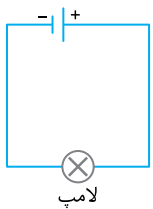
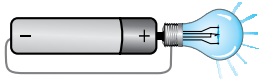


جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم



یکی از بازی‌های دوران نوجوانی ما این بود که یک باتری، یک لامپ کوچک و یک سیم نازک می‌خریدیم و یک سر سیم را به سربیش لامپ متصل می‌کردیم، ته لامپ را به برجستگی قطب مثبت باتری می‌چسباندیم و سر دیگر سیم را به ته باتری وصل کرده و از روشن شدن لامپ لذت می‌بردیم (آن موقع پلی‌استیشن و بازی‌های کامپیوتری نبود!).

در واقع ما یک مدار ساده درست می‌کردیم که اگر بخواهیم آن را با نمادهای مداری رسم کنیم شکل روبه‌رو خواهد شد.

اما در یک مدار ساده الکتریکی چه کمیت‌هایی اندازه‌گیری می‌شود؟

۱- جریان الکتریکی

۲- مقاومت الکتریکی

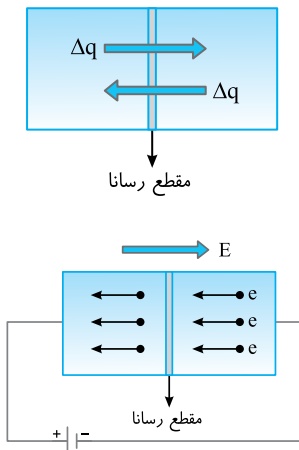
۳- اختلاف پتانسیل (ولتاژ)

در ادامه به معرفی و بررسی این سه کمیت می‌پردازیم.

جریان الکتریکی

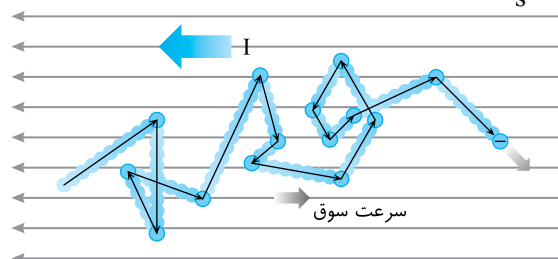
یک قطعه رسانا را در نظر بگیرید. یکی از ویژگی‌های رساناها داشتن بار الکتریکی آزاد است. حرکت این بارهای آزاد کاتوره‌ای بوده و در هر طرف در حال حرکت هستند. از این رو اگر یک مقطع دلخواه از رسانا را در نظر بگیریم (مطابق شکل) بار شارش شده از دو سوی این مقطع برابر بوده و بار خالصی از مقطع رسانا نمی‌گذرد، بنابراین جریان رسانا صفر است.

برای ایجاد جریان در رسانا باید به آن یک میدان الکتریکی اعمال کنیم (مثلاً آن را به یک باتری وصل کنیم، در این صورت الکترون‌ها تحت تأثیر میدان $(F = qE)$ شروع به حرکت در یک جهت می‌کنند و جریان برق را هدایت می‌کنند. الکترون تحت تأثیر میدان دارای انرژی جنبشی می‌شود و در اثر برخورد با مولکول‌های رسانا متوقف شده انرژی خود را از دست می‌دهد (گرما تولید می‌شود)، اما مجدداً تحت تأثیر میدان، شروع به حرکت می‌کند و تکرار این پدیده باعث رسانش جریان و تولید گرما می‌شود.



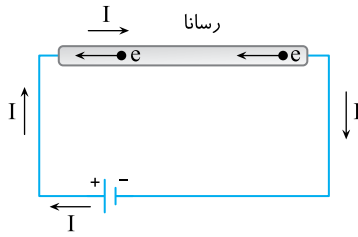
این برخوردهای متوالی سبب می‌گردد که الکترون‌ها با یک سرعت متوسط به آرامی در خلاف جهت میدان درون رسانا شارش کنند که این

سرعت را سرعت سوق می‌گویند و حدود $1 \frac{mm}{s}$ است.



