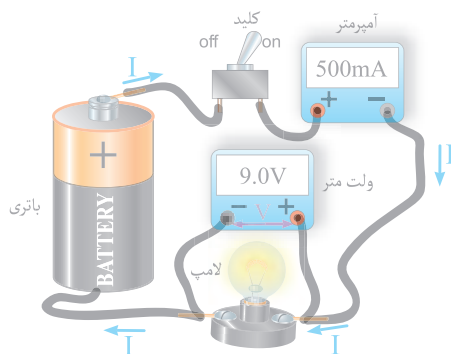


## کمیت‌های الکتریکی

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

- ۱- جریان الکتریکی را تعریف کند.
- ۲- پتانسیل الکتریکی (ولتاژ) را تعریف کند.
- ۳- مقاومت الکتریکی را تعریف کند.
- ۴- مقاومت الکتریکی سیم را توضیح دهد.
- ۵- پیشوندهای واحدهای اندازه‌گیری را توضیح دهد.
- ۶- مدار الکتریکی را تعریف کند.
- ۷- اجزای اصلی و فرعی مدار الکتریکی را نام ببرد.
- ۸- مفاهیم مدار بسته و مدار باز را شرح دهد.
- ۹- قانون اهم را با ذکر رابطه توضیح دهد.
- ۱۰- مفهوم حالت اتصال کوتاه در مدارهای الکتریکی را شرح دهد.
- ۱۱- انواع مقاومت‌های اهمی را توضیح دهد.



## سیمای فصل ۲

- جریان الکتریکی
- پتانسیل الکتریکی (ولتاژ)
- مقاومت الکتریکی
- مقاومت الکتریکی سیم
- پیشوندهای واحدهای اندازه‌گیری
- مدار الکتریکی
- اجزای مدار الکتریکی
- مدار بسته
- مدار باز
- قانون اهم
- اتصال کوتاه
- انواع مقاومت‌های اهمی



## آشنایی با دانشمندان

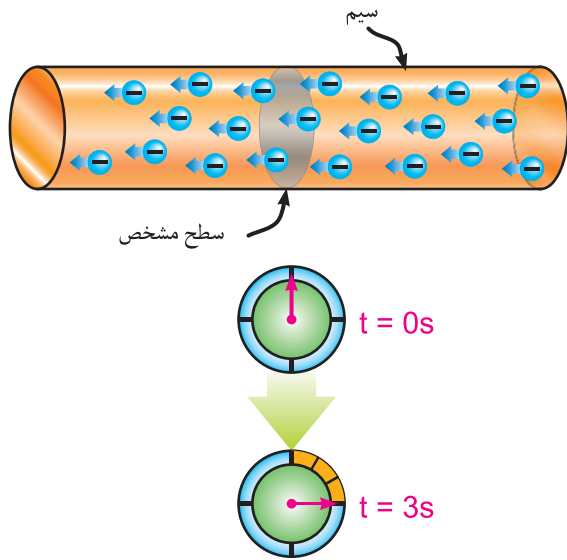
اهم

(Ohm, George Simon / ۱۸۵۴ – ۱۷۸۷)



پدر این دانشمند آلمانی قفل‌ساز بود، ولی به مطالعه کتاب‌های علمی علاقه داشت و پسر را نیز تشویق می‌کرد. اهم در ۱۸ سالگی معلم ریاضی شد و پس از گرفتن دکترای ریاضی، استاد دانشگاه شهر کلن شد. در این زمان بود که با استفاده از تشابهی که میان انتقال گرما و الکتریسیته کشف کرد به اندازه‌گیری شدت جریان الکتریکی پرداخت و قانونی را ارائه داد که امروز به نام «قانون اهم» معروف است. انجمن سلطنتی انگلستان بزرگ‌ترین نشان علمی خود را به پاس کشف این قانون به او اهدا کرد. واحد مقاومت الکتریکی نیز به احترام او اهم نامیده می‌شود.

## ۲- کمیت‌های الکتریکی



تعداد الکترونی‌هایی که از سطحی مشخص در طی زمانی معین می‌گذرند.

شکل ۲-۱

وسیله‌ای که برای اندازه‌گیری شدت جریان به کار می‌رود «آمپر متر» نام دارد. آمپر متر در مدار به صورت سری بسته می‌شود. شکل ۲-۲ تصویر دو نمونه آمپر متر را به همراه علامت اختصاری آن‌ها نشان می‌دهد.



