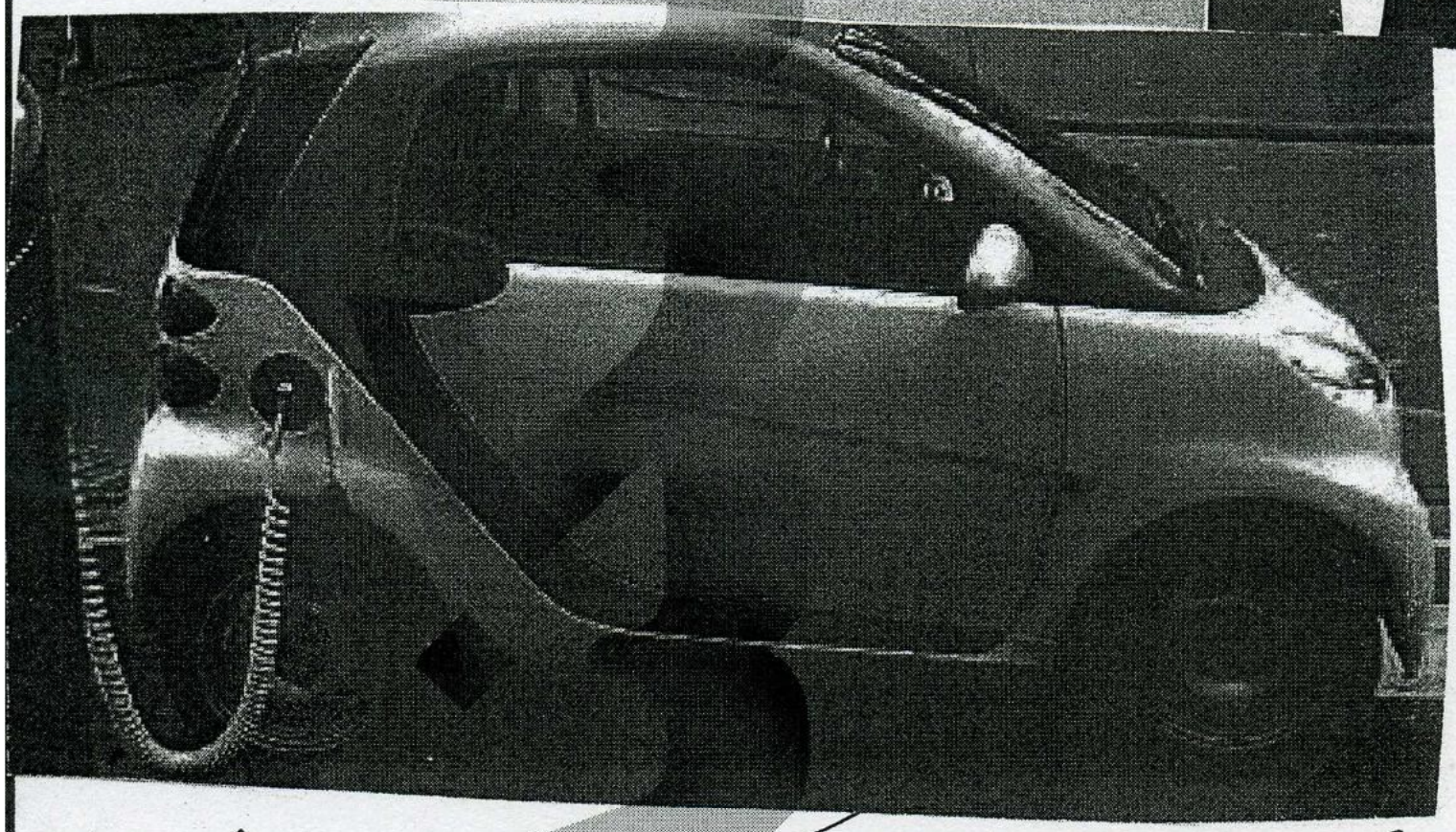
۲ جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم



خودروی الکتریکی هنگام شارژ باتری

یکی از اهداف تکنولوژی ، بهبود کیفیت باتری ماشین‌های الکتریکی و هیبریدی است .

در موتور هیبریدی هم موتور بنزینی و هم الکتریکی استفاده شده است

باتری لیتیومی از انواع باتری این خودروهاست (قطب لیتیوم و کربن)

از معایب این باتری ها زمان شارژ طولانی (چندین ساعت) و یکی از روش های غلبه بر این مشکل ابرخازن است

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

در تلفن های همراه و در رشته های عصبی نیز جریان الکتریکی وجود دارد

دانلود از اپلیکیشن پادرس

منظور از جریان الکتریکی چیست؟

جریان الکتریکی ناشی از شارش بارهای متحرک است، ولی همهٔ بارهای متحرک، جریان ایجاد نمی‌کنند.

عقیل اسکندری

ص ۲ | ف ۲ | ک ۱۱

شرط ایجاد جریان ←

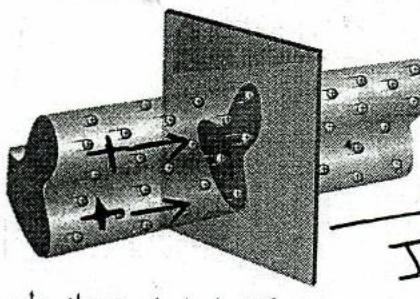
چرا هر مجموعه‌ای از بارهای متحرک لزوماً جریان الکتریکی ایجاد نمی‌کنند؟ در واقع برای اینکه جریان الکتریکی داشته باشیم، باید یک انتقال خالص بار از یک سطح مقطع معیّن رخ دهد (شکل ۲ـ۳) که به این منظور نیاز به ابزاری مانند باتری داریم تا با ایجاد یک میدان الکتریکی، بارها را در جهت معینی به حرکت درآورد.

بار خالص یعنی الکترون هائی در یک جهت معین حرکت کنند و در خلاف جهت آنها بار باز نگردد

شکل ۲ـ۱ انرژی از باتری به صفحهٔ نمایشگر تلفن، توسط بارهایی که از سیم‌های رسانا می‌گذرند، منتقل می‌شود.

جریان واقعی: بارهای منفی از پایانه − به +

برای داشتن جریان الکتریکی باید یک شارش خالص بار از یک سطح مقطع معیّن وجود داشته باشد.



شکل ۲ـ۳ باریکه‌ای از بارهای مثبت از سطح مقطع A می‌گذرند و جریان I را ایجاد می‌کنند.

در یک سیم بدون اختلاف پتانسیل

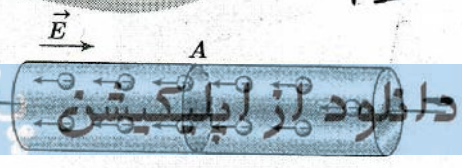
الکترون‌های آزاد در طول این سیم با تندی‌هایی از مرتبهٔ $10^6\ m/s$ در حرکت‌اند،

ولی این حرکت به‌طور کاتوره‌ای در همهٔ جهت‌هاست.

بنابراین، هیچ شارش خالص باری از مقطعی معیّن نداریم

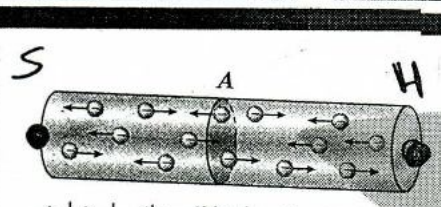
سرعت الکترون های آزاد ← $10^6\ m/s$

سرعت سوق و تفاوت آن با تندی عادی الکترون های آزاد ← سیم درون میدان



شکل ۲ـ۶ در حضور اختلاف پتانسیل، شارش بار خالص از مقطع A سیم، دیگر برابر صفر نیست.

میدان صفر نیست و جریان و بار خالص وجود دارد و حرکت الکترون‌ها مخالف میدان



شکل ۲ـ۴ در نبود اختلاف پتانسیل، شارش بار خالصی از مقطع معیّن A سیم، نداریم.

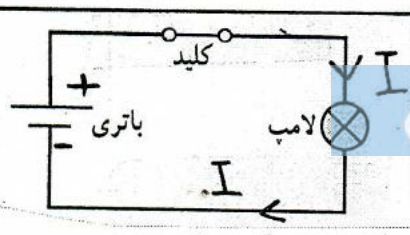
این سیم درون میدان نیست و حرکت بارها در یک جهت معین نیست و بار خالص وجود ندارد

$V_S = V_H$

$\Delta V = 0$ و $I = 0$

حرکت بار کاتوره ای

در واقع بارهای + حرکت ندارند ولی بنابه قرارداد ما حرکت آنها را مبنای جریان می دانیم



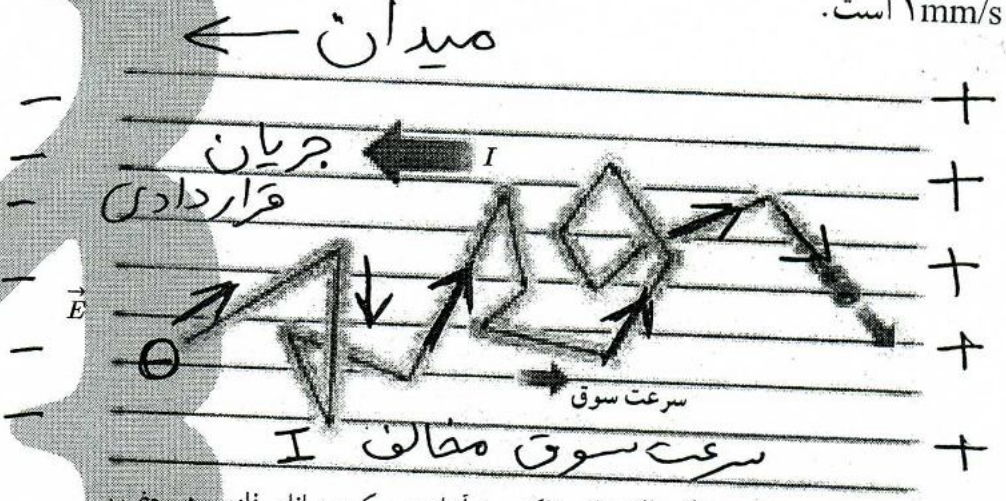
مدار الکتریکی بسته است

حرکت بار غیر کاتوره ای و در کل بسیار سرعت کم است (سوق)

دانلود از اپلیکیشن پادرس

اگر یک سیم درون میدان باشد و دو سر آن اختلاف پتانسیل بگیرند :

در واقع وقتی میدان الکتریکی درون فلز ایجاد می‌شود، الکترون‌ها حرکت کاتوره‌ای خود را کمی تغییر می‌دهند و با سرعتی متوسط موسوم به سرعت سوق[1] در خلاف جهت میدان به‌طور بسیار آهسته‌ای سوق پیدا می‌کنند که این موجب برقراری جریان الکتریکی در رسانا می‌شود (شکل ۲ـ۷). سرعت سوق در یک رسانای فلزی معمولاً از مرتبهٔ ۱mm/s است.



شکل ۲ـ۷ مسیر زیگ‌زاگ یک الکترون آزاد در یک رسانای فلزی، در حضور میدان الکتریکی، این مسیر زیگ‌زاگ در خلاف جهت میدان سوق می‌یابد. توجه کنید که جهت قراردادی جریان الکتریکی I، برخلاف جهت سوق الکترون‌هاست.

جهت قراردادی جریان حرکت بار + از + به −

جهت سرعت سوق حرکت کل بار − از − به +

جریان الکتریکی متوسط :

فرض کنید بار خالص Δq در بازهٔ زمانی Δt از مقطعی از رسانا می‌گذرد. نسبت $\Delta q/\Delta t$ را جریان الکتریکی متوسط می‌گویند. اگر این آهنگ ثابت باشد، جریان برابر است با

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \left(\frac{\text{کولن}}{\text{ثانیه}}\right) \quad (\text{آمپر})$$

جریان مستقیم چیست؟ جریانی که در کل زمان مقدار و جهتش ثابت باشد (dc) در آینده با جریان متناوب (ac) یا برق شهری آشنا می‌شوید

در این مثال →

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

بار خالص / زمان عبور بار = جریان متوسط

انرژی

$$\Delta U = W = q\Delta V$$

(مثال ۲ ـ ۱)

ولتاژ باتری یک نوع ماشین‌حساب ۳/۰V است و وقتی ماشین‌حساب روشن است، این باتری باعث عبور جریان ۰/۱۷mA در آن می‌شود. اگر این ماشین حساب یک ساعت روشن باشد :

الف) در این مدت چه مقدار بار از مدار می‌گذرد؟ ب) باتری چقدر انرژی به مدار ماشین‌حساب می‌دهد؟

پاسخ : الف) باری که در یک ساعت از مدار می‌گذرد، با استفاده از رابطهٔ ۲ـ۱ برابر است با

$$\Delta q = I(\Delta t) = (۰/۱۷ \times ۱۰^{-۳}\text{A})(۳/۶ \times ۱۰^{۳}\text{s}) = ۰/۶۱\text{C}$$

ب) انرژی‌ای که باتری به مدار می‌دهد، بنابه رابطهٔ ۱ـ۱۳ ($W_{\text{خارجی}} = q\Delta V$) چنین می‌شود :

$$W = q\Delta V = (۰/۶۱\text{C})(۳/۰\text{V}) = ۱/۸\text{J}$$

دانلود از اپلیکیشن پادرس

در رابطهٔ $\Delta q = I(\Delta t)$ اگر I برحسب آمپر و Δt برحسب ساعت باشد، یکای Δq، *آمپر ـ ساعت* می‌شود. باتری خودروها با آمپر ـ ساعت (Ah) و باتری گوشی‌های همراه با میلی‌آمپر ـ ساعت (mAh) مشخص می‌شود. هرچه آمپر ـ ساعتِ یک باتری بیشتر باشد حداکثر باری که باتری می‌تواند از مدار عبور دهد تا به‌طور ایمن تخلیه شود، بیشتر است.

SI بار = کولن = AS

تجاری بار = آمپرساعت = Ah

چرا عبور جریان باعث گرم شدن مادهٔ رسانا می‌شود

وقتی در مداری الکتریکی کلید را می‌بندیم، یک اختلاف پتانسیل در دو سر سیم ایجاد می‌شود و باعث حرکت الکترون‌های آزاد در سیم مدار می‌شود. این الکترون‌ها با اتم‌های رسانا که در حال نوسان‌اند برخورد می‌کنند و این موضوع باعث گرم شدن رسانا می‌شود.

در واقع الکترون‌های آزاد هنگام حرکت در رسانا همیشه با نوعی مقاومت روبه‌رو هستند. اصطلاحاً **مقاومت الکتریکی** دارند

در یک رسانا، مقاومت به چه بستگی دارد

به ابعاد هندسی رسانا، یعنی طول و سطح مقطع رسانا بستگی دارد. همچنین جنس مادهٔ رسانا و دمای آن بر مقاومت الکتریکی اثر می‌گذارد.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \text{و} \quad R_2 = R_1 \alpha \Delta\theta$$

$$\text{مقاومت الکتریکی} = \frac{\text{مقاومت ویژه} \times \text{طول}}{\text{سطح مقطع}}$$

تغییر دما × ضریب دمایی اولیه × مقاومت = مقاومت ثانویه

بدهیم، آنکه مقاومت کمتری دارد

اگر دما و اختلاف پتانسیل ثابت باشد و به دو سیم ولتاژ مساوی جریان بیشتری از خود عبور می‌دهد و بالعکس. از اینجا می‌توان مقاومت الکتریکی بین دو نقطه از یک رسانا را به صورت زیر تعریف کرد:

$$V = RI$$

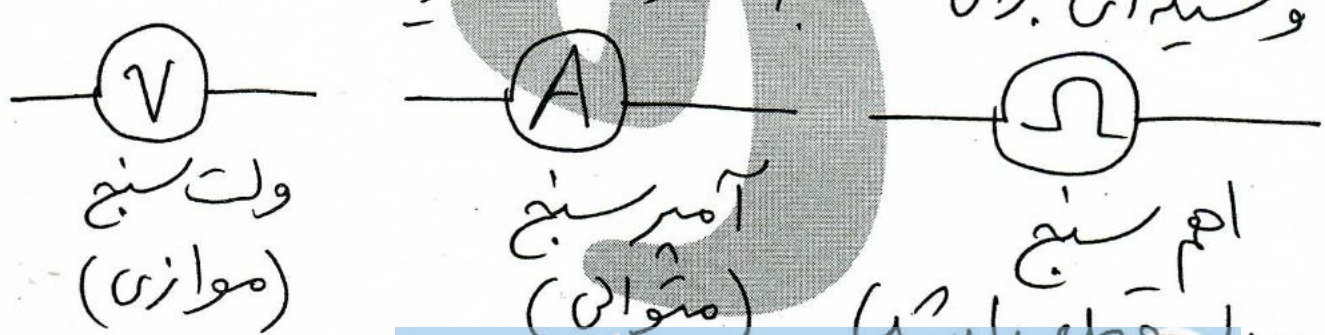
در این رابطه مقاومت الکتریکی (R) برحسب ولت بر آمپر (V/A) می‌شود که به پاس خدمات علمی *جُرج سیمون اُهم* به نام اُهم نام‌گذاری شده است و با نماد Ω نشان داده می‌شود. رسانایی را که دارای مقاومت الکتریکی است، اصطلاحاً مقاومت می‌نامند و آن را در مدارهای الکتریکی با نماد ⏦ نمایش می‌دهند.

