فصل دوم فیزیک یازدهم

جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

(معمولا ۳ تست تجربی و ۴ تست در ریاضی)

۲-۱ یک جدول

بار و جریان

$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ (مساحت محصور I-t : بار شارش شده) | واحد جریان : آمپر

$\left.\begin{matrix}\Delta q = \bar{I}\Delta t \\ \Delta q = ne\end{matrix}\right\} \rightarrow \boxed{\bar{I}\Delta t = ne}$

یکای دیگر بار

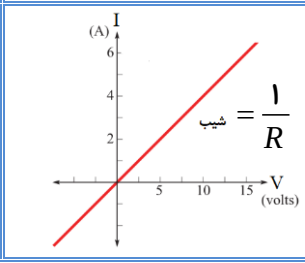
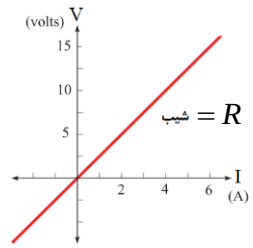
یکای دیگر بار الکتریکی (آمپر ثانیه $A.s$) :

$\boxed{\Delta q = \bar{I} \times \Delta t} \rightarrow \boxed{1\ C = 1\ A.s}$

$1Ah = 3600\ As = 3600\ C$

قانون اهم و رسانای اهمی

$\boxed{R = \frac{V}{I}}$ (در دمای ثابت : $V \alpha I$)

نمودار I بر حسب V	نمودار V بر حسب I
	

در یک دمای معین، اختلاف پتانسیل دو سر یک رسانا را تغییر دهیم، جریان هم به همان میزان تغییر می کند و نسبت $\frac{V}{I}$ آن که نشان دهنده مقاومت می باشد، تغییر نمی کند. یعنی با تغییر ولتاژ مقاومتشان ثابت می ماند و R همیشه ثابت است. (مثل خازن !)

امااااا همه ی رسانا ها با تغییر ولتاژ مقاومتشان ثابت نمی ماند و تغییر می کند و از قانون اهم تبعیت نمی کنند.

عوامل موثر بر مقاومت :

$\boxed{R = \rho\frac{L}{A} = \rho\frac{L}{\pi r^2} = \rho\frac{4L}{\pi d^2}}$

اگر جرم و حجم سیم ثابت ($\rho = \frac{m}{V}$) باشد با در نظر گرفتن یکی از متغیرها تناسب های زیر برقرار است. (کشیدن و .....)

$R \alpha L^2$, $R\alpha\frac{1}{A^2}$, $R\alpha\frac{1}{d^4}$, $R\alpha\frac{1}{r^4}$

وقتی چگالی و جرم هم میدن :

$\boxed{R = \rho\rho\frac{L^2}{m}}$

رسانای غیر اهمی

تمامی رساناهایی که از قانون اهم تبعیت نمی کنند.

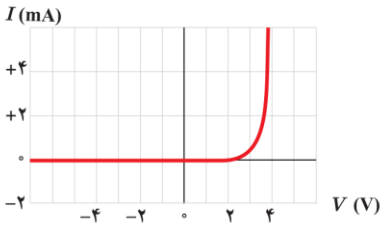
LED ها و انواع دیگر دیودها

با افزایش ولتاژ مثبت:

۱) جریان زیاد می شود، اما رابطه I و V خطی نیست.

۲) شیب نمودار، یعنی $\frac{1}{R}$ زیاد می شود: پس R کم می شود.

مقاومت رسانای غیراهمی به ولتاژ بستگی دارد.



تغییر مقاومت سیم بر اساس دما (رابطه رشته ریاضی)

مقاومت ویژه ژرمانیم و سیلیسیم بین مقاومت ویژه رسانا ها و نارسانا هاست، به این دسته از مواد نیم رسانا گویند.

مقاومت ویژه ی رساناهای فلزی با افزایش دما زیاد می شود. مقاومت ویژه ی نیم رساناها با افزایش دما کاهش می یابد.

$\Delta R = R_1\alpha\Delta\theta \rightarrow R_2 = R_1(1+\alpha\Delta\theta)$

α : ضریب دمایی مقاومت ویژه که برای رساناها مثبت و برای نیم رساناها و نارساناها منفی است.

	در برخی مواد مثل: جیوه و قلع با کاهش دما، مقاومت ویژه در دمای خاصی به صورت ناگهانی به صفر افت می کند و در دماهای پایین تر، همچنان صفر می ماند. که به این پدیده ابر رسانایی گویند.
تغییر مقاومت ویژه با دما (رابطه رشته ریاضی)	$\rho=\rho_o[1+\alpha(T-T_o)]\rightarrow\boxed{\Delta\rho=\rho_o\alpha\Delta T}$

T_o	ρ_o	α
دمای مرجع (معمولاً دمای اتاق) (دمای اتاق: ۲۰ درجه سانتی گراد یا ۲۹۳ کلوین) و T دمای رسانا است	مقاومت ویژه در دمای مرجع	ضریب دمایی مقاومت ویژه

تست ۱:

ولتاژ باتری یک ماشین‌حساب ۲٫۵ ولت است و وقتی روشن است جریان $0/2mA$ از آن عبور می‌کند؛ اگر ماشین‌حساب ۱ دقیقه و ۲۰ ثانیه روشن باشد، چه مقدار بار از آن می‌گذرد؟

۱) $16C$ ۲) $24mC$ ۳) $16mC$ ۴) $12mC$

پاسخ: گزینه ۳

$$\Delta q=I\Delta t=0/2\times10^{-3}\times(60+20)=16\times10^{-3}C=16mC$$

تست ۲:

مفتولی فلزی به سطح مقطع $\frac{A}{2}$ و طول L را ذوب کرده و از آن مفتولی به سطح مقطع $\frac{2}{3}A$ ایجاد می‌کنیم. مقاومت الکتریکی مفتول جدید چند برابر مقاومت الکتریکی مفتول اولیه است؟

۱) $\frac{4}{9}$ ۲) $\frac{3}{4}$ ۳) $\frac{9}{16}$ ۴) ۱

با توجه به آن‌که سیم ذوب شده است جرم و جنس ثابت است. بنابراین داریم: (ρ چگالی جسم و $\rho=\frac{m}{v}$)

$$m_1=m_2\Rightarrow\rho_1V_1=\rho_2V_2\Rightarrow V_1=V_2$$

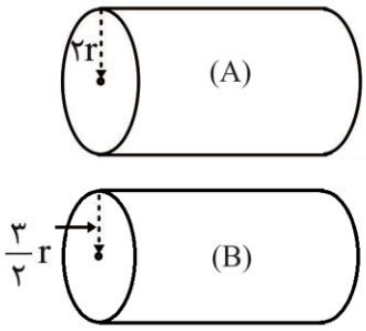
$$\Rightarrow A_1L_1=A_2L_2=\frac{A}{2}\times L=\frac{2}{3}A\times L_2\Rightarrow L_2=\frac{3}{4}L_1$$

$$\frac{R_2}{R_1}=\frac{\rho_2}{\rho_1}\times\frac{L_2}{L_1}\times\frac{A_1}{A_2}\Rightarrow\frac{R_2}{R_1}=\frac{\frac{3}{4}L_1}{L_1}\times\frac{\frac{A}{2}}{\frac{2}{3}A}$$

$$\Rightarrow\frac{R_2}{R_1}=\frac{3}{4}\times\frac{3}{4}=\frac{9}{16}$$

تست ۳:

دو سیم رسانای هم جنس و هم طول A و B را به ترتیب به اختلاف پتانسیل‌های V و $\frac{۲}{۳}V$ وصل می‌کنیم. اگر در مدت زمان یکسان، تعداد الکترون آزادهای ایجادکننده جریان عبوری از مقطع‌های این دو رسانا، n_A و n_B باشد، نسبت $\frac{n_A}{n_B}$ کدام است؟



۱) $\frac{۱}{۲}$ ۲) $\frac{۴}{۳}$

۳) ۲ ۴) $\frac{۸}{۳}$

بار الکتریکی عبوری از مقطع یک جسم رسانا، $q = It = ne$ است و جریان عبوری از $I = \frac{V}{R}$ و مقدار مقاومت از $R = \rho\frac{L}{A}$ بدست می‌آید:

$$\frac{V}{R}t = ne \rightarrow \frac{VA}{\rho L} = ne \rightarrow \frac{V(\pi r^۲)}{\rho L} = ne \qquad (۱)$$

$$(۱) \xrightarrow{\rho_A=\rho_B\ ,\ L_A=L_B} \frac{V_A}{V_B}\times(\frac{r_A}{r_B})^۲ = \frac{n_A}{n_B} \rightarrow \frac{n_A}{n_B} = \frac{V}{\frac{۲}{۳}V}\times(\frac{۲r}{\frac{۳r}{۶}})^۲ = \frac{۳}{۲}\times\frac{۱۶}{۹} = \frac{۸}{۳}$$

تست ۴:

دو رسانای فلزی از یک مادهٔ یکسانی ساخته شده‌اند و طول یکسانی دارند. رسانای A سیم توپری به شعاع $۴mm$ و رسانای B، لولهٔ توخالی به شعاع خارجی $۵mm$ و شعاع داخلی $۳mm$ است. مقاومت رسانای A چندبرابر مقاومت رسانای B است؟

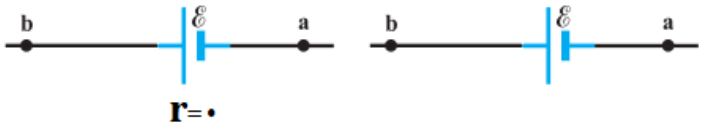
۱) ۲ ۲) ۳ ۳) ۱ ۴) ۴

پاسخ: گزینه ۳ چون از یک جنس هستند ρ برابری دارند.

$$R_A = \rho\frac{L}{A_A} \qquad R_B = \rho\frac{L}{A_B}$$
$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{A_B}{A_A} = \frac{\pi(۴)^۲}{\pi((۵)^۲ - (۳)^۲)} = \frac{۱۶}{۱۶} = ۱$$

۲-۱-۱ انواع منبع نیروی محرکه الکتریکی

آرمانی



انرژی هدر نمی رود ، یعنی تمام کاری که منبع بر روی بار انجام می دهد به انرژی پتانسیل الکتریکی تبدیل می شود. $\Delta W = \Delta U$

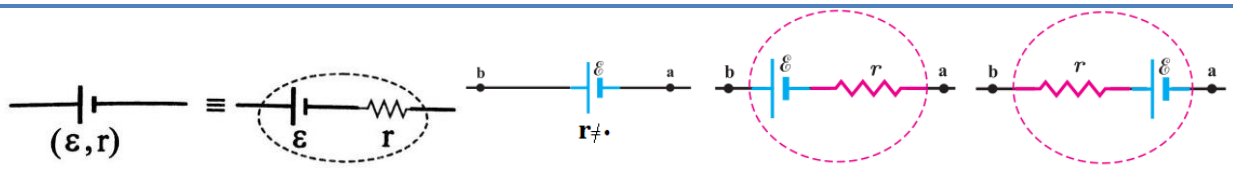
$$\left.\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\Delta W}{\Delta q}\\ V &= \frac{\Delta U}{\Delta q}\end{aligned}\right\} \xrightarrow{Ideal:\Delta W=\Delta U} \varepsilon = V$$

اختلاف پتانسیل دو سر منبع برابر نیروی محرکه آن است : $\Delta V = \varepsilon$

یعنی عددی که ولت سنج در مدار نشان می دهد، برابر **emf** نوشته شده روی باتری است.

در واقعیت وجود ندارد و منبع های نیروی محرکه الکتریکی همواره دارای مقاومت داخلی (r) هستند.

واقعی



منبع هایی که همواره دارای مقاومت داخلی (r) هستند، یعنی درون آن ها مقاومتی در برابر حرکت بارها وجود دارد.

بنابراین با عبور جریان از این منابع، اختلاف پتانسیل بین پایانه های آن ها بر خلاف منابع آرمانی، متفاوت از نیروی محرکه الکتریکی خواهد شد.

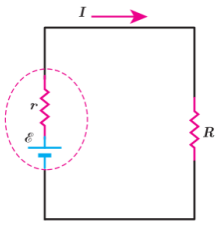
یعنی بخشی از کاری که منبع انجام می دهد، هدر می رود .

همیشه افزایش انرژی پتانسیل الکتریکی باری که از منبع می گذرد، از کاری که منبع روی آن انجام می دهد کم تر است. ($\Delta U < \Delta W$)

$$\left.\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\Delta W}{\Delta q}\\ V &= \frac{\Delta U}{\Delta q}\end{aligned}\right\} \xrightarrow{\Delta U<\Delta W} V < \varepsilon$$

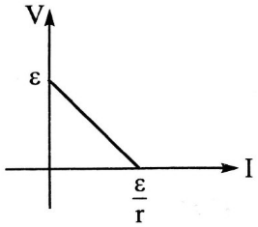
پس اختلاف پتانسیل از نیروی محرکه کمتر است.

یعنی عددی که ولت سنج در مدار نشان می دهد، از emf نوشته شده روی باتری کمتر است.



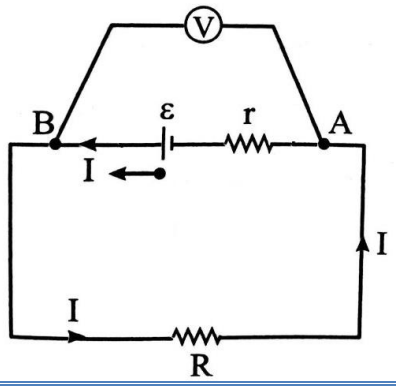
افت پتانسیل در مقاومت درونی r $= Ir \rightarrow \varepsilon - V = Ir \xrightarrow{V=IR} \varepsilon - IR = Ir \rightarrow I = \frac{\varepsilon}{R+r}$

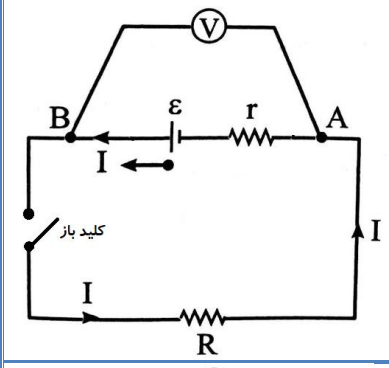
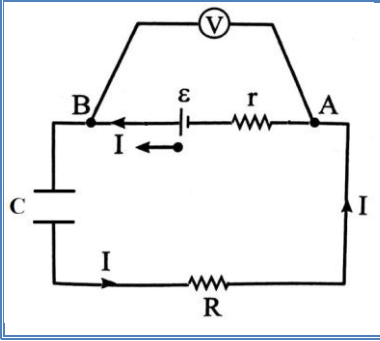
نکته ۱: با توجه به معادله $V = \varepsilon - Ir$ ، برای رسم نمودار V بر حسب I داریم : (شیب نمودار r و عرض از مبدا آن ε)



نکته ۲: تفاوت باتری نو و کهنه در مقاومت درونی آن هاست. هرچه باتری فرسوده تر باشد، مقاومت درونی آن بیشتر است.

۲-۱-۲ مدار تک حلقه با یک باتری

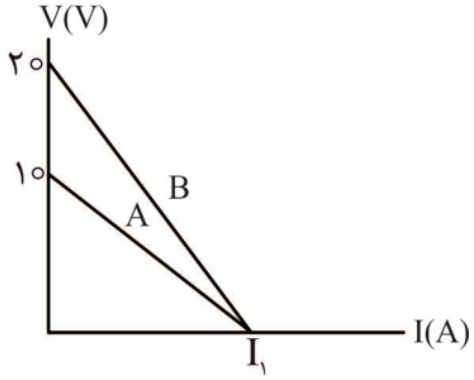


جهت جریان	جهت جریان از قطب مثبت شروع می شود.
فرمول جریان در حلقه	یک دور کامل در حلقه بزن و KVL بنویس. از نقطه A تا خودش: $V_A - Ir + \varepsilon - IR = V_A \rightarrow \boxed{I = \frac{\varepsilon}{R+r}}$
اختلاف پتانسیل	دو سر باتری : حرکت از A تا B : $V_A - Ir + \varepsilon = V_B \rightarrow V_B - V_A = \varepsilon - Ir \rightarrow \boxed{V = \varepsilon - Ir}$
	دو سر مقاومت R : حرکت از B تا A : $V_B - IR = V_A \rightarrow \boxed{V_A - V_B = -IR}$
پتانسیل زمین	یادتونه که گفتیم پتانسیل زمین با اون نمادش صفره؟ توی مداری که این نماد بود، یعنی اونجا پتانسیلش صفره!
هرچه باتری فرسوده تر V کم تر و I کم تر.	هرچه باتری فرسوده تر باشد، مقاومت درونی آن بیشتر است. $I = \frac{\varepsilon}{R+r} \rightarrow r \uparrow \rightarrow I \downarrow \xrightarrow{V=IR} V \downarrow$ پس هرچه فرسوده تر، V کم تر و I کم تر.
کلید باز به صورت متوالی با منبع = $V = \varepsilon$	اگر کلید باز به صورت متوالی (پشت سر هم –سری) با منبع باشد، جریانی از مدار عبور نمی کند ($I = 0$). بنابراین طبق رابطه $V = \varepsilon - Ir \xrightarrow{I=0} \boxed{V = \varepsilon}$، یعنی ولتاژ دو سر باتری برابر نیروی محرکه باتری می شود و ولت سنج نیروی محرکه باتری را نشان می دهد. 
خازن پر به صورت متوالی با منبع = $V = \varepsilon$	اگر خازن پر به صورت متوالی (پشت سر هم –سری) با منبع باشد، جریانی از مدار عبور نمی کند ($I = 0$). بنابراین طبق رابطه $V = \varepsilon - Ir \xrightarrow{I=0} \boxed{V = \varepsilon}$، یعنی ولتاژ دو سر باتری برابر نیروی محرکه باتری می شود و ولت سنج نیروی محرکه باتری را نشان می دهد. 

نکته۳: خازن پر مثل کلید باز و مثل ولت سنج آرمانی و دیود برعکس

تست۵:

نمودار تغییرات $V-I$ دو باتری واقعی A و B به صورت مقابل است. اگر هر کدام از این باتری‌ها را به طور جداگانه به مقاومت الکتریکی 3Ω متصل کنیم، جریان الکتریکی عبوری از باتری A، $\frac{5}{8}$ برابر جریان الکتریکی عبوری از باتری B خواهد شد. به ترتیب، مقاومت داخلی باتری B چند اهم و مقدار I_1 چند آمپر است؟



۱) ۲، ۱۰
۲) ۱، ۱۰
۳) ۱، ۲۰
۴) ۲، ۲۰

بزرگی شیب نمودار $V-I$ باتری‌های واقعی، معرف اندازه مقاومت داخلی آنها است. با توجه به شکل و این نکته: $r_B = 2r_A$

. جریان عبوری از باتری متصل به مقاومت الکتریکی R از رابطه $I=\frac{\varepsilon}{r+R}$ به دست می‌آید:

$$\frac{I_A}{I_B}=\frac{\varepsilon_A}{\varepsilon_B}\times\frac{r_B+R}{r_A+R}\xrightarrow{r_B=2r_A}\frac{5}{8}=\frac{1}{2}\times\frac{r_B+3}{\frac{1}{2}r_B+3}\rightarrow\frac{5}{2}r_B+15=4r_B+12\rightarrow$$

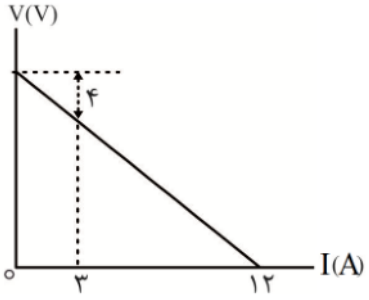
$$\frac{3}{2}r_B=3\rightarrow r_B=2\Omega$$

مقدار I_1 به کمک شیب نمودار که معرف r است، قابل تعیین است:

$$r_B=\frac{\varepsilon_B}{I_1}\rightarrow I_1=\frac{20}{2}=10A$$

تست۶:

نمودار $V-I$ یک باتری به صورت شکل مقابل است. اگر بخواهیم در این باتری باری به اندازه $450nC$ را از پایانه منفی باتری تا پایانه مثبت آن جابه‌جا کنیم، کاری که باتری برای انجام این کار صرف می‌کند، چند میکروژول است؟



۱) ۳/۶
۲) ۴/۰۵
۳) ۷/۲
۴) ۱۴/۴

$$r=-\frac{\Delta V}{\Delta I}\rightarrow r=\frac{4}{3}\Omega$$

$$r=\frac{\Delta V'}{\Delta I'}\rightarrow\frac{4}{3}=\frac{\varepsilon}{12}\rightarrow\varepsilon=16V$$

$$\varepsilon=\frac{\Delta W}{\Delta q}\rightarrow\Delta W=450\times16=7200nJ=7/2\mu J$$

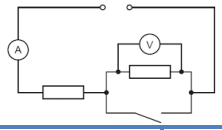
۲-۱-۳ عبور از منبع نیروی محرکه واقعی (هم مقاومت داریم و هم منبع نیروی محرکه)

منبع مولد (مستقل از جهت جریان)	حرکت از مثبت به منفی، اپسیلون کم
	حرکت از منفی به مثبت، اپسیلون زیاد
مقاومت یا مقاومت درونی (وابسته به جهت جریان)	هم جهت جریان بریم، کم کنیم
	خلاف جهت جریان بریم، زیاد کنیم

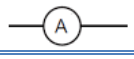
مشاهده می شود که حالت ها دو به دو مثل هم می باشند.

عنصر مدار	جهت حرکت	تغییر پتانسیل	
مقاومت	در جهت جریان	$-IR$	جهت حرکت
مقاومت	در خلاف جهت جریان	$+IR$	جهت حرکت
منبع نیروی محرکه	از پایانهٔ منفی به پایانهٔ مثبت	$+\mathscr{E}$	جهت حرکت
منبع نیروی محرکه	از پایانهٔ مثبت به پایانهٔ منفی	$-\mathscr{E}$	جهت حرکت

۲-۲ آمپر سنج و ولت سنج آرمانی

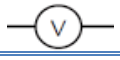


آمپر سنج آرمانی



- وسیله ای برای اندازه گیری جریان الکتریکی در مدار می باشد.
- کار آمپرسنج سنجش جریانی است که از آن می گذرد پس به صورت متوالی (سری) با باتری یا مقاومت بسته می شود.
- آمپرسنج های در مدار ها همگی آرمانی (ایده آل) هستند. (نگفت آرمانی، آرمانی بگیر)
- ویژگی آمپرسنج آرمانی : مقاومتش صفر است و همیشه اختلاف پتانسیل دو سرش صفر است و جریان از آن عبور می کند.
- آمپر سنج آرمانی مشابه سیم بدون مقاومت عمل می کند

ولت سنج آرمانی (مثل سد آب می مونه، جریان ازش عبور نمی کنه)



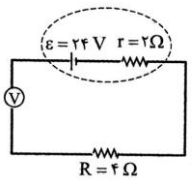
- وسیله ای برای اندازه گیری اختلاف پتانسیل (ولتاژ) در مدار می باشد.
- به صورت موازی به همان دو نقطه ای که اختلاف پتانسیلش را میخواهیم وصل می کنیم.
- ولت سنج های در مدار ها همگی آرمانی (ایده آل) هستند. (نگفت آرمانی، آرمانی بگیر)
- ویژگی ولت سنج آرمانی : مقاومتش بی نهایت است و جریان از آن عبور نمی کند.
- ولت سنج آرمانی مثل کلید باز مثل خازن پر و دیود برعکس عمل می کند.

