به خازن اعمال کرد، به گونه‌ای که عایق دی الکتریک آن آسیب نبیند، ولتاژ کار خازن می‌گویند. توجه به مقدار این ولتاژ بسیار مهم است. مقدار ولتاژ اعمال شده به خازن باید مساوی یا کمتر از مقدار ولتاژ کار خازن باشد. مقدار ولتاژ کار را روی خازن می‌نویسند یا توسط کارخانه سازنده در برگهٔ مشخصات (کاتالوگ) آن آورده می‌شود.

ج) تُلِرانس : به بیشینه انحراف مجاز ظرفیت خازن نسبت به ظرفیت اسمی آن، تلرانس گویند. در شکل ۷۳ــ۱ تُلِرانس ظرفیت خازن ده درصد است. یعنی ظرفیت خازن می‌تواند ده درصد بیشتر یا ده در صد کمتر از مقدار ظرفیت نوشته شده روی آن باشد.

شکل ۷۳ــ ۱

د) ضریب حرارتی : به بیشینه میزان تغییر ظرفیت خازن به ازای یک درجهٔ تغییر دما ضریب حرارتی می‌گویند.

بوبین (سیم پیچ)

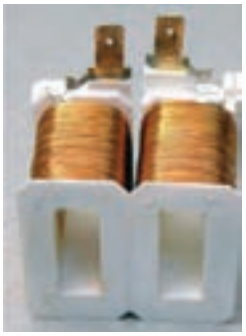


اگر به دور محور یا هسته‌ای، چند حلقه سیم پیچیده شود، بوبین یا سیم‌پیچ به‌وجود می‌آید. این سیم‌پیچ می‌تواند انرژی الکتریکی را به صورت میدان مغناطیسی در خود ذخیره کند. به سیم‌پیچ، «سلف» نیز می‌گویند. در شکل ۸۱ــ۱ یک نمونه بوبین به همراه علامت اختصاری آن نشان داده شده است. از سیم‌پیچ‌ها یا سلف‌ها در ساخت انواع رله‌های مغناطیسی و موتورهای الکتریکی استفاده می‌شود.

شکل ۸۱ــ۱ سیم‌پیچ

ساختمان بوبین :

یک بوبین دارای دو بخش اصلی است.



شکل ۸۲ــ۱ــ سیم‌پیچ روی قرقره پیچیده شده

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

شکل ۸۳ــ۱ــ هستهٔ 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 سیم‌پیچ است. در شکل۸۳ــ۱ یک نمونه هسته نشان داده شده است.

خودآزمایی

۱ــ چگونگی توزیع برق به مناطق شهری و روستایی را از نظر سطح ولتاژ توضیح دهید.

۲ــ کمیّت‌های الکتریکی جریان، اختلاف پتانسیل، مقاومت، توان، راندمان، فرکانس، اختلاف فاز را تعریف کنید.

۳ــ یک مدار الکتریکی را به همراه تمام اجزای آن ترسیم کنید.

۴ــ عناصر مدار الکتریکی و مشخصات آنها را توضیح دهید.

۵ــ قانون اُهم را شرح دهید.

۶ــ انواع اتصالات مقاومت‌ها را نام ببرید و ویژگی‌های هر یک را توضیح دهید.

۷ــ انواع مولتی‌متر را از نظر ساختمان نام ببرید و روش اندازه‌گیری کمیّت‌های الکتریکی را با آنها توضیح دهید.

۸ــ نکاتی را که در اندازه‌گیری کمیّت‌های الکتریکی با مولتی‌متر باید مورد توجه قرار داد، بنویسید.

۹ــ جریان متناوب و جریان مستقیم را با رسم شکل‌موج‌های هر یک توضیح دهید.

۱۰ــ خازن را تعریف کنید و ساختمان و ویژگی‌های خازن‌ها را توضیح دهید.

۱۱ــ سیم پیچ و ساختمان آن را توضیح دهید.