(آمپر)(اهم) = ولت

ولت‌سنج: وسیله‌ای برای محاسبهٔ اختلاف پتانسیل بین دو نقطه

آمپرسنج: وسیله‌ای برای محاسبهٔ شدت جریانی که از هر نقطه می‌گذرد

اهم‌سنج: وسیله‌ای برای محاسبهٔ مقاومت الکتریکی



ولت‌سنج (موازی) — آمپرسنج (متوالی) — اهم‌سنج (وقتی مدار خاموش باشد)

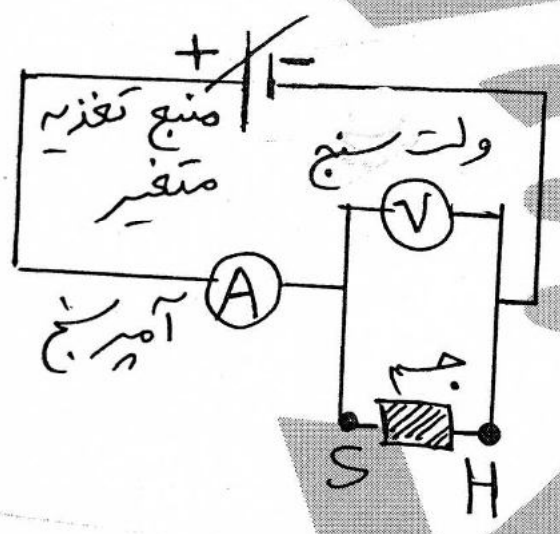
دانلود از اپلیکیشن پادرس

مقاومت درون ولت‌سنج بسیار زیاد و در حالت ایده‌ال بی‌نهایت است

مقاومت درون آمپرسنج بسیار کم و در حالت ایده‌ال صفر است

آزمایشی برای رسانای اُهمی (خطی) بودن و یا رسانای غیراُهمی (غیرخطی) بودن یک جسم طراحی کنید

مداری مطابق شکل مقابل می بندیم



با تغییر ولتاژ در منبع تغذیه، مقدار جریان هم تغییر می کند، مقدار ولتاژ را با ولت سنج (V) و مقدار جریان را با آمپرسنج می خوانیم و ثبت می نمائیم. (I)

آنگاه این اعداد را در رابطه $V=RI$ قرار می دهیم و R را محاسبه می کنیم

جمع بندی (قانون اهم)

در دمای ثابت

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

اگر R همواره ثابت ماند آن جسم را رسانای اُهمی می گویند (زیرا از قانون اهم پیروی می کند)

اگر مقاومت الکتریکی در ولتاژهای مختلف (در دمای ثابت)، مقدار ثابتی باشد، اصطلاحاً گفته می‌شود آن وسیله از قانون اهم پیروی می‌کند و آن وسیله را مقاومت یا رسانای اُهمی می‌نامند. به عبارتی جریان عبوری از یک مقاومت اهمی همواره با اختلاف پتانسیل اعمال‌شده به دو سر آن رابطهٔ مستقیم دارد.

این قانون برای اغلب فلزات و بسیاری از رساناهای غیر فلزی در دمای ثابت برقرار است. جدول ۲ــ۱ مقادیر اندازه‌گیری شده برای جریان و اختلاف پتانسیل یک مقاومت را نشان می‌دهد که از قانون اُهم پیروی می‌کند. همان‌طور که نمودار شکل ۲ــ۹ نشان می‌دهد جریان با ولتاژ برای این وسیله به‌طور خطی افزایش می‌یابد.

با این حال وسیله‌های زیادی نیز یافت می‌شود که از این قانون پیروی نمی‌کنند. یکی از این وسیله‌های غیراهمی، دیود نورگسیل (LED) است که با آن بعداً آشنا می‌شویم. نمودار جریان برحسب اختلاف پتانسیل چنین دیودی تقریباً شبیه شکل ۲ــ۱۰ است.

V(V) اختلاف پتانسیل	I (A) جریان	R (Ω) 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

$R=\frac{۰/۴}{۰/۱}$

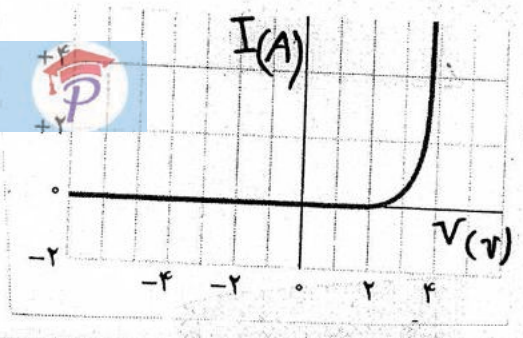
$R=\frac{V}{I}$ ثابت

اهمی

$V=RI$

دانلود از اپلیکیشن پادرس

غیراهمی (دیود نورگسیل)



شکل ۲ــ۹ نمودار جریان برحسب اختلاف پتانسیل نشان می‌دهد که برای این رسانای اُهمی، جریان به‌طور مستقیم با ولتاژ افزایش می‌یابد.

شکل ۲ــ۱۰ نمودار جریان برحسب اختلاف پتانسیل برای یک دیود نورگسیل

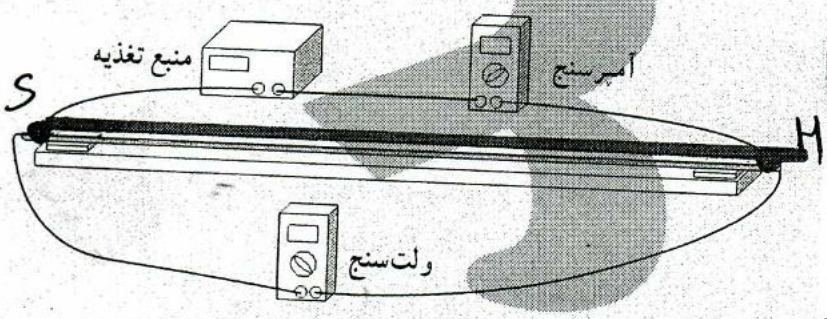
مثال (۲_۲)

یک لامپ چراغ قوهٔ کوچک از یک باتری ۱/۵V، جریانی برابر ۰/۳A می‌کشد. با فرض آنکه رشتهٔ لامپ، یک رسانای اُهمی باشد، الف) مقاومت آن چقدر است؟ ب) اگر باتری ضعیف شود و ولتاژ به ۱/۲V افت کند، جریان چقدر می‌شود؟

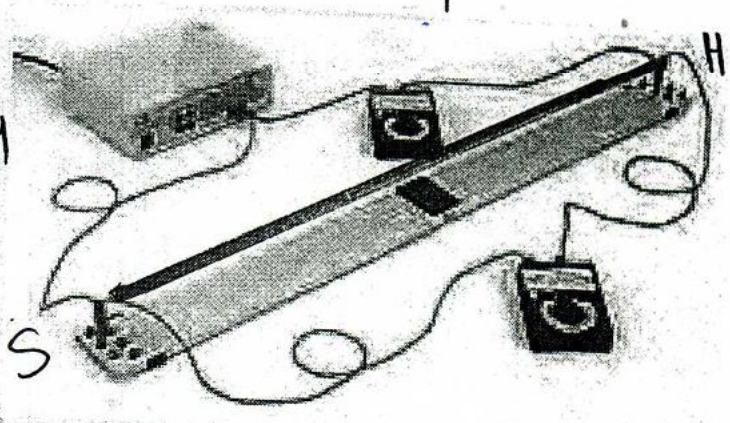
$V=RI \rightarrow R=\frac{1/5}{0/3}=5\,\Omega$ (الف)

$R=5\,\Omega$ (رسانای اهمی) $\xrightarrow{\text{ب}} R=\frac{V}{I} \rightarrow I=\frac{1/2}{5}=0/24$ آمپر

فعالیت ۲-۲ : آزمایشی که عوامل موثر بر مقاومت الکتریکی را نشان می‌دهد. در مدار زیر بین S و H تعدادی سیم با شرایط گوناگون مثلاً بعضی‌ها هم‌جنس، بعضی‌ها هم‌طول و بعضی‌ها هم ضخامت قرار می‌دهیم و با داشتن مقادیر I (از آمپرسنج) و V (از ولت‌سنج) و قرار دادن در قانون اهم ($V=RI$) مقاومت را به‌دست می‌آوریم



(ب) طرحی از مدار این آزمایش



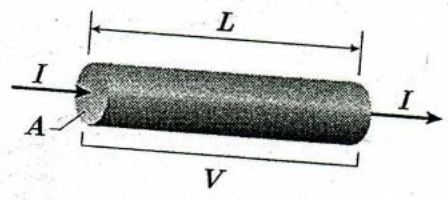
(الف) اسباب آزمایش اندازه‌گیری مقاومت یک سیم رسانا

با انجام فعالیت بالا درمی‌یابیم که مقاومت جسم در دمای ثابت به طول، مساحت مقطع، و جنس آن بستگی دارد. این آزمایش‌ها که با محاسبات نظری نیز تأیید شده‌اند نشان می‌دهد اگر سطح مقطع جسم در تمام طول آن یکسان باشد (شکل ۲ـ۱۱)، مقاومت آن از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

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

کاملاً همگن باشد

R (مقاومت ← اهم)
L (طول ← متر)
ρ (مقاومت ویژه ← اهم متر)
A (مساحت مقطع ← مترمربع)



شکل ۲ـ۱۱ از سیمی به طول L و مقطع یکنواخت A، تحت اختلاف پتانسیل V، جریان I می‌گذرد.

مقاومت ویژهٔ یک ماده به ساختار اتمی و دمای آن بستگی دارد.

مقاومت ویژه به چه چیز بستگی دارد؟

دانلود از اپلیکیشن پادرس

رسانای خوب، مقاومت ویژه بسیار کم دارد (نقره و مس)
عایق خوب، مقاومت ویژه بسیار زیاد دارد (شیشه - لاستیک - کوارتز ذوب شده)

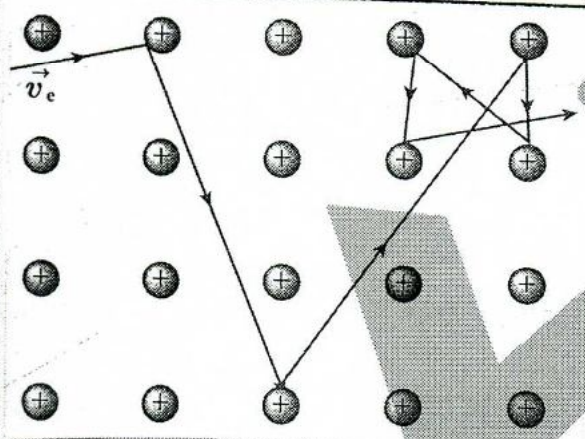
دسته‌ای از مواد مانند ژرمانیم و سیلیسیم نیز وجود دارند که مقاومت ویژهٔ آنها بین مقاومت ویژهٔ رساناها و نارساناهاست. به‌این دسته از مواد، نیم‌رسانا می‌گویند.

عقیل اسکندری

بستگی مقاومت به طول و سطح مقطع را در یک مدل شبیه سازی شده شرح دهید.

هرچه جسم بلندتر شود الکترون‌ها هنگام عبور از آن برخوردهای بیشتری با اتم‌ها پیدا می‌کنند. بنابراین، مقاومت الکتریکی جسم بیشتر می‌شود. کوچک‌تر شدن سطح مقطع جسم را نیز می‌توان به کوچک‌تر شدن سطح مقطع لوله‌ای تشبیه کرد که در آن شاره‌ای در جریان است. کوچک‌تر شدن مقطع سبب کاهش عبور شاره می‌شود که به‌معنای افزایش مقاومت در برابر عبور شاره است.

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



شکل ۲ـ۱۲ حرکت الکترون در داخل شبکهٔ بلوری فلز. با افزایش دما، ارتعاشات شبکه و درنتیجه برخورد الکترون‌ها با شبکه افزایش می‌یابد.

تغییر مقاومت ویژه با دما : اگر یک رسانای فلزی داشته باشیم، با افزایش دمای آن، تعداد حامل‌های بار (اینجا الکترون‌های آزاد) تقریباً ثابت می‌ماند، ولی ارتعاشات کاتوره‌ای اتم‌ها و یون‌های آن افزایش می‌یابد. این عامل موجب افزایش برخورد حامل‌های بار با شبکهٔ اتمی رسانای فلزی می‌شود (شکل ۲ـ۱۲) و به این ترتیب، مقاومت رسانا در برابر عبور جریان زیاد می‌شود

ماده	مقاومت ویژه ρ ($\Omega.m$)	ضریب دمایی مقاومت ویژه α (K^{-1})
رسانای فلزی		
نقره	$1/6\times10^{-8}$	$4/1\times10^{-3}$
مس	$1/7\times10^{-8}$	$4/3\times10^{-3}$
کنستانتان[1]	44×10^{-8}	$2/0\times10^{-6}$
نیکروم[2]	100×10^{-8}	$4/0\times10^{-4}$
نیم‌رسانا		
گرافیت	$3/5\times10^{-5}$	-5×10^{-4}
ژرمانیم	$0/46$	-5×10^{-2}
سیلیسیم خالص	$2/5\times10^{3}$	-7×10^{-2}
عایق		
انواع شیشه	$10^{10}-10^{12}$	
لاستیک سخت	10^{13}	
کوارتز (ذوب شده)	10^{16}	

کنستانتان ← مس + نیکل

نیکروم ← نیکل + مس + کرم

گرافیت رفتار دوگانه‌ای دارد

ρ (مقاومت ویژه ← مانند رسانا)

α (ضریب دمائی ← مانند نیم‌رسانا)

در نیم‌رسانا و گرافیت ← α عددی منفی

در نارسانا ← α در حدود صفر

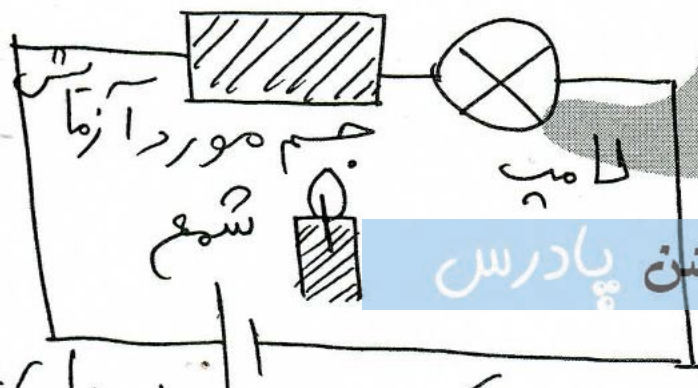
در یک آزمایش تفاوت ضریب دمائی برای اجسام مختلف را نمایش دهید

اگر جسم مورد آزمایش

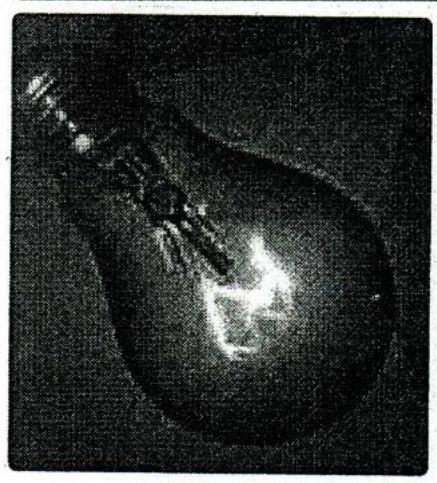
رسانای فلزی ← نور لامپ کم (مقاومت زیاد)

نیم رسانا و گرافیت حرارت ← نور لامپ زیاد (مقاومت کم)

نارسانا ← (حرارت) لامپ خاموش



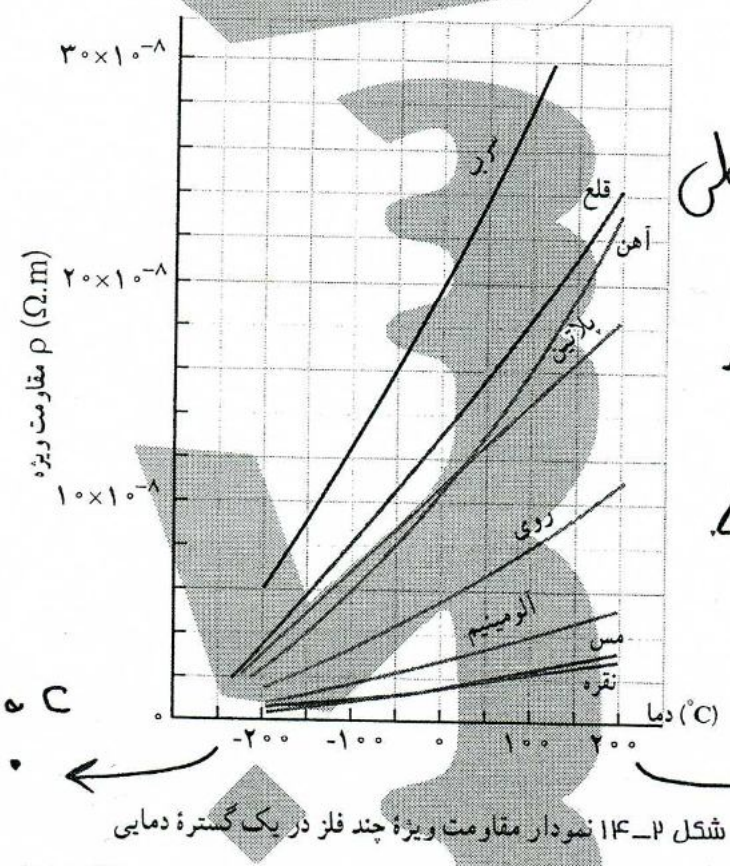
دانلود از اپلیکیشن پادرس



شکل ۲ـ۱۳ عبور جریان از رشتهٔ (فیلامان) تنگستنی موجب درخشش لامپ حبابی شده است.

رسانای فلزی است وعبور جریان باعث افزایش مقاومت و افزایش دمای آن می شود

رابطه مقاومت ویژه فلزات با دما



شکل ۲ـ۱۴ نمودار مقاومت ویژهٔ چند فلز در یک گسترهٔ دمایی

رابطه خطی بین ΔR و $\Delta\theta$ یا ΔT

$(^\circ C)^{-1}$ (K)

$-۲۰۰^\circ C \leftarrow$ $\rightarrow +۲۰۰^\circ C$

تقریباً همهٔ فلزات با دما رفتار خطی دارند (این نمودار در دماهای خیلی پایین صدق نمی کند)

$$\rho = \rho_0\left(1+\alpha(T-T_0)\right)$$

مقاومت ویژه در دمای ۲۰°C

ضریب دمایی مقاومت ویژه

دمای محیط

دمای مرجع $= ۲۰^\circ C = ۲۹۳\ K$

$\frac{1}{^\circ C}$ یا $\frac{1}{K}$ = برکلوین$^{-1}$

$$\Delta R = R_0\alpha\Delta\theta$$
$$\Delta\rho = \rho_0\alpha\Delta\theta$$

اثر دما در مقاومت نیم رسانا

اگر یک نیم‌رسانا داشته باشیم، در دماهای پایین تعداد حامل‌های بار[۱] ناچیز است و نیم‌رسانا مانند یک نارسانا رفتار می‌کند. با افزایش دما، نشان داده می‌شود بر تعداد این حامل‌های بار افزوده می‌گردد. گرچه با افزایش دما تعداد برخوردهای کاتوره‌ای حامل‌های بار با شبکهٔ اتمی افزایش می‌یابد، اما تأثیر افزایش تعداد حامل‌های بار بیشتر از افزایش این برخوردهای کاتوره‌ای است. به این ترتیب، مقاومت ویژهٔ نیم‌رساناها با افزایش دما کاهش می‌یابد. ضریب دمایی مقاومت ویژهٔ برخی از مواد در جدول ۲ـ۲ داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید این ضریب برای نیم‌رساناها منفی است که به معنی کاهش مقاومت ویژهٔ این مواد با افزایش دما است.