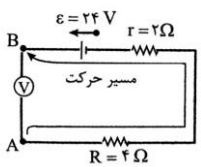
اگر آمپرسنج آرمانی را به صورت موازی با مقاومت ببندیم، آمپرسنج مثل سیم بدون مقاومت عمل کرده و اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت را صفر می کند و مقاومت را از مدار حذف می کند.
(که به این موضوع اتصال کوتاه گویند. بحث بعدی)

۱) اتصال موازی ولت سنج با باتری محرک یا مولد : $V=\varepsilon-Ir$

۲) اتصال موازی ولت سنج با باتری ضد محرک یا ضد مولد : $V=\varepsilon+Ir$

۳) اتصال متوالی با باتری:



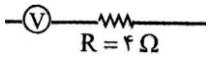


$$V_A - RI - rI + \varepsilon = V_B$$
$$V_B - V_A = \varepsilon - I(R+r)$$
$$V_B - V_A = \varepsilon = ۲۴V$$

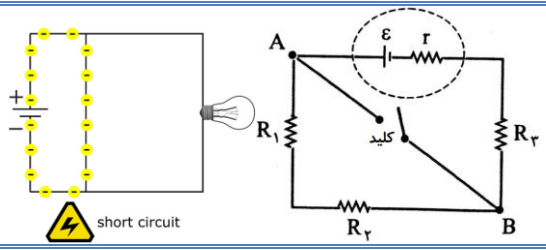
۴) اتصال متوالی با مقاومت :

ولت سنج مثل کلید باز جلوی عبور جریان مدار را می گیرد ($I=۰$) و طبق رابطه

($V=IR$) اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت را صفر می کند. (مقاومت ها باعث افت پتانسیل مدار نمی شوند.)



۲-۲-۱ اتصال کوتاه

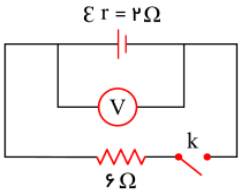


تعریف	وقتی دو نقطه از مدار با سیم بدون مقاومت به هم وصل باشند، یعنی آن دو نقطه از مدار را اتصال کوتاه کرده ایم. در شکل راست اگر کلید را ببندیم، بین A و B اتصال کوتاه می شود.
علت	سیم بدون مقاومت یعنی : $R=0$ ، پس طبق رابطه $V=IR \xrightarrow{R=0} V=0$ یعنی همیشه اختلاف پتانسیل دو سر سیم بدون مقاومت صفر است و به هر دو نقطه ای که وصل شود، اختلاف پتانسیل آن دو نقطه را نیز صفر می کند.
نکته ۱	مقاومت یا مقاومت هایی که بین ۲ نقطه اتصال کوتاه قرار دارند از مدار حذف می شوند. در شکل بالا مقاومت ۱ و ۲ با بستن کلید حذف می شوند.
نکته ۲	آمپرسنج آرمانی هم مثل سیم بدون مقاومت می باشد. مقاومت موازی با آمپرسنج آرمانی : اتصال کوتاه

هرگاه دو سر یک مقاومت هم نام شد، آن مقاومت اتصال کوتاه شده است و آن را حذف می کنیم. یا مقاومتی که جریان ندارد، حذف می شود.

تست ۷:

در شکل داده شده وقتی کلید باز است ولت سنج $12V$ را نشان می‌دهد. اگر کلید بسته شود ولت سنج چه عددی را نشان می‌دهد؟



۱) $9V$

۲) $18V$

۳) $4V$

۴) باید ε معلوم باشد.

پاسخ: گزینه ۱

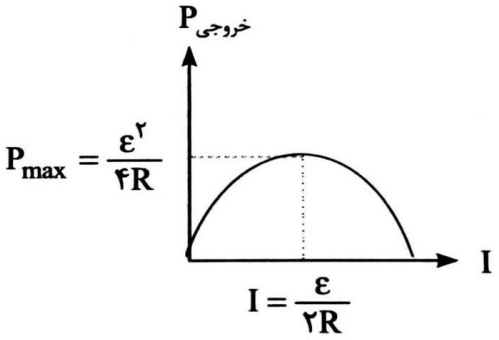
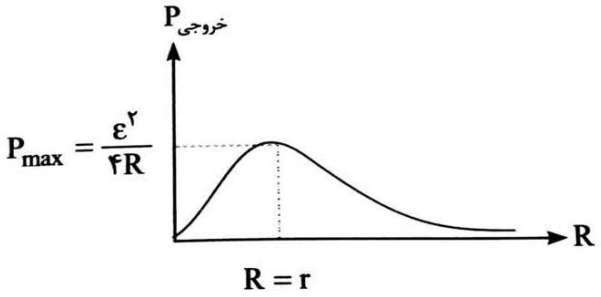
کلید باز است : $I=0 \Rightarrow V=\varepsilon-\not{Ir}^{\,0}=\varepsilon=12V$

کلید بسته است : $V=\dfrac{\varepsilon R}{R+r} \Rightarrow V=\dfrac{12\times 6}{6+2}=9V$

۲-۲-۲ توان به صورت خلاصه

توان	مقاومت	مصرفی:	$P = VI = \frac{V^2}{R} = RI^2$
	باتری	مولد	خروجی: $P = \varepsilon I - rI^2$
			تولیدی: $P = \varepsilon I$
			هدر رفته (توان مصرفی در مقاومت داخلی باتری): $P = rI^2$
		ضد مولد	ورودی: $P = I\varepsilon + I^2 r$

۲-۲-۳ نمودار توان خروجی باتری بر حسب جریان عبوری از آن و بر حسب مقاومت الکتریکی

بر حسب جریان عبوری از آن	بر حسب مقاومت الکتریکی
	

۲-۲-۴ بازده باتری

نسبت توان خروجی (توان مفید) به کل توان تولیدی

$$Ra = \frac{\varepsilon I - rI^2}{\varepsilon I} \times 100 = \frac{\varepsilon - rI}{\varepsilon} \times 100 = \frac{R_T}{R_T + r} \times 100$$

۲-۲-۵ نکات تکمیلی توان

۱) انرژی مصرفی در مقاومت : $\Delta U = P\Delta t$ بنابراین با توجه به این رابطه : $1kWh = 36 \times 10^5 W.s = 36 \times 10^5\ j$

۲) روی وسایل الکتریکی دو عدد داریم:

- ✓ ۱۰۰W: توان اسمی وسیله الکتریکی وقتی که وسیله روشن است!
- ✓ ۲۲۰V : ولتاژ اسمی وسیله الکتریکی

یعنی چی این اسمی ها؟ یعنی اگر این وسیله به اختلاف پتانسیل ۲۲۰ ولت وصل شود، توان مصرفی آن ۱۰۰ وات می شود.

اگه مقاومت الکتریکی وسیله را ثابت فرض کنیم، طبق $P = \frac{V^2}{R}$ ، توان مصرفی با مجذور اختلاف پتانسیل رابطه مستقیم دارد. پس اگر وسیله موردنظر را به ولتاژی کمتر از ولتاژ اسمی وصل کنیم، توان مصرفی آن نیز کمتر از توان اسمی خواهد شد. برای مثال اگر به ولتاژ ۱۱۰ وصل کنیم توان مصرفی آن ، ۲۵ خواهد شد.

۳) اگر به ازای دو مقدار متفاوت R_1 و R_2 مقدار توان خروجی مولد یکسان شود، رابطه روبرو برقرار است: $r = \sqrt{R_1 R_2}$

۴) توان مصرفی در مقاومت R هنگامی ماکزیمم است که $R_T = r$ باشد. که در این حالت توان برابر $P_{max} = \frac{\varepsilon^2}{4r}$ می باشد و بازده ماکزیمم نیست بلکه ۵۰ درصد است.

۵) نور لامپ بستگی به توان مصرفی آن دارد. بنابراین برای افزایش توان (نور) یا لامپ رو به ولتاژ بیشتری وصل کن یا جریان بیشتری ازش رد شه!

تست ۸:

رشته‌های التهابی دو لامپ L_1 و L_2 هر دو تنگستن و هم طول‌اند، فقط سیم تنگستن مربوط به L_1 ضخیم‌تر است. اگر هر دو را به برق ۲۲۰ ولت وصل کنیم، لامپ ..... با نور بیش‌تری روشن می‌شود، چون مقاومت الکتریکی آن ..... است.

۱) L_1، بیش‌تر ۲) L_1، کم‌تر ۳) L_2، کم‌تر ۴) L_2، بیش‌تر

پاسخ: گزینه ۲ بنابر رابطه‌ی $R=\rho\frac{L}{A}$، مقاومت لامپ L_1 کم‌تر از لامپ L_2 است و بنابر رابطه‌ی $P=\frac{V^2}{R}$، توان مصرفی آن بالاتر است، لذا لامپ L_1 با نور بیش‌تری روشن می‌شود، چون مقاومت الکتریکی کم‌تری دارد.

تست ۹:

وقتی دو سر یک وسیلهٔ برقی خانگی را به اختلاف پتانسیل $200V$ وصل کنیم جریان $8A$ از آن می‌گذرد. اگر این وسیله روزانه ۵ ساعت کار کند و بهای برقی مصرفی به‌ازای هر کیلووات ساعت ۶۰ تومان باشد هزینهٔ ۱ ماه استفاده از این وسیله چقدر است؟

۱) ۱۴۴۰۰ ۲) ۱۲۰۰۰ ۳) ۴۸۰ ۴) ۲۴۰

پاسخ: گزینه ۱

$$P=VI=200\times 8=1600W$$

هر ماه از چند ساعت تشکیل شده است $\rightarrow$ ۱ ماه $\times \frac{\text{۳۰ روز}}{\text{۱ ماه}} \times \frac{\text{۵ ساعت}}{\text{۱ روز}} = 150h$

$$W=P\times t=(1/6kW)\times(150h)=240kWh$$

مبلغ پرداختی: $240kwh\times 60=14400$ تومان

تست ۱۰:

روی یک لامپ الکتریکی اعداد ($220V$ و $200W$) نوشته شده است. لامپ را به اختلاف پتانسیل $110V$ وصل می‌کنیم. اگر این لامپ به مدت ۴ ساعت در روز روشن باشد و بهای هر کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی مصرفی ۵۰۰ ریال باشد، بهای انرژی الکتریکی مصرف شده در مدت ۳۰ روز چند تومان است؟ (مقاومت لامپ ثابت است)

۱) ۷۵۰ ۲) ۳۰۰ ۳) ۶۰۰۰ ۴) ۱۲۰۰۰

پاسخ: گزینه ۲

$$P=\frac{V^2}{R}\xrightarrow{R_1=R_2}\frac{P_2}{P_1}=(\frac{V_2}{V_1})^2\Rightarrow\frac{P_2}{P_1}=(\frac{110}{220})^2=\frac{1}{4}\Rightarrow P_2=\frac{1}{4}P_1\xrightarrow{P_1=200W}P_2=\frac{1}{4}\times 200=50W=0/05kW$$

$$U=P\times t\Rightarrow U=0/05\times(4\times 30)=6kW$$

هزینه‌های مصرفی: $6\times 500=3000$ ریال $=300$ تومان

تست ۱۱:

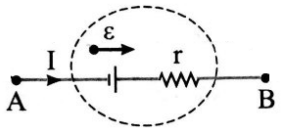
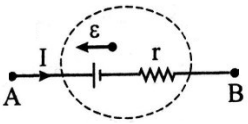
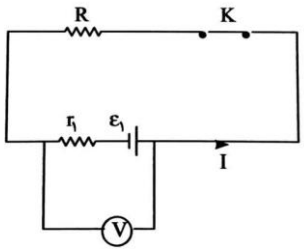
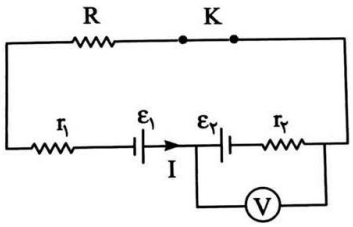
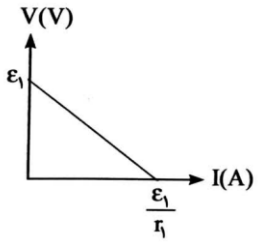
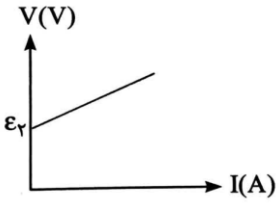
ولت‌سنجی آرمانی، اختلاف پتانسیل دو سر یک باتری را که به مداری وصل نیست، ۱۲ ولت نشان می‌دهد. حال اگر یک مقاومت ۸ اهمی را به دو سر آن ببندیم، ولت‌سنج اختلاف پتانسیل دو سر باتری را ۹/۶ ولت نشان می‌دهد. مقاومت درونی باتری چند اهم است؟

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

پاسخ: گزینه ۲

$$\begin{cases}\mathcal{E}=12V\\ V=9/6V_1\\ R=8\Omega\end{cases}\rightarrow V=\mathcal{E}-rI=\mathcal{E}-r(\frac{\mathcal{E}}{r+R})=\frac{\mathcal{E}R}{r+R}\rightarrow 9/6=\frac{12\times 8}{r+8}\rightarrow 9/6r+8\times 9/6=8\times 12\rightarrow 9/6r=\underbrace{8(12-9/6)}_{2/4}\rightarrow \boxed{r=2\Omega}$$

۲-۲-۶ دو حالت برای باتری ها

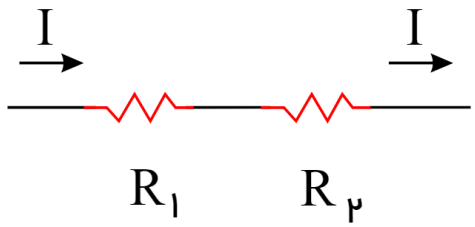
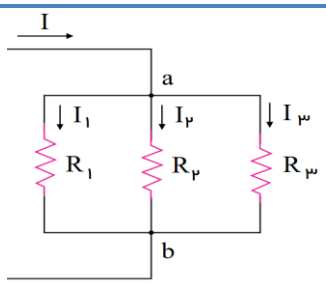
باتری در حال دشارژ (باتری محرک)	باتری در حال شارژ(باتری ضد محرک)
پیکانه هم جهت جریان	پیکانه خلاف جهت جریان
	
یعنی جریان از پایانه مثبت خارج می شود	یعنی جریان از پایانه منفی خارج می شود
$V_B - V_A = \varepsilon - Ir$	$V_B - V_A = -\varepsilon - Ir$
به مدار انرژی می دهد و انرژی خودش هدر می رود (تخلیه انرژی – دشارژ)	از مدار انرژی می گیرد و انرژی خودش زیاد می شود (پر شدن انرژی - شارژ)
نیروی محرکه این باتری پتانسیل الکتریکی مدار را افزایش می دهد.	نیروی محرکه این باتری پتانسیل الکتریکی مدار را کاهش می دهد.
	
$\lvert V \rvert = \varepsilon - Ir$	$\lvert V \rvert = \varepsilon + Ir$
	
با توجه به این نمودار	با توجه به این نمودار
با افزایش جریان، اختلاف پتانسیل دو سر باتری در حال تخلیه کم می شود.	با افزایش جریان، اختلاف پتانسیل دو سر باتری در حال شارژ زیاد می شود.

۲-۲-۷ جریان برای چند مولدی ها (رشته ریاضی)

$$I = \frac{\sum \varepsilon_{qavia} - \sum \varepsilon_{zaiefa}}{\sum R + \sum r}$$

$\sum \varepsilon$: جمع جبری نیروهای محرکه با توجه به علامت آن ها	$\sum R$: جمع جبری مقاومت های بیرونی	$\sum r$: جمع جبری مقاومت های درونی

۲-۲-۸ خلاصه ی به هم بستن مقاومت ها

ویژگی	متوالی (سری – پشت سر هم)	موازی
آرایش		
توضیح	اگر فقط یک سر دو مقاومت با سیم متصل به هم متصل باشند و بین آن ها هیچ انشعابی نباشد	دو سر یک مقاومت مستقیماً به دو سر یک مقاومت دیگر متصل باشد
جریان	یک آبراه $I_{Total}=I_{Equal}=I_1=I_2$	چند آبراه $I_{Total}=I_{Equal}=I_1+I_2+I_3$
ولتاژ	چند ارتفاع $V_{Equal}=V_1+V_2$	یک ارتفاع $V_{Total}=V_{Equal}=V_1=V_2=V_3=V$
رابطشون!	$P\alpha V\alpha R$	$P\alpha I\alpha \frac{1}{R}$
توان	$P_{Equal}=P_1+P_2+\dots$	$P_{Equal}=P_1+P_2+\dots$
R_{eq}	$R_{eq}=R_1+R_2$	$\frac{1}{R_{eq}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$
R_{eq} دو مقاومت	خب معلومه دیگه	ضربشون به جمعشون $R_{12}=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}$ / یکی R_1 و دیگری $R_2=nR_1$ $R_{eq}=\frac{R_2}{n+1}=\frac{nR_1}{n+1}$ ✗
R_{eq} در مقایسه با بقیه!	مقاومت معادل از همه ی مقاومت ها، حتی بزرگترین مقاومت ، بزرگتر است.	مقاومت معادل از همه ی مقاومت ها، حتی کوچترین مقاومت ، کوچکتر است.
n تا مشابه	$R_{eq}=nR$	$R_{eq}=\frac{R}{n}$
جمله	مقاومت سری همه چی مستقیمه	مقاومت موازی همه چی وارونه
اثر افزایش / کاهش مقاومت بر R_{eq}	اگر یکی از مقاومت های موجود در مدار که از آن جریان عبور می کند، زیاد (یا کم) شود. مقاومت معادل مدار نیز زیاد (یا کم) می شود. و به نوع اتصال آن مقاومت به سایر مقاومت ها بستگی ندارد.	
اضافه شدن مقاومت	اگر مقاومتی به صورت سری به مجموعه ای از مقاومت ها وصل شود، مقاومت معادل آن ها افزایش می یابد. اگر مقاومتی به صورت موازی به مجموعه ای از مقاومت ها وصل شود، مقاومت معادل آن ها کاهش می یابد.	

$$V=\varepsilon-Ir=R_TI=\frac{R_T\varepsilon}{R_T+r}$$

تست ۱۲:

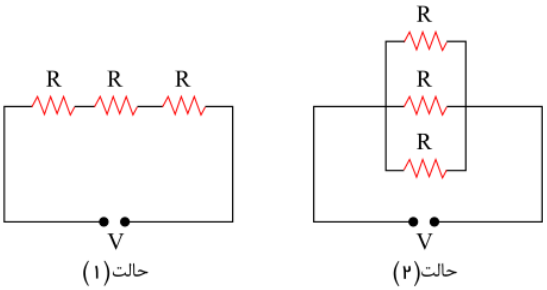
اگر ۳ مقاومت الکتریکی مشابه را به طور متوالی به هم ببندیم و دو سر مجموعه را به اختلاف پتانسیل ثابت وصل کنیم، توان مصرفی کل مدار ۹۰ وات می شود. اگر همان مقاومت ها را به طور موازی به همان اختلاف پتانسیل وصل کنیم، توان کل مدار چند وات می شود؟

۱) ۳۰ ۲) ۲۷۰ ۳) ۵۶۰ ۴) ۸۱۰

پاسخ: گزینه ۴ با مقایسه‌ی دو حالت و با توجه به یکسان بودن منبع ولتاژ در دوحالت می‌توان نوشت:

$$P=\frac{V^{۲}}{R_T}\Rightarrow\frac{P_{۲}}{P_{۱}}=\frac{R_{T_{۱}}}{R_{T_{۲}}}=\frac{۳R}{\frac{R}{۳}}=۹\Rightarrow P_{۲}=۹P_{۱}$$

$$P_{۱}=۹۰W\Rightarrow P_{۲}=۸۱۰W$$



حالت(۱) حالت(۲)

۹-۲-۲ ترکیب مقاومت ها

نکته ۱

برای حل کردن مسأله‌های مقاومت معادل :

- همیشه از یک گوشه از مدار که می‌توانید ۲ مقاومت سری و یا دو مقاومت موازی پیدا کنید شروع به ساده کردن مدار کنید.
- هر بار با کشیدن شکل جدید دوباره مقاومت‌های سری و موازی را پیدا کنید.

نکته ۲

آنچه بسیار مهم است تشخیص درست مقاومت‌های سری و یا مقاومت‌های موازی است .

- بین مقاومت‌های سری انشعابی وجود ندارد و از آن‌ها یک جریان الکتریکی عبور می‌کند.
- در مورد مقاومت‌های موازی باید دقت کرد که سر اول آن‌ها فقط با سیم به‌هم وصل شده و سر دوم آن‌ها نیز فقط با سیم به‌هم متصل است. یعنی سر اول آن‌ها هم پتانسیل هستند و سر دوم آن‌ها نیز باهم متصل هستند به این ترتیب ولتاژ دو سر مقاومت‌های موازی برابر است.

مثال:

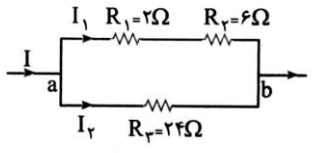
زمانی اتصال دو مقاومت سری است که یک سر آن ها (بدون ایجاد گره و انشعاب جریان از سرهای مشترک) به هم وصل باشند و جریانشون یکی باشه!

در شکل الف مقاومت ۱ و ۳ سری نیستن (گره ی a نمیگذاره)

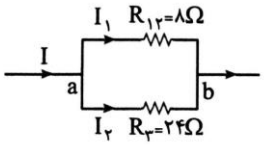
در شکل الف مقاومت ۲ و ۳ سری نیستن (گره ی b نمیگذاره)

اما بین ۱ و ۲ هیچ گره ای نیست و جریانشون هم یکیه! پس سری هستن.