پرسش: سرعت سوق حدود $1 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$ است، یعنی در یک سیم رسانا به طول ۱ متر زمانی برابر $t = \frac{\Delta x}{v} = \frac{1}{10^{-3}} = 1000 \text{ s}$ طول می کشد تا

یک الکترون از ابتدا به انتهای سیم رسانا برسد. پس چگونه است که سرعت‌های بالا را با سرعت برق مقایسه می کنند؟



پاسخ: با وصل کلید و اتصال رسانا به باتری میدان در لحظه‌ی کوتاهی به تمام رسانا اعمال می شود بنابراین سرعت برق اشاره به سرعت اعمال میدان است نه سرعت حرکت بارها. شارش جریان در مدار مطابق شکل روبه‌رو است. وقتی یک الکترون وارد رسانا می شود. هم‌زمان الکترونی از سر دیگر آن خارج می شود به همین علت با بستن کلید، جریان در مدار برقرار می شود اما الکترون وارد شده به رسانا با سرعت سوق و به آرامی در رسانا حرکت می کند.

تذکر: جهت قراردادی جریان الکتریکی در خلاف جهت شارش الکترون‌هاست.

پرسش: آیا هنگام گذر جریان از رسانا در رسانا بار خالص وجود دارد؟

پاسخ: با توجه به آنچه بیان شد به ازای هر مقدار بار ورودی به رسانا همان مقدار بار از رسانا خارج می شود و بار خالص موجود در رسانا صفر است. اکنون جریان را به صورت زیر تعریف می کنیم:

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

تعریف: آهنگ شارش بار از هر مقطع رسانا را جریان الکتریکی می گویند. جریان الکتریکی متوسط برابر است با:

که در آن جریان بر حسب آمپر (A)، بار الکتریکی شارش شده بر حسب کولن و زمان بر حسب ثانیه است.

پرسش: آیا جریان مدار به سرعت حرکت بارهای رسانا بستگی دارد؟ توضیح دهید.

پاسخ: همان گونه که در تعریف جریان بیان شده است، جریان به مقدار بار الکتریکی شارش شده در یکای زمان بستگی دارد و به سرعت حرکت بار بستگی ندارد.

مسئله ۱: یک لامپ با ولتاژ ۶V کار می کند. وقتی به یک باتری ۶ ولتی بسته می شود از آن جریان ۰/۵A می گذرد.

(الف) بار شارش شده در مدار را در یک دقیقه به دست آورید.

(ب) تعداد الکترون‌های شارش شده در هر دقیقه را بیابید. ($e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

(پ) انرژی‌ای که توسط باتری در مدت یک دقیقه به لامپ داده می شود را حساب کنید.

راه حل: الف) با توجه به تعریف جریان، بار شارش شده از مدار در یک دقیقه برابر است با:

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \Rightarrow \Delta q = I \Delta t \Rightarrow \Delta q = 0.5 \times 60 = 30 \text{ C}$$

(ب) تعداد الکترون‌های شارش شده از هر مقطع خواهد شد:

$$\Delta q = ne \Rightarrow 30 = 1/6 \times 10^{-19} n \Rightarrow n = 18 / 75 \times 10^{+19} \Rightarrow n = 1 / 875 \times 10^{20}$$

(پ) با توجه به تعریف اختلاف پتانسیل بین دو نقطه ($\Delta V = \frac{\Delta U}{q}$)، وقتی بار در مدار خارجی از پایانه‌ی مثبت به پایانه‌ی منفی می رود باتری به اندازه‌ی $\Delta U = q \Delta V$ ، انرژی از دست می دهد و این همان انرژی است که باتری به لامپ داده است.

$$\Delta U = q \Delta V \Rightarrow \Delta U = 30 \times 6 = 180 \text{ J}$$

مسئله ۲: بار الکتریکی شارش شده در یک رسانا نسبت به زمان از رابطه‌ی $q = 0.2 \sin\left(\frac{\pi}{3} t\right)$ پیروی می کند (یکاهای SI). در

بازه‌ی زمانی $t = 0/5 \text{ s}$ تا $t = 1/5 \text{ s}$ ، جریان متوسط گذرنده از رسانا را بیابید.