در دماهای پایین نیم رسانا رفتار عایق

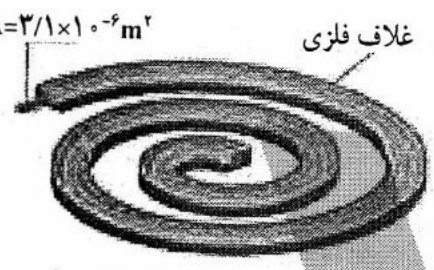
در دماهای بالا نیم رسانا رفتار رسانا

(در نیم رساناهم الکترون آزاد و هم حامل بار مثبت (در رسانائی تاثیر دارند)

دانلود از اپلیکیشن پادرس

مثال ۲ـ۳

شکل روبه‌رو، المنت یک اجاق برقی را نشان می‌دهد. این المنت شامل سیمی به طول ۱/۱m و سطح مقطع $3/1\times10^{-6}m^2$ است که داخل مادهٔ عایقی قرار گرفته است که خود، درون یک غلاف فلزی است. با عبور جریان، المنت داغ می‌شود. مقاومت ویژهٔ مادهٔ سازندهٔ سیم در دمای $T_0 = 32^\circ C$ برابر با $\rho_0 = 6/8\times10^{-5}\Omega.m$ است و ضریب دمایی مقاومت ویژهٔ آن $\alpha = 2/0\times10^{-3}K^{-1}$ است. مقاومت سیم در دمای $420^\circ C$ چقدر است؟



یک اجاق برقی و طرحی از المنت آن

پاسخ : مقاومت ویژهٔ ρ را از رابطهٔ $\rho = \rho_0[1+\alpha(T-T_0)]$ حساب می‌کنیم :

$$\rho = \rho_0[1+\alpha(T-T_0)] = (6/8\times10^{-5}\Omega.m)[1+(2/0\times10^{-3}K^{-1})(100K)]$$
$$= 8/2\times10^{-5}\Omega.m$$

حال از رابطهٔ ۳ـ۲ مقاومت سیم در دمای $420^\circ C$ برابر است با

$$R = \rho\frac{L}{A} = (8/2\times10^{-5}\Omega.m)\frac{(1/1m)}{(3/1\times10^{-6}m^2)} = 29\Omega$$

مثال ۲ـ۴ : دماسنج مقاومت پلاتینی

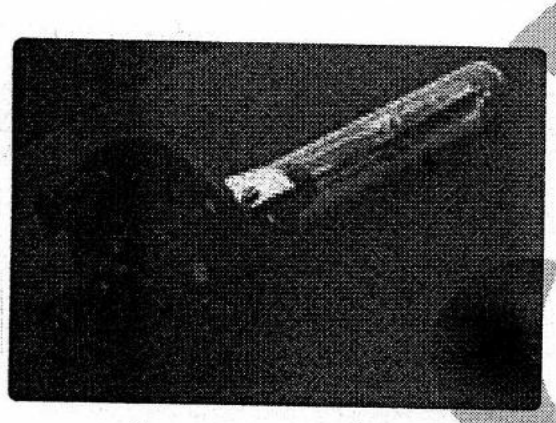
در این مثال به این پرسش‌ها پاسخ داده شده است.

① چرا دماسنج مقاومت پلاتینی بسیار مهم و پرکاربرد است؟

② گسترهٔ دمائی این دماسنج در چه محدوده‌ای است؟

③ اساس کار آن چیست؟

④ چرا پلاتین برای آن فلز مناسبی است؟


تصویری از یک دماسنج مقاومت پلاتینی

همان‌طور که در کتاب فیزیک ۱ دیدید دماسنج مقاومت پلاتینی یکی از سه دماسنج معیار برای اندازه‌گیری دماست. از دماسنج مقاومت پلاتینی می‌توان برای اندازه‌گیری دقیق دما در گسترهٔ دمایی حدوداً از ۱۴K تا ۱۲۳۵K استفاده کرد. اساس کار دماسنج های مقاومت پلاتینی مبتنی بر تغییر مقاومت الکتریکی با دماست. در این دماسنج‌ها از پلاتین استفاده می‌کنند که تقریباً دچار خوردگی نمی‌شود و نقطهٔ ذوب بالایی دارد.

فرض کنید در دمای $20/0^\circ C$ مقاومت پلاتین یک دماسنج برابر با 164Ω باشد. وقتی این دماسنج در محلول خاصی قرار گیرد، مقاومت آن 187Ω می‌شود. دمای این محلول چقدر است؟ (مقدار دقیق α برای پلاتین برابر $3/92\times10^{-3}(^\circ C)^{-1}$ است.)

پاسخ : چون مقاومت R رابطهٔ مستقیمی با مقاومت ویژهٔ ρ دارد ($R = \rho L/A$)، آن‌گاه از رابطهٔ ۲ـ۴ نتیجه می‌گیریم [1] :

$$R = R_0[1+\alpha(T-T_0)]$$

که در آن $R_0 = \rho_0\frac{L}{A}$ مقاومت سیم در دمای $T_0 = 20/0^\circ C$ است. با جایگذاری مقادیر معلوم در معادلهٔ بالا خواهیم داشت :

$$187\Omega = (164\Omega)[1+(3/92\times10^{-3}(^\circ C)^{-1})(T-20/0^\circ C)] \Rightarrow T = 55/8^\circ C$$

دانلود از اپلیکیشن فیدیبو

مثال ۲-۵

سیم‌کشی خانه‌ها معمولاً با سیم‌های مسی نمرهٔ ۱۴ بر اساس استاندارد SWG صورت می‌گیرد که قطری برابر با ۲/۰۳۲ mm دارد. مقاومت ۱۰۰m از این سیم‌ها در دمای اتاق چقدر است؟

پاسخ: مساحت مقطع این سیم برابر است با

$$A=\pi r^2=\pi D^2/4=(3/14)(2/032\times10^{-3}\text{m})^2/4=3/24\times10^{-6}\text{m}^2$$

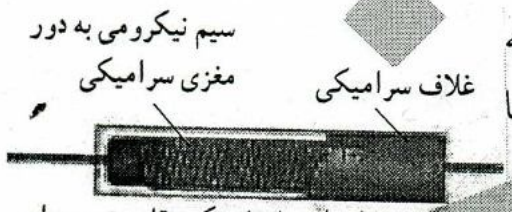
از طرفی مقاومت ویژهٔ سیم مسی در دمای ۲۰°C با استفاده از جدول ۲-۲، برابر $1/69\times10^{-8}\Omega.\text{m}$ و طول سیم مسی ۱۰۰m است. بنابراین، با استفاده از رابطهٔ $R=\rho L/A$ برای مقاومت سیم مسی خواهیم داشت:

$$R=\rho\frac{L}{A}=(1/69\times10^{-8}\Omega.\text{m})\frac{(100\text{m})}{(3/24\times10^{-6}\text{m}^2)}=0/522\Omega$$

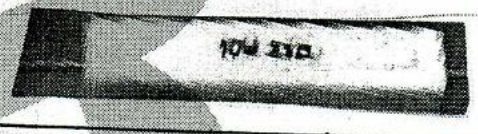
علت استفاده از مقاومت ← کنترل جریان و ولتاژ

انواع مقاومت ← ① پیچه‌ای ② ترکیبی (کد رنگی)

۱ـ مقاومت‌های پیچه‌ای[۳] شامل پیچه‌ای از یک سیم نازک‌اند که معمولاً جنس آنها از آلیاژهایی مانند نیکروم یا منگانین این مقاومت‌ها برای به‌دست آوردن مقاومت‌های پایین بسیار دقیق و همچنین توان‌های بالا ساخته می‌شوند. بیشینهٔ توان الکتریکی که این مقاومت‌ها می‌توانند تحمل کنند، بی‌آنکه بسوزند روی آنها نوشته شده است

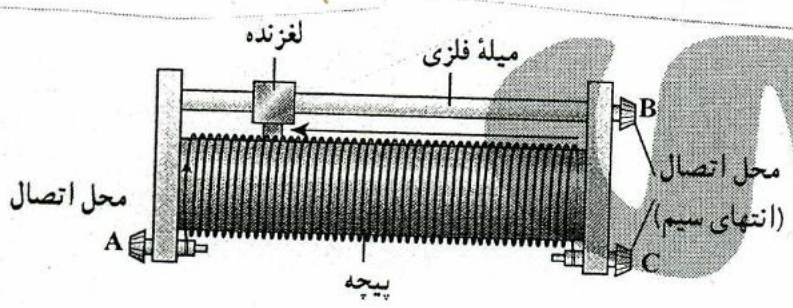


الف) نمونه‌ای از ساختار یک مقاومت پیچه‌ای

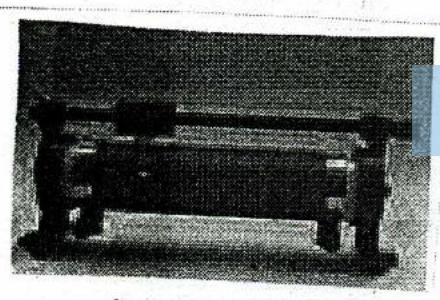

ب) تصویری از یک مقاومت پیچه‌ای

یکی از انواع مشهور مقاومت‌های پیچه‌ای، رئوستا[۳] نام دارد که یک نوع مقاومت متغیر است. در مدارهای الکترونیکی وسیله‌ای به نام پتانسیومتر[۴] به نوعی همان نقش را انجام می‌دهد. این نوع مقاومت‌ها، متغیرند. یک رئوستا از سیمی با مقاومت ویژهٔ نسبتاً زیاد ساخته شده است. در یکی از انواع رئوستا (رئوستای خطی)، این سیم روی استوانه‌ای نارسانا پیچیده‌شده و با استفاده از دکمه‌ای لغزنده که روی ریلی در بالای استوانه قرار دارد و انتهای آن با سیم در تماس است می‌تواند قسمت دلخواهی از سیم را در مسیر جریان قرار دهد، و بنابراین مقدار مقاومت را تغییر دهد (شکل ۲-۱۶).

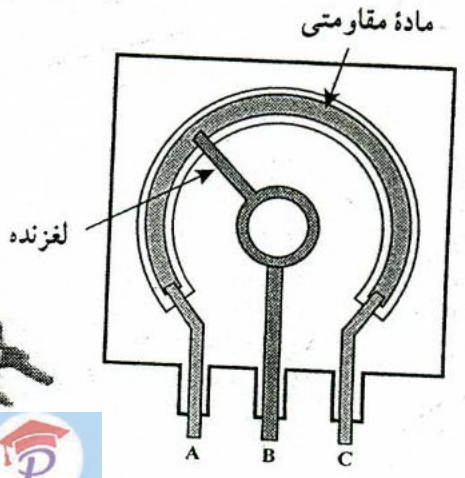
ب) نماد یک رئوستا یا پتانسیومتر در مدار الکتریکی



الف) طرحی از ساختار یک رئوستای خطی


پ) تصویر واقعی یک رئوستای خطی

ت) تصویری واقعی از یک پتانسیومتر



ا طرحی از یک پتانسیومتر

دانلود از اپلیکیشن پادرس

پتانسیومتر (مقاومت متغیر) گاهی می‌تواند پتانسیل سنج گردد

۲ـ مقاومت ترکیبی : معمولاً از کربن، برخ نیم رساناها و یا لایه‌های نازک فلزی ساخته می‌شود.

رنگ	عدد	ضریب	تلرانس
سیاه	۰	۱	
قهوه‌ای	۱	۱۰۱	
قرمز	۲	۱۰۲	
نارنجی	۳	۱۰۳	
زرد	۴	۱۰۴	
سبز	۵	۱۰۵	
آبی	۶	۱۰۶	
بنفش	۷	۱۰۷	
خاکستری	۸	۱۰۸	
سفید	۹	۱۰۹	
طلایی		۱۰⁻¹	٪۵
نقره‌ای		۱۰⁻²	٪۱۰
بی‌رنگ			٪۲۰

طلائی سیاه زرد قرمز

$R = ۲۴ \times ۱۰^{۰} \pm \frac{۵}{۱۰۰}(۲۴)$

سفید بنفش نقره‌ای سبز

$R = ۹۷ \times ۱۰^{۵} \pm \frac{۱۰}{۱۰۰}(۹۷۰۰۰۰)$

طلائی قرمز آبی طلائی

$R = ۶۲ \times ۱۰^{-۱} \pm \frac{۵}{۱۰۰}(۶/۲)$

بی رنگ سیاه سیاه سبز

$R = ۵۰ \times ۱۰^{۰} \pm \frac{۲۰}{۱۰۰}(۵۰)$

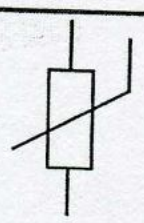
نبود نوار چهارم ← بی رنگ

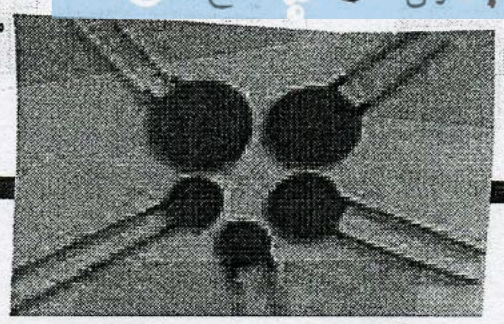
حلقهٔ چهارم (تلرانس) ← مقدار مجاز انحراف از مقدار دقیق مقاومت

مقاومت‌های خاص : ترمیستور – نوری (LDR) – دیود

۱ـ **ترمیستور**[۲] : ترمیستور نوعی از مقاومت است که بستگی مقاومت الکتریکی آن به دما متفاوت از مقاومت‌های معمولی است. اغلب از ترمیستورها به عنوان حسگر دما در مدارهای حساس به دما مانند زنگ خطر آتش و دماپاها و نیز در دماسنج‌ها استفاده می‌شود.

ترمیستورها در ابعاد کوچکی ساخته می‌شوند و شکل‌های متنوعی دارند که رایج‌ترین آنها دیسکی، مهره‌ای، و میله‌ای است (شکل ۲ـ۱۹).


نماد ترمیستور در مدار الکتریکی



دانلود از اپلیکیشن

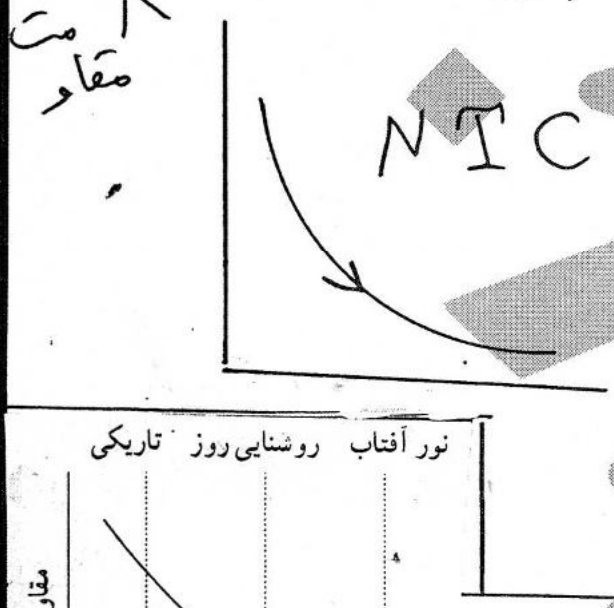
Thermist، برگرفته از عبارت Thermal Sensetive Resistor به معنای مقاومت حساس به دما.

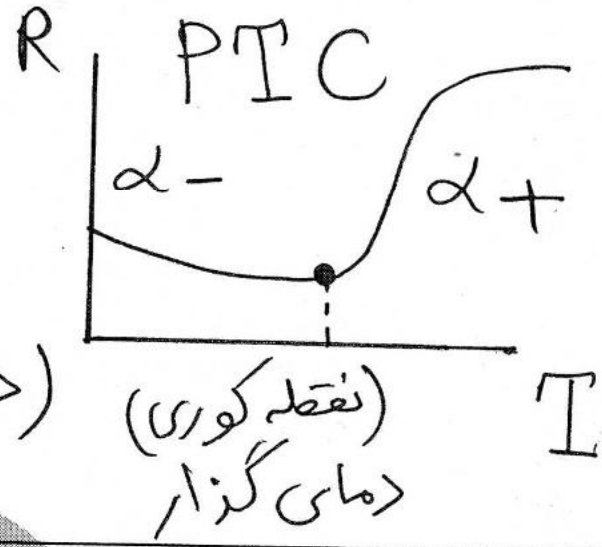
فعالیت ۲ـ۳

ترمیستورها به دو نوع NTC و PTC تقسیم‌بندی می‌شوند. در مورد ساختار و کارکرد آنها تحقیق کرده و به کلاس گزارش دهید.

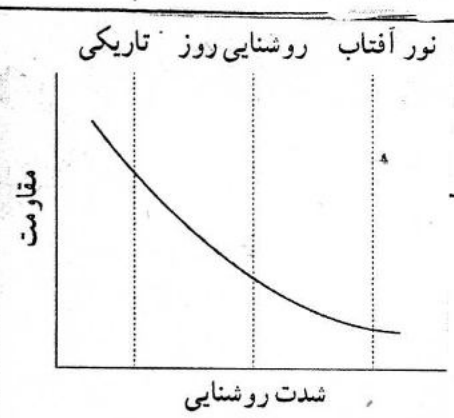
NTC : دارای نیم رسانای خالص (ذاتی) با ضریب دمائی منفی (یعنی اگر گرم شوند کاهش مقاومت دارند)

PTC : دارای نیم رسانای ناخالص (با آلایش) (مثلاً ناخالص Al و AS) اگر گرم شوند در یک محدودهٔ خاص ضریب دمائی منفی و از آن به بعد مثبت دارند

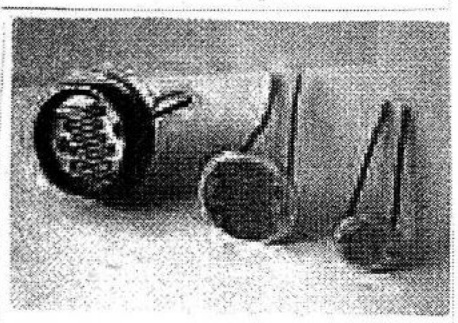




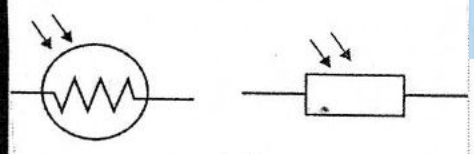
۲ــ مقاومت‌های نوری[1] (LDR[2]) : مقاومت نوری، نوعی مقاومت است که مقاومت الکتریکی آن به نور تابیده شده به آن بستگی دارد، به طوری که با افزایش شدت نور، از مقاومت آن کاسته می‌شود. مثلاً یک LDR نوعی در تاریکی مقاومتی چند مگا اُهمی دارد، در حالی‌که در یک نور مناسب، مقاومت آن به چند صد اُهم می‌رسد. نوعی از این مقاومت‌ها از جنس نیم‌رسانای خالص، مانند سیلیسیم هستند که با افزایش شدت نور تابیده شده، بر تعداد حامل‌های بار الکتریکی آنها افزوده شده و در نتیجه از مقاومت آنها کاسته می‌شود. مثلاً شکل ۲ــ۲۰ مقاومت الکتریکی چنین LDRهایی را بر حسب شدت روشنایی[3] (که با یکای LUX سنجیده می‌شود) نشان می‌دهد. شکل ۲ــ۲۱ الف تصویری از چند LDR و شکل ۲ــ۲۱ب دو نماد این مقاومت‌ها در مدارهای الکتریکی را نشان می‌دهد.