مقاومت معادل ۱ و۲ و مقاومت ۳ سرهای مشترک دارند (a,b). پس موازین



(الف)

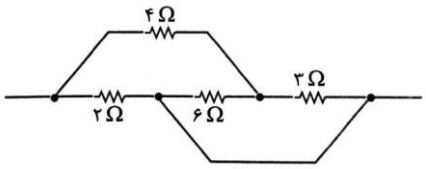


(ب)

تاکتیک نام گذاری

مرحله ۱:

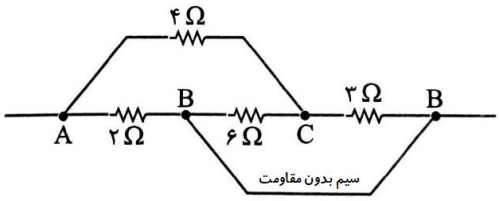
شناسایی سیم های بدون مقاومت



مرحله ۲:

نام گذاری گره ها (محلی که حداقل ۳ انشعاب دارد)

در این مرحله، پتانسیل الکتریکی در دو سر سیم بدون مقاومت یکسان است، پس هر دو سر آن یک اسم دارد.



مرحله ۳:

گره های ابتدا ، انتها و میانی را به ترتیب در شکل جدید رسم کنیم.

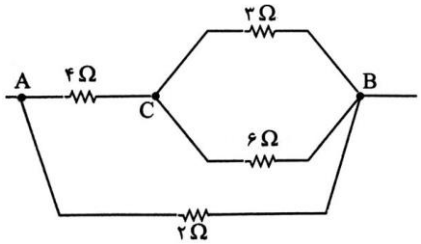
مرحله ۴:

مقاومت ها را بین گره ها قرار دهیم.

بین A و C : ۴ اهمی

بین A و B : ۲ اهمی

بین C و B : ۶ اهمی و ۳ اهمی (طبق نکته ۲ چون در شکل قبل C بین ۶ و ۳ می باشد ، پس این دو سری نیستند.)

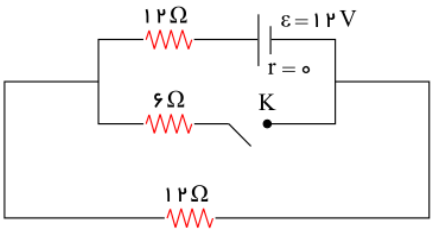


مقاومت هایی که دو سر آن ها با یک سیم به هم متصل شوند، اتصال کوتاه شده و از مدار خارج می شوند.

در اتصال موازی، اگر یکی از شاخه ها اتصال کوتاه شود، بقیه ی مقاومت های موازی نیز اتصال کوتاه شده و از مدار خارج می شوند.

تست۱۳:

در مدار روبه‌رو، با بستن کلید، توان مصرفی مدار چگونه تغییر می‌کند؟



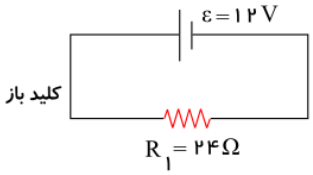
۱) ۳ وات کم می‌شود.

۲) ۳ وات زیاد می‌شود.

۳) ۶ وات زیاد می‌شود.

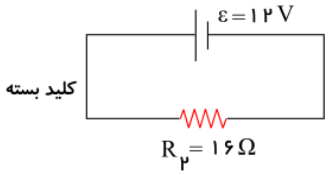
۴) ۶ وات کم می‌شود.

پاسخ: گزینه ۲ در حالت کلید باز، مقاومت 6Ω از مدار خارج است و مقاومت کل برابر با $12 + 12 = 24\Omega$ می‌باشد:



$$\Rightarrow I_1 = \frac{12}{24} = 0/5A$$

در حالت کلید بسته، مقاومت 6Ω و 12Ω با یکدیگر موازی هستند که معادل آن‌ها برابر با $\frac{6 \times 12}{6 + 12} = 4\Omega$ می‌باشد و مقاومت کل برابر با $12 + 4 = 16\Omega$ می‌باشد:

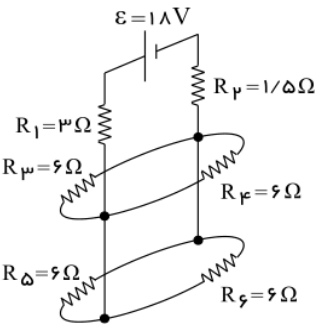


$$\Rightarrow I_2 = \frac{12}{16} = \frac{3}{4} = 0/75A$$

$$\Rightarrow \begin{cases} P'_1 = I_1^2 R_1 = \frac{1}{4} \times 24 = 6W \\ P'_2 = I_2^2 R_2 = \frac{9}{16} \times 16 = 9W \end{cases} \Rightarrow \Delta P = 3W > 0$$

تست۱۴:

در شکل مقابل چه جریانی از باتری می‌گذرد؟



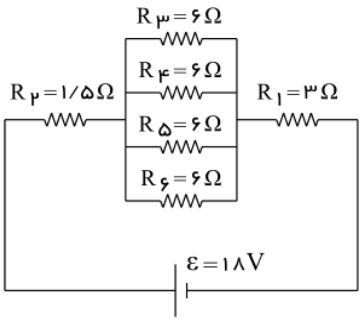
۱) $2A$

۲) $3A$

۳) $4A$

۴) $5A$

پاسخ: گزینه ۲ ابتدا باید مدار را ساده‌سازی کرده و از حالت ۳ بعدی خارج کرد:



$$(R_3 \parallel R_4 \parallel R_5 \parallel R_6) \xrightarrow{\text{موازی‌اند.}} R_{t_1} = \frac{3}{2}\Omega$$

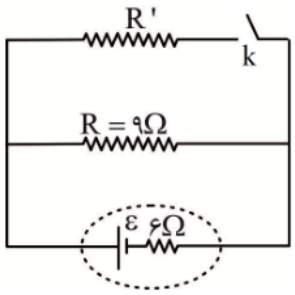
$$(R_{t_1}, R_2, R_1) \xrightarrow{\text{سری‌اند.}} R_T = 6\Omega$$

$$I_{\text{مدار}} = \frac{\varepsilon}{R_T + r} = \frac{18}{6} = 3A$$

تست۱۵:

در مدار شکل مقابل با بستن کلید k، توان خروجی مولد، تغییری نمی‌کند. مقدار R' چند اهم است؟

۱) ۱۸
۲) ۷/۲
۳) ۶
۴) ۴



میان مقاومت معادل بیرون باتری در دو حالت که توان خروجی مولد برابر است با مقاومت داخلی باتری، رابطه زیر برقرار است:

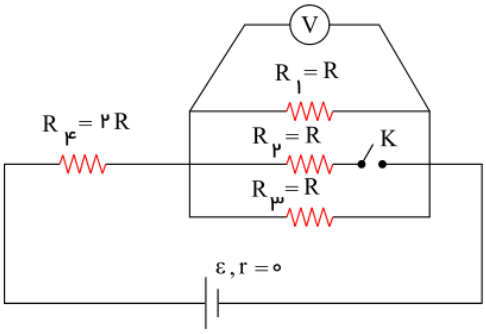
$$r^{۲} = R_{eq(۱)} \times R_{eq(۲)} \rightarrow ۳۶ = ۹R_{eq(۲)} = ۴\Omega$$

$$R_{eq(۲)} = \frac{RR'}{R+R'} \rightarrow ۴ = \frac{۹R'}{۹+R'} \rightarrow ۹R' = ۳۶ + ۴R' \rightarrow ۵R' = ۳۶ \rightarrow R' = \frac{۳۶}{۵} = ۷/۲\Omega$$

تست۱۶:

در مدار شکل زیر اگر کلید k باز باشد ولت‌سنج ایده‌آل مقدار V را نشان می‌دهد و اگر کلید k بسته شود ولت‌سنج مقدار V' را نشان می‌دهد. $\frac{V}{V'}$ کدام است؟

۱) $\frac{۴}{۳}$
۲) $\frac{۳}{۴}$
۳) $\frac{۵}{۷}$
۴) $\frac{۷}{۵}$



پاسخ: گزینه ۴ اگر کلید k باز باشد مقاومت $R_۲$ از مدار حذف می‌شود.

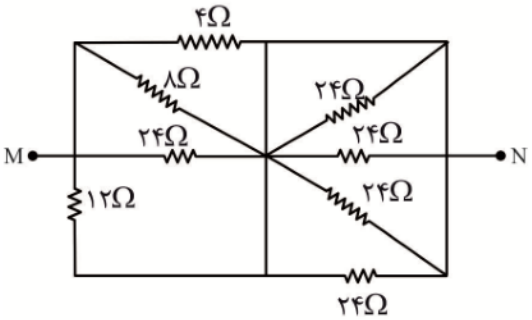
$$R_{۱,۳} = \frac{R \times R}{R+R} = \frac{R^{۲}}{۲R} = \frac{R}{۲}$$
$$R_T = R_{۱,۳} + R_{۴} = \frac{R}{۲} + ۲R = \frac{۵R}{۲}$$
$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} = \frac{\varepsilon}{\frac{۵R}{۲}} = \frac{۲\varepsilon}{۵R} \Rightarrow V = RI \Rightarrow V = \frac{R}{۲} \times \frac{۲\varepsilon}{۵R} = \frac{\varepsilon}{۵}$$

اگر کلید k بسته شود:

$$\frac{۱}{R_{۱,۲,۳}} = \frac{۱}{R_{۱}} + \frac{۱}{R_{۲}} + \frac{۱}{R_{۳}} = \frac{۱+۱+۱}{R} = \frac{۳}{R} \Rightarrow R_{۱,۲,۳} = \frac{R}{۳}$$
$$R_T = R_{۱,۲,۳} + R_{۴} = \frac{R}{۳} + ۲R = \frac{۷R}{۳}$$
$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} = \frac{\varepsilon}{\frac{۷R}{۳}} = \frac{۳\varepsilon}{۷R} \Rightarrow V' = RI \Rightarrow V' = \frac{R}{۳} \times \frac{۳\varepsilon}{۷R} = \frac{\varepsilon}{۷} \Rightarrow \frac{V}{V'} = \frac{\frac{\varepsilon}{۵}}{\frac{\varepsilon}{۷}} = \frac{۷}{۵}$$

تست ۱۷:

مقاومت معادل مدار مقابل میان نقاط M و N، چند اهم است؟



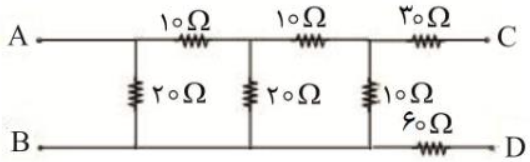
۱) ۲
۲) ۸
۳) ۱۴
۴) ۲۶

با کمی دقت متوجه می‌شویم که دو سر چهار مقاومت ۲۴Ω سمت راست دارای یک پتانسیل الکتریکی هستند. این یعنی اختلاف پتانسیل مقاومت‌ها، صفر است و در نتیجه جریان الکتریکی از آنها عبور نمی‌کند و از مدار حذف می‌شوند. چهار مقاومت سمت چپ با یکدیگر موازی هستند:

$$\frac{۱}{R_{eq}}=\frac{۱}{۱۲}+\frac{۱}{۲۴}+\frac{۱}{۸}+\frac{۱}{۴}=\frac{۲+۱+۳+۶}{۲۴}=\frac{۱۲}{۲۴}=\frac{۱}{۲}\rightarrow R_{eq}=۲\Omega$$

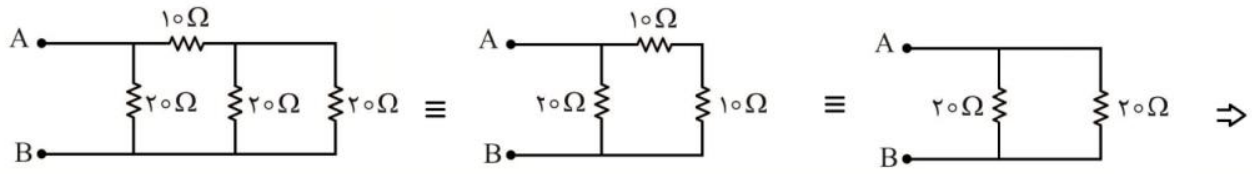
تست ۱۸:

در مدار شکل مقابل، مقاومت معادل بین دو نقطهٔ A و B چند اهم است؟



۱) ۱۰
۲) $\frac{۲۰}{۳}$
۳) ۱۵
۴) ۲۰

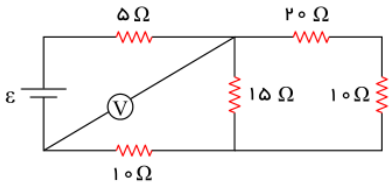
با توجه به شکلِ مدار داده شده، دو مقاومت متصل به نقاط C و D در مدار قرار ندارند بنابراین حذف می‌شوند. در این صورت داریم:



$$R_{eq}=\frac{۲۰}{۲}=۱۰\Omega$$

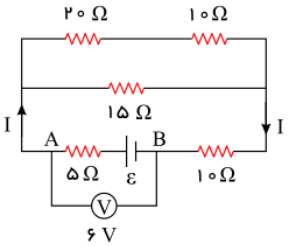
تست ۱۹:

در مدار زیر، ولت‌سنج آرمانی ۶ ولت را نشان می‌دهد. ولتاژ دو سر مولد چند ولت است؟



۱) ۳٫۰
۲) ۴٫۵
۳) ۵٫۰
۴) ۷٫۵

پاسخ: گزینه ۴ روش اول: مدار معادل به شکل زیر است:

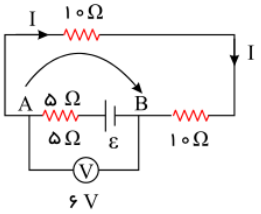


$$R_{eq}=\frac{۳۰\times ۱۵}{۳۰+۱۵}=\frac{۴۵۰}{۴۵}=۱۰$$

$$\rightarrow I=\frac{\varepsilon}{۱۵+۱۰}\rightarrow V_{AB}=\varepsilon-۵I$$

$$\rightarrow ۶=\varepsilon-۵(\frac{\varepsilon}{۲۵})=\varepsilon-\frac{\varepsilon}{۵}=\frac{۴}{۵}\varepsilon\rightarrow \boxed{\varepsilon=\frac{۳۰}{۴}=۷٫۵V}$$

روش دوم:

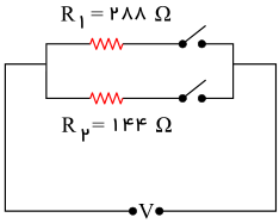


$$V_A=-۱۰I-۱۰I=V_B\rightarrow V_{AB}=۲۰I\rightarrow ۶=۲۰I\rightarrow \boxed{I=۰٫۳A}$$

$$I=\frac{\varepsilon}{r+R_{eq}}\rightarrow\frac{۳}{۱۰}=\frac{\varepsilon}{۲۵}\rightarrow\varepsilon=\frac{۷۵}{۱۰}=\boxed{۷٫۵V}$$

تست ۲۰:

در مدار زیر، با بستن هر دو کلید یا یکی از آن‌ها می‌توان سه توان مصرفی در مدار ایجاد کرد. نسبت بیشترین توان مصرفی مدار به کمترین توان مصرفی کدام است؟



۱) ۱٫۵
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۴

پاسخ: گزینه ۳ اگر کلید بالایی بسته شود:

$$P_۱=\frac{V^۲}{R_۱}=\frac{V^۲}{۲۸۸}\quad(۱)$$

اگر کلید پایینی فقط بسته شود:

$$P_۲=\frac{V^۲}{R_۲}=\frac{V^۲}{۱۴۴}\quad(۲)$$

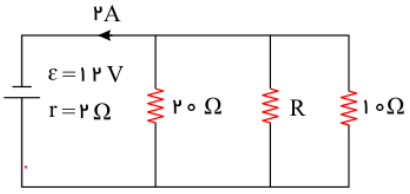
اگر هر دو کلید بسته شوند:

$$\begin{cases}P_۳=\dfrac{V^۲}{R_{eq}}=\dfrac{V^۲}{۹۶}\quad(۳)\\ R_{eq}=\dfrac{۲۸۸\times ۱۴۴}{۲۸۸+۱۴۴}=\dfrac{۲\times ۱۴۴\times ۱۴۴}{۲\times ۱۴۴+۱۴۴}=\dfrac{۲\times ۱۴۴\times \cancel{۱۴۴}}{۳\times \cancel{۱۴۴}}=۹۶\end{cases}$$

$$(۱),(۲),(۳)\rightarrow P_۱<P_۲<P_۳\rightarrow\frac{P_۳}{P_۱}=\frac{\frac{V^۲}{۹۶}}{\frac{V^۲}{۲۸۸}}=\frac{۲۸۸}{۹۶}=۳$$

تست ۲۱:

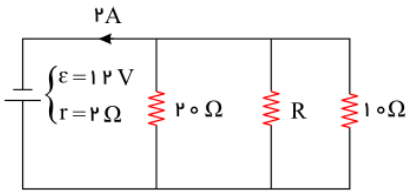
در شکل زیر، در مقاومت R در هر دقیقه چند ژول انرژی مصرف می‌شود؟



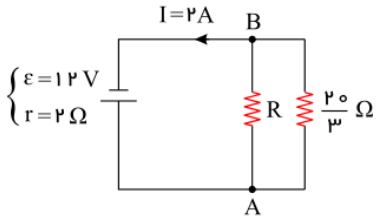
۱) ۶۴۸
۲) ۵۲۶
۳) ۴۷۲
۴) ۳۸۴

پاسخ: گزینه ۴

معادل ۲ مقاومت ۱۰Ω و ۲۰Ω را R' می‌نامیم. بنابراین داریم:



$$R' = \frac{۲۰ \times ۱۰}{۲۰ + ۱۰} = \frac{۲۰۰}{۳۰} = \frac{۲۰}{۳}\Omega$$



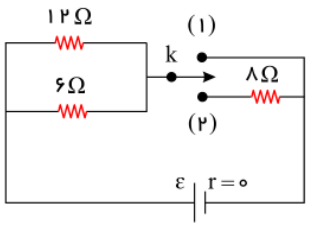
$$I = \frac{\varepsilon}{r + R_{eq}} \Rightarrow ۲ = \frac{۱۲}{۲ + R_{eq}} \Rightarrow R_{eq} = ۴\Omega \Rightarrow R_{eq} = ۴ = \frac{R \times \frac{۲۰}{۳}}{R + \frac{۲۰}{۳}}$$

$$\Rightarrow ۴R + \frac{۸۰}{۳} = \frac{۲۰}{۳}R \Rightarrow \frac{۲۰R}{۳} - ۴R = \frac{۸۰}{۳} \Rightarrow \frac{۸R}{۳} = \frac{۸۰}{۳} \Rightarrow R = ۱۰\Omega$$

$$V_{AB} = \Delta V_{\text{بتری}} = \varepsilon - rI = ۱۲ - ۲ \times ۲ = ۸V \Rightarrow P_R = \frac{V_{AB}^۲}{R} = \frac{۸^۲}{۱۰} = ۶/۴W \quad \Rightarrow \quad U_R = P_R \times \Delta t = ۶/۴ \times ۶۰ = ۳۸۴J \Rightarrow U_R = ۳۸۴J$$

تست ۲۲:

در مدار شکل زیر، ابتدا کلید در حالت (۱) قرار دارد و توان خروجی باتری $P_۱$ است. اگر کلید در حالت (۲) قرار گیرد، توان خروجی باتری $P_۲$ می‌شود. $\frac{P_۲}{P_۱}$ چقدر است؟



۱) ۲
۲) $\frac{۲}{۳}$
۳) $\frac{۱}{۲}$
۴) $\frac{۱}{۳}$

پاسخ: گزینه ۴ می‌دانیم توان خروجی باتری از رابطهٔ: $P = \varepsilon I - rI^۲$ محاسبه می‌شود که برابر با توان مصرفی مقاومت‌های خارجی مدار یعنی: $P_{R_{eq}} = R_{eq}I^۲ = \frac{V^۲}{R_{eq}}$ است.

(در صورتی که یک باتری داشته باشیم.)

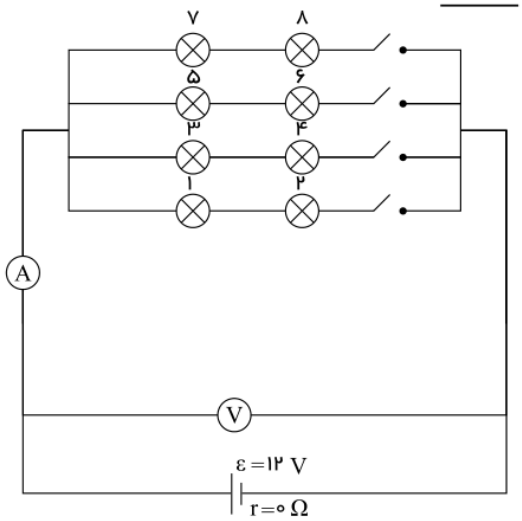
$$V = \varepsilon \begin{cases} P_۱ = \frac{V^۲}{R_{eq}} = \frac{\varepsilon^۲}{۴} \text{ و } R_{eq} = \frac{۶ \times ۱۲}{۶ + ۱۲} = ۴\Omega \\ P_۲ = \frac{V^۲}{R'_{eq}} = \frac{\varepsilon^۲}{۱۲} \text{ و } R'_{eq} = ۱۲\Omega \end{cases}$$

$$\frac{P_۲}{P_۱} = \frac{\frac{\varepsilon^۲}{۱۲}}{\frac{\varepsilon^۲}{۴}} = \frac{۴}{۱۲} = \frac{۱}{۳} \Rightarrow \frac{P_۲}{P_۱} = \frac{۱}{۳}$$

۲-۲-۱۰ تیپ سوالات تغییرات

تست ۲۳:

در مدار شکل زیر ۸ لامپ مشابه وجود دارد. کلیدها یکی پس از دیگری بسته می‌شود. به‌ترتیب از راست به چپ اعدادی که ولت‌سنج و آمپرسنج نشان می‌دهد و شدت نور لامپ شمارهٔ ۴ چگونه تغییر می‌کند؟



۱) افزایش می‌یابد. - کاهش می‌یابد. - تغییر نمی‌کند.

۲) ثابت می‌ماند. - ثابت می‌ماند. - افزایش می‌یابد.

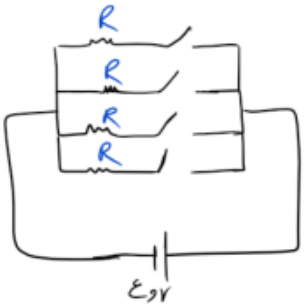
۳) ثابت می‌ماند. - افزایش می‌یابد. - تغییر نمی‌کند.

۴) کاهش می‌یابد. - ثابت می‌ماند. - کاهش می‌یابد.