راه حل: در لحظه‌های $t_1 = 0/5 \text{ s}$ و $t_2 = 1/5 \text{ s}$ بار را به دست می آوریم:

$$t_1 = \frac{1}{5} \text{ s} \Rightarrow q_1 = 0.2 \sin\left(\frac{\pi}{3} \times \frac{1}{5}\right) \Rightarrow q_1 = 0.2 \sin \frac{\pi}{6} \Rightarrow q_1 = 0.1 \text{ C}$$

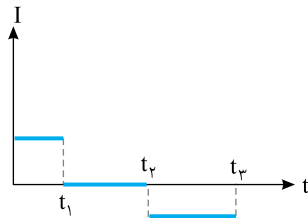
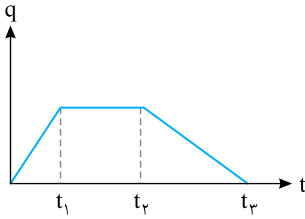
$$t_2 = \frac{2}{5} \text{ s} \Rightarrow q_2 = 0.2 \sin\left(\frac{\pi}{3} \times \frac{2}{5}\right) \Rightarrow q_2 = 0.2 \sin \frac{\pi}{3} \Rightarrow q_2 = 0.2 \text{ C}$$

جریان متوسط خواهد شد:

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \Rightarrow \bar{I} = \frac{0.2 - 0.1}{1/5 - 0/5} \Rightarrow \bar{I} = 0.1 \text{ A}$$

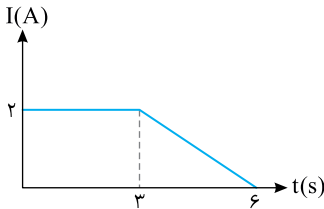
حل دو مسأله‌ی خاص

مسأله ۳ نمودار بار گذرنده از یک رسانا بر حسب زمان مطابق شکل روبه‌رو است، نمودار کیفی جریان رسانا بر حسب زمان را رسم کنید.



راه‌حل: با توجه به رابطه‌ی $\Delta q = I \Delta t$ و مقایسه‌ی آن با تابع درجه‌ی اول $y = ax + b$ مشخص می‌شود که شیب نمودار بار بر حسب زمان برابر جریان است. بنابراین از لحظه‌ی $t = 0$ تا $t = t_1$ که شیب نمودار مثبت و از $t = t_1$ تا $t = t_2$ که شیب نمودار صفر است، جریان صفر و از $t = t_2$ تا $t = t_3$ که شیب نمودار منفی است، جریان مدار منفی است. (تعجب نکنید جریان اگر در خلاف جهت اولیه‌اش در مدار برقرار شود می‌توان آن را با علامت منفی نشان داد.) سرانجام نمودار به شکل روبه‌رو خواهد شد. شیب در ناحیه‌ی t_2 تا t_3 کمتر از t_1 تا t_2 است، از این‌رو جریان کمتر است.

مسأله ۴ نمودار جریان بر حسب زمان یک رسانا مطابق شکل روبه‌رو است. بار الکتریکی شارش شده از هر مقطع رسانا در مدت ۶ s را بیابید.