شکل ۲ــ۲۰ مقاومت بر حسب شدت روشنایی برای یک LDR نوعی



(الف)



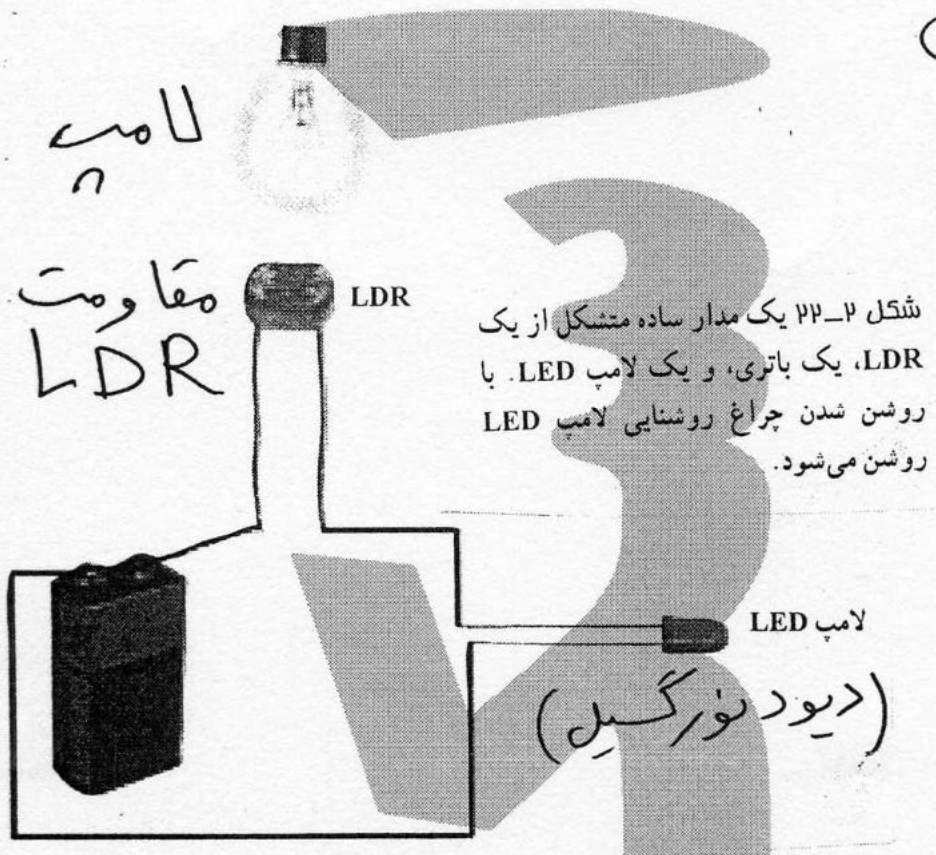
(ب)

شکل ۲ــ۲۱ الف) تصویری از چند LDR
ب) نماد LDR در دو استاندارد متفاوت

برای اینکه به درکی از ساز وکار این مقاومت‌ها برسید، شکل ۲ــ۲۲ را در نظر بگیرید که در آن یک LDR در مداری ساده به یک لامپ LED متصل شده است. تا هنگامی که لامپِ روشناییِ شکل خاموش باشد، LDR مقاومت بالایی دارد و مانع از روشن شدن لامپ LED می‌شود. با روشن شدن لامپ روشنایی از مقاومت LDR کاسته می‌شود و لامپ LED روشن می‌گردد. با تنظیم لامپ روشنایی به ترتیبی که LDR در معرض نور بیشتری قرار گیرد، شدت نور لامپ LED بیشتر می‌شود.

از این ویژگی LDRها در تجهیزات گوناگونی از جمله چشم‌های الکترونیکی، دزدگیرها، کنترل کننده‌های خودکار، و چراغ‌های روشنایی خیابان‌ها استفاده می‌شود.

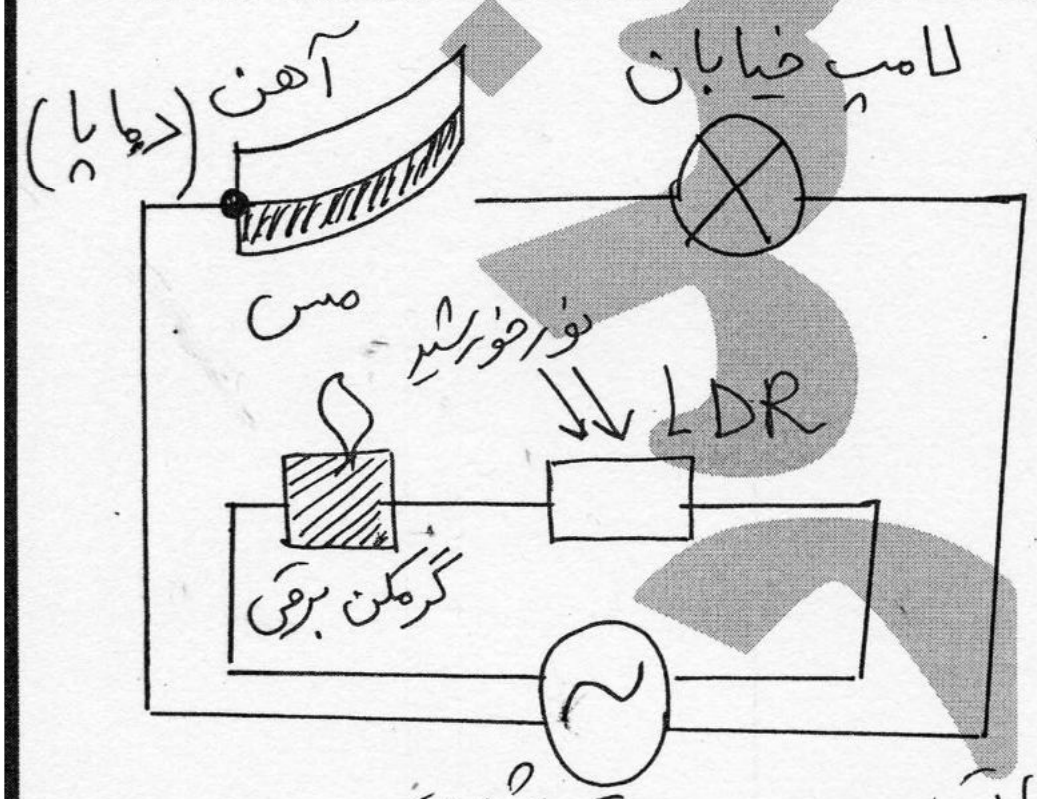
دانلود از اپلیکیشن پارسی



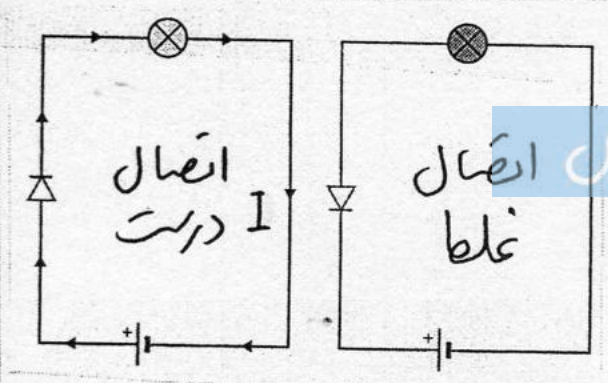
شکل ۲ـ۲۲ یک مدار ساده متشکل از یک LDR، یک باتری، و یک لامپ LED. با روشن شدن چراغ روشنایی لامپ LED روشن می‌شود.

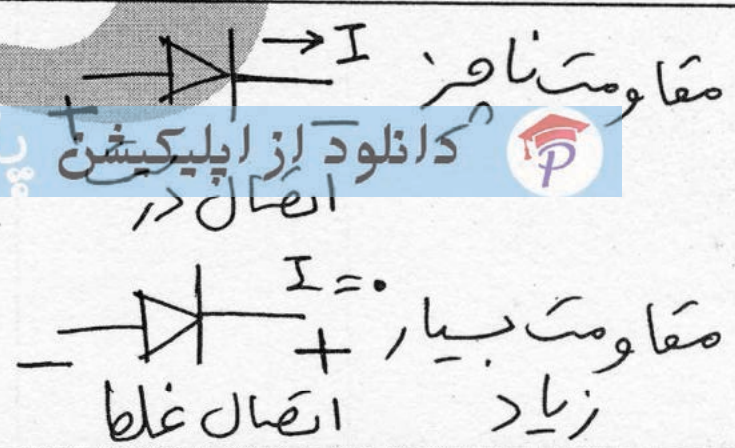
در این حالت لامپ با نورش موجب کاهش مقاومت در LDR می شود پس در مدار جریان به وجود می آید و لامپ LED روشن می گردد.

شکل ۲ـ۲۳ اجزای داخلی یک مدار کنترل‌کنندهٔ نوری، که در نوعی از چراغ‌های روشنایی خیابان‌ها استفاده می‌شود.



در مدار داخلی در روز نور خورشید به LDR می رسد و در آن جریان برقرار می شود و گرمکن داغ می شود و ترموستات را در مدار بیرونی فعال می کند و برق در لامپ خیابان قطع می گردد در شب که خورشید نیست و LDR قطع می شود ترموستات برقرار می گردد

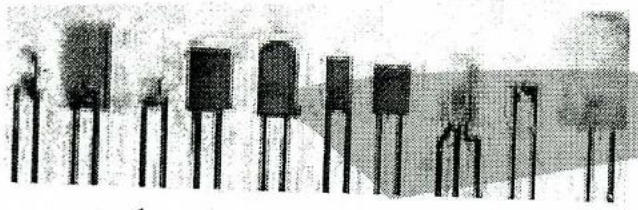




دیود (یکسوساز)

دانلود از اپلیکیشن پادرس

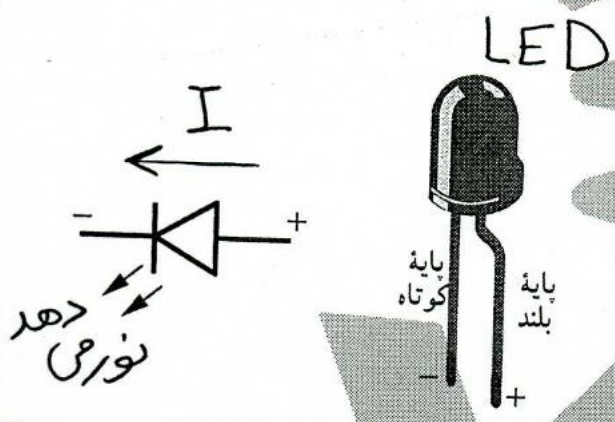
شکل ۲ـ۲۴ دیود در یک جهت جریان را عبور می‌دهد و در جهت مخالف مانع عبور جریان می‌شود.



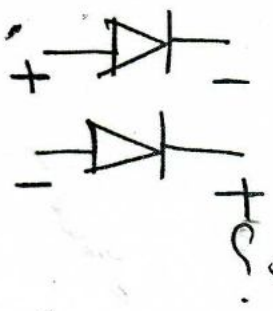
شکل ۲ـ۲۵ تصویری از چند دیود نورگسیل

۳ـ دیودها[1] : دیود قطعه‌ای است که هرگاه در مداری قرار گیرد، جریان را تنها از یک سو عبور می‌دهد و مقاومت آن در برابر عبور جریان در این سو ناچیز است. به‌همین دلیل، دیود را اغلب به عنوان یک‌سوکنندهٔ جریان در نظر می‌گیرند و آن را با نماد ⊣▷⊢ در مدارهای الکتریکی نشان می‌دهند. پیکان در این نماد جهتی را نشان می‌دهد که جریان می‌تواند از دیود عبور کند. مثلاً مدارهای سادهٔ شکل ۲ـ۲۴ نشان می‌دهد که با تعویض جهت دیود، جریان از مدار عبور نمی‌کند و لامپ خاموش می‌شود. همچنین از دیود در مدارهای یک‌سوکننده برای تبدیل جریان‌های متناوب به جریان‌های مستقیم استفاده می‌شود که در فصل ۴ با آن آشنا می‌شوید.

دیودها انواع متفاوتی دارند که یکی از معروف‌ترین آنها دیودهای نورگسیل یا LED[2] است (شکل ۲ـ۲۵). شکل ۲ـ۲۶ تصویری واضح از یک LED و نماد آن در مدارهای الکتریکی را نشان می‌دهد. در این دیودها از نیم‌رساناهایی استفاده می‌شود که با عبور جریان از آنها LED از خود نورگسیل می‌کند و بنابراین، مقداری از انرژی الکتریکی به نور تبدیل می‌شود. بسته به نوع نیم‌رسانای به کاررفته، رنگ نورگسیل شده از LED می‌تواند از فروسرخ تا فرابنفش باشد. نخستین LEDهای ساخته‌شده، قرمز و زرد بودند. فنّاوری LED در دههٔ ۹۰ میلادی با تولید LEDهایی که قابلیت تولید نور آبی و سفید داشتند، دستخوش تحوّل بزرگی شد. LED در مقایسه با لامپ‌های روشنایی معمولی، توان الکتریکی کمی مصرف کرده و در عوض، نور قابل ملاحظه‌ای تولید می‌کند. به همین دلیل از آنها در چراغ خودروها، روشنایی منازل، تابلوهای تبلیغاتی، نمایشگرهای LED و ... استفاده می‌شود. LEDها در مقایسه با لامپ‌های رشته‌ای عمر طولانی‌تری دارند و به‌دلیل نداشتن رشته به هنگام تولید نور انرژی گرمایی زیادی تولید نمی‌کنند.



هنگام مطالعه این متن :
۱ـ مقاومت دیود کم است یا زیاد؟ جریان را عبور می‌دهد یا خیر؟



کدام اتصال درست است؟

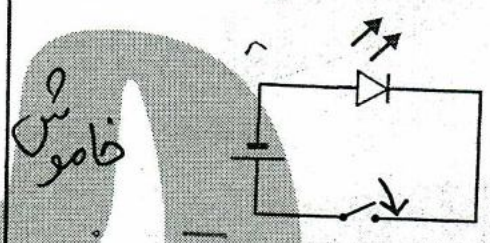
۲ـ از دیود برای تبدیل ac ← dc ؟
dc ← ac

۳ـ یکی از معروف‌ترین انواع دیود؟

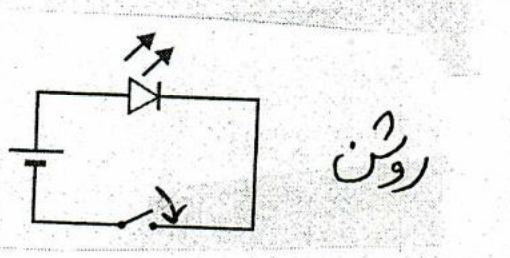
۴ـ چرا نور LED ها فرق می‌کند؟

۵ـ مزیت مهم LED به لامپ‌های معمولی؟

در کدام شکل با بستن کلید، LED روشن می‌شود؟



(غلط) خاموش
$R = \infty$ عایق
پیش ولت مخالف
بایاس معکوس

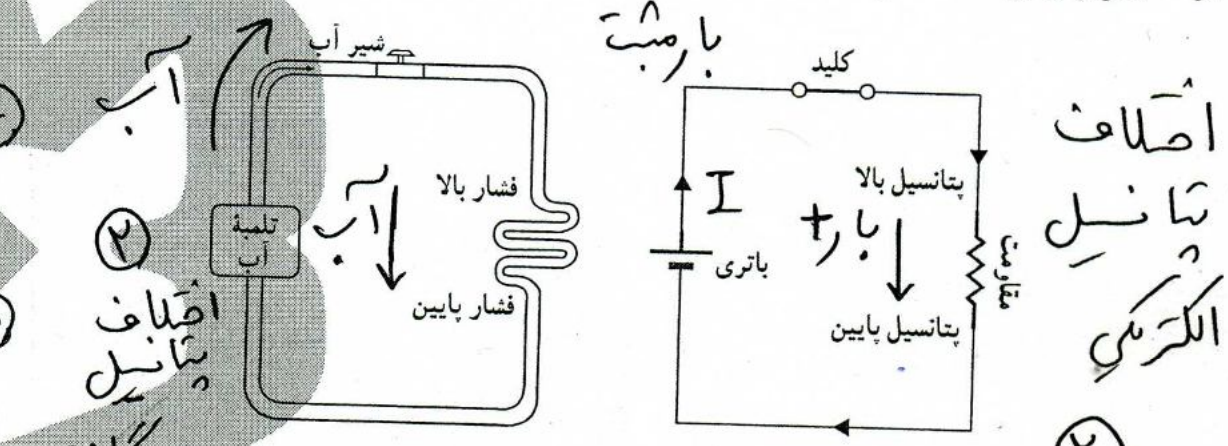


روشن (درست)
رسانا (ناچیز) R
پیش ولت موافق
بایاس مستقیم

دانلود از اپلیکیشن پادرس

۲ـ۴ نیروی محرکهٔ الکتریکی و مدارها

برای بالا بردن آب از سطح زمین به یک تلمبهٔ آب نیاز است تا آب را به ارتفاع معیّنی برساند. بدین ترتیب، آب انرژی پتانسیل گرانشی لازم برای جریان یافتن و انجام کار معیّنی را کسب می‌کند (شکل ۲ـ۲۷). برای اینکه بارهای الکتریکی را نیز از یک مقاومت الکتریکی عبور دهیم تا جریان ثابتی برقرار شود، لازم است بین دو سر مقاومت اختلاف پتانسیلی برقرار کنیم. این کار می‌تواند توسط وسیله‌هایی مانند باتری انجام شود. به چنین وسیله‌هایی که با انجام کار روی بار الکتریکی، جریان ثابتی از بارهای الکتریکی در یک مدار ایجاد می‌کند، منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی (emf[1]) گفته می‌شود. منبع‌های نیروی محرکهٔ الکتریکی (مانند باتری‌ها) بارهای الکتریکی مثبت را در خلاف جهت میدان الکتریکی از پتانسیل پایین‌تر به پتانسیل بالاتر می‌برند و با افزایش انرژی پتانسیل آنها، جریان ثابتی را در مدار برقرار می‌کنند (شکل ۲ـ۲۸).