تابلویی



آزمایشگاهی

الف) تصویر دو نمونه آمپر متر



شکل ۲-۲

### ۲-۱- جریان الکتریکی

اگر بتوانیم با دادن انرژی الکترون‌های لایه آخر اتم را آزاد کنیم و در یک مسیر حرکت دهیم جریان الکتریکی به وجود می‌آید. به مقدار بار الکتریکی (الکترون‌های آزاد) که از یک سطح مشخص در طی مدت زمانی معین عبور کند، «شدت جریان الکتریکی» گفته می‌شود (شکل ۲-۱). شدت جریان الکتریکی را با حرف  $I$  نشان می‌دهند و واحد آن بر حسب «آمپر -  $A$ » بیان می‌شود. بنا به تعریف اگر در یک ثانیه از یک نقطه سیم یک کولن الکتروسیته عبور کند شدت جریان یک آمپر خواهد بود.

$$I = \frac{q}{t}$$

$I$  = شدت جریان بر حسب آمپر

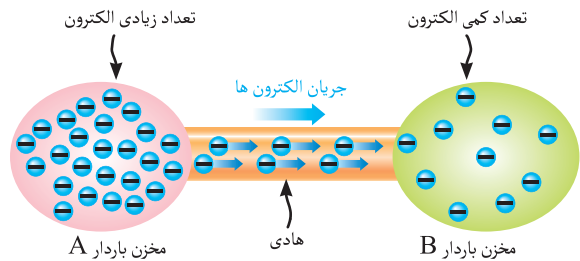
$q$  = مقدار الکتروسیته بر حسب کولن<sup>۱</sup>

$t$  = زمان بر حسب ثانیه

۱- یک کولن بار معادل  $(1.6 \times 10^{-19} \times 6.28 \times 10^{23})$  الکترون است.

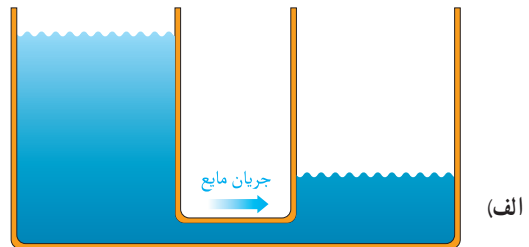
## ۲-۲ پتانسیل الکتریکی (ولتاژ)

به اختلاف بار الکتریکی در دو نقطه «اختلاف پتانسیل» می‌گویند. اختلاف پتانسیل (ولتاژ) باعث حرکت الکترون‌های آزاد می‌شود (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳

اختلاف پتانسیل را می‌توان با اختلاف دما، که سبب انتقال گرما در یک جسم می‌شود یا اختلاف سطح مایع بین دو ظرف به هم پیوسته که سبب جاری شدن مایع بین دو ظرف می‌گردد، مقایسه کرد. همان‌طوری که اختلاف دما جهت انتقال گرما و اختلاف فشار مایع جهت حرکت مایع را مشخص می‌کند، اختلاف پتانسیل نیز جهت جریان الکتریکی را نشان می‌دهد (شکل ۲-۴). اختلاف پتانسیل یا «ولتاژ» را با حرف V نشان می‌دهند و واحد آن بر حسب



(الف)

اختلاف فشار مایع را جابه‌جا می‌کند

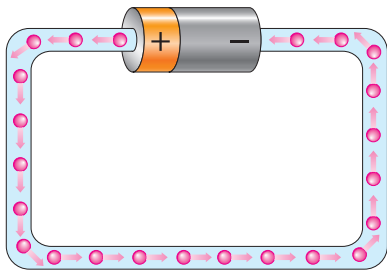


(ب)

اختلاف دما سبب انتقال گرما می‌شود

شکل ۲-۴

«ولت-V» بیان می‌شود. طبق قرارداد، همیشه اختلاف پتانسیل از پتانسیل بیش‌تر (مثبت) به سمت پتانسیل کم‌تر (منفی) جاری می‌شود (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵

وسیله‌ای که برای سنجش اختلاف پتانسیل به کار می‌رود «ولت‌متر» نام دارد. در شکل ۲-۶ تصویر دو نمونه ولت‌متر به همراه علامت اختصاری آن‌ها نشان داده شده است. ولت‌متر در مدار به صورت موازی بسته می‌شود.



آزمایشگاهی



تابلویی

(الف) دو نمونه ولت‌متر



(ب) علامت اختصاری ولت‌متر

شکل ۲-۶

جلوگیری از عبور جریان اضافی در مسیر وسایل الکتریکی استفاده می‌شود.

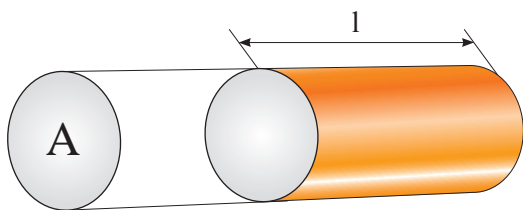
از جمله منابع ولتاژ باتری خشک قلمی دارای ولتاژ ۱/۵ ولت، باتری اتومبیل دارای ولتاژ ۱۲ ولت، برق شهر دارای ولتاژ ۲۲۰ ولت و برق‌های صنعتی دارای ولتاژ ۳۸۰ ولت را می‌توان نام برد. به اختلاف پتانسیل نیروی محرکه الکتریکی نیز می‌گویند.