پاسخ: **گزینه ۳** با بستن کلیدها مقاومت معادل کاهش می‌یابد و جریان طبق رابطهٔ $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$ افزایش می‌یابد، پس آمپرسنج عدد بیشتری نشان می‌دهد ولی از آنجا که مقاومت روی مولد صفر است، پس افت پتانسیل برابر صفر بوده و اختلاف پتانسیل دو سر باتری برابر ε است. در این صورت عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد تغییر نمی‌کند. چون اختلاف پتانسیل دو سر هر شاخه با اختلاف پتانسیل ۲ سر مولد برابر است؛ بنابراین جریانی که از هر شاخه می‌گذرد تغییر نمی‌کند و درنتیجه نور لامپ ثابت می‌ماند.

تست ۲۴:

سوال: در شکل مقابل، تعدادی مقاومت مثل R به صورت موازی به هم وصل شده‌اند. با بستن کلیدها یکی پس از دیگری توان تولیدی مولد ——— و توان مصرفی هر مقاومت ——— می‌یابد.



۱) کاهش - افزایش
۲) افزایش - کاهش
۳) کاهش - نیز کاهش
۴) افزایش - نیز افزایش

پاسخ: با بستن هر کلید، یک مقاومت به صورت موازی به مدار اضافه و یا حذف می‌شود، مقاومت معادل مدار کاهش می‌یابد. درنتیجه بنابر رابطه‌ی $I = \frac{\varepsilon}{R_T + r}$، شدت جریان مدار افزایش و بنابر رابطه‌ی $V = \varepsilon - Ir$ ولت‌سنج دو سر مدار کاهش می‌یابد. با افزایش شدت جریان طبق رابطه‌ی $P = \varepsilon I$، توان تولیدی مولد افزایش می‌یابد و با کاهش ولت‌سنج دو سر مدار، طبق رابطه $P = \frac{V^2}{R}$، توان مصرفی برای هر مقاومت کاهش می‌یابد.

۳-۲ سهم دهی در مدارها برای حل مدارها

سهم دهی ولتاژ در مقاومت های سری

در مقاومت های سری داشتیم: جریان یکسان بود و $V \alpha R$

روش :

۱) به کمترین مقاومت ولتاژ V را می دهیم.

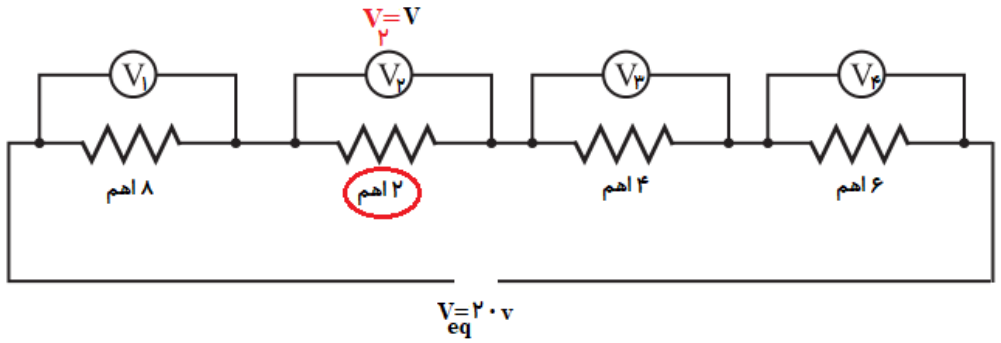
۲) ولتاژ مقاومت های دیگر را با توجه به نسبت مقاومتشان با کم ترین مقاومت می نویسیم.

۳) رابطه ولتاژ در هر سهم :

$$V = \frac{V_{eq}}{\text{جمع نسبت سهم ها}}$$

۴) یافتن سهم هر مقاومت

مثال:



۱و۲) در مدار بالا کمترین مقاومت ، ۲ اهم می باشد. ولتاژ آن را مقدار V قرار می دهیم و برای بقیه داریم:

$$R \xrightarrow{R \alpha V} V \rightarrow \begin{cases} R: ۲\Omega \xrightarrow{\times ۲} ۴\Omega \\ \downarrow \quad\quad \downarrow \\ V: V \xrightarrow{\times ۲} \boxed{۲V} \end{cases}$$

$$R \xrightarrow{R \alpha V} V \rightarrow \begin{cases} R: ۲\Omega \xrightarrow{\times ۳} ۶\Omega \\ \downarrow \quad\quad \downarrow \\ V: V \xrightarrow{\times ۳} \boxed{۳V} \end{cases}$$

$$R \xrightarrow{R \alpha V} V \rightarrow \begin{cases} R: ۲\Omega \xrightarrow{\times ۴} ۸\Omega \\ \downarrow \quad\quad \downarrow \\ V: V \xrightarrow{\times ۴} \boxed{۴V} \end{cases}$$

پس ولتاژ باید به نسبت ۱ و ۲ و ۳ و ۴ بین مقاومت ها تقسیم شود.

۱) ولتاژ در هر سهم:

$$V = \frac{V_{eq}}{۱+۲+۳+۴} = \frac{۲۰}{۱۰} = ۲$$

۲) سهم هر مقاومت:

سهم ۲ اهمی: $V = ۱ \times ۲ = ۲$

سهم ۴ اهمی: $۲V = ۲ \times ۲ = ۴$

سهم ۶ اهمی: $۳V = ۳ \times ۲ = ۶$

سهم ۸ اهمی: $۴V = ۴ \times ۲ = ۸$

در مقاومت های موازی داشتیم: ولتاژ یکسان بود و $R\alpha\frac{۱}{I}$

روش :

۱) به بزرگترین مقاومت جریان I را می دهیم.

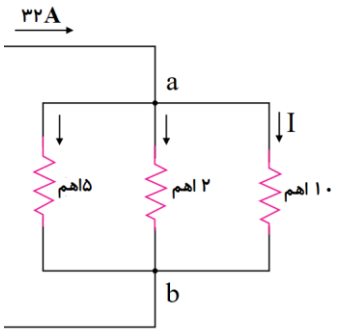
۲) جریان بقیه مقاومت ها را با نسبت عکس مقاومت بزرگتر می نویسیم.

۳) رابطه ولتاژ در هر سهم : $I=\frac{I_T}{\text{جمع نسبت سهم ها}}$

۴) یافتن سهم هر مقاومت

سهم دهی جریان در مقاومت های موازی

مثال:



۱و۲) در مدار بالا بزرگترین مقاومت ، ۱۰ اهم می باشد. جریان آن را مقدار I قرار می دهیم و برای بقیه داریم:

$$R\xrightarrow{R\alpha\frac{۱}{I}}I\rightarrow\begin{cases}R:۱۰\Omega\xrightarrow{\div۵}۲\Omega\\ \downarrow\qquad\qquad\downarrow\\ I:\boxed{I}\xrightarrow{\times۵}\boxed{۵I}\end{cases}$$

$$R\xrightarrow{R\alpha\frac{۱}{I}}I\rightarrow\begin{cases}R:۱۰\Omega\xrightarrow{\div۲}۵\Omega\\ \downarrow\qquad\qquad\downarrow\\ I:I\xrightarrow{\times۲}\boxed{۲I}\end{cases}$$

پس جریان باید به نسبت ۱ و ۵ و ۲ بین مقاومت ها تقسیم شود.

۳) جریان در هر سهم:

$$I=\frac{I_T}{۱+۲+۵}=\frac{۳۲}{۸}=۴$$

۴) سهم هر مقاومت:

سهم ۱۰ اهمی: $I=۱\times۴=۴$

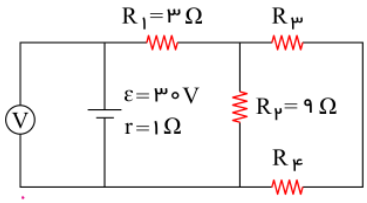
سهم ۲ اهمی: $۵I=۵\times۴=۲۰$

سهم ۵ اهمی: $۲I=۲\times۴=۸$

کلید در مدار: ۱) اضاف کردن مقاومت ۲) حذف مقاومت ۳) نوع بستن را عوض می کند.

تست۲۵:

در مدار زیر، اگر ولت‌سنج آرمانی ۲۷ ولت را نشان دهد و توان مصرفی مقاومت R_4 برابر ۶ وات باشد، اندازهٔ مقاومت R_3 چند اهم است؟

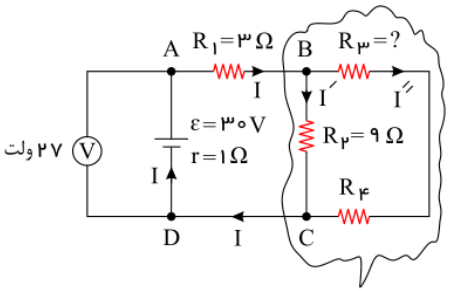


۱) ۶
۲) ۹
۳) ۱۲
۴) ۱۸

پاسخ: گزینه ۳

$$V=\varepsilon-rI \Rightarrow ۲۷=۳۰-۱\times I \Rightarrow I=۳A \Rightarrow \frac{\varepsilon}{r+R_{eq}}=۳ \Rightarrow \frac{۳۰}{۱+R_{eq}}=۳$$

$$\Rightarrow R_{eq}=۹\Omega$$



$$R_{eq}=R_1+R' \rightarrow ۹=۳+R' \rightarrow R'=۶\Omega$$

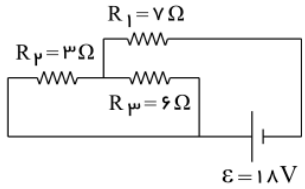
$$V_{BC}=\left(\frac{R'}{R_1+R'}\right)\times ۲۷=\left(\frac{۶}{۳+۶}\right)\times ۲۷=۱۸V \rightarrow I'=\frac{V_{BC}}{R_2}=\frac{۱۸}{۹}=۲A$$

$$I''=I-I'=۳-۲=۱A \Rightarrow P_{R_4}=R_4 I''^2 \Rightarrow ۶=R_4\times ۱^2 \Rightarrow R_4=۶\Omega$$

$$\begin{cases} R'=۶\Omega \\ R'=\dfrac{R_2 R_{۳,۴}}{R_2+R_{۳,۴}} \end{cases} \Rightarrow ۶=\frac{۹R_{۳,۴}}{۹+R_{۳,۴}} \Rightarrow R_{۳,۴}=۱۸\Omega=R_3+R_4=R_3+۶ \Rightarrow R_3=۱۲\Omega$$

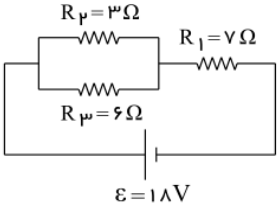
تست۲۶:

در شکل زیر چه جریانی از مقاومت ۳ اهمی می‌گذرد؟



۱) $\frac{۴}{۳}A$
۲) $\frac{۲}{۳}A$
۳) $۲A$
۴) $۱A$

پاسخ: گزینه ۱ ابتدا باید مدار را کمی ساده‌سازی کنیم:



$$(R_2 \parallel R_3) \xrightarrow{\text{موازی‌اند}} R_{t_1}=۲\Omega$$

$$(R_{t_1}, R_1) \xrightarrow{\text{سری‌اند}} R_T=۹\Omega$$

$$I_{\text{مدار}}=\frac{\varepsilon}{R_T+r}=\frac{۱۸}{۹}=۲A$$

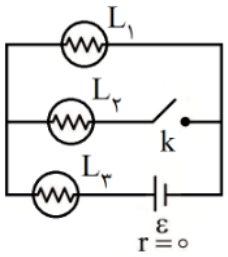
$$R_{t_1}=۲\Omega \rightarrow I=۲A \rightarrow V_{t_1}=۲\times ۲=۴V$$

چون دو مقاومت R_2 و R_3 موازی‌اند بنابراین ولتاژ آن‌ها با ولتاژ مقاومت معادل (R_{t_1}) برابر است.

$$V_2=۴V \rightarrow R_2=۳\Omega \rightarrow I_2=\frac{۴}{۳}A$$

تست ۲۷:

اگر کلید k در مدار روبه‌رو بسته شود، نور لامپ‌های L_1 و L_3 چگونه تغییر می‌کند؟ (لامپ‌ها مشابه هستند.)



۱) هر دو لامپ پرنورتر می‌شوند.

۲) هر دو لامپ کم‌نورتر می‌شوند.

۳) لامپ L_3 پرنورتر و لامپ L_1 کم‌نورتر می‌شود.

۴) لامپ L_3 کم‌نورتر و لامپ L_1 پرنورتر می‌شود.

وقتی کلید باز است:

$$I_1 = I_3 = \frac{\varepsilon}{2R} = \frac{1}{2} \times \frac{\varepsilon}{R}$$

وقتی کلید بسته می‌شود، مقاومت معادل لامپ‌های (۱) و (۲) برابر $\frac{R}{2}$ خواهد شد و داریم:

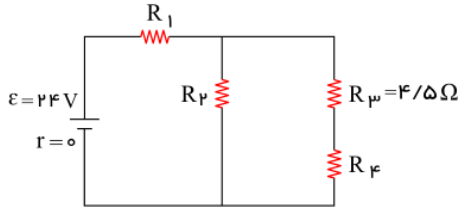
$$I'_3 = \frac{\varepsilon}{R + \frac{R}{2}} = \frac{2}{3} \times \frac{\varepsilon}{R} > I_1$$

$$I'_1 = I'_2 = \frac{1}{2} I'_3 = \frac{1}{3} \times \frac{\varepsilon}{R} < I_1$$

بنابراین نور لامپ (۳) افزایش یافته و نور لامپ (۱) کاهش می‌یابد.

تست ۲۸:

در مدار زیر، توان مصرفی هریک از مقاومت‌ها یکسان است. جریان عبوری از مقاومت R_2 چند آمپر است؟



۱) ۱

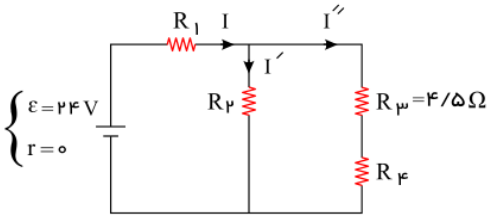
۲) ۲

۳) ۳

۴) ۴

پاسخ: گزینه ۱

$$P_{R_3} = P_{R_4} \Rightarrow R_3 I''^2 = R_4 I''^2 \Rightarrow R_4 = R_3 = 4/5\Omega \quad (1)$$



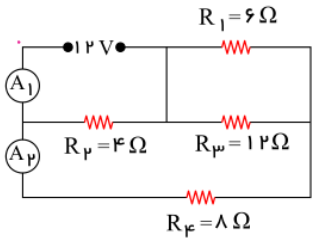
$$\begin{cases} P_{R_2} = P_{R_3} \Rightarrow \dfrac{V_{R_2}^2}{R_2} = \dfrac{V_{R_3}^2}{R_3} \xrightarrow{(*)} \dfrac{4}{R_2} = \dfrac{1}{4/5} \Rightarrow R_2 = 18\Omega \quad (2) \\ V_{R_2} = V_{R_3} + V_{R_4} = 2V_{R_3} \quad (*) \end{cases}$$

$$R_2 = 2R_{3,4} \Rightarrow \begin{cases} I'' = 2I' \Rightarrow P_{R_1} = P_{R_3} \Rightarrow R_1 I^2 = R_3 (I'')^2 \\ I = I' + I'' = \dfrac{3}{2} I'' \end{cases} \Rightarrow R_1 (\frac{3}{2} I'')^2 = 4/5 I''^2 \Rightarrow \frac{9}{4} R_1 = 4/5 \Rightarrow R_1 = 2\Omega \quad (3)$$

$$(1) \text{ و } (2) \text{ و } (3) \Rightarrow R_{eq} = 2 + \frac{9 \times 18}{9 + 18} = 2 + \frac{9 \times 18}{27} = 8\Omega \Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{r + R_{eq}} = \frac{24}{0 + 8} = 3A \Rightarrow I' = (\frac{R_{3,4}}{R_{3,4} + R_2}) I = (\frac{9}{9 + 18}) \times 3 = 1A$$

تست ۲۹:

در مدار زیر، آمپرسنج‌های آرمانی A_1 و A_2 به‌ترتیب چند آمپر را نشان می‌دهند؟



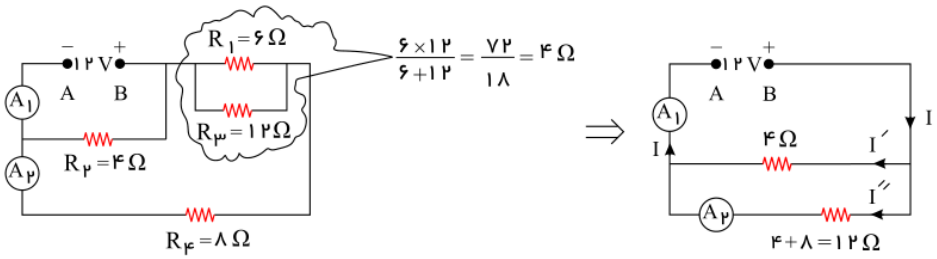
۱) ۳ و ۱

۲) ۳ و ۱٫۵

۳) ۴ و ۱

۴) ۴ و ۱٫۵

پاسخ: **گزینه ۳** کافی است کمی مقاومت R_3 را جابه‌جا کنیم:



$$I=\frac{V_{AB}}{R_{eq}}=\frac{۱۲}{\frac{۴\times ۱۲}{۴+۱۲}}=\frac{۱۲}{۳}=۴A$$

$$I''=(\frac{۴}{۴+۱۲})\times ۴=۱A$$

تست ۳۰:

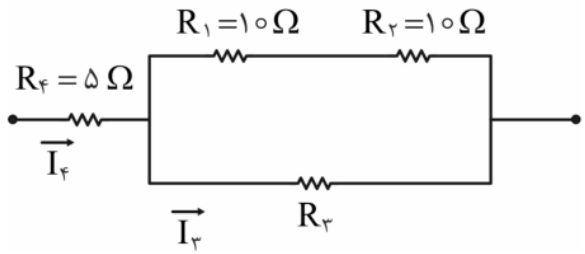
در شکل زیر اگر جریان گذرنده از مقاومت R_4 سه برابر جریان عبوری از مقاومت R_3 باشد، کدام مورد زیر درست است؟ ($R_4=۵\Omega$ $R_2=۱۰\Omega$ $R_1=۱۰\Omega$)

۱) $P_2=P_3$

۲) $P_2=۲P_3$

۳) $P_3=۴P_2$

۴) $P_3=۶P_2$



$$I_4=I_1+I_3=۳I_3\rightarrow I_1=۲I_3$$

از طرفی:

$$V_{1,2}=V_3\rightarrow R_{1,2}I_1=R_3I_3\rightarrow ۲۰I_1=R_3I_3\xrightarrow{I_1=۲I_3}R_3=۴۰\Omega$$

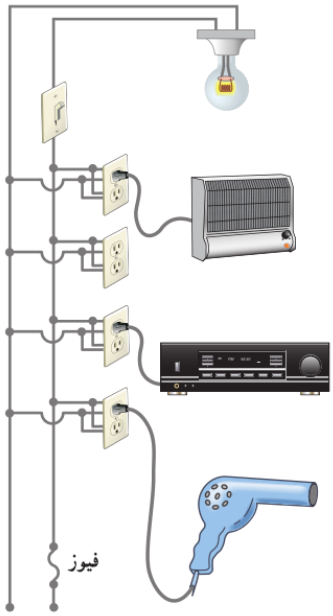
حال می‌توان نوشت:

$$\begin{cases}P_3=۴۰I_3^{۲}\\P_2=۱۰I_2^{۲}\end{cases}\xrightarrow{I_2=I_1=۲I_3}P_3=P_2$$

یک لامپ رشته‌ای ۱۰۰W، یک بخاری برقی ۲۰۰۰W، یک دستگاه پخش‌صوت ۲۰۰W، و یک سشوار (موخشک‌کن) ۲۲۰۰W مطابق شکل به پریزهای یک مدار سیم‌کشی خانگی ۲۲۰V وصل شده است.

الف) اگر فیوز شکل ۱۵A باشد، یعنی حداکثر بتواند جریان ۱۵A را تحمل کند، آیا فیوز خواهد پرید؟

ب) نشان دهید توان الکتریکی مصرفی مقاومت معادل برابر با مجموع توان‌های الکتریکی مصرفی در هریک از آنهاست.



پاسخ : الف) همان‌طور که در شکل می‌بینیم در سیم‌کشی منازل همهٔ مصرف‌کننده‌ها به‌طور موازی متصل می‌شوند. بنابراین، جریان کل عبوری از فیوز برابر با مجموع جریان‌های عبوری از هریک از مصرف‌کننده‌هاست. با استفاده از رابطهٔ $I = P/V$ جریان عبوری از هریک از این چهار مصرف‌کننده را به‌دست می‌آوریم. بنابراین، به ترتیب داریم :

$$I_{\text{لامپ}} = \frac{P_{\text{لامپ}}}{V} = \frac{۱۰۰\,\text{W}}{۲۲۰\,\text{V}} = ۰/۴۵۵\,\text{A}$$

$$I_{\text{بخاری}} = \frac{P_{\text{بخاری}}}{V} = \frac{۲۰۰۰\,\text{W}}{۲۲۰\,\text{V}} = ۹/۰۹\,\text{A}$$

$$I_{\text{پخش}} = \frac{P_{\text{پخش}}}{V} = \frac{۲۰۰\,\text{W}}{۲۲۰\,\text{V}} = ۰/۹۰۹\,\text{A}$$

$$I_{\text{سشوار}} = \frac{P_{\text{سشوار}}}{V} = \frac{۲۲۰۰\,\text{W}}{۲۲۰\,\text{V}} = ۱۰/۰\,\text{A}$$

بنابراین، جریان کل عبوری از فیوز برابر است با

$$I_{\text{فیوز}} = I_{\text{کل}} = I_{\text{لامپ}} + I_{\text{بخاری}} + I_{\text{پخش}} + I_{\text{سشوار}}$$
$$= ۰/۴۵۵\text{A} + ۹/۰۹\text{A} + ۰/۹۰۹\text{A} + ۱۰/۰\text{A} = ۲۰/۵\text{A}$$

چون فیوز ۱۵A است. بنابراین، فیوز خواهد پرید. در اغلب منازل چند مدار سیم‌کشی جداگانه داریم که هریک فیوز مربوط به خود را دارد. برای اینکه بتوانیم به‌طور هم‌زمان از چند وسیلهٔ برقی استفاده کنیم، باید وسایل برقی را به‌طور هم‌زمان به یک مدار وصل نکنیم و مدارهای دیگر را نیز به‌کار گیریم.