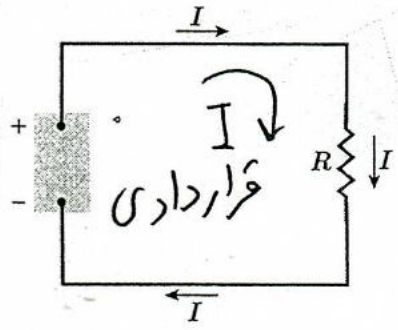


شکل ۲ـ۲۸ همان‌طور که تلمبهٔ آب انرژی لازم برای شارش آب را فراهم می‌کند، باتری نیز انرژی لازم برای برقراری یک جریان را مهیا می‌سازد.

انرژی لازم برای ایجاد اختلاف پتانسیل الکتریکی در یک منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی با سازوکارهای مختلفی به دست می‌آید. مثلاً باتری‌ها که در علوم هشتم با آنها آشنا شدید این انرژی را از طریق واکنش‌های شیمیایی که در آنها رخ می‌دهد مهیّا می‌سازند. پیل‌های سوختی، سلول‌های خورشیدی، و مولدهای الکتریکی نمونه‌های دیگری از منبع‌های نیروی محرکهٔ الکتریکی‌اند.

مدار سادهٔ الکتریکی شکل ۲ـ۲۹ را در نظر بگیرید. منبع نیروی محرکه هنگام عبور بار Δq از منبع کاری به اندازهٔ ΔW روی آن انجام می‌دهد تا آن را در مدار به حرکت درآورد. کاری که منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی روی واحد بار الکتریکی مثبت انجام می‌دهد تا آن را از پایانهٔ با پتانسیل کمتر به پایانهٔ با پتانسیل بیشتر ببرد، اصطلاحاً نیروی محرکهٔ الکتریکی (emf) نامیده و با رابطهٔ زیر تعریف می‌شود[1]:

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta W}{\Delta q} \qquad (۲ـ۵)$$



شکل ۲ـ۲۹ یک مدار سادهٔ الکتریکی شامل مقاومت R، منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی $\mathcal{E}$ و سیم‌های رابط

دانلود از پیکیشن پارس

عقیل اسکندری

یکای کمیت نیروی محرکهٔ الکتریکی همان یکای اختلاف پتانسیل الکتریکی، یعنی ولت (V) است ($1V=1J/1C$). پس اگر نیروی محرکهٔ یک باتری مثلاً ۱/۵V باشد، به این معناست که باتری روی هر کولن باری که از آن می‌گذرد ۱/۵J کار انجام می‌دهد و به این ترتیب انرژی پتانسیل الکتریکی آن را ۱/۵J افزایش می‌دهد.

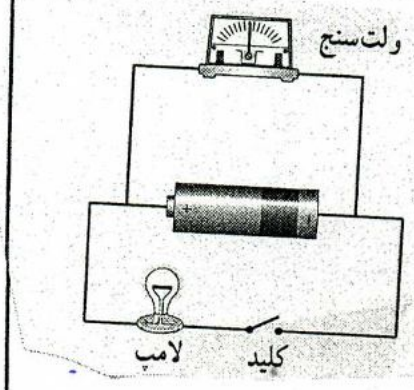
یکای نیروی محرکه الکتریکی

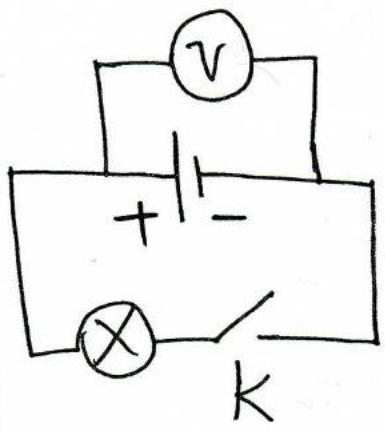
روی باتری نوشته شده ۱٫۵ ولت منظور چیست؟

فعالیت ۲_۴

به کمک یک باتری، سیم‌های رابط، لامپ کوچک، ولت‌سنج و کلید، مداری همانند شکل روبه‌رو درست کنید. قبل از بستن کلید عددی را که ولت‌سنج نشان می‌دهد بخوانید. سپس کلید را ببندید و دوباره عددی را که ولت‌سنج نشان می‌دهد بخوانید. در کدام حالت ولت‌سنج عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دهد؟ چرا؟

در ادامه با علت تفاوت این دو عدد آشنا خواهید شد.





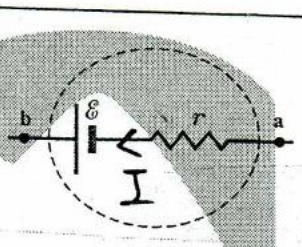
$V=\mathcal{E}-rI$ باز k

$V=\mathcal{E}$ $(I=0)$

$V'=\mathcal{E}-$(عدد) بسته k

$V'<V$ $(I>0)$

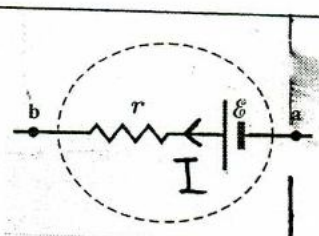
منبع نیروی محرکه (مثلاً "باتری") ← آرمانی ← مقاومت درونی = صفر
واقعی ← مقاومت درونی دارند



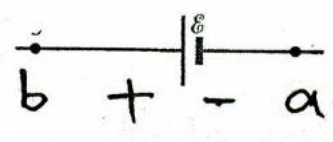
باتری واقعی

$V_b-\mathcal{E}+rI=V_a$

$V_b-V_a=\mathcal{E}-rI$



باتری واقعی



باتری آرمانی $\mathcal{E}=V_b-V_a$

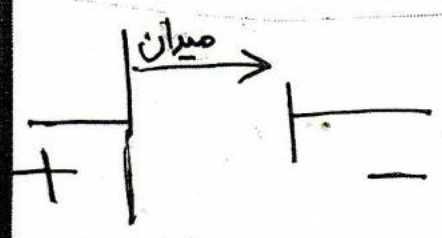
$r=0$

باتری (منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی) در حالت آرمانی وجود ندارد و مقاومت درونی هرگز صفر نیست

در یک باتری آرمانی نیروی محرکهٔ باتری با اختلاف پتانسیل دو سر باتری برابر است

منبع آرمانی در واقعیت وجود ندارد و منبع‌های نیروی محرکهٔ الکتریکی همواره دارای مقاومتی داخلی (r) هستند؛ یعنی درون آنها مقاومتی در برابر حرکت بارها وجود دارد. بنابراین، وقتی جریان از این منابع بگذرد، اختلاف پتانسیل بین پایانه‌های آنها برخلاف منابع آرمانی، متفاوت از نیروی محرکهٔ الکتریکی خواهد شد.

دانلود از اپلیکیشن پادرس



توجه میدان درون باتری از + به − است

فعالیت ۲ـ۵

میدان الکتریکی درون باتری از قطب مثبت به سمت قطب منفی است. توضیح دهید چرا وقتی از قطب مثبت باتری به سمت قطب منفی آن می‌رویم، پتانسیل کاهش می‌یابد و بالعکس.

وقتی بار $q+$ از قطب $+$ به قطب $-$ در درون باتری حرکت کند حرکتش اختیاری و آزادانه است پس انرژی پتانسیل کم می‌شود

$V_1 > V_2 \longrightarrow$ منفی $\Delta V \longrightarrow$ منفی $\Delta U \longrightarrow \Delta U = q\Delta V$

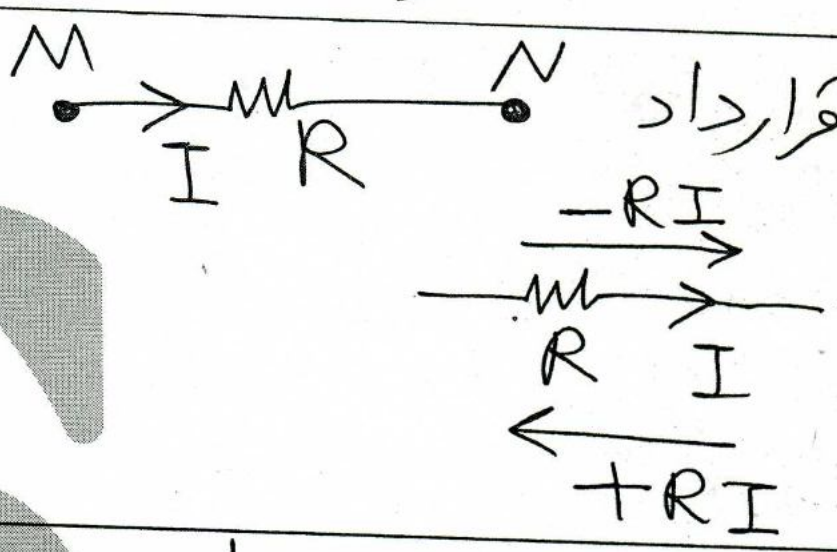
قاعدهٔ حلقه یا قانون ولتاژها: در یک حلقه از مدار در هر دور زدن کامل، جمع جبری اختلاف پتانسیل‌های اجزای مدار صفر است. این قاعده همان نتیجه پایستگی انرژی می‌باشد.

$V_M - RI = V_N$

حرکت و I هم جهت

$V_N + RI = V_M$

حرکت و I خلاف جهت

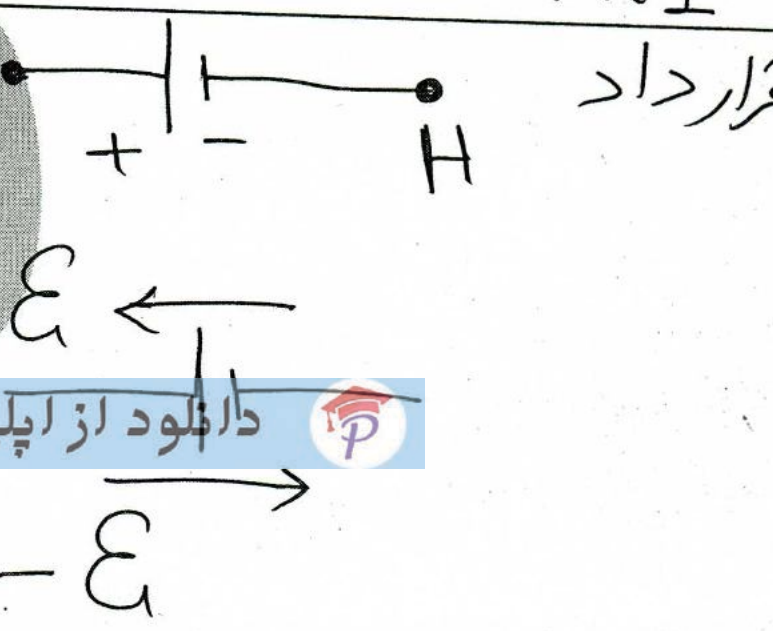


$V_S - \mathcal{E} = V_H$

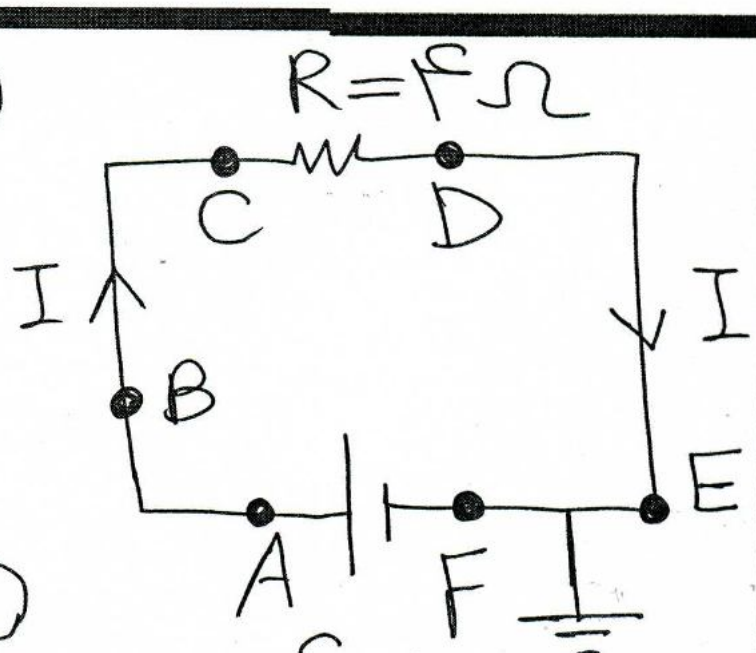
حرکت از $+$ به $-$

$V_H + \mathcal{E} = V_S$

حرکت از $-$ به $+$



دانلود از اپلیکیشن پادکس



① مقدار جریان

$$V_A - RI + \mathcal{E} - rI = V_A$$

$$-۴I + ۱۲ - ۲I = ۰$$

$$I = ۲\,A$$

② پتانسیل همهٔ نقاط

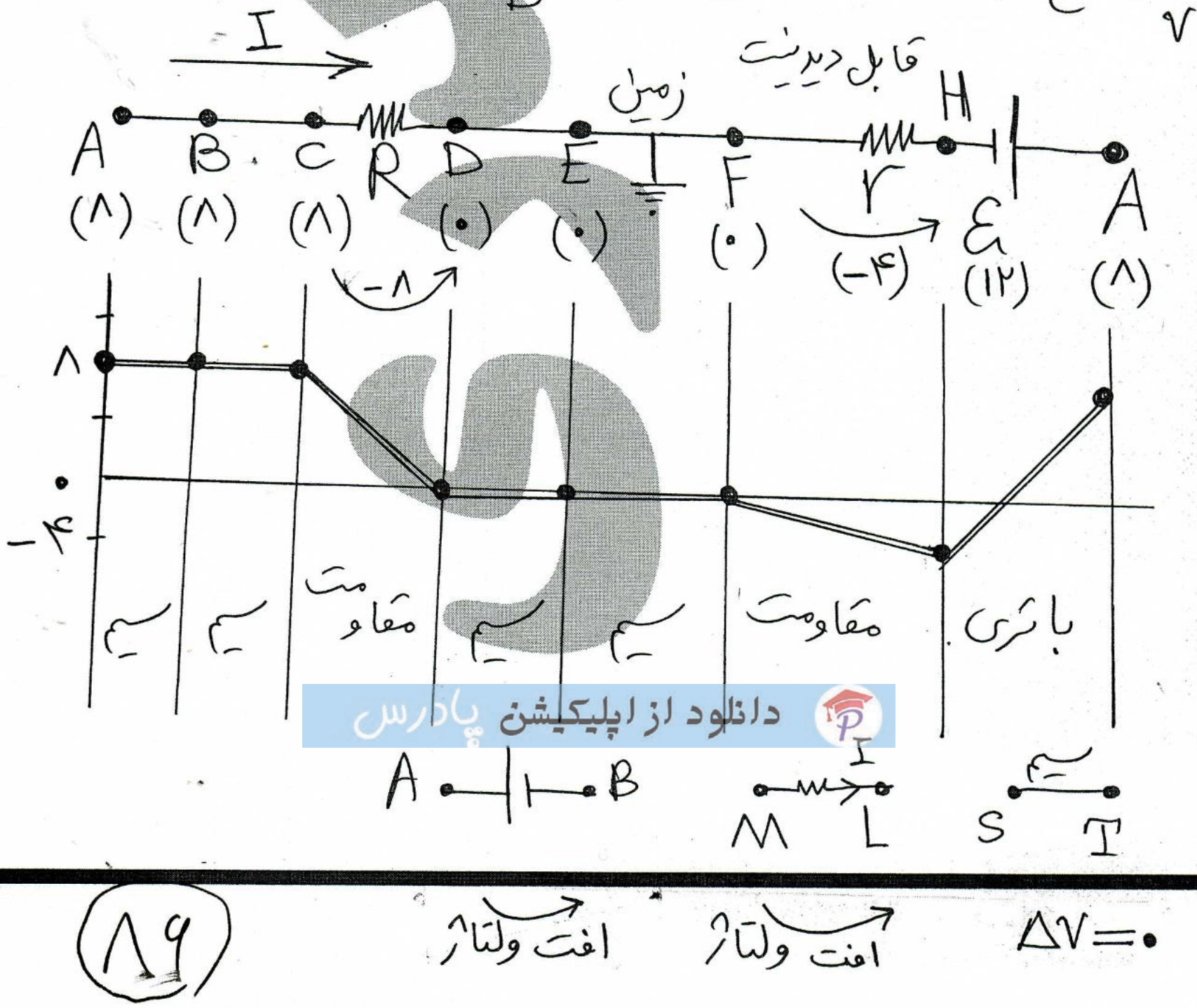
$V_E = V_F = V_D = ۰$ (زمین)

$$V_F + ۱۲ - ۲(۲) = V_A$$

$$۰ + ۸ = V_A \longrightarrow V_A = ۸\,V$$

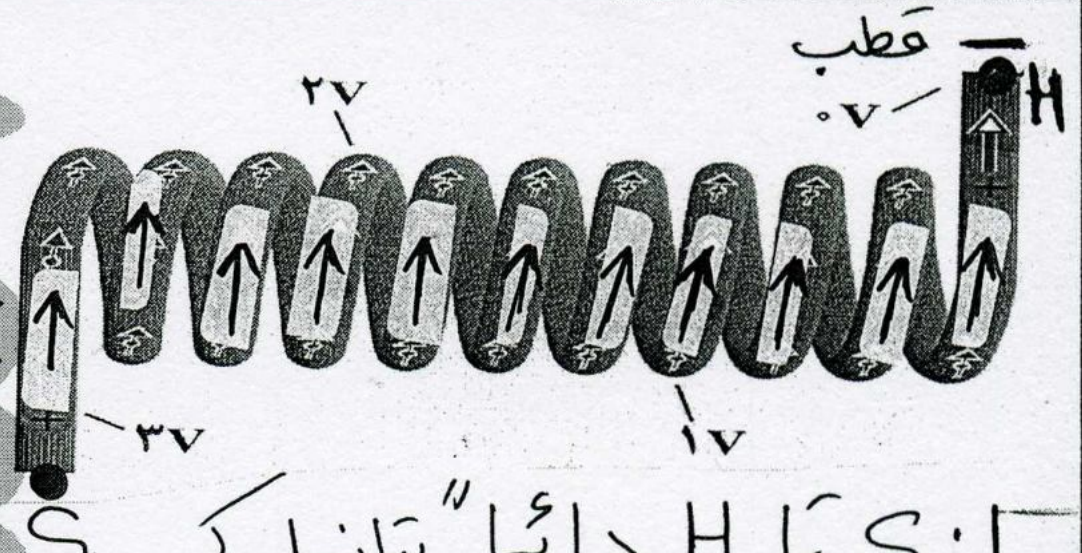
$$V_A = V_B = V_C = ۸\,V$$

$$V_C - (۴)(۲) = V_D \longrightarrow V_C - ۸ = ۰ \longrightarrow V_C = ۸\,V$$



دانلود از اپلیکیشن پادرس

$\Delta V = ۰$ افت ولتاژ افت ولتاژ



مقاومت سیم (رئوستا)