## ۲-۴- مقاومت الکتریکی سیم

هرگاه بخواهیم براساس مشخصات داده شده شکل ۲-۹ مقاومت یک رشته سیم را به طول  $l$  متر و سطح مقطع  $A$  میلی‌متر مربع از جنس مشخصی به دست آوریم می‌توانیم آن را از رابطه (۱) حساب کنیم.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1)$$

در این رابطه « $\rho$  - رو» نشان‌دهنده «مقاومت مخصوص» است که برحسب  $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$  بیان می‌شود. مقدار مقاومت



شکل ۲-۹

مخصوص برای جنس‌های مختلف متفاوت است.

مثال: مقاومت  $100$  متر سیم مسی با سطح مقطع  $2/5 \text{mm}^2$  چند اهم است؟

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

$$R = 0/0178 \times \frac{100}{2/5} = 0/712 \Omega \quad (\rho_{\text{Cu}} = 0/0178 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}})$$

مثال: هرگاه برای برق‌رسانی به یک موتور الکتریکی که در فاصله ۱ کیلومتری از تابلوی برق قرار دارد، بخواهیم از سیم مسی با حداکثر مقاومت  $20 \Omega$  استفاده کنیم، سطح مقطع سیم را باید چند میلی‌متر مربع انتخاب کنیم؟

## ۲-۳- مقاومت الکتریکی

به ایستادگی ذرات هادی در مقابل عبور جریان الکتریکی «مقاومت الکتریکی» گفته می‌شود. مقاومت الکتریکی را با حرف  $R$  نشان می‌دهند و برحسب «اُهم -  $\Omega$ » محاسبه می‌شود. علامت اختصاری مقاومت الکتریکی یکی از تصاویر نشان داده شده در شکل ۲-۷ است. وسیله‌ای که برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی به کار می‌رود «اُهم‌تر» نام دارد، شکل ۲-۸ تصویر یک نمونه اهم‌تر را به همراه علامت اختصاری آن نشان می‌دهد. از مقاومت‌های اهمی برای کنترل جریان الکتریکی و



شکل ۲-۷- علامت اختصاری مقاومت

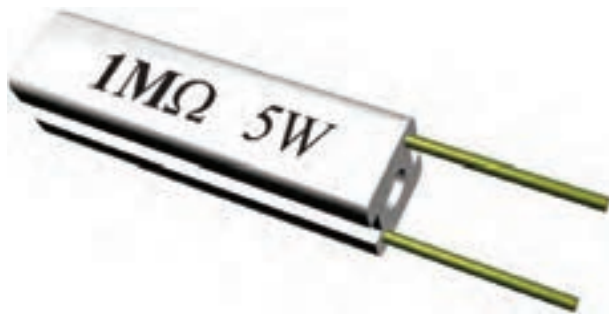


الف) یک نمونه اهم‌تر



ب) علامت اختصاری اهم‌تر

شکل ۲-۸



شکل ۲-۱۰

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

$$A = \rho \frac{l}{R} = 0.0178 \times \frac{1000}{2}$$

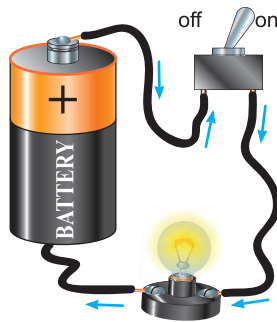
$$A = 0.89 \text{ mm}^2$$

## ۲-۵- پیشوندهای واحدهای اندازه گیری

برای نشان دادن واحدهای بزرگ تر یا کوچک تر از واحد اصلی از پیشوندهایی استفاده می شود که در جدول ۲-۱ مفاهیم ۵ میکروآمپر باشد معادل چند آمپر است؟  
 و مقدار (ضریب) آن ها آمده است. برای مثال یک مگاوات معادل یک میلیون وات یا  $10^6$  است. یا یک میکروآمپر معادل یک میلیونیم آمپر یا  $10^{-6}$  است.

$$I = \frac{5}{10^6} = 5 \times 10^{-6} \text{ A}$$

حل:



شکل ۲-۱۱

جدول ۲-۱- تبدیل واحد

| مقدار ضریب        | شکل نمایی ضریب | نام ضریب  | حرف اختصاری |
|-------------------|----------------|-----------|-------------|
| 1,000,000,000,000 | $10^{12}$      | ترا       | T           |
| 1,000,000,000     | $10^9$         | گیگا      | G           |
| 1,000,000         | $10^6$         | مگا       | M           |
| 1,000             | $10^3$         | کیلو      | K           |
| 100               | $10^2$         | هکتا      | H           |
| 10                | $10^1$         | دکا       | da          |
| 1                 | $10^0$         | واحد اصلی |             |
| 0/1               | $10^{-1}$      | دسی       | d           |
| 0/01              | $10^{-2}$      | سانتی     | c           |
| 0/001             | $10^{-3}$      | میلی      | m           |
| 0/000,001         | $10^{-6}$      | میکرو     | $\mu$       |
| 0/000,000,001     | $10^{-9}$      | نانو      | n           |
| 0/000,000,000,001 | $10^{-12}$     | پیکو      | p           |

اضعاف

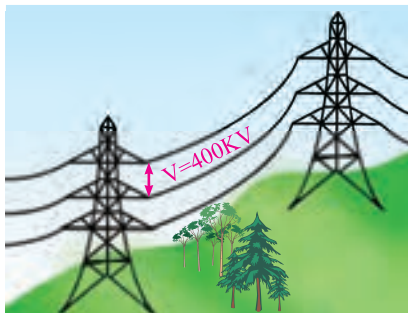
اجزاء

مثال: هرگاه ولتاژ بین سیم های دکل برق شکل ۲-۱۲ برابر  $400$  کیلوولت باشد این ولتاژ معادل چند ولت و چند میکرو ولت است؟

$$V = 400 \times 10^3 \text{ v}$$

$$V = 400 \times 10^3 \times 10^6 = 4 \times 10^{11} \text{ v}$$

حل:



شکل ۲-۱۲

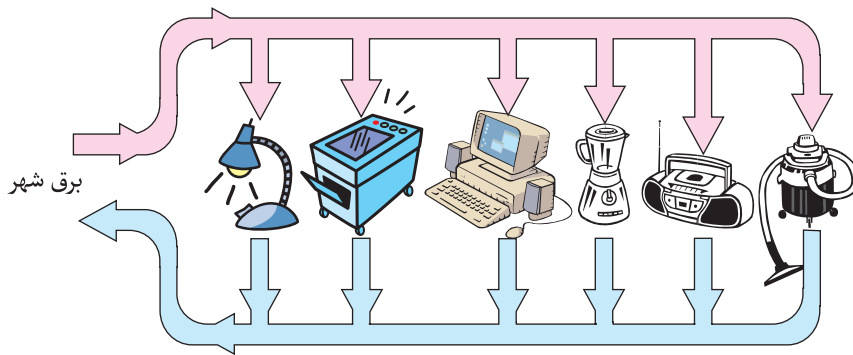
مثال: مقاومت نشان داده شده در شکل ۲-۱۰ چند اهم است؟

$$R = 1 \times 10^6 = 1000000 \Omega$$

حل:

## ۲-۶ مدار الکتریکی

گفته می‌شود. در شکل ۲-۱۳ مسیر جریان (مدار الکتریکی) چند وسیله الکتریکی را مشاهده می‌کنید.



مسیر عبور جریان الکتریکی (مدار) چند وسیله الکتریکی

شکل ۲-۱۳

## ۲-۷ اجزای مدار الکتریکی

به طور کلی اجزای مدار را به دو دسته کلی زیر می‌توان تقسیم کرد.

۱- اجزای اصلی

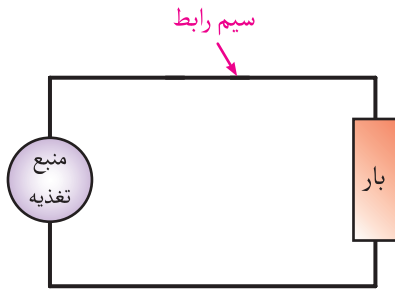
۲- اجزای فرعی

اجزای اصلی هر مدار به اجزایی گفته می‌شود که در یک مدار وجود آن‌ها جهت جاری شدن جریان ضروری است و نمی‌توان آن‌ها را نادیده گرفت و حذف کرد. اجزای اصلی مدار عبارت‌اند از:

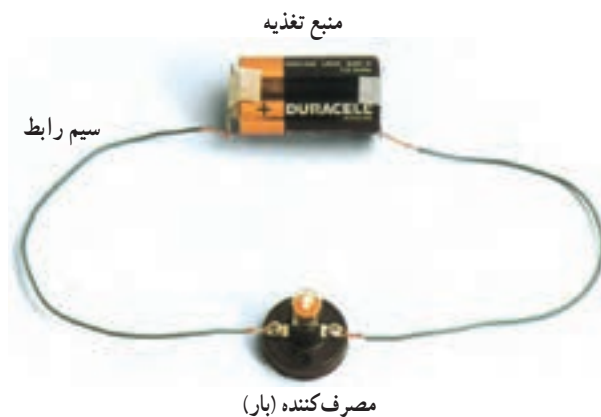
I. منبع تغذیه<sup>۱</sup> (مولد یا باتری)