راه‌حل:

نکته: هرگاه کمیت روی محور عرض‌ها را در کمیت روی محور طول‌ها ضرب کنیم قدر مطلق حاصل برابر مساحت محصور بین نمودار و محور طول‌ها است. با توجه به نکته‌ی بالا سطح محصور بین نمودار $I-t$ با محور زمان برابر بار شارش شده است. از طرفی مساحت ذوزنقه برابر مجموع دو قاعده ضرب در نصف ارتفاع است.

$$\Delta q = S \Rightarrow \Delta q = \frac{6+3}{2} \times 2 \Rightarrow \Delta q = 9 \text{ C}$$

به رابطه‌ی $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ دقت کنید که اگر آن را به صورت $\Delta q = I \Delta t$ بنویسیم و زمان را بر حسب ساعت در آن قرار دهیم یکای فرعی بار الکتریکی، آمپر-ساعت (Ah) به دست می‌آید. از این یکا برای مشخص کردن ظرفیت باتری‌ها استفاده می‌شود در واقع عدد بر حسب آمپر-ساعت روی باتری مشخص می‌کند که حداکثر باری که باتری می‌تواند از مدار بگذراند تا باتری تخلیه شده و آسیب نبیند چه مقدار است.

پرسش: روی باتری خودرویی عدد ۶۰ Ah نوشته شده است. اگر از باتری جریان ۴ A گرفته شود، پس از چه مدتی باتری خالی می‌شود؟
پاسخ: با توجه به رابطه‌ی $\Delta q = I \Delta t$ می‌توان نوشت:

$$60 = 4 \Delta t \Rightarrow \Delta t = 15 \text{ h}$$

مقاومت الکتریکی رسانا

مقاومت الکتریکی رساناهای فلزی به کمک قانون اهم به صورت زیر تعریف می‌شود:

تعریف قانون اهم: نسبت اختلاف پتانسیل دو سر یک رسانا به جریان گذرنده از آن در دمای ثابت مقدار ثابتی است که آن را مقاومت الکتریکی رسانا می‌گویند. یکای مقاومت الکتریکی در SI اهم (Ω) است.

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

پرسش: اگر در دمای ثابت اختلاف پتانسیل دو سر یک رسانا را دو برابر کنیم، مقاومت الکتریکی آن چند برابر می‌شود؟
پاسخ: اگر ولتاژ را دو برابر کنیم جریان گذرنده از رسانا دو برابر می‌شود و مقاومت رسانا تغییر نمی‌کند. در واقع مقاومت رسانا به I و V بستگی ندارد و از ویژگی‌های ساختمانی رسانا است.

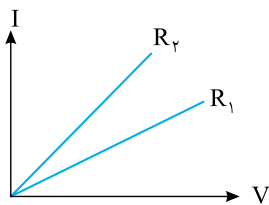
پرسش: آیا جمله‌ی «عامل شارش جریان در هر رسانایی الکترونیکی آزاد هستند» جمله‌ی درستی است؟ با مثال توضیح دهید.

پاسخ: خیر، این جمله در مورد رساناهای فلزی مانند مس، نقره و ... درست است. اگر مقداری نمک خوراکی در آب حل کنیم یون‌های سازنده‌ی نمک Na^+ و Cl^- که در لابه‌لای مولکول‌های آب پراکنده می‌شوند و می‌توانند آزادانه حرکت کنند به آسانی می‌توانند جریان برق را از درون محلول عبور دهند. در این حالت عامل شارش جریان در محلول رسانای آب و نمک یون‌های مثبت و منفی هستند.

پرسش: آیا جمله‌ی «تمام رساناها از قانون اهم پیروی می‌کنند» جمله‌ی درستی است؟

پاسخ: خیر، تنها رساناهای فلزی از قانون اهم پیروی می‌کنند به همین علت به این نوع مقاومت‌ها، مقاومت‌های اهمی نیز می‌گویند. بعضی رساناهای الکترونیکی مانند دیودها که در سال چهارم ریاضی با آنها آشنا خواهید شد از قانون اهم پیروی نمی‌کنند.