E

A B C

$V_A > V_B > V_C$

از S تا H دائما" پتانسیل کم می‌شود

جدول ۲ـ۴ جدول قرارداد تعیین علامت اختلاف پتانسیل‌ها در یک مدار تک‌حلقه‌ای، شامل مقاومت و منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی

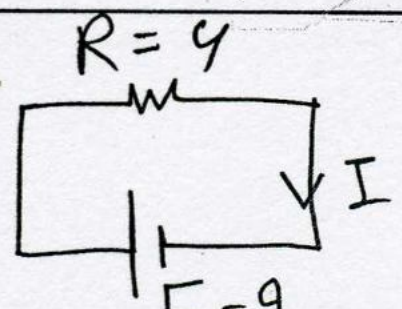
عنصر مدار	جهت حرکت	تغییر پتانسیل
مقاومت	در جهت جریان	$-IR$
مقاومت	در خلاف جهت جریان	$+IR$
منبع نیروی محرکه	از پایانهٔ منفی به پایانهٔ مثبت	$+\mathcal{E}$
منبع نیروی محرکه	از پایانهٔ مثبت به پایانهٔ منفی	$-\mathcal{E}$

تک باتری

تقویت

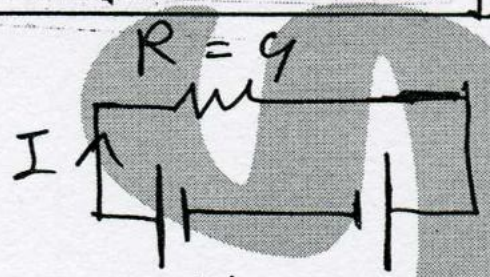
تضعیف

تضعیف



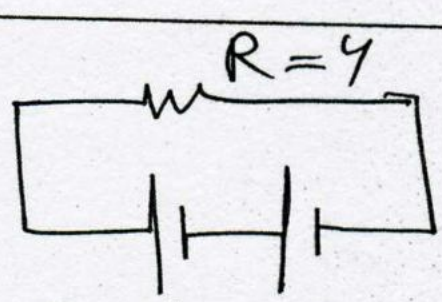
$$I = \frac{E}{R+r}$$

$$I = \frac{9}{8}\ A$$



$$I = \frac{E_1 - E_2}{R+r}$$

$$I = \frac{20-8}{3+5+6} = \frac{12}{14}\ A$$



$$I = \frac{E_1 + E_2}{R+r}$$

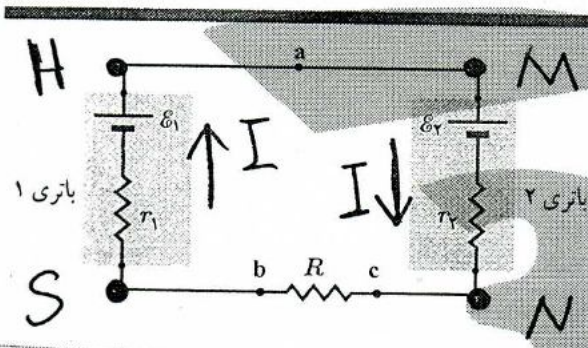
$$I = \frac{20+8}{3+5+6} = \frac{28}{14}$$

دانلود از اپلیکیشن پ‌پ‌سی

مثال ۲ـ۷

مدار شکل روبه‌رو را درنظر بگیرید. مقادیر نیروهای محرکهٔ الکتریکی و مقاومت‌های مدار عبارت‌اند از :

$\mathcal{E}_1 = 8/0\,V$، $\mathcal{E}_2 = 2/0\,V$، $r_1 = 2/0\,\Omega$، $r_2 = 1/5\,\Omega$ و $R = 8/5\,\Omega$



الف) جهت جریان عبوری از مدار و مقدار آن را تعیین کنید.

ب) اختلاف پتانسیل دوسر باتری‌های ۱ و ۲ را محاسبه کنید.

الف) $\mathcal{E}_1 > \mathcal{E}_2$ یعنی $\mathcal{E}_1$ حاکم مدار است و جهت I را می‌سازد

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{R_{کل} + r_{کل}} = \frac{8-2}{2+8/5+1/5} = 0/5\,A$$

ب)

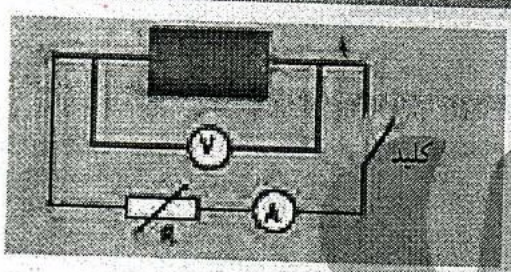
$$V_S - r_1 I + \mathcal{E}_1 = V_H$$

$$V_S - (2)(0/5) + 8 = V_H \rightarrow V_{HS} = V_{ولت}$$

$$V_M - \mathcal{E}_2 - r_2 I = V_N$$

$$V_M - 2 - (1/5)(0/5) = V_N \rightarrow V_{NM} = 2/75 \approx 2/8\ V$$

فعالیت ۲ـ۶ (کار در کلاس)



تفاوت یک باتری نو و فرسوده عمدتاً در مقدار مقاومت داخلی آن است که می‌تواند کمتر از یک اُهم برای باتری نو تا چند هزار اُهم برای باتری فرسوده باشد. برای اندازه‌گیری مقاومت داخلی یک باتری مدار ساده‌ای متشکل از یک باتری، یک کلید قطع و وصل، و یک مقاومت یا لامپ کوچک را سوار کنید. نخست درحالی که کلید قطع است، ولتاژ دو سر باتری را با یک ولت‌سنج اندازه بگیرید و آن‌گاه پس از بستن کلید، دوباره ولتاژ دو سر باتری را اندازه بگیرید. همچنین در این حالت، جریان عبوری از مدار را نیز باید به کمک یک آمپرسنج اندازه بگیرید. اکنون با استفاده از رابطهٔ ۲ـ۷ مقاومت داخلی باتری را محاسبه کنید (البته در یک اندازه‌گیری دقیق‌تر معمولاً از یک مقاومت متغیر استفاده می‌شود و مقاومت داخلی پس از چندین اندازه‌گیری محاسبه می‌شود). آزمایش را یک بار برای باتری نو و یک بار برای باتری فرسوده انجام دهید.

آزمایشی که مقاومت درونی باتری را بدست می‌آورد.

دانلود از اپلیکیشن پادرس

$$V = E - rI$$

باز $k \rightarrow I = 0 \rightarrow V$ (ولت‌سنج) $= E$

بسته $k \rightarrow I$ (آمپرسنج) $\rightarrow V$ (ولت‌سنج) $= E - rI \rightarrow r$ (معلوم)

رابطه توان الکتریکی را بدست آورید

$$P=\frac{W}{t}=\frac{q\Delta V}{t}=I\Delta V \longrightarrow P=IV$$

$$V=RI \longrightarrow P=I(RI)=RI^2$$

$$\downarrow I=\frac{V}{R} \longrightarrow P=\left(\frac{V}{R}\right)(V)=\frac{V^2}{R}$$

اگر قسمتی از مدار به بقیه مدار انرژی بدهد $\leftarrow P>0$

اگر قسمتی از مدار از بقیه مدار انرژی بگیرد $\leftarrow P<0$

مثال ۲ــ۸

وقتی دو سر یک بخاری برقی را به اختلاف پتانسیل ۲۲۰V وصل کنیم، جریان ۱۰/۰A از آن می گذرد. الف) توان این بخاری چقدر است؟ ب) اگر این بخاری به مدت ۳/۰۰h در روز کار کند و قیمت برق مصرفی به ازای هر کیلووات ساعت ۵۰ تومان باشد، هزینهٔ یک ماه مصرف این بخاری چقدر می‌شود؟

پاسخ : الف) بنا به رابطهٔ ۲ــ۸ توان مورد نیاز بخاری چنین می‌شود :

$$P = I\Delta V = (10/0\,A)(220\,V) = 2/20\times10^{2}\,W = 2/20\,kW$$

ب) انرژی مصرفی بخاری برابر Pt می‌شود که بر حسب یکاهای SI، P بر حسب وات (W)، t بر حسب ثانیه (s) است و انرژی مصرفی بر حسب ژول (J) می‌شود. اما برای محاسبهٔ مصرف برق، P را بر حسب کیلووات (kW) و t را بر حسب ساعت (h) می‌گیرند. بنابراین، انرژی الکتریکی مصرفی بر حسب کیلووات ساعت (kWh) می‌شود ($1\,kWh=(1000\,\frac{J}{s})(3600\,s)=3/6\times10^{6}\,J$).

پس انرژی مصرفی بخاری در یک ماه، برابر است با

$$U = Pt = (2/20\,kW)(30\times3/00\,h) = 198\,kWh$$

در نتیجه بهای برق مصرفی این بخاری در یک ماه چنین می‌شود :

$$\text{بها} = (198\,kWh)(50\,\frac{\text{تومان}}{kWh}) = 9900\,\text{تومان}$$

پرسش ۲ - ۲

اگر لامپ‌های رشته‌ای (التهابی) را با لامپ‌های LED جایگزین کنیم، درخواهیم یافت که در مصرف انرژی تفاوت چشمگیری حاصل می‌شود. مثلاً درحالی‌که لامپ هالوژن یک کلاه ایمنی چند باتری را در ۳ ساعت کار خالی می‌کند، همان لامپ LED آن باتری‌ها را در ۳۰ ساعت به مصرف می‌رساند. دلیل این اختلاف را بیان کنید.

W = انرژی کل = ثابت

$W = RI^2t$

R زیاد ← t عمر مفید کم

R کم ← t عمر مفید زیاد

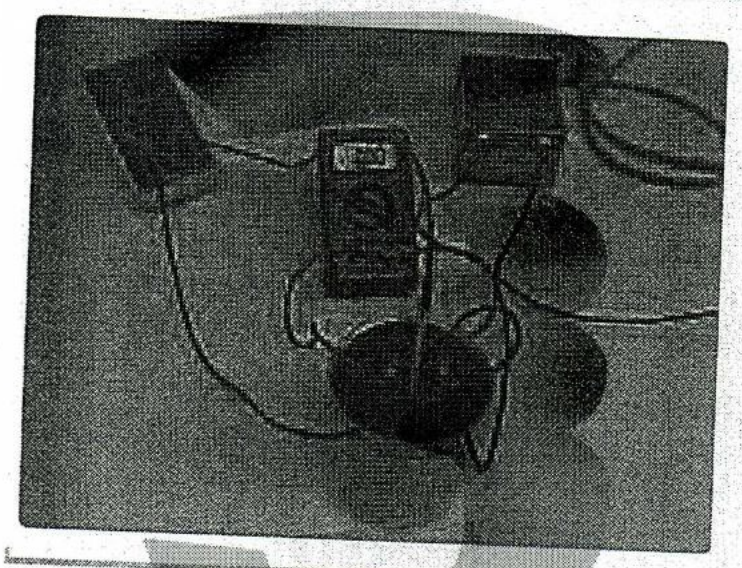
لامپ رشته‌ای ← سیم تنگستن ← فلز ← داغ شود ← R زیاد

لامپ LED ← دیود نورگسیل ← تیم رسانا ← داغ نشود ← R کم

دانلود از پیک پادرس

عقیل اسکندری

فعالیت ۲ـ۷



قانون ژول بیان می‌دارد گرمای تولید شده توسط جریان I ای عبوری از یک مقاومت R در مدت زمان t برابر با RI^2t است. این قانون را می‌توان به روش گرماسنجی با یک گرماسنج که در فیزیک دهم با آن آشنا شدید تحقیق کرد. اسباب این آزمایش در شکل نشان داده شده است. دربارهٔ چگونگی این آزمایش تحقیق کنید.

این فعالیت آزمایشی را می خواهد که فرمول RI^2t را در آزمایش ثابت کنیم.

$$Q = W$$

$$mc\Delta\theta = RI^2t$$

(آب درون گرماسنج) (گرمای ویژه آب) (تغییر دمای آب) = (توان گرمکن) × (زمان)

اگر طرف چپ و راست این معادله مساوی شد قانون ژول صدق کرده است. در مورد توان باید متوجه باشیم یا کارخانه آن را مستقیم می دهد و یا با استفاده از اُهم متر قبل از روشن کردن دستگاه R را می خوانیم و بعد از شروع آزمایش جریان را با آمپرسنج بدست می آوریم و یا $\frac{V^2}{R}t$ ← ولت سنج / ← اهم سنج

یادآوری

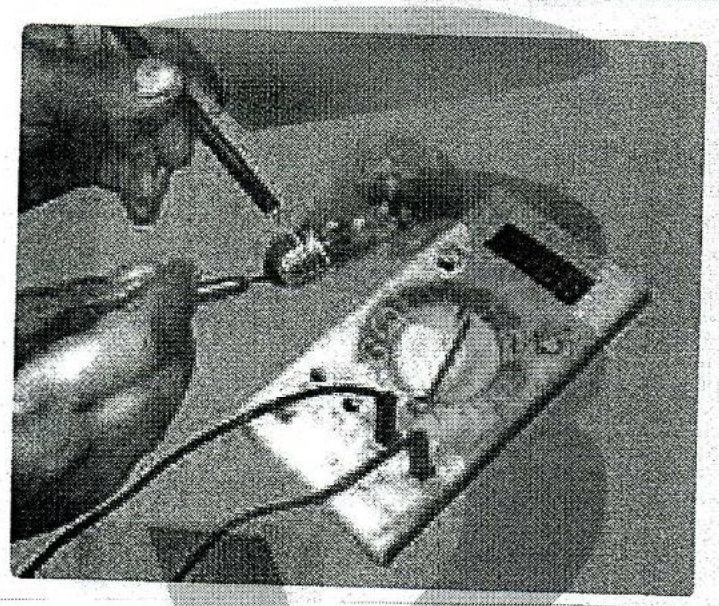
ولت سنج ← موازی (مقاومت درونی بسیار زیاد)

آمپرسنج ← متوالی (مقاومت درونی ناچیز)

اُهم سنج ← هنگام خاموش بودن وسیله

دانلود از اپلیکیشن پادرس

فعالیت ۲ـ۸



الف) همانند شکل با یک اهم‌متر، مقاومت رشتهٔ سیم داخل لامپ ۱۰۰واتی را اندازه‌گیری کنید. سپس با استفاده از رابطهٔ ۲ـ۱۰ و با داشتن مشخصات روی لامپ، مقاومت آن را در حالت روشن محاسبه کنید. نتیجهٔ محاسبه را با مقدار اندازه‌گیری‌شده مقایسه کنید و نتیجه را پس از گفت‌وگوی گروهی گزارش دهید.

ب) اکنون با استفاده از نتیجهٔ به‌دست آمده، دمای رشتهٔ سیم داخل لامپ را در حال روشن برآورد کنید (رشتهٔ سیم لامپ از جنس تنگستن و ضریب دمایی مقاومت ویژهٔ آن $۴/۵\times۱۰^{-۳}\,^{\circ}C^{-۱}$ است[۱]).

هدف: طراحی آزمایشی که دمای سیم (فیلمان) لامپ حبابی (التهابی) هنگام روشن بودن محاسبه شود.

$$R = R_۰(۱ + \alpha \Delta\theta)$$

$R_۰$ (توسط اهم‌متر درهنگام خاموش بودن لامپ)

α (ضریب دمائی، ازجدول استخراج می‌شود)

R (وقتی لامپ روشن باشد $V = RI$ عدد آمپرسنج، عدد ولت‌سنج)

$$\Delta\theta = \theta - \theta_۰$$

مجهول = عددگذاری در فرمول $- ۲۰^{\circ}C$ (دمای معیار)

ولتاژ $V = RI = \mathcal{E} - rI$

توان $VI = RI^۲ = \mathcal{E}I - rI^۲$

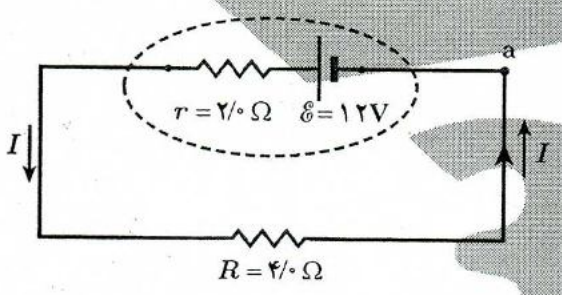
انرژی $VIt = RI^۲t = \mathcal{E}It - rI^۲t$

I ↓ t ↓

تلف (اُفت) (هدر) = کل (تولیدی) − مصرفی = مفید

دانلود از اپلیکیشن پادرس

مثال ۲ــ۹



برای مدار نشان داده شده در شکل : الف) توان خروجی باتری و ب) توان مصرفی در مقاومت را محاسبه کنید.

پاسخ : الف) نخست، جریان را با استفاده از قاعدهٔ حلقه به دست می‌آوریم :

$$V_a + \mathcal{E} - Ir - IR = V_a \implies I = \frac{\mathcal{E}}{R+r} = \frac{۱۲\text{V}}{۴/۰\Omega + ۲/۰\Omega} = ۲/۰\text{A}$$

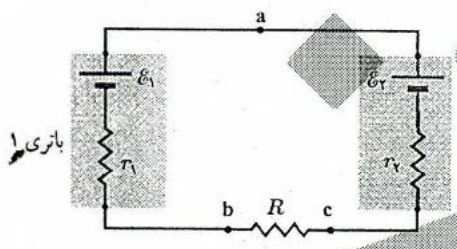
اکنون توان الکتریکی خروجی از باتری با استفاده از رابطهٔ **۲ــ۱۱** چنین می‌شود :

$$P_{\text{خروجی}} = \mathcal{E}I - rI^۲ = (۱۲\text{V})(۲/۰\text{A}) - (۲/۰\Omega)(۲/۰\text{A})^۲ = ۱۶\text{W}$$

ب) با استفاده از پایستگی انرژی بدیهی است که توان الکتریکی مصرفی در مقاومت ۴ اهمی برابر با توان خروجی باتری، یعنی ۱۶W می‌شود. با این حال، این را می‌توانیم به‌طور مستقیم نیز نشان دهیم :

$$P_{\text{مصرفی}} = RI^۲ = (۴/۰\Omega)(۲/۰\text{A})^۲ = ۱۶\text{W}$$

مثال ۲ــ۱۰



در مثال **۲ــ۷** توان هریک از اجزای مدار را محاسبه کنید.

پاسخ : توان مصرفی در مقاومت $R = ۸/۵\Omega$ با استفاده از رابطهٔ **۲ــ۹** چنین می‌شود :

$$P_{\text{مصرفی}} = RI^۲ = (۸/۵\Omega)(۰/۵۰\text{A})^۲ = ۲/۱\text{W}$$

که در آن از $I = ۰/۵۰\text{A}$ استفاده کرده‌ایم.