II. سیم‌های رابط (سیم یا کابل)

III. مصرف‌کننده (بار)<sup>۲</sup> (لامپ، بخاری برقی و ...)



(الف)

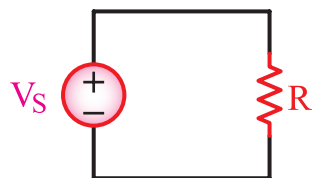
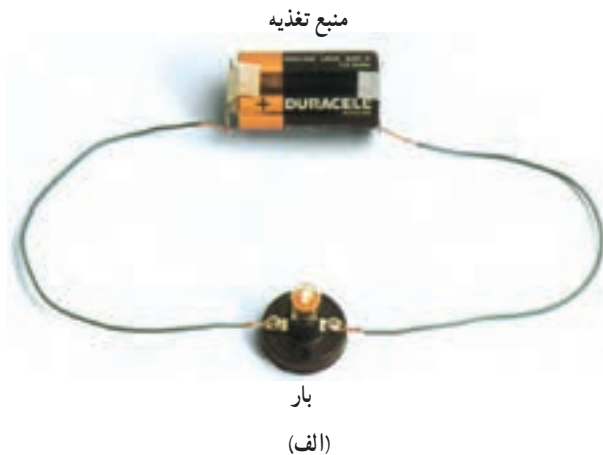


(ب)

شکل ۲-۱۴- تصویر مدار الکتریکی به همراه اجزای اصلی

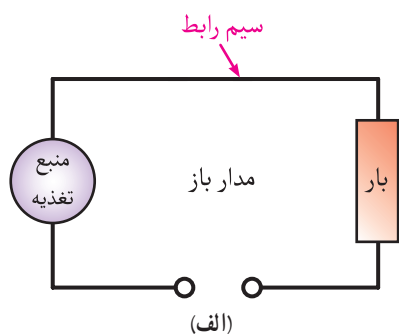
۱- Power Supply

۲- Load



(ب)

شکل ۲-۱۶



(ب) مدار باز

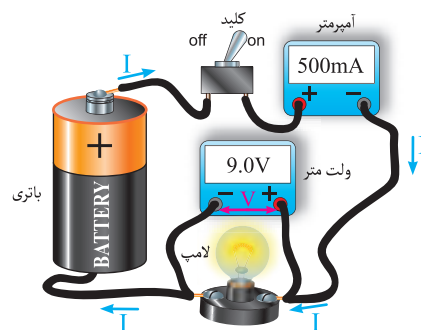
شکل ۲-۱۷

در هر مدار الکتریکی ممکن است علاوه بر اجزای اصلی از تجهیزات دیگری نیز استفاده شود که اصطلاحاً به آن‌ها «اجزای فرعی» گفته می‌شود. حضور اجزای فرعی در مدارهای الکتریکی ضرورت ندارد و در صورت نیاز نداشتن می‌توان از اتصال آن‌ها خودداری کرد. از جمله اجزای فرعی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

الف) وسایل اندازه‌گیری (مانند: آمپر متر، ولت متر، اهم متر و ...)

ب) وسایل حفاظتی (مانند: فیوز، رله‌های حفاظتی و ...)

ج) وسایل کنترلی (مانند: کلیدهای دستی، کلیدهای مغناطیسی و ...)



شکل ۲-۱۵- تصویر مدار الکتریکی به همراه اجزای فرعی مدار

## ۲-۸- مدار بسته و مدار باز

مدار بسته (کامل) به مداری گفته می‌شود که جریان الکتریکی در سیم‌های آن جاری باشد. در شکل ۲-۱۶ تصویر یک مدار بسته واقعی به همراه شکل ترسیمی آن نشان داده شده است.

مدار باز به مداری اطلاق می‌شود که جریان الکتریکی در سیم‌های آن جاری نباشد. این امر در صورتی اتفاق می‌افتد که مانند شکل ۲-۱۷ مدار در نقطه‌ای قطع شده باشد یا این که مشابه شکل ۲-۱۸ توسط کلیدی مدار قطع شده باشد.



گاهی اوقات باز شدن مدار به شکل ناخواسته صورت می‌گیرد، مانند باز شدن سیم‌های داخلی مصرف‌کننده.