بیش‌تر
بدانید

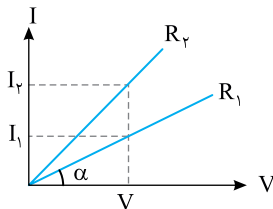


پرسش: در شکل مقابل نمودار شدت جریان عبوری از دو مقاومت بر حسب ولتاژ دو سر آنها رسم شده است.

الف) کدام مقاومت بزرگ‌تر است؟

ب) شیب نمودار معرف چه کمیتی است؟

پاسخ: الف) با توجه به رابطه‌ی $I = \frac{V}{R}$ در یک ولتاژ معین مطابق شکل روبه‌رو خواهیم داشت:



$$I_2 > I_1 \Rightarrow R_2 < R_1 \Rightarrow R_1 \text{ بزرگ‌تر است. } V = \text{ثابت}$$

ب) با توجه به نمودار می‌توان نوشت:

$$\tan \alpha = \frac{I}{V} = \frac{1}{R}$$

بنابراین شیب نمودار $I-V$ با مقاومت نسبت وارون دارد. به وارون مقاومت، رسانایی می‌گویند.

رابطه‌ی مقاومت اهمی با ساختمان آن (عوامل مؤثر بر مقاومت اهمی)

آزمایش نشان می‌دهد که در دمای ثابت:

۱- مقاومت اهمی با طول آن نسبت مستقیم دارد.

۲- مقاومت اهمی با سطح مقطع آن نسبت وارون دارد.

۳- مقاومت اهمی به جنس رسانا بستگی دارد.

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

در این رابطه ρ **مقاومت ویژه** رسانا است. در رساناهای اهمی ρ به جنس رسانا و دمای آن بستگی دارد.

یکای مقاومت ویژه در SI اهم‌متر ($\Omega \cdot m$) است.

در جدول زیر مقاومت ویژه تعدادی از رساناهای فلزی در دمای $20^\circ C$ داده شده است:

$$A = \pi r^2 = \pi \frac{D^2}{4}$$

مقاومت ویژه ρ ($\Omega \cdot m$)	رسانای فلزی
$1/62 \times 10^{-8}$	نقره
$1/69 \times 10^{-8}$	مس
$2/35 \times 10^{-8}$	طلا
$2/75 \times 10^{-8}$	آلومینیم
$5/25 \times 10^{-8}$	تنگستن
$9/68 \times 10^{-8}$	آهن
$10/6 \times 10^{-8}$	پلاتین
100×10^{-8}	نیکروم (۵۹ درصد Ni، ۲۳ درصد Cu و ۱۶ درصد Cr)

در جدول زیر مقاومت ویژه تعدادی از نیم‌رساناها در دمای 20°C داده شده است:

مقاومت ویژه ρ ($\Omega\cdot\text{m}$)	نیم‌رسانا
$3/5 \times 10^{-5}$	کربن
$0/46$	ژرمانیم
$2/5 \times 10^3$	سیلیسیم خالص

مسئله ۵

قطر یک سیم رسانا دو برابر قطر سیم رسانای دیگر است، دو رسانا هم‌جنس بوده و طول اولی نصف طول دومی است. مقدار $\frac{R_2}{R_1}$ را بیابید.

راه‌حل: با توجه به داده‌های مسئله داریم:

$$D_1 = 2D_2, \quad \rho_1 = \rho_2, \quad l_1 = \frac{1}{2}l_2$$

$$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \Rightarrow A = \pi \frac{D^2}{4} \Rightarrow \frac{A_2}{A_1} = \frac{D_2^2}{D_1^2} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$$

$$R = \rho \frac{l}{A} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \frac{l_2}{l_1} \times \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

اکنون رابطه‌ی مقاومت را در دو حالت نوشته و بر هم تقسیم می‌کنیم:

$$\frac{R_2}{R_1} = 1 \times \frac{2l_1}{l_1} \times \left(\frac{2D_2}{D_2}\right)^2 = 1 \times 2 \times 4 = 8$$