ب) دیدیم که همهٔ مصرف‌کننده‌ها به‌طور موازی متصل می‌شوند. بنابراین، مقاومت معادل مصرف‌کننده‌های شکل از رابطهٔ ۲ــ۱۱ به‌دست می‌آید. بنابراین، برای محاسبهٔ مقاومت لازم است مقاومت هریک از وسیله‌ها را به‌طور جداگانه محاسبه کنیم. مقاومت هر مصرف‌کننده با استفاده از رابطهٔ $P = \frac{V^۲}{R}$ به‌دست می‌آید. بنابراین، به ترتیب داریم :

$$R_{\text{لامپ}} = \frac{V^۲}{P_{\text{لامپ}}} = \frac{(۲۲۰\,\text{V})^۲}{۱۰۰\,\text{W}} = ۴۸۴\,\Omega$$

$$R_{\text{بخاری}} = \frac{V^۲}{P_{\text{بخاری}}} = \frac{(۲۲۰\,\text{V})^۲}{۲۰۰۰\,\text{W}} = ۲۴/۲\,\Omega$$

$$R_{\text{پخش}} = \frac{V^۲}{P_{\text{پخش}}} = \frac{(۲۲۰\,\text{V})^۲}{۲۰۰\,\text{W}} = ۲۴۲\,\Omega$$

$$R_{\text{سشوار}} = \frac{V^۲}{P_{\text{سشوار}}} = \frac{(۲۲۰\,\text{V})^۲}{۲۲۰۰\,\text{W}} = ۲۲/۰\,\Omega$$

پس مقاومت معادل چنین محاسبه می‌شود :

$$\frac{۱}{R_{\text{eq}}} = \frac{۱}{R_{\text{لامپ}}} + \frac{۱}{R_{\text{بخاری}}} + \frac{۱}{R_{\text{پخش}}} + \frac{۱}{R_{\text{سشوار}}} =$$

$$= \frac{۱}{۴۸۴\,\Omega} + \frac{۱}{۲۴/۲\,\Omega} + \frac{۱}{۲۴۲\,\Omega} + \frac{۱}{۲۲/۰\,\Omega} = ۰/۰۹۳۰\,\Omega^{-۱}$$

و در نتیجه $R_{\text{eq}} = ۱۰/۷۵\,\Omega \approx ۱۰/۸\,\Omega$. بنابراین، توان مصرفی مقاومت معادل چنین می‌شود :

$$P_{R_{\text{eq}}} = \frac{V^۲}{R_{\text{eq}}} = \frac{(۲۲۰\,\text{V})^۲}{۱۰/۷۵\,\Omega} = ۴/۵۰\,\text{kW}$$

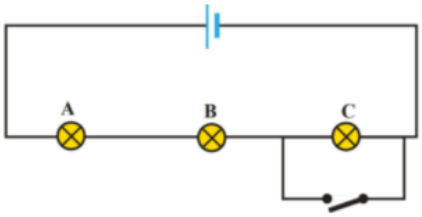
اکنون می‌خواهیم این نتیجه را با مجموع توان‌های هریک از مصرف‌کننده‌ها مقایسه کنیم.

مجموع توان مصرف‌کننده‌ها برابر است با

$$P_{\text{کل}} = P_{\text{لامپ}} + P_{\text{بخاری}} + P_{\text{پخش}} + P_{\text{سشوار}} = ۱۰۰\,\text{W} + ۲۰۰۰\,\text{W} + ۲۰۰\,\text{W} + ۲۲۰۰\,\text{W} = ۴۵۰۰\,\text{W}$$

که همان توان مصرفی مقاومت معادل است.

لامپ‌های A، B و C در شکل زیر همگی یکسان‌اند. با بستن کلید، کدام یک از تغییرات زیر در اختلاف پتانسیل رخ می‌دهد؟ (ممکن است بیش از یک پاسخ درست باشد).



الف) اختلاف پتانسیل دو سر A و B تغییر نمی‌کند. نادرست

ب) اختلاف پتانسیل دو سر C و به اندازهٔ 50% کاهش می‌یابد. نادرست

پ) هر یک از اختلاف پتانسیل‌های A و B به اندازهٔ 50% افزایش می‌یابد. درست

ت) اختلاف پتانسیل دو سر C به صفر کاهش می‌یابد. درست

تست ۳۱: ر

المنت یک اجاق برقی طولی برابر $۱٫۲m$ دارد و سطح مقطع آن $۰٫۹ \times ۱۰^{-۶} m^۲$ می‌باشد. مقاومت ویژهٔ این ماده در دمای $۳۰۰^\circ C$ برابر $۶ \times ۱۰^{-۵} \Omega \cdot m$ و ضریب دمایی مقاومت ویژهٔ آن $\alpha = ۲ \times ۱۰^{-۳} K^{-۱}$ است. مقاومت این سیم در دمای $۴۰۰^\circ C$ چند اهم است؟

۱) ۸۶ ۲) ۹۰ ۳) ۹۶ ۴) ۹۶٫۵

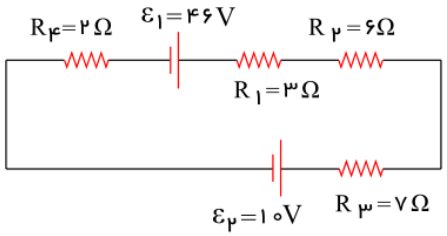
پاسخ: گزینه ۳

$$\rho = \rho_۰ \left[۱ + \alpha(T - T_۰)\right] = ۶ \times ۱۰^{-۵} \left[۱ + ۲ \times ۱۰^{-۳} \times (۴۰۰ - ۳۰۰)\right] = ۷٫۲ \times ۱۰^{-۵}$$

$$R = \rho \frac{L}{A} = ۷٫۲ \times ۱۰^{-۵} \times \frac{۱٫۲}{۰٫۹ \times ۱۰^{-۶}} = ۹۶\Omega$$

تست ۳۲: ر

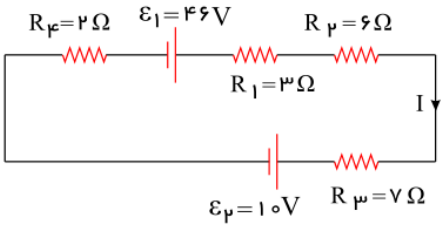
در مدار شکل زیر انرژی مصرف‌شده در $R_۱$ در مدت ۵ ثانیه چقدر است؟



۱) $۲۴J$
۲) $۳۶۰۰J$
۳) $۱۲J$
۴) $۶۰J$

پاسخ: گزینه ۴ ابتدا باید جریان مدار را محاسبه کنیم.

جریان فرضی I را در نظر می‌گیریم:



$$-۲I + \varepsilon_۱ - ۳I - ۶I - ۷I - \varepsilon_۲ = ۰$$

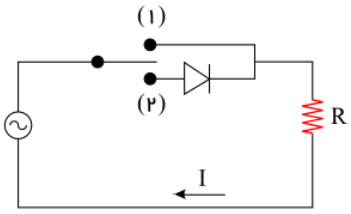
$$\rightarrow ۱۸I = \varepsilon_۱ - \varepsilon_۲ \rightarrow I = \frac{۳۶}{۱۸}$$

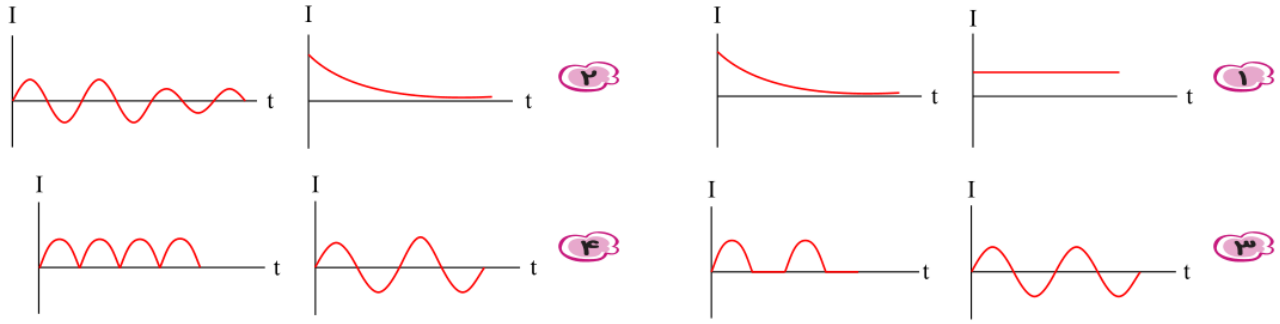
$I = ۲A \leftarrow$ جهت جریان فرضی درست است.

$$W = R_۱ I^۲ t = ۳ \times (۲)^۲ \times ۵ = ۶۰J$$

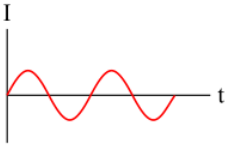
تست۳۳: ر

در شکل زیر، ابتدا کلید در حالت (۱) قرار می‌گیرد و سپس در حالت (۲) قرار می‌گیرد. نمودار جریان الکتریکی به ترتیب به کدام صورت خواهد بود؟

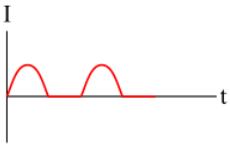




پاسخ: گزینه ۳ در مدار یک مولد جریان متناوب قرار دارد. هنگام اتصال کلید m در حالت (۱) دیود نقشی در مدار نداشته و نمودار $(I-t)$ به شکل



خواهد بود. ولی هنگامی که کلید در وضعیت (۲) قرار دارد، دیود فقط در جهت ساعتگرد اجازهٔ عبور جریان را از خود می‌دهد. و در مواقعی که مولد جهت جریان را وارونه می‌کند، دیود اجازهٔ عبور جریان را از خود نمی‌دهد (با تقریب بسیار خوبی!) یعنی نمودار $(I-t)$ به صورت



خواهد شد.

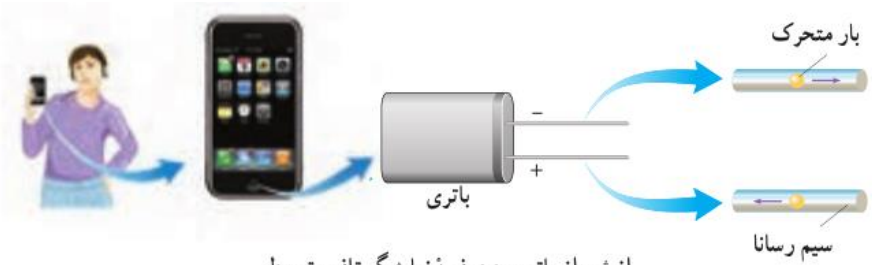
۲-۱ تکمیلی الکتریسیته جاری

وجود اختلاف پتانسیل بین دو نقطه از یک رسانا، موجب ایجاد شارش بارها بین آن دو نقطه و به وجود آمدن جریان الکتریکی بین آن دو نقطه از رسانا می شود.

پس عامل ایجاد جریان الکتریکی وجود اختلاف پتانسیل الکتریکی بین آن دو نقطه است.

۲-۱-۱ کاربردهایی از جریان الکتریکی

- انرژی مورد نیاز صفحه نمایشگر تلفن همراه توسط یک باتری تامین می شود. انرژی الکتریکی از طریق مسیرهای رسانایی که در آن ها بارهای الکتریکی در جریان اند به نمایشگر تلفن همراه می رسد.

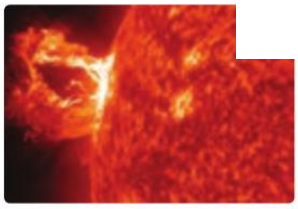


انرژی از باتری به صفحهٔ نمایشگر تلفن، توسط بارهایی که از سیم های رسانا می‌گذرند، منتقل می‌شود.

- مهندسان

برق با دستگاه های الکتریکی زیادی از قبیل مولد های برق و دستگاه های ذخیره اطلاعات سر و کار دارند.

- مهندسان مخابرات نگران اختلالات ناشی از فوران های خورشیدی هستند.
- فیزیولوژیست ها و مهندسان پزشکی با جریان های الکتریکی در رشته های عصبی سر و کار دارند.



فوران عظیمی از الکترون‌ها و یون‌ها که از سطح خورشید پرتاب می‌شوند.

۲-۱-۲ حاملان بار الکتریکی

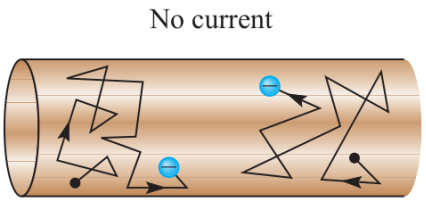
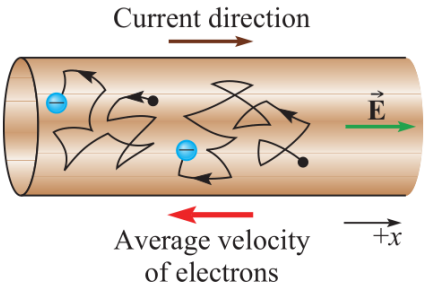
ذره های بارداری که می توانند در ماده حرکت کنند. پس :

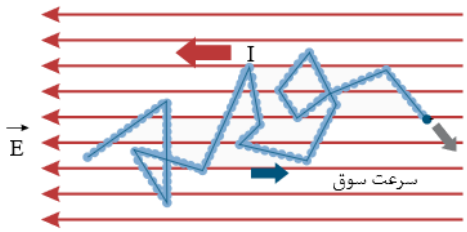
پس حاملان بار الکتریکی در فلزات ⟵ الکترون های آزاد

۱) ذره باردار باشد،
۲) حرکت انتقالی داشته باشد.

(پروتون ها به علت عدم حرکت، نمی توانند حامل بار باشند.)

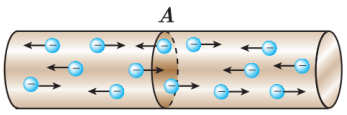
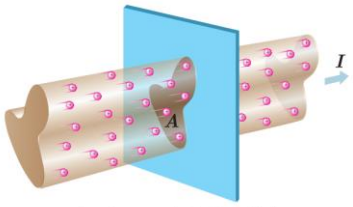
۲-۲ تعریف کیفی جریان الکتریکی

حرکت کاتوره ای (زیگزاگی) در نبود میدان الکتریکی خارجی	الکترون ها دائما در حال ورجه وورجه شدن هستن یک حرکت بی هدف در همه جهات سریع با تندی هایی در مرتبه $۱۰^{۶}\ \frac{m}{s}$ دائمی (در داخل میدان و در خارج میدان)	
حرکت کاتوره ای (زیگزاگی) تحت تاثیر میدان الکتریکی خارجی	میدانیم که میدان از مثبت به منفی است. بنابراین به الکترون ها در خلاف جهت میدان نیرو وارد می شود. این نیرو سبب می شود که همزمان که حرکت کاتوره ای انجام می دهند، در خلاف جهت میدان به آهستگی سوق داده شوند. این حرکت دسته جمعی و جهت دار الکترون ها با سرعت متوسط کمی انجام می شود که به آن سرعت سوق[۱] گویند. اندازه سرعت سوق در یک رسانای فلزی از مرتبه $۱\frac{mm}{s}$ است.	



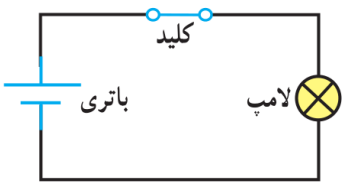
۱-۲-۲ هر مجموعه ای از بار های متحرک جریان الکتریکی ایجاد می کنند؟

- برای اینکه جریان الکتریکی داشته باشیم، باید یک انتقال خالص بار از یک سطح مقطع معین رخ دهد. (مجموعه ۱)
- برای این منظور نیاز به ابزاری مانند باتری داریم تا با ایجاد یک میدان الکتریکی، بارها را در جهت معینی به حرکت در آورد.

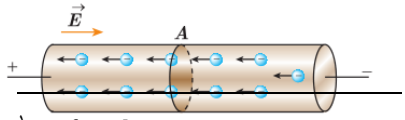
مجموعه ۱	عدم وجود باتری حرکت کاتوره ای	 در نبود اختلاف پتانسیل، شارش بار خالصی از مقطع معیّن A سیم، نداریم.
مجموعه ۲	وجود باتری (حرکت کاتوره ای و حرکت در خلاف جهت میدان)	 باریکه‌ای از بارهای مثبت از سطح مقطع A می‌گذرند و جریان I را ایجاد می‌کنند.

۲-۲-۲ حرکت کاتوره ای و حرکت در خلاف جهت میدان در یک مدار ساده

سیمی را در یک مدار الکتریکی به شکل روبرو در نظر بگیرید. (مدار ساده : لامپ- کلید – باتری – سیم)



اختلاف پتانسیل در دو سر سیم و میدانی الکتریکی درون آن ایجاد می شودو باعث حرکت الکترون های آزاد و ایجاد جریان می شود. (شکل زیر)



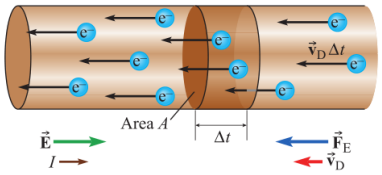
در حضور اختلاف پتانسیل، شارش بار خالص از مقطع A سیم، دیگر برابر صفر نیست.

پس لازمه جریان الکتریکی :

[۱] Drift Velocity

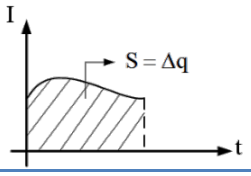
۱) حضور حاملان بار (الکترون های آزاد)

۲) وجود میدان الکتریکی خارجی



۲-۲-۳ تعریف کمی جریان الکتریکی (I) (ماشین ها از یک معبر)

اگر بار خالص Δq در مدت Δt از یک مقطع از رسانا شارش کند، در این صورت جریان الکتریکی متوسط برابر است با :

$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ اگر آهنگ شارش بار ثابت باشد: $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$		
$\bar{I}$: جریان الکتریکی متوسط (واحد: آمپر A)	Δq : بار الکتریکی (واحد: کولن C)	Δt : زمان شارش بار (واحد: ثانیه s)
مساحت زیر نمودار $I-t$: بار الکتریکی عبوری از رسانا 		

چند مثال جهت درک مطلب (حفظ نکنیدا) :

نورون های مغزی: ۱ نانو آمپر ← تامین انرژی نمایشگر گوشی : ۱ میلی آمپر ← لامپ ۱۰۰ وات : ۱ آمپر ← استارت خودرو : ۲۰۰ آمپر ← آذرخش : ۱۰ کیلو آمپر ← باد های خورشیدی: ۱ گیگا آمپر

۲-۲-۴ یکای دیگر بار الکتریکی (آمپر ثانیه $A.s$)

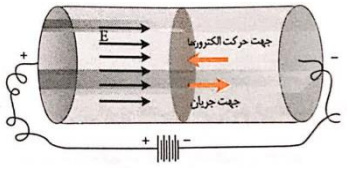
$$\Delta q = \bar{I} \times \Delta t \rightarrow \boxed{1\,C = 1\,A.s}$$

۲-۲-۵ یکای دیگر بار الکتریکی (آمپر ساعت Ah)

$$1Ah = 1(A) \times 3600(s) = 3600\,A.s = 3600\,C$$

معمولاً به‌عنوان یک مشخصه از باتری‌ها، بر روی باتری خودروها و گوشی‌ها نوشته می‌شود.

آمپر – ساعت یک باتری، نشان می‌دهد که این باتری می‌تواند چه میزان بار الکتریکی را تحت ولتاژِ نوشته شده روی باتری از مدار عبور دهد تا به‌طور ایمن تخلیه شود و بزرگ‌تر بودن آمپر – ساعت باتری، درواقع نشانهٔ آن است که در مورد جریان‌های یکسان، کدام باتری مدت زمان بیش‌تری می‌تواند در مدار کار کند و دیرتر تخلیه شود.

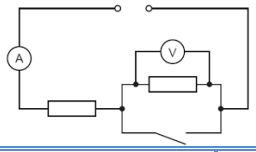


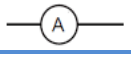
۲-۲-۶ جهت جریان در یک مدار الکتریکی

دانشمندان فکر می کردند که در رسانا ها ذراتی با بار مثبت حرکت می کنند، برای همین جهت جریان را در جهت بارهای مثبت در نظر می گرفتند. ما هم به نظر اشتباه آن ها احترام می گذاریم و در جهت حرکت فرضی بارهای مثبت در نظر می گیریم. پس جهت جریان از مثبت به منفی

جریانی که در این فصل با آن سر و کار داریم جریان مستقیم (DC) و ثابت است. یعنی این‌که جهت و مقدار آن با زمان تغییر نمی‌کند. (به این خاطر $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$)

۲-۲-۷ آمپر سنج و ولت سنج



آمپر سنج	ولت سنج
	
وسیله ای برای اندازه گیری جریان الکتریکی در مدار می باشد. کار آمپرسنج سنجش جریانی است که از آن می گذرد پس به صورت متوالی (سری) با باتری یا مقاومت بسته می شود.	وسیله ای برای اندازه گیری اختلاف پتانسیل (ولتاژ) در مدار می باشد. به صورت موازی به همان دو نقطه ای که اختلاف پتانسیلش را میخواهیم وصل می کنیم.

۲-۳ مقاومت الکتریکی و قانون اهم

داستان از کجا شروع شد؟

با بستن کلید در مدار :

۱) اختلاف پتانسیل در دو سر مدار ایجاد می شود.

۲) حرکت سوقی الکترون های آزاد آغاز می شود.

۳) در مسیر، الکترون ها با اتم های رسانا که در حال نوسان هستند برخورد می کنند.

۴) با برخورد به این موانع متحرک، مقداری از انرژی شان را به صورت گرما از دست می دهند.

۵) در واقع اتم های رسانا در برابر حرکت الکترون ها مقاومت می کنند.

۶) پس رسانا دارای مقاومت الکتریکی[۱] است.

۲-۳-۱ برسیم به قانون اهم

واضح است که تحت یک اختلاف پتانسیل سیمی که مقاومت بیشتری دارد، جریان کمتری از خود عبور می دهد.

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

R : مقاومت الکتریکی ($\Omega \ or \ \frac{V}{A}$ اهم)	I : جریان الکتریکی (A آمپر)	V : اختلاف پتانسیل یا ولتاژ (V ولت)

۲-۳-۲ قطعه مقاومت[۲]

یک رسانا که مقاومت الکتریکی دارد و در مدار با نماد نمایش می دهند.

۲-۳-۳ همه رسانا ها از قانون اهم پیروی می کنند؟

قانون اهم چی میگه : میگه که اگر در یک دمای معین، اختلاف پتانسیل دو سر یک رسانا را تغییر دهیم، نسبت $\frac{V}{I}$ آن که نشان دهنده مقاومت می باشد، تغییر نمی کند. یعنی با تغییر ولتاژ مقاومتشان ثابت می ماند و R همیشه ثابت است.

امااااا همه ی رسانا ها با تغییر ولتاژ مقاومتشان ثابت نمی ماند و تغییر می کند و از قانون اهم تبعیت نمی کنند.