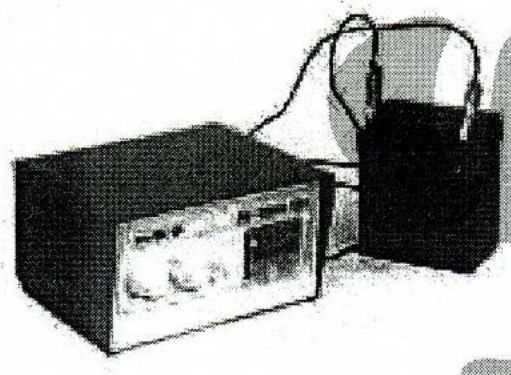
توان خروجی باتری ۱ را با استفاده از رابطهٔ **۲ــ۱۱** محاسبه می‌کنیم :

$$P_{\text{خروجی}} = \mathcal{E}_۱I - r_۱I^۲ = (۸/۰\text{V})(۰/۵۰\text{A}) - (۲/۰\Omega)(۰/۵۰\text{A})^۲ = ۳/۵\text{W}$$

اما توان باتری ۲ از رابطهٔ **۲ــ۱۱** به‌دست نمی‌آید؛ زیرا همان‌طور که دیدیم اختلاف پتانسیل دوسر باتری ۲ از رابطهٔ $V_a - V_c = \mathcal{E}_۲ + Ir_۲$ به‌دست می‌آید. اما طبق تعریف این کتاب، برای استفاده از رابطهٔ **۲ــ۸** ($P = I\Delta V$)، باید اختلاف پتانسیل $V_c - V_a$ را درنظر بگیریم که $-(\mathcal{E}_۲ + Ir_۲)$ می‌شود. بنابراین، مقدار (قدرمطلق) توان ورودی به باتری ۲ چنین می‌شود :

$$P_{\text{ورودی}} = |P| = |I\Delta V| = I(\mathcal{E}_۲ + Ir_۲) = \mathcal{E}_۲I + r_۲I^۲$$

$$= (۲/۰\text{V})(۰/۵۰\text{A}) + (۱/۵\Omega)(۰/۵۰\text{A})^۲ = ۱/۴\text{W}$$



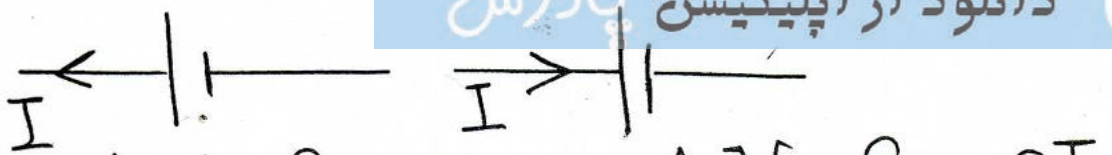
این‌که باتری ۲ انرژی مصرفی خود را از باتری ۱ تأمین می‌کند، همان اتفاقی است که هنگام اتصال یک باتری به شارژکننده روی می‌دهد. شارژکننده به باتری انرژی الکتریکی می‌دهد. بخشی از این انرژی به انرژی شیمیایی تبدیل می‌شود و بقیهٔ آن در مقاومت درون باتری تلف می‌شود و باتری را گرم می‌کند.

همان‌طور که انتظار داریم این نتیجه همچنین با پایستگی انرژی سازگار است :

توان خروجی باتری ۱ = توان ورودی باتری ۲ + توان مصرفی مقاومت R

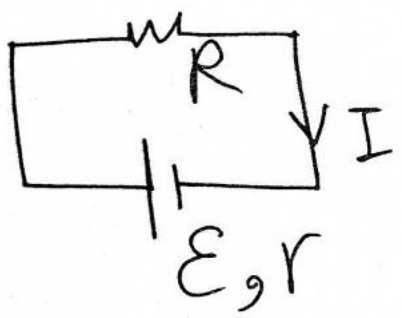
۲/۱W + ۱/۴W = ۳/۵W

دانلود از اپلیکیشن پادرس



تمرین ۲ـ۴

با توجه به قانون ژول (فعالیت ۲ـ۷) و تعریف نیروی محرکهٔ الکتریکی، برای یک حلقهٔ ساده، شامل یک باتری و یک مقاومت نشان دهید که قاعدهٔ حلقه یا قانون ولتاژها چیزی جز پایستگی انرژی نیست.



$$-RI+\mathcal{E}-rI=0$$

$$-RI^2t+\mathcal{E}It-rI^2t=0$$

$$\mathcal{E}q=RI^2t+rI^2t$$

انرژی کل (ورودی) = انرژی مفید + انرژی هدر رفته

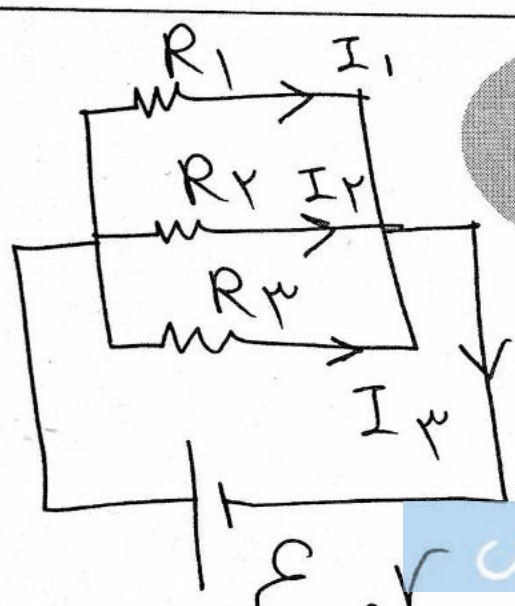
مقاومت‌های متوالی

$$I_1=I_2=I_3=I_t$$

$$V_1+V_2+V_3=V_t$$

$$R_1I+R_2I+R_3I=R_tI$$

$$R_1+R_2+R_3=R_t$$



مقاومت‌های موازی

$$V_1=V_2=V_3=V_t$$

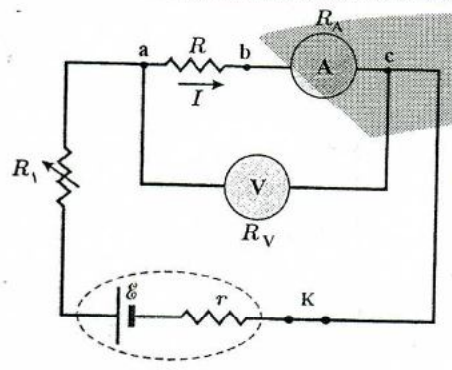
$$I_1+I_2+I_3=I_t$$

$$\frac{V}{R_1}+\frac{V}{R_2}+\frac{V}{R_3}=\frac{V}{R_t}$$

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

دانلود از اپلیکیشن پادرس

مثال ۲ـ۱۱



شکل روبه‌رو مداری را برای اندازه‌گیری مقاومت مجهول R نشان می‌دهد. فرض کنید در این مدار ولت‌سنج ۲۴/۰ V و آمپرسنج ۰/۲۰۰ A را نشان دهد. مقاومت ولت‌سنج $R_V = ۱/۰۰\times۱۰^{۴}\Omega$ و مقاومت آمپرسنج $R_A = ۱/۰۰\Omega$ است. مقاومت R را به‌دست آورید.

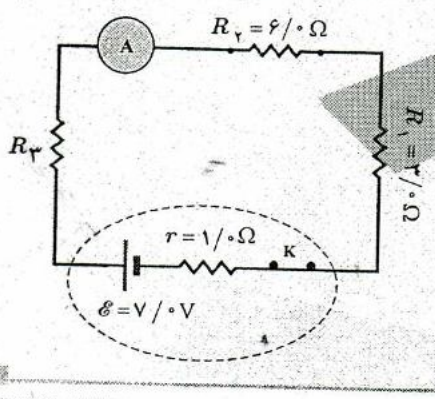
پاسخ : مقاومت‌های R و R_A به‌طور متوالی به هم بسته شده‌اند و اختلاف پتانسیل دوسر آنها برابر با ۲۴/۰ V است. با توجه به اینکه آمپرسنج جریان ۰/۲۰۰ A را نشان می‌دهد و به‌طور متوالی به مقاومت R بسته شده است، جریان عبوری از این دو مقاومت نیز برابر ۰/۲۰۰ A است :

$$R_{eq} = \frac{V}{I} = \frac{۲۴/۰\text{V}}{۰/۲۰۰\text{A}} = ۱۲۰\Omega$$

با توجه به اینکه $R_{eq} = R + R_A$ و $R_A = ۱/۰۰\Omega$ است مقاومت مجهول برابر با $R = ۱۱۹\Omega$ می‌شود.

مقاومت یک ولت‌سنج باید خیلی بزرگ باشد تا قرار گرفتن آن در مدار، ولتاژ اجزای مدار را به‌طور محسوسی تغییر ندهد. همچنین مقاومت یک آمپرسنج باید خیلی ناچیز باشد تا قرار گرفتن آن در مدار به‌طور محسوسی جریان اجزای مدار را تغییر ندهد. همان‌طور که در مثال بالا ملاحظه شد، مقاومت‌های آمپرسنج و ولت‌سنج این ویژگی‌ها را دارند.

تمرین ۲ـ۵



در شکل روبه‌رو، سه مقاومت به همراه یک آمپرسنج به‌صورت متوالی به یک باتری وصل شده‌اند و مقاومت آمپرسنج صفر است (آمپرسنج آرمانی). اگر مقاومت معادل مقاومت‌های $R_۱$، $R_۲$ و $R_۳$ برابر با ۱۳/۰Ω باشد : الف) مقاومت $R_۳$ چقدر است؟ ب) جریانی را که آمپرسنج نشان می‌دهد به‌دست آورید. پ) نشان دهید توان خروجی باتری با مجموع توان‌های مصرفی مقاومت‌های $R_۱$ ، $R_۲$ و $R_۳$ در مدار برابر است.

(الف) $R_t = R_۱ + R_۲ + R_۳ \longrightarrow R_۳ = ۱۳ - ۹ = ۴\Omega$

(ب) $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} = \frac{V}{۱۳ + ۱} = ۰/۵\ A$

(پ) $P = RI^{۲} \longrightarrow P_۱ = ۳(۰/۵)^{۲} = ۰/۷۵$

$P_۲ = ۶(۰/۵)^{۲} = ۱/۵$

$P_۳ = ۴(۰/۵)^{۲} = ۱$

$P_{مولد} = \mathcal{E}I - rI^{۲}$

$P = ۷(۰/۵) - ۱(۰/۵)^{۲}$

$P_{کل} = ۳/۲۵ = ۳/۲۵$

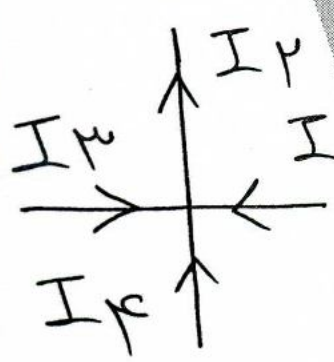
دانلود از اپلیکیشن پادرس

قاعدهٔ گره یا انشعاب: در هر گره یا انشعاب

جمع جریان های خروجی = جمع جریان های ورودی

قاعدهٔ انشعاب ← قانون پایستگی بار

مثال



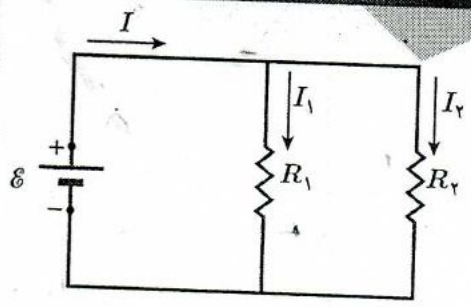
$I_{۳}+I_{۴}+I_{۱}=I_{۲}$

$I_{\text{ورود}} = I_{\text{خروج}}$

$\frac{q}{t}_{\text{ورود}} = \frac{q}{t}_{\text{خروج}}$

$q_{\text{ورود}} = q_{\text{خروج}}$

مثال ۲ـ۱۲*



در شکل روبه‌رو، یک باتری آرمانی اختلاف پتانسیل $\mathscr{E}=۱۲\,V$ را به دو سر مقاومت‌های $R_۱=۴/۰\,\Omega$ و $R_۲=۶/۰\,\Omega$ اعمال می‌کند. الف) جریان عبوری از هر مقاومت و ب) جریانی که از باتری می‌گذرد چقدر است؟

پاسخ: مطابق شکل جریان عبوری از باتری، مقاومت $R_۱$، و مقاومت $R_۲$ را به ترتیب با I، $I_۱$ و $I_۲$ نشان داده‌ایم.

الف) بدیهی است که اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت‌های $R_۱$ و $R_۲$ برابر با اختلاف پتانسیل باتری است. بنابراین داریم:

$$V_۱ = \mathscr{E} = I_۱R_۱ \Rightarrow I_۱ = \frac{\mathscr{E}}{R_۱} = \frac{۱۲\,V}{۴/۰\,\Omega} = ۳/۰\,A$$

$$V_۲ = \mathscr{E} = I_۲R_۲ \Rightarrow I_۲ = \frac{\mathscr{E}}{R_۲} = \frac{۱۲\,V}{۶/۰\,\Omega} = ۲/۰\,A$$

ب) اکنون با استفاده از قاعدهٔ انشعاب، جریان عبوری از باتری را می‌یابیم:

$$I = I_۱ + I_۲ = ۳/۰\,A + ۲/۰\,A = ۵/۰\,A$$

$R_۱=۴$ $R_۲=۴$ $R_۳=۴$

$R_t = nR = ۳\times۴ = ۱۲ > R_۱$

دانلود از اپلیکیشن پادرس

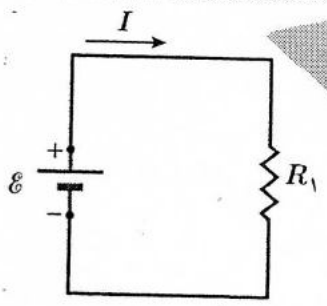
R۱ R۲ R۳

$R_t = \frac{R}{n} = \frac{۴}{۳} < R_۱$

نکته

مثال ۲ـ۱۳

مدار سادهٔ شکل روبه‌رو را که شامل یک منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی آرمانی با $\mathcal{E}=۱۵۰\,V$ و یک مقاومت با $R_۱=۱۰۰\,k\Omega$ است، در نظر بگیرید.

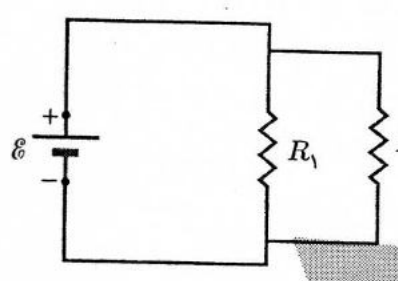


الف) جریان عبوری از منبع را به‌دست آورید.

ب) اگر مقاومت $R_۲=۱۰/۰\,M\Omega$ به‌طور موازی به دو سر مقاومت $R_۱$ متصل شود، مقاومت معادل مدار چقدر می‌شود و چه جریانی از منبع می‌گذرد؟

پاسخ : الف) با استفاده از تعریف مقاومت داریم :

$$I=\frac{\mathcal{E}}{R_۱}=\frac{۱۵۰\,V}{۱۰۰\times۱۰^{۳}\,\Omega}=۱/۵۰\times۱۰^{-۳}\,A=۱/۵۰\,mA$$



ب) با استفاده از رابطهٔ ۲ـ۱۳ داریم :

$$\frac{۱}{R_{eq}}=\frac{۱}{R_۱}+\frac{۱}{R_۲}$$

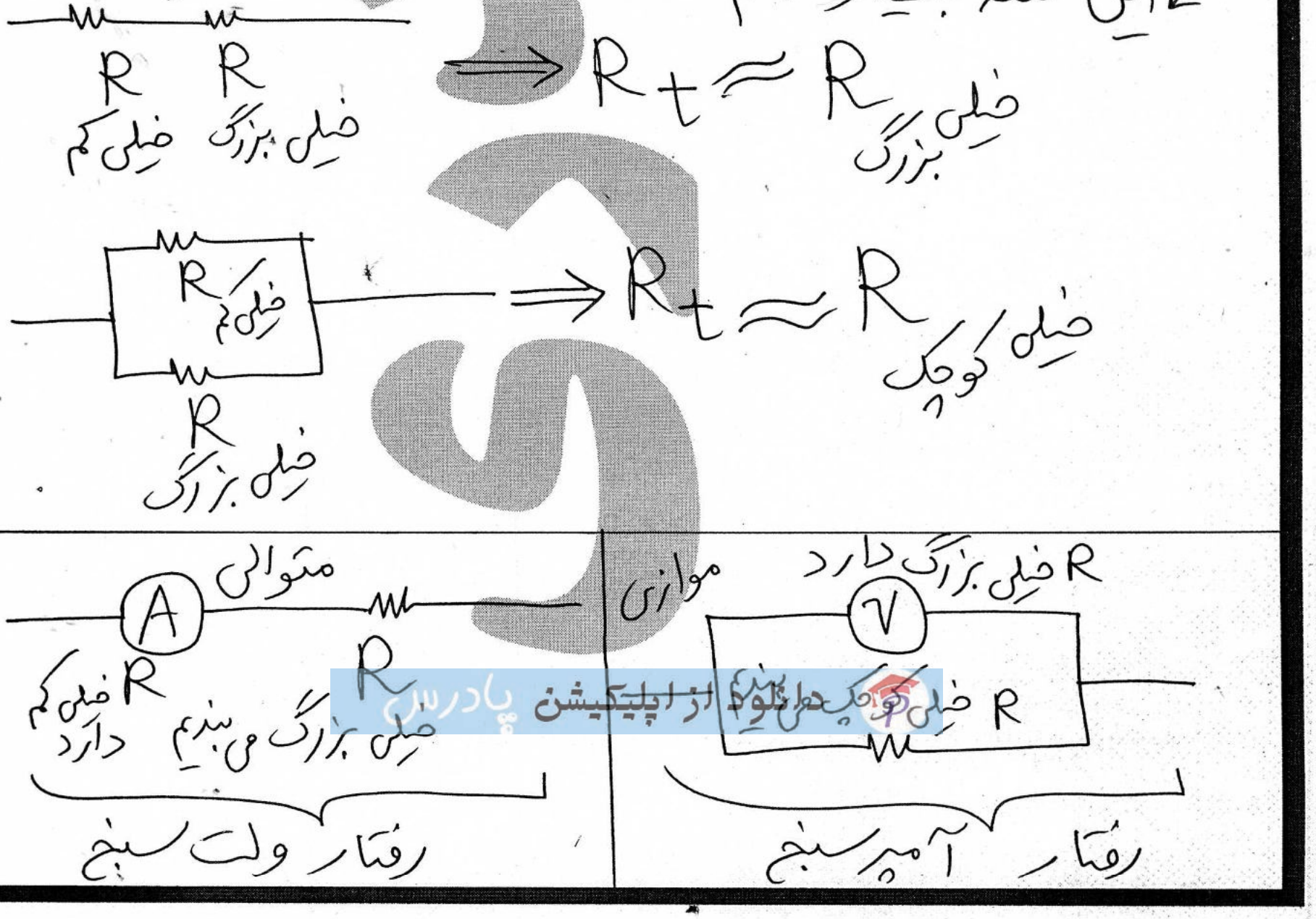
در نتیجه

$$R_{eq}=\frac{R_۱R_۲}{R_۱+R_۲}=\frac{(۱۰۰\times۱۰^{۷}\,\Omega)(۱۰/۰\times۱۰^{۶}\,\Omega)}{۱۰۰\times۱۰^{۷}\,\Omega+۱۰۰\times۱۰^{۶}\,\Omega}=۹۹/۰\,k\Omega$$

و بنابراین، جریان عبوری از منبع برابر است با

$$I=\frac{\mathcal{E}}{R_{eq}}=\frac{۱۵۰\,V}{۹/۹۰\times۱۰^{۴}\,\Omega}=۱/۵۲\times۱۰^{-۳}\,A=۱/۵۲\,mA$$

همان‌طور که می‌بینید، مقاومت معادل در این حالت که یکی از مقاومت‌ها خیلی بزرگ‌تر از مقاومت دیگر است ($R_۲>>R_۱$) تقریباً برابر با مقاومت کوچک‌تر ($R_۱$) است.