فرمول فوق را به صورت‌های زیر نیز می‌توان نوشت:

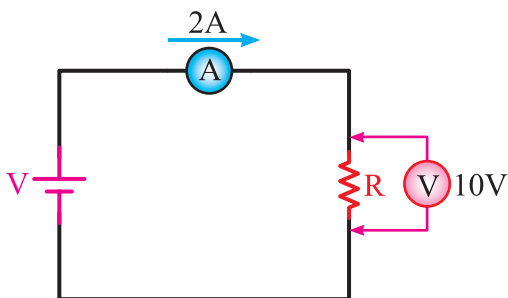
$$R = \frac{V}{I}$$

$$V = IR$$

مثال: در مدار شکل ۲-۲۰ مقدار مقاومت چند اهم



است؟

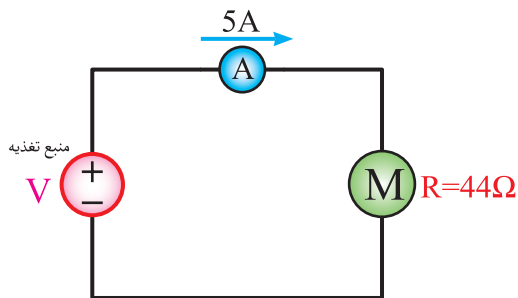


شکل ۲-۲۰

$$R = \frac{V}{I} = \frac{10}{2} = 5\Omega$$

حل:

مثال: در مدار شکل ۲-۲۱ اختلاف پتانسیل منبع تغذیه باید چند ولت باشد تا جریان عبوری از مدار ۱۰ A شود؟



شکل ۲-۲۱

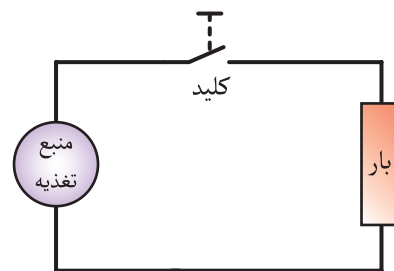
$$V = R \cdot I$$

$$V = 44 \times 5 = 220V$$

مثال: در مدار شکل ۲-۲۲ آمپر متر چند میلی‌آمپر را



نشان می‌دهد؟



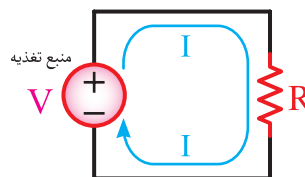
شکل ۲-۱۸

## ۲-۹- قانون اهم

جرج سیمون اهم براساس تحقیقاتی که انجام داد توانست به بررسی ارتباط بین شدت جریان الکتریکی جاری در یک مدار با ولتاژ و مقاومت الکتریکی آن بپردازد. وی نتایج خود را تحت عنوان «قانون اهم» بیان کرد.

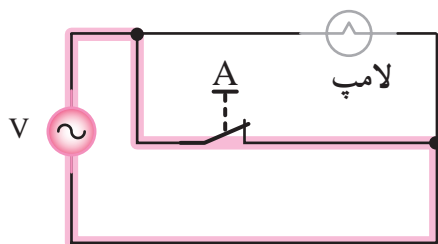
اهم، پس از آزمایش‌های زیاد، به این نتیجه رسید که هرگاه در یک مدار مطابق شکل ۲-۱۹ ولتاژ مدار را افزایش دهیم جریان عبوری از مدار نیز افزایش می‌یابد. هم‌چنین اهم به این نتیجه رسید که هرگاه مقدار مقاومت یک مدار را افزایش دهیم جریان عبوری از مدار کاهش می‌یابد. وی نتایج آزمایش‌های خود را چنین بیان کرد. در یک مدار جریان مستقیم با ولتاژ نسبت مستقیم و با مقاومت نسبت عکس دارد.

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



شکل ۲-۱۹





شکل ۲-۲۴

طبق قانون اهم داریم: (بی نهایت)  $I = \frac{V}{R} = \frac{V}{0} = \infty$   
 پس می توان نتیجه گرفت در این حالت که کلید دو سر لامپ را به هم متصل می کند مدار اتصال کوتاه می شود و جریان شدیدی از آن می گذرد.

### ۱۱-۲ انواع مقاومت های اهمی

مقاومت های اهمی از نظر شکل استفاده به دو دسته کلی تقسیم

می شوند.

الف) مقاومت های ثابت

ب) مقاومت های متغیر

الف) مقاومت های اهمی ثابت

به آن گروه از مقاومت های اهمی که مقدارشان همواره ثابت

است مقاومت های ثابت گویند (شکل ۲-۲۵).



شکل ۲-۲۵

ب) مقاومت های اهمی متغیر

مقاومت های متغیر به مقاومت هایی گفته می شود که مقدارشان

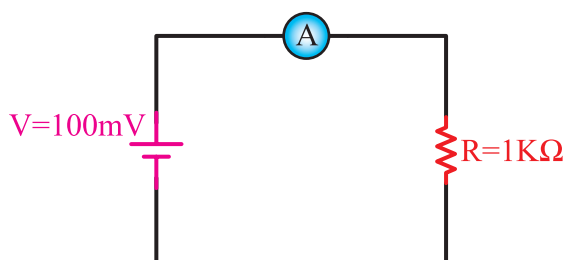
ثابت نباشد و قابل تغییر است.