پس رساناها : ۱) اهمی ۲) غیر اهمی

رسانای اهمی	رسانای غیر اهمی
تمامی رساناهایی که از قانون اهم تبعیت می کنند. بسیاری از فلزات و خیلی از رساناهای غیرفلزی مقاومتشان اهمی است.	تمامی رساناهایی که از قانون اهم تبعیت نمی کنند. LED ها و انواع دیگر دیودها

[۱] Resistance

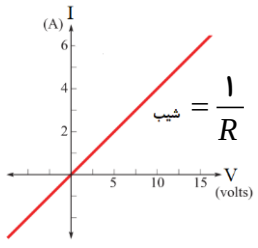
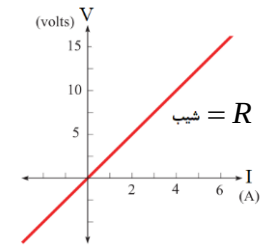
[۲] Resistor

انجام آزمایش و رسیدن به رابطه خطی :

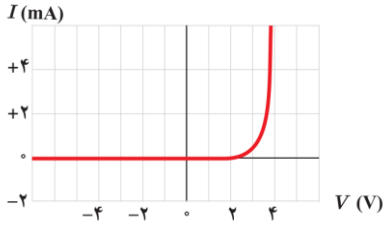
مقادیری نوعی برای یک رسانای اُهمی		
V(V) اختلاف پتانسیل	I (A) جریان	$R\,(\Omega)$ مقاومت
۰/۴	۰/۱	۴
۰/۸	۰/۲	۴
۱/۲	۰/۳	۴
۱/۶	۰/۴	۴
۲/۰	۰/۵	۴

مشاهده شد که جریان با افزایش ولتاژ به صورت خطی افزایش یافت.

و طبق رابطه $R=\frac{V}{I}\rightarrow V\ \alpha I$، بین **V** و **I** رابطه خطی برقرار است.

نمودار I بر حسب V	نمودار V بر حسب I
	

مقاومت رسانای اهمی به ولتاژ بستگی ندارد.



با افزایش ولتاژ مثبت:

۳) جریان زیاد می شود، اما رابطه I و V خطی نیست.

۴) شیب نمودار، یعنی $\frac{1}{R}$ زیاد می شود: پس **R** کم می شود.

نکته :

وقتی V منفی است، جریان صفر است.

چه موقع V منفیه؟

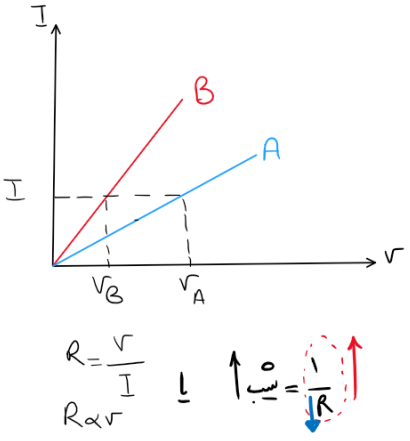
زمانی که پایانه های دیود را برعکس ببندیم.

یا ولتاژ مخالفت کننده باشد.

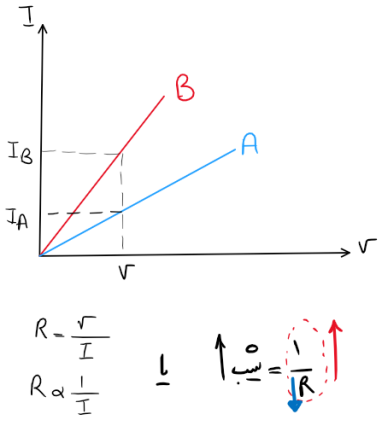
پس از دیود برعکس جریان نمی گذرد.

مقاومت رسانای غیراهمی به ولتاژ بستگی دارد.

نکته۴: شیب نمودار شدت جریان بر حسب ولتاژ (نمودار I-V) برابر $\frac{1}{R}$ می باشد.



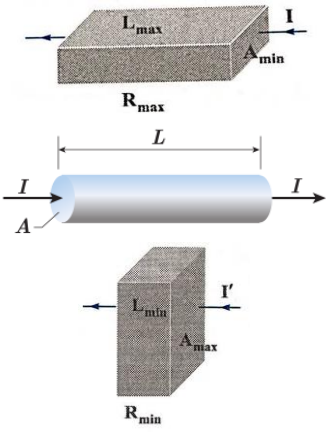
$R_B<R_A$



۲-۳-۴ عوامل دیگر موثر بر مقاومت رسانا (دمای رسانا – ساختمان رسانا)

فهمیدیم که مقاومت رسانای اهمی به ولتاژ بستگی ندارد ولی مقاومت رسانای غیراهمی به ولتاژ بستگی دارد. حال به دنبال عوامل موثر دیگر می باشیم.

تاثیر ساختمان



۱) سطح مقطع رسانا (A): هرچه سطح مقطع بزرگتر باشد، عبور حاملان بار راحت تر و در نتیجه مقاومت کمتر است.

(هرچه شلنگ قطور تر ، عبور آب راحت تر و مقاومت در برابر عبور آب کمتر) $R\alpha\frac{1}{A}$

۲) طول رسانا (L): هرچه طول رسانا بیشتر باشد، مسیر طولانی تر و الکترون ها هنگام عبور برخوردهای بیشتری با اتم ها پیدا می کنند و عبور حاملان بار سخت تر می شود. بنابراین مقاومت بیشتر می شود. $R\alpha L$

۳) جنس سیم: جنس سیم در کمیتی به اسم مقاومت ویژه (ρ) اثر می گذارد. $R\alpha\rho$

مقاومت ویژه هم به جنس (ساختار اتمی) و هم به دمای رسانا بستگی دارد و بر حسب $\Omega.m$ (اهم در متر) می باشد.

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

	هر چه مقاومت ویژه جسم بیشتر باشد، جسم عایق الکتریکی بهتری است. (شیشه : $۱۰^{۱۴}-۱۰^{۱۰}$) هر چه مقاومت ویژه جسم کمتر باشد، جسم رسانای الکتریکی بهتری است.(آهن : ۹.۷×۱۰^{-۸}) منظور از جنس رسانا، ساختار شبکه بلوری و چیدمان مولکولی رسانا است که مسیر عبور و مرور حاملان بار را مشخص می کند. مقاومت ویژه یک ماده به ساختار اتمی و دمای آن بستگی دارد.	

پس می توان نوشت :

$$R=\rho\frac{L}{A}=\rho\frac{L}{\pi r^{۲}}=\rho\frac{۴L}{\pi d^{۲}}$$

و برای رابطه مقایسه ای (طبقه ای):

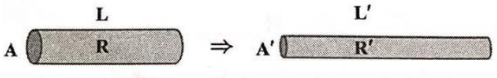
$$R=\rho\frac{L}{A}\begin{cases}\frac{R_۲}{R_۱}=\frac{\rho_۲}{\rho_۱}\times\frac{L_۲}{L_۱}\times\frac{A_۱}{A_۲}\\ \frac{R_۲}{R_۱}=\frac{\rho_۲}{\rho_۱}\times\frac{L_۲}{L_۱}\times(\frac{D_۱}{D_۲})^{۲}\end{cases}$$

تاثیردما بر روی مقاومت ویژه (رشته تجربی)	مقاومت ویژه ژرمانیم و سیلیسیم بین مقاومت ویژه رسانا ها و نارسانا هاست، به این دسته از مواد نیم رسانا گویند. مقاومت ویژه ی رساناهای فلزی با افزایش دما زیاد می شود. مقاومت ویژه ی نیم رساناها با افزایش دما کاهش می یابد. $\Delta R=R_۱\alpha\Delta\theta$ $R_۲=R_۱(۱+\alpha\Delta\theta)$ α : ضریب دمایی مقاومت ویژه که برای رساناها مثبت و برای نیم رساناها و نارساناها منفی است. در برخی مواد مثل: جیوه و قلع با کاهش دما، مقاومت ویژه در دمای خاصی به صورت ناگهانی به صفر افت می کند و در دماهای پایین تر، همچنان صفر می ماند. که به این پدیده ابر رسانایی گویند.

نکته۵: مقاومت لامپ روشن بیشتر از لامپ خاموش است. چون دمای بالاتری دارد و مقاومت به جریان و ولتاژ بستگی ندارد.

یادآوری: رابطه چگالی : $\rho_{density}=\frac{m}{V}$ و حجم برای استوانه : $V=AL$

نکته۶: فرض کنید سیمی به طول L ، سطح مقطع A و مقاومت الکتریکی R را از ابزاری عبور دهیم تا بدون تغییر جرم ، طول آن n برابر شود. با توجه به این که حجم سیم تغییری نکرده است، داریم:

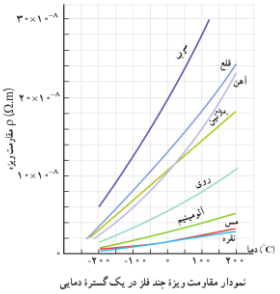


راه تستی : اگر جرم و حجم سیم ثابت ($\rho=\frac{m}{V}$) باشد با در نظر گرفتن یکی از متغیرها تناسب های زیر برقرار است. (کشیدن و .....)

$$R\alpha L^{۲}\quad,\quad R\alpha\frac{۱}{A^{۲}}\quad,\quad R\alpha\frac{۱}{d^{۴}}\quad,\quad R\alpha\frac{۱}{r^{۴}}$$

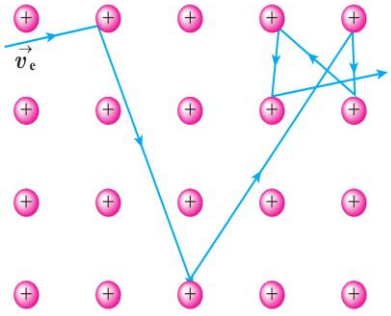
۲-۳-۵ تغییر مقاومت ویژه با دما (رشته ریاضی)

تغییر مقاومت ویژه با دما (رشته ریاضی)



نمودار مقاومت ویژه چند فلز در یک گسترهٔ دمایی

اگر یک رسانای فلزی داشته باشیم، با افزایش دمای آن، تعداد حامل های بار (در اینجا الکترون های آزاد) تقریباً ثابت می ماند، ولی ارتعاشات کاتوره ای اتم ها و یون های آن ثابت می یابد. این عامل موجب افزایش برخورد حامل های بار با شبکه ی اتمی رسانای فلزی می شود.



حرکت الکترون در داخل شبکهٔ بلوری فلز.
با افزایش دما، ارتعاشات شبکه و درنتیجه
برخورد الکترون‌ها با شبکه افزایش می‌یابد.

و به این ترتیب، مقاومت رسانا در برابر عبور جریان زیاد می شود. مثلاً در یک لامپ رشته ای حبابی، مقاومت آن با افزایش دمای رشته به شدت افزایش می یابد. آزمایش نشان می دهد که مقاومت ویژه فلزات در یک گستره دمایی نسبتاً بزرگ با دما تقریباً به طور خطی تغییر می کند.

(شکل سمت راست)

با استفاده از یک تقریب تجربی خوب می توان نشان داد که

$$\rho = \rho_o[1+\alpha(T-T_o)]$$

T_o	ρ_o	α
دمای مرجع (معمولاً دمای اتاق) (دمای اتاق: ۲۰ درجه سانتی گراد یا ۲۹۳ کلوین) و T دمای رسانا است	مقاومت ویژه در دمای مرجع	ضریب دمایی مقاومت ویژه

اگر یک نیم رسانا داشته باشیم، در دماهای پایین تعداد حامل های بار ناچیز است و نیم رسانا مانند یک نارسانا رفتار می کند. با افزایش دما، نشان داده می شود بر تعداد این حامل های بار افزوده می گردد. گرچه با افزایش دما تعداد برخوردهای کاتوره ای حامل های بار با شبکه اتمی افزایش می یابد، اما تاثیر افزایش تعداد حامل های بار بیشتر از افزایش این برخوردهای کاتوره ای است. به این ترتیب مقاومت ویژه نیم رسانا ها با افزایش دما کاهش می یابد. ضریب دمایی مقاومت برای نیم رساناها منفی است که به معنای کاهش مقاومت ویژه این مواد با افزایش دماست.

۲-۴ انواع مقاومت

پیچه ای

شامل پیچه ای از یک سیم نازک اند که معمولاً جنس آن ها از آلیاژهایی مانند نیکروم یا منگانین است. این مقاومت ها برای به دست آوردن مقاومت های پایین بسیار دقیق و همچنین توان های بالا ساخته می شوند. بیشینه ی توان الکتریکی که این مقاومت ها می توانند تحمل کنند، بی آنکه بسوزند روی آن ها نوشته شده است.

تصویری از یک مقاومت پیچه‌ای

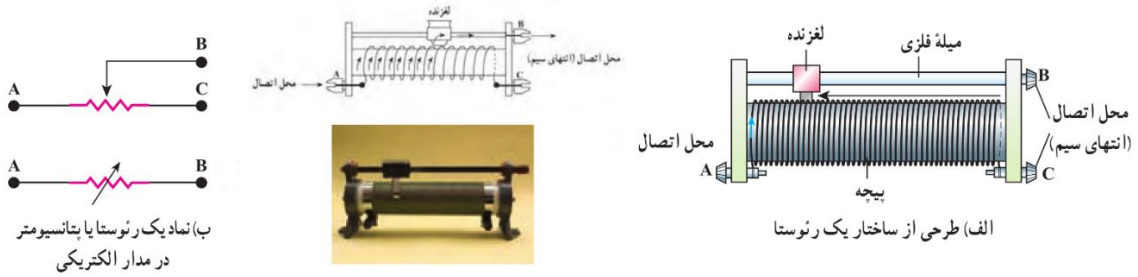
نمونه‌ای از ساختار یک مقاومت پیچه‌ای

نوع مشهور پیچه ای رئوستاست که یک نوع مقاومت متغیر است. در مدارهای الکترونیکی وسیله ای به نام پتانسیومتر به نوعی همان نقش را انجام می دهد.

رئوستا:

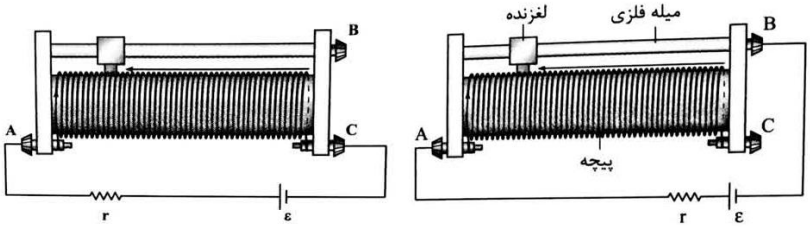
معمولاً در آزمایشگاه برای تنظیم و کنترل جریان از یک مقاومت متغیر استفاده می کنند. این وسیله رئوستا نام دارد. این وسیله از یک سیم دراز با مقاومت ویژه ی نسبتاً زیاد (تنگستن) تشکیل می شود. این سیم روی استوانه ای نارسانا پیچیده شده است. با استفاده از یک دکمه ی لغزنده که روی ریلی در بالای استوانه قرار دارد و انتهای آن با سیم در تماس است، می توان قسمت های دلخواه از سیم را در مسیر جریان قرار داده و مقاومت را به دلخواه تغییر داد. به این ترتیب می توان جریان در مدار را کنترل کرد. برای استفاده از رئوستا ابتدا آن را با بیشترین

مقدار مقاومت در مدار قرار می دهند. سپس با لغزنده، مقاومت مناسب را برای جریان مورد نظر تنظیم می کنند.

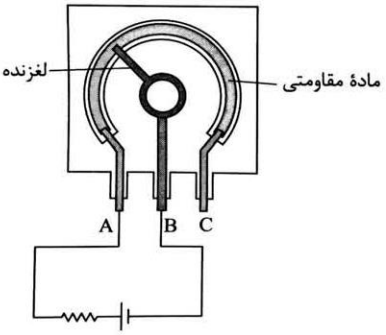


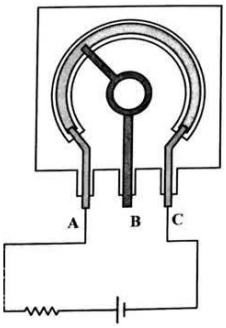
الف) طرحی از ساختار یک رئوستا

ب) نماد یک رئوستا یا پتانسیومتر در مدار الکتریکی



در شکل سمت چپ که پایانه های A و C از رئوستا به مدار متصل هستند، رئوستا با بیشترین مقاومت در مدار قرار می گیرد و در این حالت حرکت لغزنده تغییری در مقاومت رئوستا ایجاد نمی کند.





در مدارهای الکترونیکی وسیله ای به نام پتانسیومتر نقش رئوستا را دارد. رئوستا به صورت دیگری از جمله به شکل دایره ای ساخته می شود. در این صورت لغزنده به صورت عقربه ای در مرکز دایره قرار می گیرد. در این مدار با حرکت عقربه در جهت ساعتگرد، طولی از مقاومت که در مدار قرار می گیرد، افزایش یافته و در نتیجه مقاومت پتانسیومتر افزایش می یابد.

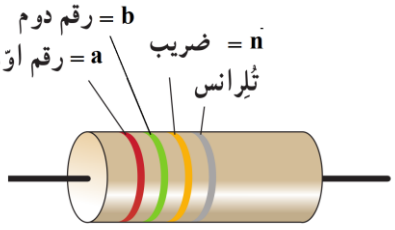
در شکل سمت چپ اگر پایانه های A وC به مدار متصل باشند، پتانسومتر با بیشترین مقاومت در مدار قرار می گیرد و در این حالت حرکت عقربه تغییری در مقاومت پتانسیومتر ایجاد نمی کند.

ترکیبی

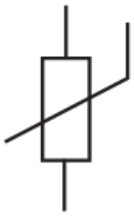
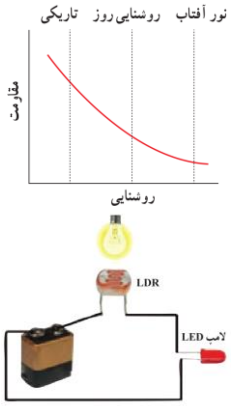
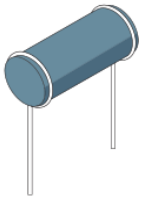
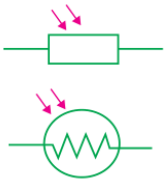
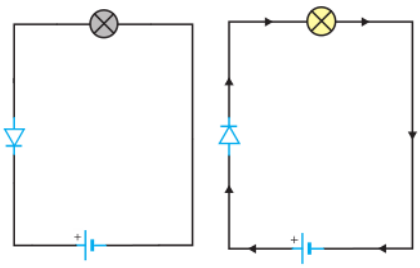
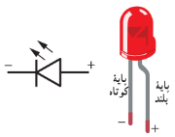
معمولاً از کربن، برخی نیم رساناها و یا لایه های نازک فلزی ساخته شده اند. مقاومت های ترکیبی را در اندازه های خاص استانداردی تولید می کنند. مقدار این مقاومت ها یا روی آن ها نوشته شده است یا عمدتاً به صورت کد رنگی نشان داده می شود که با ۳ یا ۴ حلقه رنگی روی آن ها مشخص شده است. هر رنگ معرف عددی است و مقدار مقاومت به صورت زیر به دست می آید:

- ✓ دو حلقه ی اول (از آن طرفی که به یک سر مقاومت نزدیک تر است) رقم اول و دوم را نشان می دهد.
- ✓ حلقه ی سوم ضریب را نشان می دهد.
- ✓ حلقه ی چهارم که یک حلقه ی طلایی (۵ درصد) یا نقره ای (۱۰ درصد) است تلرانس را نشان می دهد و مقدار مجاز انحراف از مقدار دقیق مقاومت را بر حسب درصد مشخص می کند. نبود نوار چهارم (بی رنگ) به این معناست که تلرانس ۲۰ درصد است.

برای خواندن حلقه های رنگی مقاومت را طوری در دست می گیریم که حلقه ی تلرانس در سمت راست قرار بگیرد.

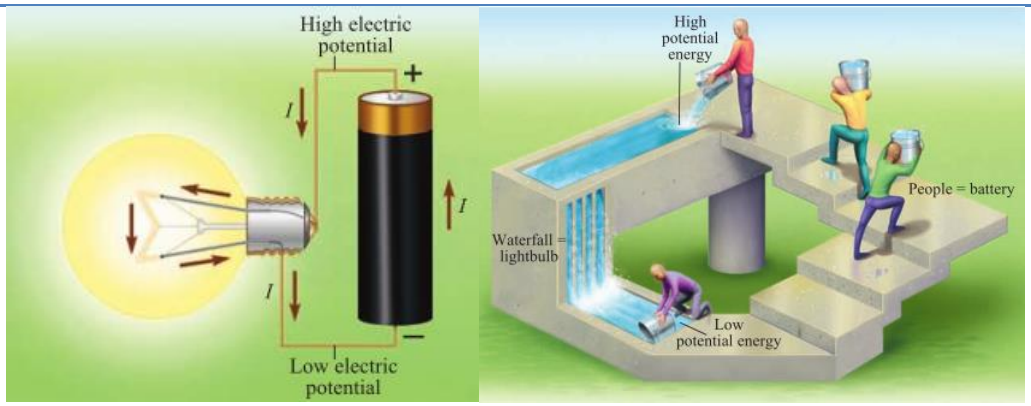


$$R = \overline{ab} \times ۱۰^{n}$$

مقاومت های خاص و دیود ها				
نام مقاومت	نماد در مدار الکتریکی	ویژگی	انواع	کاربرد
ترمیستور (برگرفته از Thermal Sensetive (Resistor دو نوع NTC و PTC		نوعی از مقاومت است که بستگی مقاومت الکتریکی آن به دما با مقاومت های الکتریکی معمولی تفاوت دارد. نوعی از این مقاومت ها از جنس نیم رسانای خالص، مانند سیلیسیم هستند که با افزایش شدت نور تابیده شده، بر تعداد حامل های بار الکتریمی آنها افزوده شده و در نتیجه از مقاومت آنها کاسته می شود. مقاومت الکتریکی چنین LDR هایی را بر حسب روشنایی (یکای روشنایی: LUX) نشان می دهد. 	مهره ای : دیسکی: میله ای: 	حسگر دما زنگ خطر آتش دماپاها دماسنج ها
نوری (LDR) Light) Dependent (Resistor		نوعی از مقاومت است که مقاومت الکتریکی آن به نور تابیده شده به آن بستگی دارد به طوری که با افزایش شدت نور، مقاومت آن کم می شود.		چشم های الکترونیکی دزدگیرها کنترل کننده های خودکار چراغ های روشنایی خیابان ها
دیودها		قطعه ای است که هرگاه در مدار قرار می گیرد، جریان را تنها از یک سو عبور می دهد و مقاومت آن در یک سو ناچیز است و به آن یکسو کننده گویند. پیکان در این نماد جهتی را نشان می دهد که جریان می تواند از دیود عبور کند. 	دیود نور گسیل (LED) (Light Emitting Diode)  در این نوع دیودها از نیم رساناهایی استفاده می شود که با عبور جریان از آنها ، LED از خود نور گسیل می کند و مقداری از انرژی الکتریکی به نور تبدیل می شود. بسته به نوع نیم رسانای به کار رفته، رنگ نور گسیل شده از LED می تواند از فروسرخ تا فرابنفش باشد. رنگ نخستین LED ها قرمز و زرد بودند. LED ها در مقایسه با لامپ های روشنایی معمولی، توان الکتریکی کمی مصرف کرده و در عوض نور قابل ملاحظه ای دارند. این LED ها در مقایسه با لامپ های رشته ای عمر طولانی تری دارند و به دلیل نداشتن رشته انرژی گرمایی زیادی تولید نمی کنند.	تبدیل جریان متناوب به جریان مستقیم. از دیودهای نور گسیل (LED) در چراغ خودروها، روشنایی منازل ، تابلوهای تبلیغاتی و نمایشگرهای LED استفاده می شود.