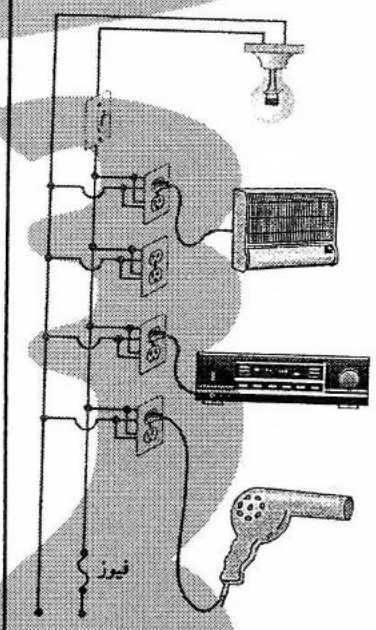
پادرس

مثال ۲ـ۱۴

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 ۲ـ۱۳ 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 $R_{\text{eq}} = ۱۰/۷۵\,\Omega \simeq ۱۰/۸\,\Omega$. بنابراین، توان مصرفی مقاومت معادل چنین می‌شود :

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

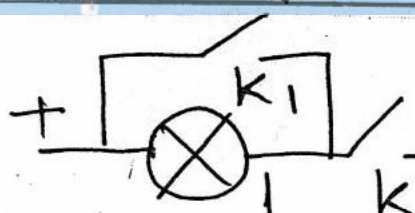
اکنون می‌خواهیم این نتیجه را با مجموع توان‌های هریک از مصرف‌کننده‌ها مقایسه کنیم.

مجموع توان مصرف‌کننده‌ها برابر است با :

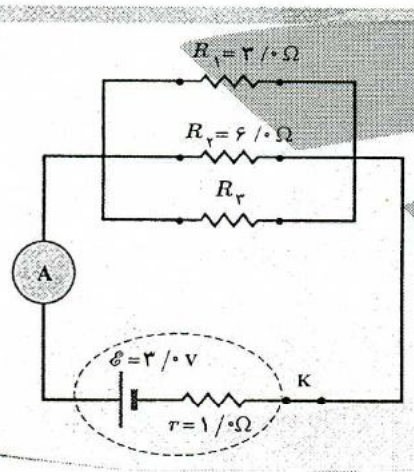
$$P_{\text{کل}} = P_{\text{لامپ}} + P_{\text{بخاری}} + P_{\text{پخش}} + P_{\text{سشوار}} = ۱۰۰\text{W} + ۲۰۰۰\text{W} + ۲۰۰\text{W} + ۲۲۰۰\text{W} = ۴۵۰۰\text{W}$$

که همان توان مصرفی مقاومت معادل است.

دانلود از اپلیکیشن پادرس



تمرین ۲ـ۶



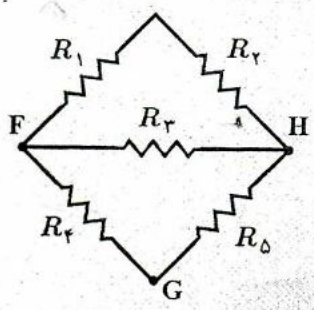
در شکل روبه‌رو سه مقاومت موازی به همراه یک آمپرسنج آرمانی به دو سر یک باتری وصل شده‌اند. اگر مقاومت معادل این ترکیب ۱/۶Ω باشد، الف) مقاومت R_3 چقدر است؟ ب) جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد را به‌دست آورید. پ) نشان دهید توان خروجی باتری با مجموع توان‌های مصرفی مقاومت‌های R_1 ، R_2 و R_3 برابر است.

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \rightarrow \frac{1}{1,6} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{R_3}$$

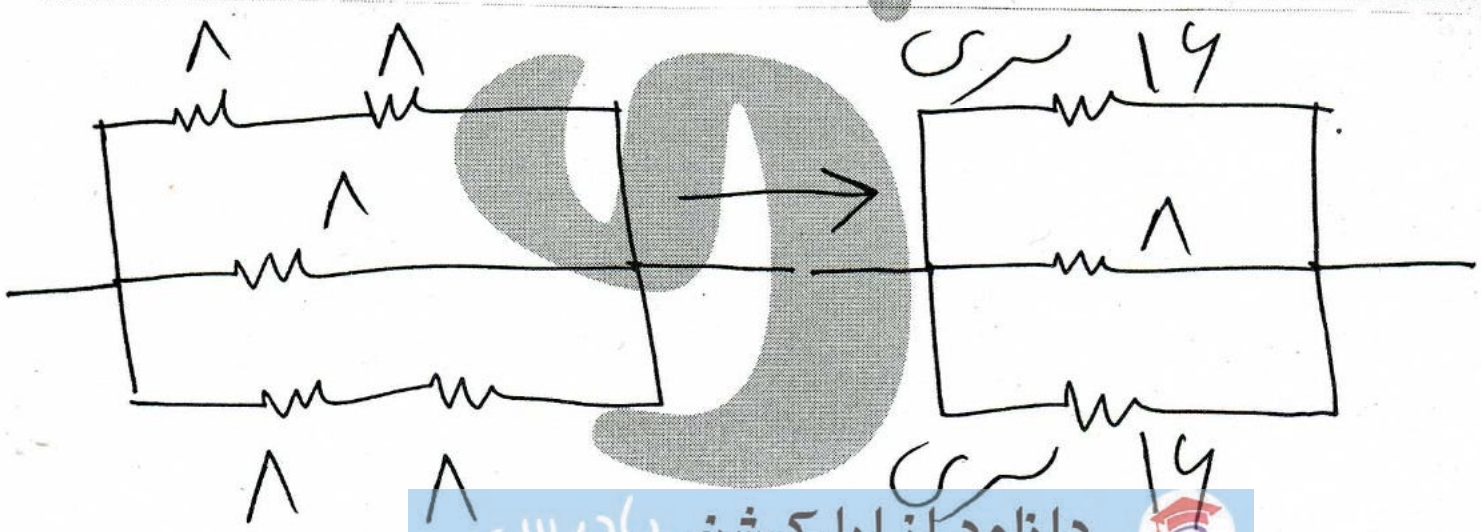
$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{8} \rightarrow R_3 = 8\,\Omega$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_t + r} \rightarrow I = \frac{3}{1,6 + 1} = 1,15\,A$$

تمرین ۲ـ۷



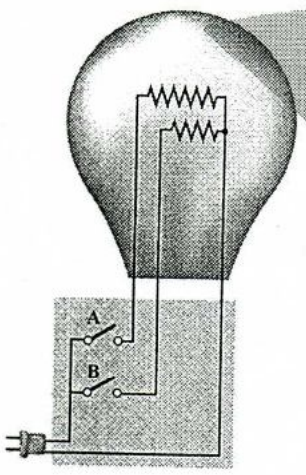
شکل روبه‌رو پنج مقاومت ۸/۰۰ اهمی را نشان می‌دهد.
الف) مقاومت معادل بین نقطه‌های F و H چقدر است؟
ب) مقاومت معادل بین نقطه‌های F و G چقدر است؟



$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{16} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} \rightarrow R_t = 4$$

دانلود از اپلیکیشن پادرس

مثال ۲ـ۱۵



یک لامپ سه‌راههٔ ۲۲۰V که دو رشته دارد مطابق شکل برای کار در سه توان مختلف ساخته شده است. کمترین و بیشترین توان مصرفی این لامپ به ترتیب ۵۰/۰W و ۱۵۰W است. مقاومت هریک از رشته‌ها را بیابید.

پاسخ : همان‌طور که می‌دانیم توان الکتریکی مصرفی از رابطهٔ $P = V^2/R$ به‌دست می‌آید. بنابراین، بیشترین توان مربوط به کمترین مقاومت و کمترین توان مربوط به بیشترین مقاومت است. در بستن موازی مقاومت‌ها دیدیم مقاومت معادل کوچک‌تر از هریک از مقاومت‌هاست. بنابراین، بیشترین توان مربوط به وقتی است که کلیدهای a و b هردو بسته‌اند؛ یعنی :

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

که در آن R_1 و R_2 مقاومت‌های دو رشتهٔ لامپ‌اند. بنابراین، برای مقاومت معادل داریم :

$$R_{eq} = R_{min} = \frac{V^2}{P_{max}} = \frac{(220V)^2}{150W} = 323\Omega$$

از طرفی کمترین توان مربوط به وقتی است که کلید مربوط به رشتهٔ با مقاومت بیشتر بسته شده است. اگر این مقاومت را با R_1 نمایش دهیم، داریم :

$$R_1 = R_{max} = \frac{V^2}{P_{min}} = \frac{(220V)^2}{50/0W} = 968\Omega$$

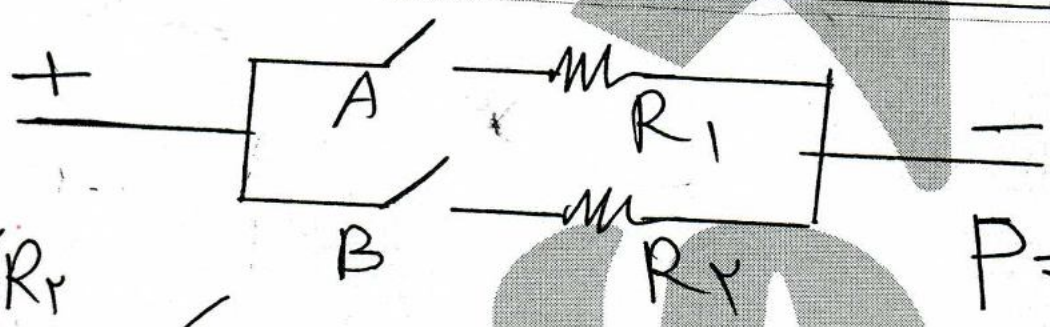
بنابراین، مقاومت مجهول R_2 از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_{eq}} - \frac{1}{R_1} = \frac{1}{323\Omega} - \frac{1}{968\Omega} = 2/06\times10^{-3}\Omega^{-1}$$

$$R_2 = \frac{1}{2/06\times10^{-3}\Omega^{-1}} = 485\Omega$$

در نتیجه

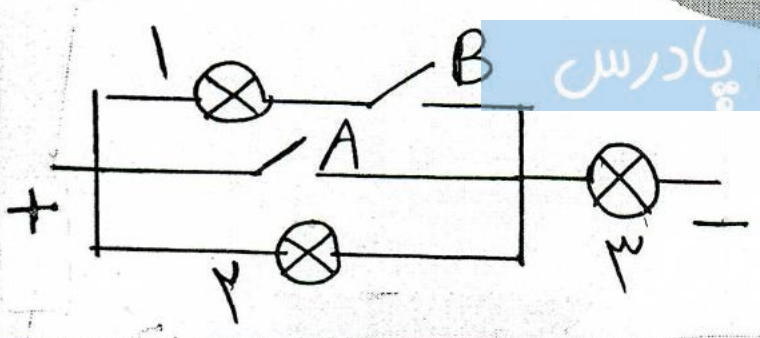
مهمترین نکته این مثال ↓



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

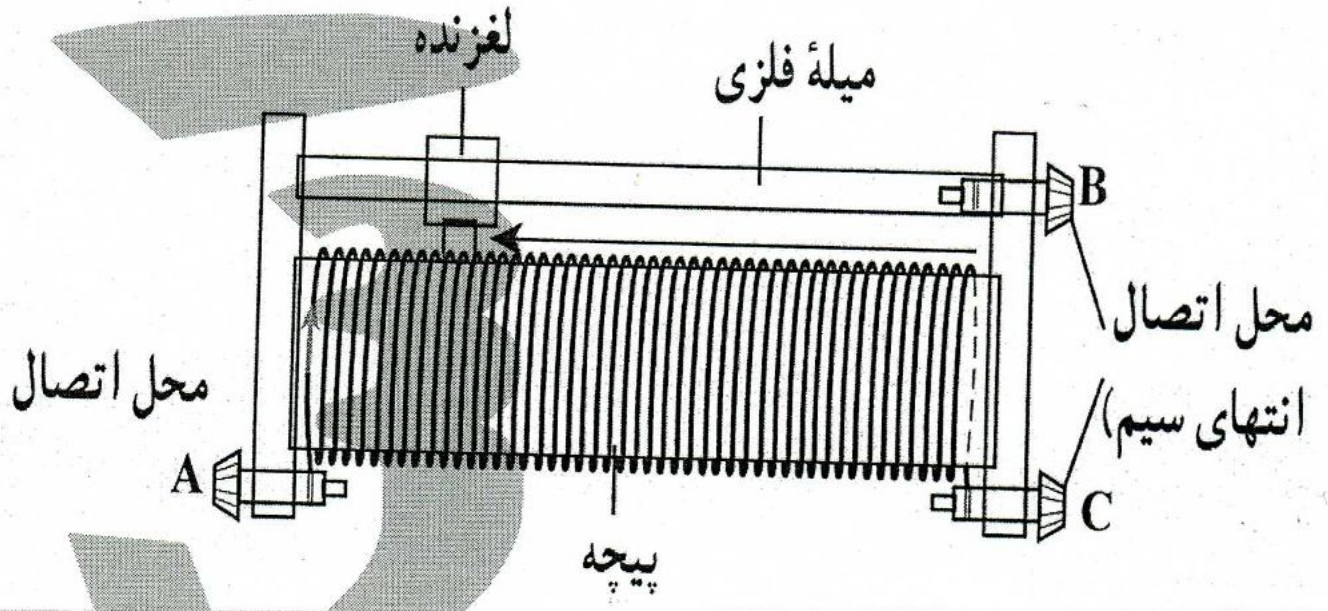
بسته A و B ⇒ $R_t = min$ ⇒ $P_t = max$

(R_2 و R_1 وقتی دو مقاومت موازی هستند R_t کمتر از)



A	B	1	2	3
باز	باز	خاموش	خاموش	خاموش
باز	بسته	روشن	روشن	روشن
بسته	باز	خاموش	خاموش	روشن
بسته	بسته	خاموش	خاموش	روشن

دانلود از اپلیکیشن پادرس

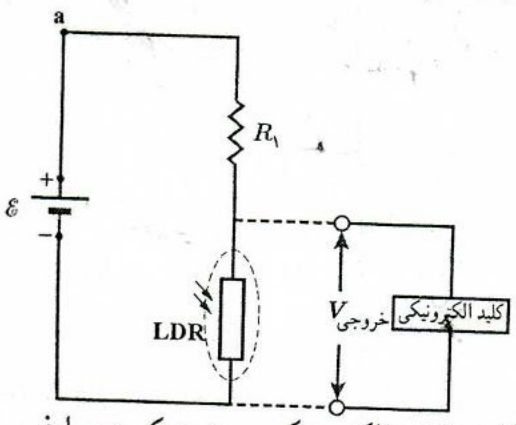


توجه: هنگام آزمایش در شروع باید مقاومت رئوستا روی بیشینه باشد تا کمترین جریان از مدار بگذرد و دستگاه آسیب نبیند

در طرح بالا اگر A و C در مدار متصل شوند ← لغزنده بی تأثیر

اگر A و B متصل و لغزنده به راست برود ← مقاومت زیاد

اگر B و C متصل و لغزنده به راست برود ← مقاومت کم



در بسیاری از مدارهای الکتریکی از تغییر مقاومت برای تقسیم ولتاژ استفاده می‌کنند. از این ویژگی در برخی از تجهیزات الکتریکی به‌عنوان کلید الکترونیکی بهره‌برداری می‌شود. آژیر خطر، کلید خودکار روشن شدن چراغ‌ها و ... مثال‌هایی از این دست هستند. شکل روبه‌رو چنین مداری را که در چراغ روشنایی خودروها به‌کار می‌رود، نشان می‌دهد. در این مدار از دو مقاومت R_1 و مقاومت متغیر LDR استفاده شده است که به‌طور متوالی به هم وصل‌اند. همان‌طور که می‌دانیم وقتی تابش نور به LDR قطع می‌شود، مقاومت آن افزایش می‌یابد. در نتیجه ولتاژ خروجی ($V_{\text{خروجی}}$) زیاد می‌شود. این افزایش ولتاژ سبب فعال شدن کلید الکترونیکی می‌شود که به چراغ وصل است و بدین ترتیب چراغ روشن می‌شود. بنابراین تا زمانی که نور به اندازه کافی بتابد، کلید فعال نمی‌شود. فرض کنید در شکل بالا، منبع نیروی محرکه، آرمانی و ولتاژ آن ۱۲/۰V باشد و ولتاژ موردنیاز برای فعال شدن کلید الکترونیکی ۵/۰۰V باشد. وقتی مقاومت LDR به ۲۰۰kΩ می‌رسد، کلید الکترونیکی فعال می‌شود. مقاومت R_1 چقدر است؟ (مقاومت کلید الکترونیکی آنقدر زیاد است که جریان قابل ملاحظه‌ای از آن عبور نمی‌کند. بنابراین می‌توانیم R_1 و LDR را متوالی در نظر بگیریم.)

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_{LDR}} \qquad V_{\text{خروجی}} = R_{LDR} I = R_{LDR}\left(\frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_{LDR}}\right)$$

$$R_1 = \frac{R_{LDR}\left(\mathcal{E} - V_{\text{خروجی}}\right)}{V_{\text{خروجی}}} = \frac{۲۰۰\,k\Omega\,(۱۲-۵)}{۵} = ۲۸۰\,k\Omega$$

دانلود از اپلیکیشن پادرس