داده‌های مسئله را جای‌گذاری می‌کنیم:

تست ۱: یک سیم رسانا را از دستگاهی می‌گذرانیم تا بدون تغییر جرم، قطر سطح مقطعش $\frac{1}{n}$ برابر شود. مقاومت الکتریکی آن چند برابر می‌شود؟

$$n^4 \quad (4) \qquad n^2 \quad (3) \qquad \frac{1}{n} \quad (2) \qquad n \quad (1)$$

پاسخ: سطح مقطع سیم با مجذور قطر آن نسبت مستقیم دارد:

$$D_2 = \frac{1}{n} D_1 \xrightarrow{A = \pi \frac{D^2}{4}} A_2 = \frac{1}{n^2} A_1$$

چون جرم ثابت است، طبق رابطه‌ی چگالی، حجم سیم ثابت مانده است، بنابراین طول آن به نسبت عکس سطح مقطع آن تغییر می‌کند.

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{1}{n^2} \xrightarrow{V_1 = V_2 \Rightarrow A_1 l_1 = A_2 l_2} \frac{A_2}{A_1} = \frac{l_1}{l_2} \Rightarrow l_2 = n^2 l_1$$

در این صورت:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho \frac{l_2}{A_2}}{\rho \frac{l_1}{A_1}} = \frac{A_1}{A_2} \times \frac{l_2}{l_1} = \frac{A_1}{\frac{1}{n^2} A_1} \times \frac{n^2 l_1}{l_1} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = n^4$$

بنابراین گزینه‌ی (۴) درست است.

مسئله ۶

دو سیم رسانا با طول‌های برابر که سطح مقطع اولی دو برابر سطح مقطع دومی است، دارای مقاومت الکتریکی یکسانی هستند، مقدار $\frac{\rho_2}{\rho_1}$ را بیابید.

راه‌حل: در دو حالت رابطه‌ی $R = \rho \frac{l}{A}$ را نوشته و بر هم تقسیم می‌کنیم:

$$\begin{cases} R_2 = \rho_2 \frac{l_2}{A_2} \\ R_1 = \rho_1 \frac{l_1}{A_1} \end{cases} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \frac{l_2}{l_1} \times \frac{A_1}{A_2}$$

اکنون داده‌های مسئله را جای‌گذاری می‌کنیم:

$$1 = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times 1 \times \frac{2}{1} \Rightarrow \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{1}{2}$$

مسئله ۷ یک سیم رسانا به مقاومت R_1 را از دستگاهی می‌گذرانیم تا بدون تغییر جرم، طولش دو برابر شود. مقاومت الکتریکی آن چند برابر می‌شود؟

راه‌حل: حجم سیم تغییر نکرده است:

$$V_1 = V_2 \xrightarrow{V=Al} A_1 l_1 = A_2 l_2 \Rightarrow \frac{A_2}{A_1} = \frac{l_1}{l_2} \xrightarrow{l_2=2l_1} A_2 = \frac{1}{2} A_1$$

با توجه به فرض مسئله خواهیم داشت:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \frac{l_2}{l_1} \times \frac{A_1}{A_2} = \frac{2l_1}{l_1} \times \frac{2A_2}{A_2} = 4$$

نتیجه: هرگاه یک سیم رسانا را از دستگاهی بگذرانیم تا بدون تغییر جرم، طولش n برابر (سطح مقطع آن $\frac{1}{n}$ برابر) شود، آن‌گاه:

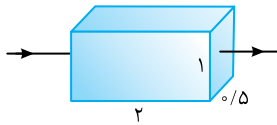
$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{n l_1}{l_1} \times \frac{A_1}{\frac{A_1}{n}} = n^2 \Rightarrow R_2 = n^2 R_1$$