این مقاومت ها در دو نوع زیر ساخته می شوند.

حل:  $V = 100 \text{ mV} = \frac{100}{1000} = 0.1 \text{ V}$

$R = 1 \text{ k}\Omega = 1 \times 1000 = 1000 \Omega$

$I = \frac{V}{R} = \frac{0.1}{1000} = 0.0001 \text{ A}$   
 $= 0.1 \text{ mA}$



شکل ۲-۲۲

### ۱۰-۲ اتصال کوتاه

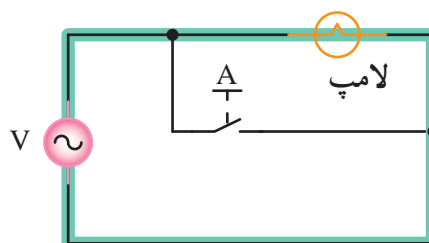
توجه: اصطلاحاً به شرایطی که مقاومت مدار به مقدار

صفر برسد وضعیت «اتصال کوتاه مدار» گویند. در شکل ۲-۲۳

اگر کلید A قطع باشد لامپ روشن است. مقدار جریان در این

حالت طبق قانون اهم برابر است با:

$$I = \frac{V \text{ (ولتاژ مدار)}}{R \text{ (مقاومت لامپ)}}$$



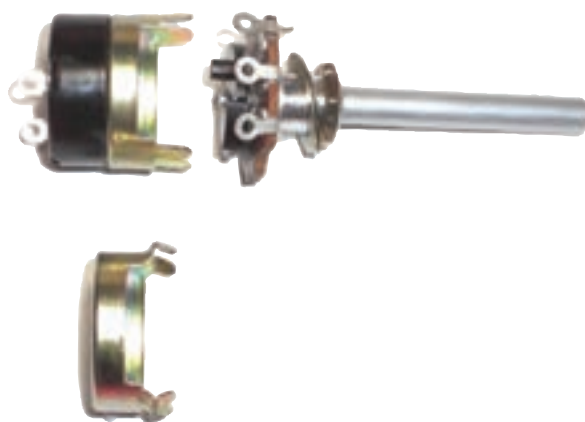
شکل ۲-۲۳

حال اگر کلید A را مطابق شکل ۲-۲۴ در حالت وصل

قرار دهیم جریان از مسیر جدید عبور می کند. چرا که این مسیر

هیچ گونه مقاومتی ندارد ( $R = 0$ ).

۱- مقاومت های متغیر قابل تنظیم دستی : مقاومت هایی هستند که با تغییر لغزنده روی آن می توان مقدار اهم مورد نیاز را تنظیم نمود و از پایانه های خروجی آن دریافت کرد. شکل ۲۶-۲ تصویر چند مدل از آن ها را نشان می دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۲۶-۲

۲- مقاومت های متغیر وابسته : مقاومت هایی را که مقدار اهم آن ها به وسیله عوامل فیزیکی مختلف مانند حرارت، نور و ... تغییر می کند، مقاومت های متغیر وابسته گویند. در این جا فقط به معرفی دو نوع از این مقاومت ها اشاره می شود.

■ **مقاومت های متغیر تابع حرارت :** مقدار مقاومت های تابع حرارت در اثر تغییر حرارت مقاومتشان تغییر می کند. اصطلاحاً به این گروه از مقاومت ها «ترمیستور»<sup>۱</sup> گفته می شود. به گروهی از ترمیستورها که با افزایش دما مقدار مقاومت آن ها افزایش می یابد پی تی سی (PTC)<sup>۲</sup> و نوعی که با افزایش دما مقدار مقاومت آن کاهش می یابد ان تی سی (NTC)<sup>۳</sup> گفته می شود. شکل ۲۷-۲ تصاویری از هر دو نوع ترمیستور را نشان می دهد.



(الف) دو نمونه PTC

شکل ۲۷-۲

۱- Thermistor

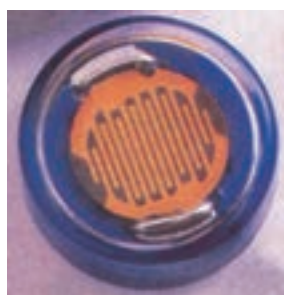
۲- PTC – Positive Temperature Coefficient

۳- NTC – Negative Temperature Coefficient

■ **مقاومت‌های متغیر تابع نور:** نوع دیگری از مقاومت‌های متغیر وابسته وجود دارند که با تغییر مقدار نور تابیده شده به آنها مقدار مقاومت آنها تغییر می‌کند. اصطلاحاً به این گروه از مقاومت‌های وابسته ال دی آر (LDR) گفته می‌شود.  
 شکل ۲۸-۲ تصویر دو نمونه از این نوع مقاومت‌ها را نشان می‌دهد.