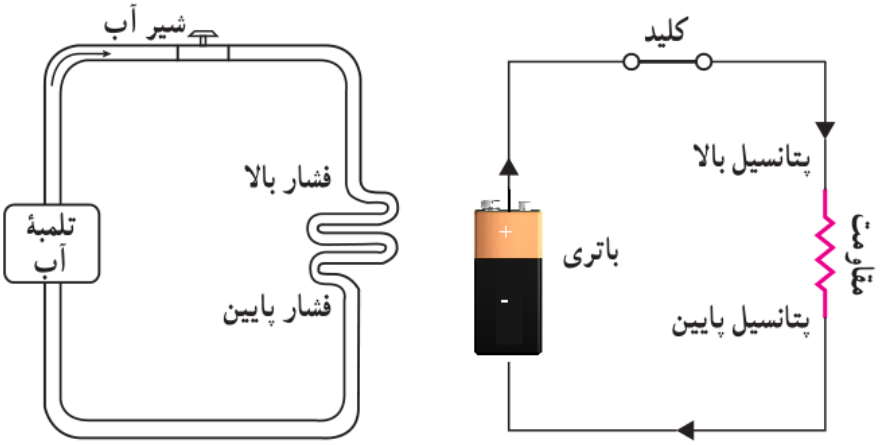
۵-۲ منبع نیروی محرکه الکتریکی (باتری)

شبیه سازی



باتری مثل یک تلمبه آب بر روی بارهای مثبت کار انجام می دهد و آن ها را از پتانسیل پایین تر به پتانسیل بالاتر می برد.

(باتری = تلمبه بار)



منبع نیروی محرکه الکتریکی

از قانون اهم متوجه می شویم که اگر بخواهیم از مقاومت R جریان I بگذرد، باید در دو سر مقاومت، اختلاف پتانسیل V را ایجاد کنیم.

به وسیله ای که این کار را انجام می دهد، منبع نیروی محرکه الکتریکی[۱] می گوییم. (باتری نوعی منبع نیروی محرکه الکتریکی است.)

نحوه عملکرد

منبع های نیروی محرکه الکتریکی (مانند باتری ها) بارهای الکتریکی مثبت را در خلاف جهت میدان الکتریکی از پتانسیل پایین تر به پتانسیل بالاتر می برند و با افزایش انرژی پتانسیل آن ها، جریان ثابتی را در مدار برقرار می کنند.

انواع

باتری ها، پیل های سوختی، ژنراتورها (مولد های الکتریکی) و فتوسل ها (سلول های خورشیدی) انواعی از منبع های نیروی محرکه الکتریکی اند.

هرکدام از این وسایل نوع خاصی از انرژی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند. مثلاً باتری ها و پیل های سوختی، از طریق واکنش های شیمیایی و سلول های خورشیدی با تبدیل انرژی نور، انرژی الکتریکی را تامین می کنند.

نیروی محرکه الکتریکی (emf)

منبع نیروی محرکه بار مثبت Δq را در پایانه منفی از مدار می گیرد و آن را از پایانه مثبت به مدار تحویل می دهد. منبع نیروی محرکه برای انجام این کار، بر روی بار Δq، کار ΔW را انجام می دهد.

به کاری که منبع نیروی محرکه الکتریکی انجام می دهد تا واحد بار مثبت ($+1\ C$) را از پایانه با پتانسیل کم ($-$) به پایانه با پتانسیل بیشتر ($+$) ببرد، نیروی محرکه الکتریکی گویند و آن را با ε نشان می دهند.

$$\varepsilon = \frac{\Delta W}{\Delta q}$$

ε : نیروی محرکه الکتریکی بر حسب $\frac{J}{C} or\ Volt$	ΔW : کار انجام شده برحسب ژول	Δq : بر منتقل شده بر حسب کولن

نکته۷: نیروی محرکه الکتریکی از جنس نیرو نیست ! (واحدش هم نیوتن نیستا!) بر خلاف نیرو کمیتی نرده ای است و از جنس انرژی به ازای واحد بار یا همان پتانسیل الکتریکی است.

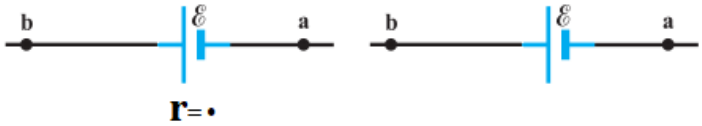
[۱] Emf (ElectroMotive Force)

واقعیت ماجرا: در واقع باتری ها الکترون ها را از پایانه مثبتشان به پایانه منفی منتقل می کنند، ولی طبق قرار داد جابجایی بار مثبت را بررسی می کنیم.

نکته۸: ولتاژی که روی باتری ها نوشته می شود، همان emf یا نیروی محرکه باتری است. مثلاً emf یک باتری ۱,۵ ولتی برابر $\varepsilon = 1.5\ V$ است و این بدین معناست که باتری روی هر کولن باری که از آن می گذرد ۱,۵ ژول کار انجام می دهد و به این ترتیب انرژی پتانسیل الکتریکی آن را ۱,۵ ژول افزایش می دهد.

۲-۵-۱ انواع منبع نیروی محرکه الکتریکی

آرمانی



انرژی هدر نمی رود ، یعنی تمام کاری که منبع بر روی بار انجام می دهد به انرژی پتانسیل الکتریکی تبدیل می شود. $\Delta W = \Delta U$

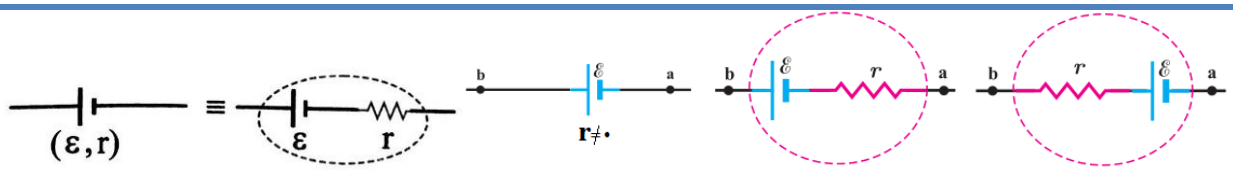
$$\left.\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\Delta W}{\Delta q}\\ V &= \frac{\Delta U}{\Delta q}\end{aligned}\right\} \xrightarrow{Ideal:\ \Delta W = \Delta U} \varepsilon = V$$

اختلاف پتانسیل دو سر منبع برابر نیروی محرکه آن است : $\Delta V = \varepsilon$

یعنی عددی که ولت سنج در مدار نشان می دهد، برابر **emf** نوشته شده روی باتری است.

در واقعیت وجود ندارد و منبع های نیروی محرکه الکتریکی همواره دارای مقاومت داخلی (r) هستند.

واقعی



منبع هایی که همواره دارای مقاومت داخلی (r) هستند، یعنی درون آن ها مقاومتی در برابر حرکت بارها وجود دارد.

بنابراین با عبور جریان از این منابع، اختلاف پتانسیل بین پایانه های آن ها بر خلاف منابع آرمانی، متفاوت از نیروی محرکه الکتریکی خواهد شد.

یعنی بخشی از کاری که منبع انجام می دهد، هدر می رود .

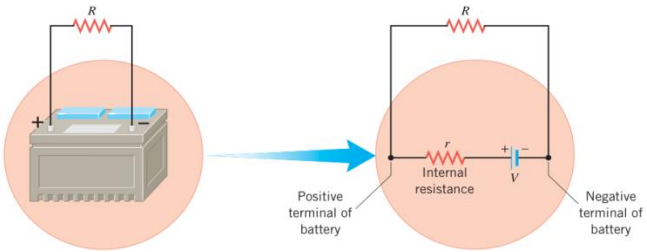
همیشه افزایش انرژی پتانسیل الکتریکی باری که از منبع می گذرد، از کاری که منبع روی آن انجام می دهد کم تر است. ($\Delta U < \Delta W$)

$$\left.\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\Delta W}{\Delta q}\\ V &= \frac{\Delta U}{\Delta q}\end{aligned}\right\} \xrightarrow{\Delta U < \Delta W} V < \varepsilon$$

پس اختلاف پتانسیل از نیروی محرکه کمتر است.

یعنی عددی که ولت سنج در مدار نشان می دهد، از emf نوشته شده روی باتری کمتر است.

اختلاف پتانسیل پایانه های منبع (آرمانی و واقعی) را به منظور ساده سازی به جای ΔV با V نشان می دهند.



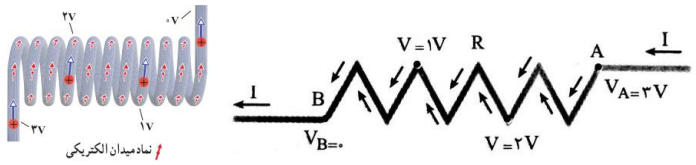
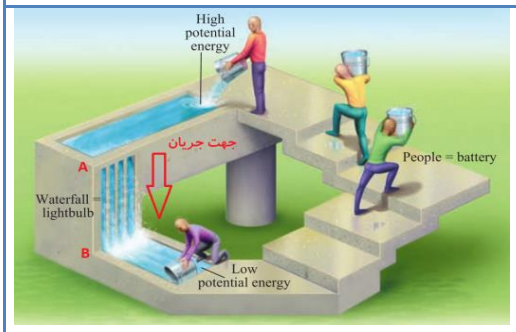
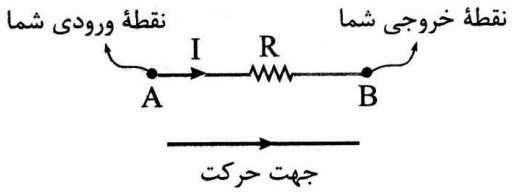
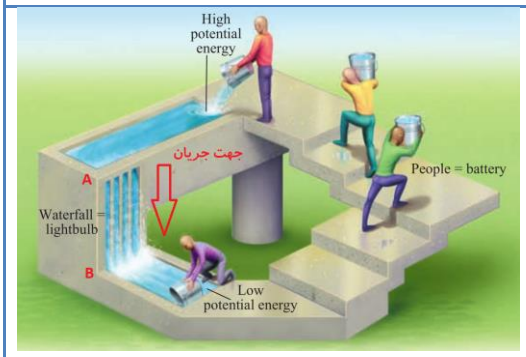
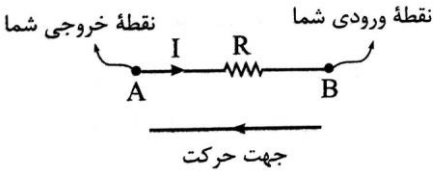
۲-۶ افت پتانسیل و مقاومت درونی در منبع نیروی محرکه واقعی

گفتیم که $V < \varepsilon$ ، یعنی بخشی از نیروی محرکه در داخل منبع افت کرده است و برای همین به آن ((افت پتانسیل الکتریکی درون منبع)) یا به صورت خلاصه شده ((افت پتانسیل درونی)) گویند و برابر اختلاف ε و V می باشد : ($V < \varepsilon \rightarrow \varepsilon - V > 0$) افت پتانسیل $= \varepsilon - V$

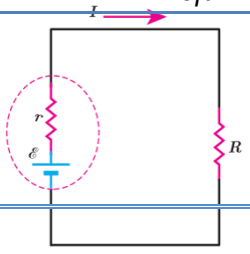
این افت پتانسیل ناشی از مقاومتی است که درون منبع وجود دارد و به همین علت به آن مقاومت درونی گویند و با r نمایش می دهند.

۲-۶-۱ عبور از مقاومت (وابسته به جهت جریان!)

از آن جا که جهت جریان از پتانسیل بیشتر به پتانسیل کمتر می باشد و با توجه به شکل زیر داریم:

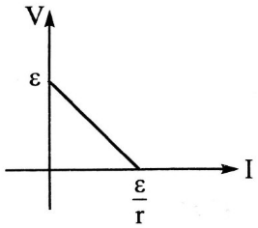
شکل	
اطلاعات حرکت	شروع : از نقطه A در جهت جریان پایان : نقطه B
توصیف حرکت	بار الکتریکی مثبت با انرژی زیاد از نقطه A وارد مقاومت می شود. با عبور از مقاومت، مقداری از انرژی اش را از دست می دهد. در نهایت با انرژی کم تری به نقطه B می رسد.
توصیف معادلات	با عبور از مقاومت، مقداری از انرژی اش را از دست می دهد. ($V = \frac{\Delta U}{\Delta q} \xrightarrow{\Delta U \downarrow} V \downarrow$) : یعنی پتانسیل افت می کند. در واقع اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت ناشی از همین افت پتانسیل است. پس کار همه ی مقاومت ها کاهش دادن پتانسیل الکتریکی است.(مثل آشغال ها و رسوب در یک لوله ی آب)
حرکت ما در جهت جریان (نتیجه: کم کنیم)	  با حرکت از A داریم (حرکت در جهت جریانه) : $V_A - V_{oft} = V_B \xrightarrow{V_{oft} = IR} V_B - V_A = -IR$
حرکت ما در خلاف جهت جریان (نتیجه: زیاد کنیم)	 با حرکت از B داریم (حرکت در خلاف جهت جریانه) :  $V_B + V_{oft} = V_A \xrightarrow{V_{oft} = IR} V_A - V_B = +IR$

از آن جا که اختلاف ولتاژ در هر مقاومتی که جریان I از آن می گذشت برابر $V = RI$ بود، برای افت پتانسیل در مقاومت درونی هم می توان نوشت:



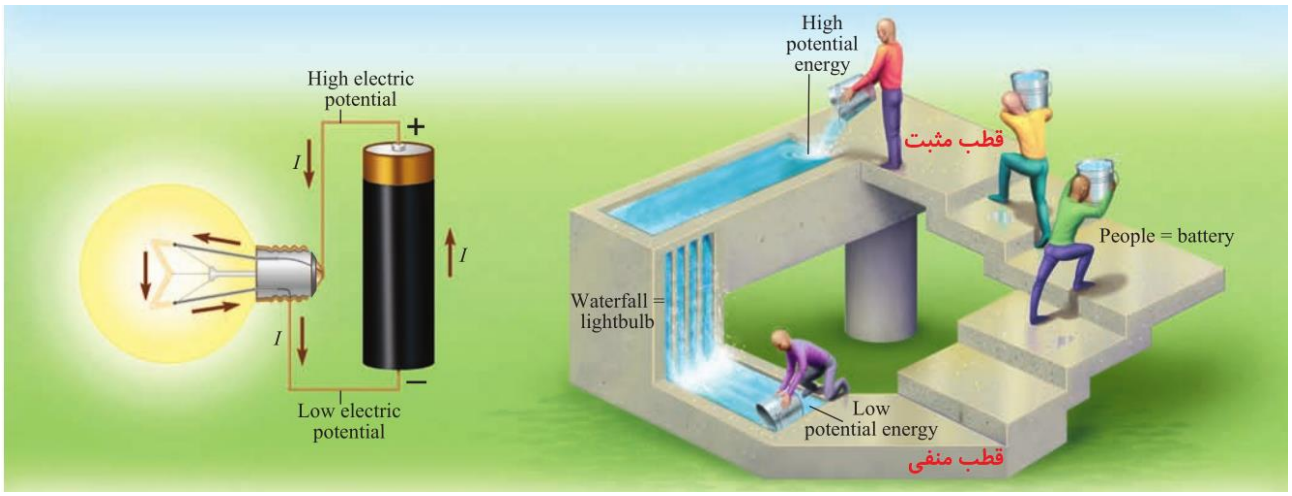
$$\text{افت پتانسیل در مقاومت درونی } r = Ir \rightarrow \varepsilon - V = Ir \xrightarrow{V=IR} \varepsilon - IR = Ir \rightarrow I = \frac{\varepsilon}{R+r}$$

نکته ۹: با توجه به معادله $V = \varepsilon - Ir$ ، برای رسم نمودار V بر حسب I داریم : (شیب نمودار r و عرض از مبدا آن ε)



نکته ۱۰: تفاوت باتری نو و کهنه در مقاومت درونی آن هاست. هرچه باتری فرسوده تر باشد، مقاومت درونی آن بیشتر است.

۷-۲ عبور از منبع نیروی محرکه آرمانی (مستقل از جهت جریان / وابسته به حرکت ما)

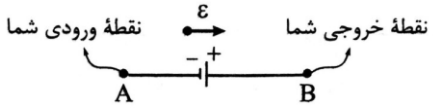
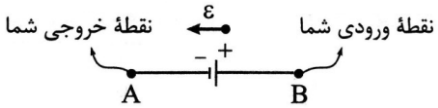


سناریوی ۱:

با توجه به شکل بالا با حرکت از پایین به بالا متوجه می شویم که فردی که در پله های بالاتر قرار گرفته است، پتانسیل بیشتری نسبت به فرد پشت سری خود دارد. پس با توجه به این شبیه سازی می توان گفت با حرکت از قطب منفی منبع نیروی محرکه به سمت قطب مثبت، پتانسیل الکتریکی به میزان ε افزایش می یابد.

سناریوی ۲ :

با توجه به شکل بالا با حرکت از بالا به پایین متوجه می شویم که فردی که در پله های پایین تر قرار گرفته است، پتانسیل کمتری نسبت به فرد بالایی خود دارد. پس با توجه به این شبیه سازی می توان گفت با حرکت از قطب مثبت منبع نیروی محرکه به سمت قطب منفی، پتانسیل الکتریکی به میزان ε کاهش می یابد.

عبور از منبع نیروی محرکه به جهت جریان بستگی ندارد به جهت حرکت ما که از مثبت به منفی یا منفی به مثبت باشد بستگی دارد.	
از قطب منفی به مثبت	 پتانسیل الکتریکی به میزان ε افزایش می یابد. (پتانسیل B بیشتر از A) $V_A+\varepsilon=V_B \rightarrow V_B-V_A=\varepsilon$
از قطب مثبت به منفی	 پتانسیل الکتریکی به میزان ε کاهش می یابد. (پتانسیل B بیشتر از A) $V_B-\varepsilon=V_A \rightarrow V_A-V_B=-\varepsilon$

پیکانه نیروی محرکه : به سمت قطب مثبت می باشد.

۱-۷-۲ عبور از منبع نیروی محرکه واقعی (هم مقاومت داریم و هم منبع نیروی محرکه)

خلاصه کنیم:

منبع مولد (مستقل از جهت جریان)	حرکت از مثبت به منفی، اپسیلون کم
	حرکت از منفی به مثبت، اپسیلون زیاد
مقاومت یا مقاومت درونی (وابسته به جهت جریان)	هم جهت جریان بریم، کم کنیم
	خلاف جهت جریان بریم، زیاد کنیم

۸-۲ حل مدار

قدم اول تعیین جهت جریان

مرحله اول:

کشیدن پیکانه های هر باتری، به این صورت که برای هر باتری جهت جریان را تصور می کنید و پیکانه را می کشیم.

(یا می توان گفت پیکانه به سمت قطب مثبت است)

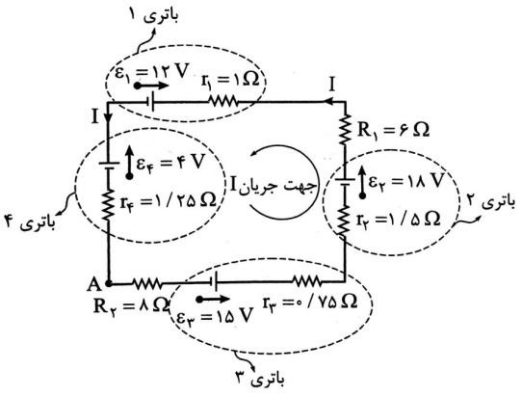
مرحله دوم:

پیکانه های هم جهت را با هم جمع می کنیم. (ساعتگردها با هم و پاد ساعتگردها را هم با هم جمع می کنیم.)

مرحله سوم :

جهت جریان در جهت پیکانه هایی است که مجموعشان بیشتر است (هر گروهی که زورش بیشتره)

مثال:



مرحله اول:

در شکل مشخص شده است.