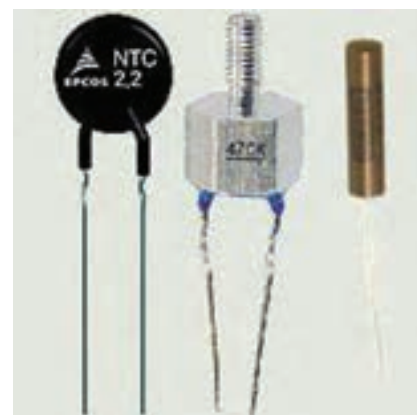


(الف)



(ب)

شکل ۲۸-۲



(ب) دو نمونه NTC

ادامه شکل ۲۷-۲

◀ پرسش‌های چهارگزینه‌ای

- ۱- کدام گزینه تعریف جریان الکتریکی است؟  
 الف) تعداد الکترون‌ها در لایهٔ خارجی یک هادی  
 ب) مقدار انرژی که به مدار و الانس وارد می‌شود.  
 ج) کاری که روی اتم‌ها انجام می‌شود.  
 د) الکترون‌های آزاد که در یک مسیر حرکت می‌کنند.
- ۲- کدام یک از موارد زیر صحیح است؟  
 الف) مقاومت با سطح مقطع رابطهٔ مستقیم دارد.  
 ب) مقاومت مخصوص با طول رابطهٔ معکوس دارد.  
 ج) مقاومت مخصوص با سطح مقطع رابطهٔ معکوس دارد.  
 د) مقاومت با طول رابطهٔ مستقیم دارد.
- ۳- کدام گزینه اجزای اصلی یک مدار را بیان می‌کند؟  
 الف) منبع تغذیه، فیوز، سیم‌های رابط  
 ب) منبع تغذیه، کلید، فیوز  
 ج) سیم‌های رابط، بار، منبع تغذیه  
 د) سیم‌های رابط، کلید، بار
- ۴- با توجه به قانون اهم، جریان یک مدار با مقاومت مدار رابطه ..... دارد.  
 الف) معکوس  
 ب) مجذوری  
 ج) مستقیم  
 د) نمایی
- ۵- در حالت اتصال کوتاه جریان مدار به ..... می‌رسد.  
 الف) بی‌نهایت  
 ب) نصف  
 ج) حداکثر  
 د) صفر
- ۶- نحوهٔ اتصال آمپر متر و ولت متر در مدارهای الکتریکی به ترتیب چگونه است؟  
 الف) موازی - موازی  
 ب) سری - سری  
 ج) موازی - سری  
 د) سری - موازی

◀ پرسش‌های درست و نادرست

۷- مقاومت‌هایی که در اثر افزایش دما مقدار مقاومتشان کاهش می‌یابد ان‌تی‌سی (NTC) نام دارد.

درست  نادرست

۸- مقاومت مخصوص سیم‌های آلومینیومی و سیم‌های مسی برابر است.

درست  نادرست

۹- اگر مقاومت یک مدار ثابت باشد، تغییرات جریان با تغییرات ولتاژ منبع رابطه معکوس است.

درست  نادرست

۱۰- در حالت اتصال کوتاه مقاومت در مدار الکتریکی افزایش پیدا می‌کند.

◀ پرسش‌های پُرکردنی

۱۱- ترمیستوری را که مقاومت آن با افزایش دما نسبت مستقیم دارد، ..... گویند.

۱۲- در صورتی که مقدار اهم مقاومتی با تغییر مقدار نور تغییر کند مقاومت را ..... نامند.

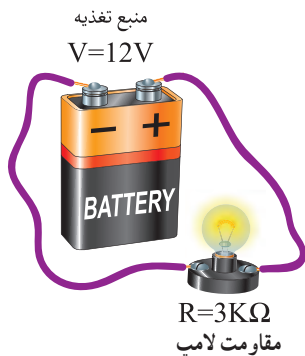
۱۳- در یک مدار با ولتاژ ۱۲ ولت و مقاومت  $4\Omega$  جریانی برابر ..... آمپر از مدار عبور می‌کند.

۱۴- ۵ میکرو ولت معادل ..... نانولت است.

◀ پرسش‌های تشریحی

۱۵- در مدار شکل ۲۹-۲ جریان عبوری از مدار چند میکروآمپر است؟

پاسخ:  $4000\mu A$



شکل ۲۹-۲

۱۶- سیم مسی به طول ۱۱۲ متر به سطح مقطع  $4\text{mm}^2$  مفروض است. مقاومت الکتریکی سیم چند اهم است؟

$$\rho = 0.0178 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$$

۱۷- دو نوع مقاومت متغیر وابسته را توضیح دهید.

۱۸- انواع مقاومت‌های اهمی را نام ببرید.