مرحله دوم:

باتری ۱ و ۴ هر دو هم جهت هستند (ساعتگرد)

$$CW\ :\ \varepsilon_1+\varepsilon_4=12+4=16\ v$$

باتری ۲ و ۳ هر دو هم جهت هستند. (پادساعتگرد)

$$CCW\ :\ \varepsilon_2+\varepsilon_3=18+15=33\ v$$ **(گروه قوی ها)**

مرحله سوم :

$\varepsilon_2+\varepsilon_3>\varepsilon_1+\varepsilon_4$ **پس جهت جریان در جهت باتری ۲ و ۳ یعنی پادساعتگرد می باشد.**

به باتری قوی ها (باتری های ۲ و ۳) مولد یا محرک گویند. اختلاف پتانسیل دو سر باتری مولد : $V=\varepsilon-Ir$

به باتری ضعیفا (باتری های ۱ و ۴) باتری ضد مولد یا ضد محرک گویند. اختلاف پتانسیل دو سر باتری ضد مولد : $V=\varepsilon+Ir$

قدم دوم مقدار جریان

راه اول: شروع از یک نقطه ، در یک جهت حرکت و استفاده از قاعده حلقه

شروع از A **و در جهت جریان حرکت و نوشتن حلقه برای مثال بالا:**

یادتان باشد که : ! ۱) عبور از مقاومت در جهت جریان : $-Ir$ **یا** $-IR$ **۲) از قطب منفی به مثبت باتری:** $+\varepsilon$

$$V_A-IR_2+\varepsilon_3-Ir_3-Ir_2+\varepsilon_2-IR_1-Ir_1-\varepsilon_1-\varepsilon_4-Ir_4=V_A$$

$$\rightarrow I=\frac{(\varepsilon_3+\varepsilon_2)-(\varepsilon_1+\varepsilon_4)}{(R_1+R_2)+(r_1+r_2+r_3+r_4)}$$

راه دوم : استفاده از رابطه به دست آمده

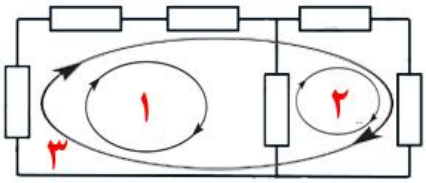
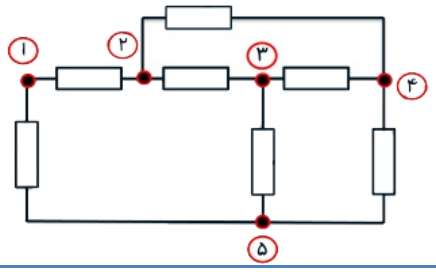
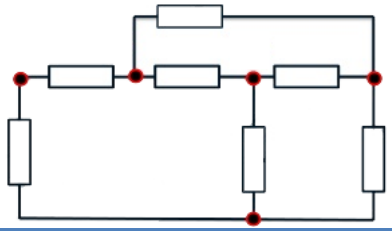
$$I=\frac{\sum\varepsilon_{qavia}-\sum\varepsilon_{zaiefa}}{\sum R+\sum r}$$

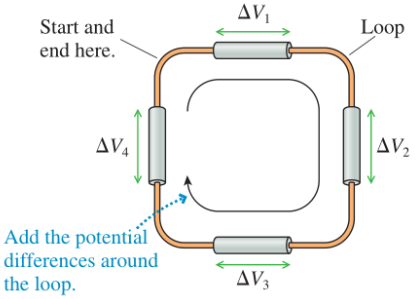
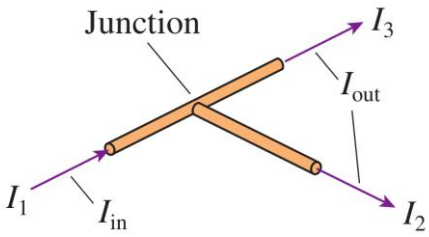
$\sum\varepsilon$: **جمع جبری نیروهای محرکه با توجه به علامت آن ها**	$\sum R$: **جمع جبری مقاومت های بیرونی**	$\sum r$: **جمع جبری مقاومت های درونی**

قدم سوم اختلاف پتانسیل بین دو نقطه

- **اختلاف پتانسیل بین دو نقطه پرسیده شد : از یکی از نقاط شروع کن تا نقطه بعدی**
- **اگر در سوالی پتانسیل الکتریکی نقطه ای مثل زمین داده شد و پتانسیل الکتریکی نقطه دیگر را خواستند کافیست از نقطه مورد نظر به سمت زمین حرکت کنیم.**

۹-۲ کیرشهف

حلقه	هر مسیر بسته ای در یک مدار که گره شروع و گره خاتمه آن یکی باشد. در حلقه نباید از گره یا عنصری دو بار عبور کنیم. 
گره	محل اتصال دو یا چند عضو در مدار را گویند. 
شاخه	می تواند شامل یک عنصر و دو گره مربوط به دو سر آن باشد. 

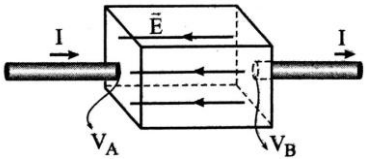
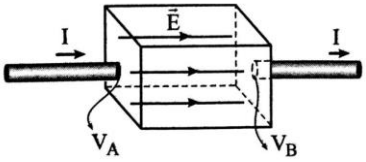
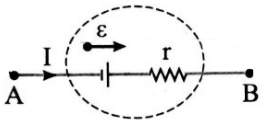
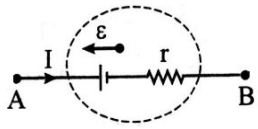
قانون ولتاژ کیرشهف (حلقه) (KVL)	قانون جریان کیرشهف (انشعاب) (KCL)
که در قسمت های قبل گفته شد	
	
در دور زدن کامل یک حلقه حامل جریان، جمع جبری افت پتانسیل ها و افزایش پتانسیل های اجزای مدار برابر صفر است.	جمع جریان هایی که به یک گره وارد می شود، برابر با جمع جریان هایی است که از آن گره خارج می شود. (یعنی اگر جریان های ورودی به هر گره را با علامت مثبت و جریان های خروجی را با علامت منفی در نظر بگیریم، جمع جبری جریان های ورودی و خروجی در یک گره برابر صفر است $\sum I = 0$)
در شکل بالا داریم: $\sum \Delta V_i = 0 \rightarrow \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3 + \Delta V_4 = 0$	در شکل بالا جریان ۱ ورودی و جریان ۲ و ۳ خروجی هستند. $\boxed{\sum I = 0} \rightarrow I_1 - I_2 - I_3 = 0 \rightarrow \boxed{I_1 = I_2 + I_3}$ قاعده انشعاب نتیجه قانون پایستگی بار است. ($\Delta q_{in} = \Delta q_{out}$)

۲-۱۰ انرژی و توان

یاد گرفتیم که هر جزئی از مدار با عبور جریان از آن، پتانسیل الکتریکی مدار را تغییر می دهد (یا افزایش یا کاهش)

۱) وسیله پتانسیل افزا

۲) وسیله پتانسیل کاه

وسیله پتانسیل افزا (مثل باتری در حال تخلیه)	وسیله پتانسیل کاه(مثل باتری در حال شارژ و مقاومت)
جهت جریان در خلاف جهت خطوط میدان الکتریکی درون وسیله  یادتونه گفتم خلاف بری، پتانسیل زیاد میشه؟	جهت جریان در جهت خطوط میدان الکتریکی درون وسیله  خلاف نرفتیم، پس پتانسیل کم میشه!
در قسمت باتری ها گفتیم که باتری هایی که پیکانه هم جهت با جریان دارند:  $\Delta V = V_B - V_A > 0$ $\Delta U = \Delta V \times \Delta q \xrightarrow{\Delta V>0,\Delta q>0} \Delta U > 0$ خودشان تخلیه اما انرژی به مدار میدن.	در قسمت باتری ها گفتیم که باتری هایی که پیکانه هم جهت با جریان ندارند:  $\Delta V = V_B - V_A < 0$ $\Delta U = \Delta V \times \Delta q \xrightarrow{\Delta V<0,\Delta q>0} \Delta U < 0$ خودشان شارژ و انرژی از مدار میگیرن.
ΔU وقتی مثبت است یعنی مدار انرژی می گیرد و باتری انرژی از دست می دهد. پس در این حالت ΔU انرژی خروجی باتری است.	ΔU وقتی منفی است یعنی از مدار انرژی خارج می شود و به باتری یا مقاومت انرژی می دهد. پس در این حالت ΔU انرژی ورودی وسیله است.
توان خروجی باتری با استفاده از رابطه توان $P = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{\Delta V \times \Delta q}{\Delta t} \xrightarrow{\Delta q = I \times \Delta t}$ $P = \frac{\Delta V \times I \times \Delta t}{\Delta t} \rightarrow \boxed{P = I\Delta V}$ از طرفی $\Delta V > 0$ پس توان خروجی باتری هم مثبت است. توان از باتری خارج و به مدار داده می شود.	توان ورودی وسیله با استفاده از رابطه توان $P = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{\Delta V \times \Delta q}{\Delta t} \xrightarrow{\Delta q = I \times \Delta t}$ $P = \frac{\Delta V \times I \times \Delta t}{\Delta t} \rightarrow \boxed{P = I\Delta V}$ از طرفی $\Delta V < 0$ پس توان ورودی وسیله هم منفی است. توان از مدار خارج و به وسیله داده می شود.
خلاصه باتری در حال تخلیه • میدان درون باتری در خلاف جهت جریان • $P > 0 \longleftarrow \Delta V > 0$ • توان از باتری خارج و به مدار داده می شود. • اسم این توان، توان خروجی باتری	خلاصه باتری در حال شارژ • میدان درون وسیله (مقاومت/باتری) در جهت جریان • $P < 0 \longleftarrow \Delta V < 0$ • توان از مدار خارج و به وسیله داده می شود. • اگر وسیله مقاومت باشد: توان مصرفی مقاومت • اگر وسیله باتری باشد: توان ورودی باتری

۳) در مقاومت ها این توان صرف گرم کردن مقاومت می شود و به همین علت به آن توان مصرفی مقاومت می گوییم.

۴) در باتری های آرمانی همه ی انرژی ورودی به باتری به صورت انرژی شیمیایی ذخیره می شود.

ولی در باتری های واقعی بخشی از انرژی ورودی به باتری توسط مقاومت درونی هدر می رود (به گرما تبدیل می شود) و بقیه آن به صورت انرژی شیمیایی در باتری ذخیره می شود.

۲-۱۱ انواع توان

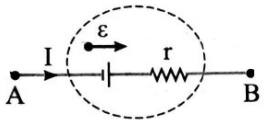
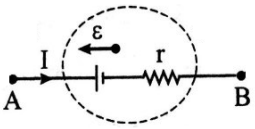
۲-۱۱-۱ توان مصرفی مقاومت

اگر ولتاژ دو سر مقاومت را مختصراً V بنویسیم، برای توان مصرفی داریم:

$$P=\frac{\Delta U}{\Delta t}\xrightarrow{\Delta U=q\Delta V}P=\frac{q\Delta V}{\Delta t}\xrightarrow{|\Delta V|=V}\boxed{P=IV}$$

فرمول مادر توان مصرفی	$\boxed{P=IV}$
فرمول آی ۲ آر	$P=IV\xrightarrow{V=IR}\boxed{P=I^2R}$
فرمول وی ۲ آروم	$P=IV\xrightarrow{I=\frac{V}{R}}P=(\frac{V}{R})V\rightarrow\boxed{P=\frac{V^2}{R}}$
نکته	اگر از مقاومت ۱ و ۲ جریان یکسان بگذرد، طبق رابطه آی ۲ آر $P=I^2R\xrightarrow{I=cte}P\alpha R\rightarrow\frac{P_2}{P_1}=\frac{R_2}{R_1}$
نکته	اگر ولتاژ مقاومت ۱ و ۲ برابر باشد، طبق رابطه وی ۲ آروم $P=\frac{V^2}{R}\xrightarrow{V=cte}P\alpha\frac{1}{R}\rightarrow\frac{P_2}{P_1}=\frac{R_1}{R_2}$

۲-۱۱-۲ توان الکتریکی در باتری

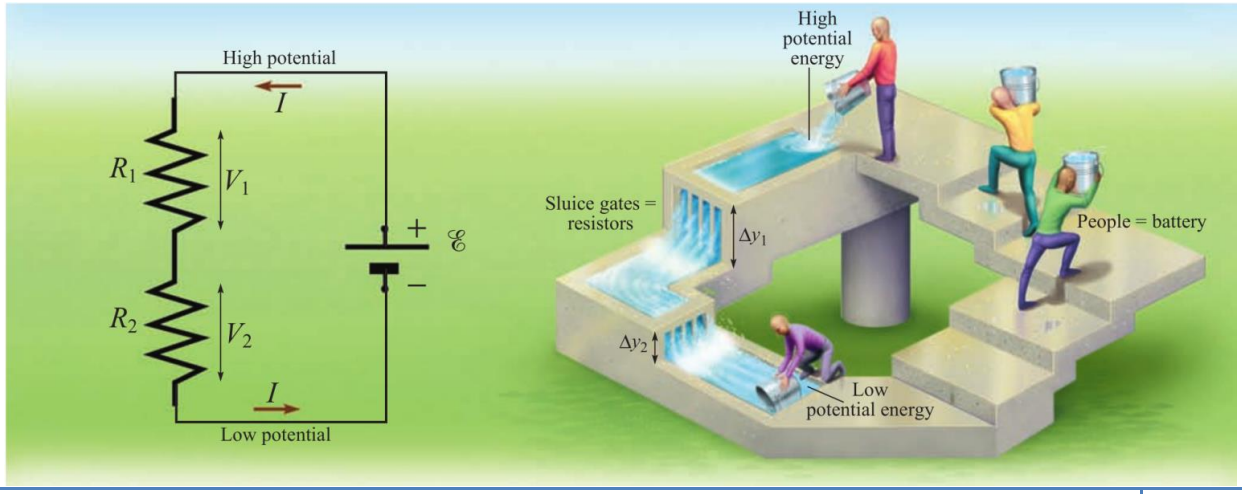
توان خروجی باتری (از باتری خارج و به مدار می دهد)	توان ورودی باتری (از مدار خارج و به باتری می دهد)
	
توان خروجی باتری $V_A+\varepsilon-Ir=V_B\rightarrow V_B-V_A=\varepsilon-Ir$ $P=VI\rightarrow P=(V_B-V_A)I\rightarrow\boxed{P=\varepsilon I-rI^2}$	توان ورودی باتری $V_A-\varepsilon-Ir=V_B\rightarrow\lvert V_B-V_A\rvert=\varepsilon+Ir$ $P=VI\rightarrow P=(V_B-V_A)I\rightarrow\boxed{P=\varepsilon I+rI^2}$
$P=\varepsilon I-rI^2$ ← $P=\varepsilon I$: توان کل باتری (تولیدی) $P=rI^2$: توان اتلافی (مصرفی) باتری	$P=I\varepsilon+I^2r$ ← $P=I\varepsilon$: توان شارژ باتری $P=I^2r$: توان اتلافی (مصرفی) باتری
توان کل باتری: $P=I\varepsilon=I^2(R+r)=\frac{\varepsilon^2}{R+r}$: توان کل باتری	
توان اتلافی (مصرفی) باتری : برای افت پتانسیل درون باتری داشتیم : Ir . اگر با e نمایش دهیم: $P=eI=I^2r=\frac{e^2}{r}$: توان اتلافی (مصرفی) باتری	
توان خروجی باتری تک حلقه تک باتری با یک مقاومت : (همان توان مصرفی مقاومت) $P=IV=I^2R=\frac{V^2}{R}$	

۲-۱۲ مدارهای قاطی پاتی

۲-۱۲-۱ مقاومت های متوالی (سری – پشت سر هم)

هرگاه مقاومت ها را پشت سر هم ببندیم در صورتی که :

۱) بین مقاومت ها انشعاب (گره) وجود نداشته باشد ۲) و فقط یک سر دو مقاومت با سیم مستقیم به هم متصل باشند مقاومت ها را سری گوییم.



۱) تحلیل جریان (وجه اشتراک)

- **در شکل بالا، جریان آبی که در بالا قرار دارد، کامل به پایین می آید. یعنی جریان آب گذرنده از مقاومت ۱ و مقاومت ۲ یکسان می باشد و جریان آب تغییری نکرده است.(یک آبراه). پس می توان نوشت:** $\boxed{I_{Total} = I_{Equal} = I_۱ = I_۲}$
- **با توجه به این موضوع که I در چند مقاومت یکسان است، می توان گفت که V و R متناسب می باشند:**

$$V = IR \xrightarrow{I=cte} \boxed{V \alpha R}$$

یعنی اگر از $R_۱ = ۶\Omega$ ، $V_۱ = ۱۲\ V$

از $R_۲ = ۳\Omega$ ، $V_۲ = ۶\ V$

چون $R_۲ = \frac{۱}{۲} R_۱$ **می باشد، پس** $V_۲ = \frac{۱}{۲}\ V_۱$ **باشد.**

- **با توجه به فرمول توان مصرفی، در مقاومت های متوالی به علت یکسان بودن I داریم:**

$$P = RI^۲ \xrightarrow{I=cte} \boxed{P \alpha R}$$

یعنی اگر از $R_۱ = ۶\Omega$ ، $P_۱ = ۱۸\ W$

از $R_۲ = ۳\Omega$ ، $P_۱ = ۹\ W$

چون $R_۲ = \frac{۱}{۲} R_۱$ **می باشد، پس** $V_۲ = \frac{۱}{۲}\ V_۱$ **باشد.**

۲) تحلیل ولتاژ

- **در شکل بالا سمت راست، با جمع کردن** $\Delta y_۱$ **و** $\Delta y_۲$**،** $\Delta y_{Total} = \Delta y_{Equal}$ **به دست می آید:** $\Delta y_{Equal} = \Delta y_۱ + \Delta y_۲$

بنابراین برای ولتاژ ها با توجه به این همانند سازی می توان نشان داد : (همچنین با نوشتن حلقه)

$$\boxed{V_{Equal} = V_۱ + V_۲}$$

۳) فرمول مقاومت معادل

- **طبق تعریف مقاومت معادل داریم :**

$$P_{Equal} = P_۱ + P_۲ + \ldots \xrightarrow[I=cte]{P=RI^۲} R_{eq} I^۲ = R_۱ I^۲ + R_۲ I^۲ \rightarrow \boxed{R_{eq} = R_۱ + R_۲}$$

- **در مقاومت های متوالی ، مقاومت معادل از همه ی مقاومت ها، حتی بزرگترین مقاومت ، بزرگتر است.**

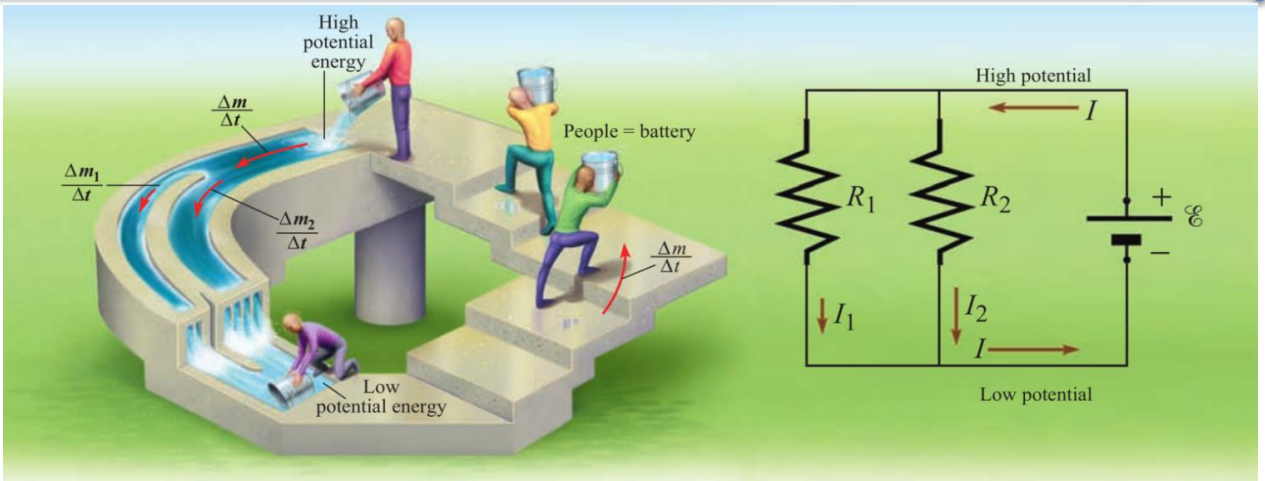
$$\boxed{R_{eq} > R_۱}$$

- **مقاومت معادل n مقاومت سری یکسان و برابر با** R **:**

$$R_{eq} = R + R + R + \ldots + R \longrightarrow \boxed{R_{eq} = nR}$$

۲-۱۲-۲ مقاومت های موازی

۱) دو سر یک مقاومت مستقیماً به دو سر یک مقاومت دیگر متصل باشند ۲) و دو سرشان به پتانسیل معین بسته شده اند مقاومت ها را موازی گوییم.



۱) تحلیل جریان

- در شکل بالا، جریان گذرنده قبل از رسیدن به دو آبراه با توجه به بزرگ یا کوچک بودن آبراه تقسیم می شود. پس می توان گفت جریان آب در کل برابر جمع جریان در هر یک از آبراه ها می باشد:

$$I_{Total} = I_{Equal} = I_۱ + I_۲$$

۲) تحلیل ولتاژ (وجه اشتراک)

- سناریو۱: هر دو آبراه همزمان مقدار ارتفاع یکسانی را کم می کنند(Δy)، بنابراین اختلاف پتانسیل یکسان می باشد.
- سناریو۲:می دانیم که اختلاف پتانسیل دو سر سیم بدون مقاومت صفر است. (یعنی پتانسیل الکتریکی دو سر آن ها برابر است.) پس پتانسیل تمام سیم های بالا، علی الخصوص سیم های دارای مقاومت ۱ و ۲ برابر می باشد.

$$V_{Total} = V_{Equal} = V_۱ = V_۲ = V$$

- با توجه به رابطه $I = \frac{V}{R}$، با ثابت بودن V متوجه می شویم که I و R رابطه عکس دارند. یعنی جریان به نسبت عکس مقاومت بین آن ها توزیع می شود.

$$I \alpha \frac{۱}{R}$$

یعنی اگر از $R_۱ = ۶\Omega$، اگر از $I_۱ = ۱۲\ A$ بگذرد.

از $R_۲ = ۳\Omega$ ، $I_۲ = ۲۴\ A$ می گذرد.

چون $R_۲ = \frac{۱}{۲} R_۱$ می باشد، پس $I_۲ = ۲\ I_۱$ می باشد.

- با توجه به فرمول توان مصرفی، در مقاومت های موازی به علت یکسان بودن V داریم:

$$P = \frac{V^۲}{R} \xrightarrow{V=cte} P \alpha \frac{۱}{R}$$

یعنی اگر از $R_۱ = ۶\Omega$، اگر $P_۱ = ۱۲۰\ W$

از $R_۲ = ۳\Omega$ ، $P_۲ = ۲۴۰\ W$

چون $R_۲ = \frac{۱}{۲} R_۱$ می باشد، پس $P_۲ = ۲\ P_۱$

۳) فرمول مقاومت معادل

- طبق تعریف مقاومت معادل داریم

$$P_{Equal} = P_۱ + P_۲ + \ldots \xrightarrow[V=cte]{P=\frac{V^۲}{R}} \frac{V^۲}{R_{eq}} = \frac{V^۲}{R_۱} + \frac{V^۲}{R_۲} \rightarrow \frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲}$$

- فرمول سریع تر مقاومت معادل دو مقاومت موازی : (ضربشون به جمعشون)

$$R_{۱۲} = \frac{R_۱ R_۲}{R_۱ + R_۲}$$

- در مقاومت های موازی ، مقاومت معادل از همه ی مقاومت ها، حتی کوچترین مقاومت ، کوچکتر است.

$$R_{eq} < R_۱$$

- اگر n مقاومت موازی یکسان R داشته باشیم:

$$\frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{R} + \frac{۱}{R} + \ldots + \frac{۱}{R} = \frac{n}{R} \rightarrow R_{eq} = \frac{R}{n}$$