تست ۲: یک قطعه رسانای اهمی به شکل مکعب مستطیل به ابعاد $1\text{cm} \times 2\text{cm} \times 0.5\text{cm}$ را می‌توان به گونه‌ای در مدار قرار داد که جریان از یک وجه وارد و از وجه مقابل آن خارج شود، نسبت بیش‌ترین مقاومت این قطعه به کم‌ترین مقاومت آن کدام است؟

۴ (۴)

 $\frac{1}{4}$ (۳)

۱۶ (۲)

 $\frac{1}{16}$ (۱)


پاسخ: چون مقاومت با طول رابطه‌ی مستقیم و با سطح مقطع رابطه‌ی عکس دارد، بیش‌ترین مقاومت وقتی است که کم‌ترین سطح مقطع و بیش‌ترین طول در مدار قرار گیرد.

$$R_{\max} = \rho \frac{l_{\max}}{A_{\min}} \Rightarrow R_{\max} = \rho \times \frac{2}{1 \times 0.5} = 4\rho$$

کم‌ترین مقاومت وقتی است که بزرگ‌ترین سطح مقطع و کوتاه‌ترین طول در مدار قرار گیرد.

$$R_{\min} = \rho \frac{l_{\min}}{A_{\max}} = \rho \frac{0.5}{1 \times 2} = \frac{1}{4} \rho$$

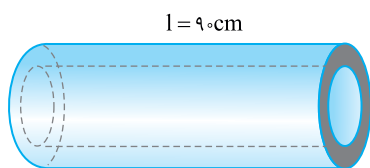
در این صورت:

$$\frac{R_{\max}}{R_{\min}} = \frac{4\rho}{\frac{\rho}{4}} = 16$$

بنابراین گزینه‌ی (۲) درست است.

مسئله ۸ مقاومت یک لوله‌ی تنگستن توخالی به قطر داخلی 2mm و قطر خارجی 4mm و طول 90cm چند اهم است؟ (مقاومت ویژه‌ی تنگستن $\rho = 5/25 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ و $\pi \approx 3$).

راه‌حل: قسمت تیره در شکل سطح مقطع رسانا است که برابر است با:



$$A = \left(\pi \frac{D_{\text{خارجی}}^2}{4} \right) - \left(\pi \frac{D_{\text{داخلی}}^2}{4} \right) = \pi \frac{16}{4} - \pi \frac{4}{4} = 3\pi \text{ mm}^2 = 3\pi \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

مقاومت این لوله‌ی تنگستن را به دست می‌آوریم:

$$R = \rho \frac{l}{A} \Rightarrow R = 5/25 \times 10^{-8} \times \frac{90}{3\pi \times 10^{-6}}$$

$$\Rightarrow R = 5/25 \times 10^{-2} \times \frac{90}{3 \times 3} \Rightarrow R = 5/25 \times 10^{-3} \Omega$$

رابطه‌ی مقاومت الکتریکی رسانا با دما (تغییر مقاومت ویژه با دما)

اگر دمای یک رسانا را افزایش دهیم جنبش اتم‌ها و یون‌های آن زیاد می‌شود. در این صورت احتمال برخورد الکترون‌های حامل جریان با مولکول‌ها افزایش می‌یابد. پس با افزایش دما، مقاومت ویژه رسانا و مقاومت الکتریکی آن افزایش می‌یابد. بنابراین رابطه‌ی مقاومت ویژه رسانای فلزی در یک دمای مشخص با مقاومت ویژه آن در دمای مرجع (ρ_0) به شکل زیر است:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

ρ ← مقاومت ویژه
 ρ_0 ← مقاومت ویژه در دمای مرجع
 α ← ضریب دمایی مقاومت ویژه
 ΔT ← تغییر دما

برای مقاومت رسانا نیز می‌توان رابطه‌ی زیر را نوشت:

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

در جدول زیر ضریب دمایی مقاومت ویژه‌ی برخی مواد آورده شده است:

ضریب دمایی مقاومت ویژه‌ی برخی از رساناها و نیم‌رساناها در دمای 20°C	
ضریب دمایی مقاومت ویژه α (K^{-1})	ماده
	رسانای فلزی
$4/1 \times 10^{-3}$	نقره
$4/3 \times 10^{-3}$	مس
$4/5 \times 10^{-3}$	طلا
$4/4 \times 10^{-3}$	آلومینیم
$4/5 \times 10^{-3}$	تنگستن
$6/5 \times 10^{-3}$	آهن
$3/9 \times 10^{-3}$	پلاتین
$4/5 \times 10^{-4}$	نیکروم (۵۹ درصد Ni، ۲۳ درصد Cu و ۱۶ درصد Cr)
	نیم‌رسانا
-5×10^{-4}	کربن
-5×10^{-2}	ژرمانیم
-7×10^{-2}	سیلیسیم خالص

مسئله ۹ دمای یک رشته سیم رسانا را از 20°C به 120°C می‌رسانیم، مقاومت آن ۲۰٪ افزایش می‌یابد. α را بیابید.

راه‌حل: می‌توان به جای ΔT بر حسب کلونین، $\Delta\theta$ را بر حسب درجه‌بندی سلسیوس به کار برد، از این‌رو:

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta\theta) \Rightarrow R - R_0 = R_0 \alpha \Delta\theta \Rightarrow \Delta R = R_0 \alpha \Delta\theta \xrightarrow{100} \frac{\Delta R = 20\% R_0}{100} \Rightarrow \alpha = 2 \times 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

مسئله ۱۰ در دمای 220°C مقاومت ویژه‌ی عنصری ۰/۹ مقاومت ویژه‌ی آن در دمای 20°C است. ضریب دمایی مقاومت ویژه‌ی آن چند $\frac{1}{\text{K}}$ است؟

راه‌حل: با توجه به رابطه‌ی دمایی مقاومت ویژه می‌توان نوشت:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T) \Rightarrow 0/9 \rho_0 = \rho_0 [1 + \alpha (220 - 20)] \Rightarrow 0/9 = 1 + 200\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{-0/1}{200} \Rightarrow \alpha = -5 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{K}}$$

پرسش: مفهوم ضریب دمایی مقاومت ویژه منفی یک جسم چیست؟


پاسخ: مفهوم آن این است که با افزایش دما، مقاومت ویژه جسم کاهش می‌یابد. عنصرهای نیم‌رسانایی مانند کربن، ژرمانیم و سیلیسیم دارای ضریب دمایی مقاومت ویژه منفی بوده و با افزایش دما مقاومت الکتریکی آن‌ها کاهش می‌یابد.

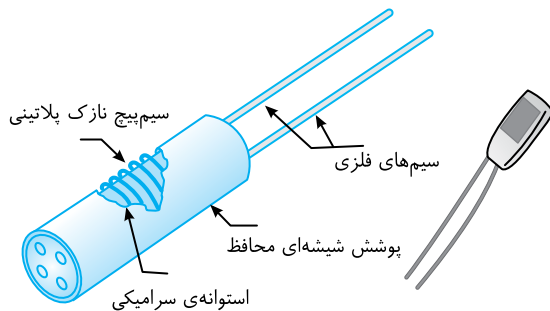
تست ۳: هنگامی که یک لامپ رشته‌ای معمولی روشن را خاموش می‌کنیم،

- (۱) مقاومت رشته‌ای آن صفر می‌شود.
 (۲) مقاومت رشته‌ای آن تغییر نمی‌کند.
 (۳) مقاومت رشته‌ای آن کاهش می‌یابد.
 (۴) مقاومت رشته‌ای آن افزایش می‌یابد.
- پاسخ:** وقتی لامپ خاموش می‌شود، دمای رشته‌ای آن (از جنس تنگستن) کاهش یافته و مقاومت آن نیز کاهش می‌یابد. بنابراین گزینه‌ی (۳) درست است.

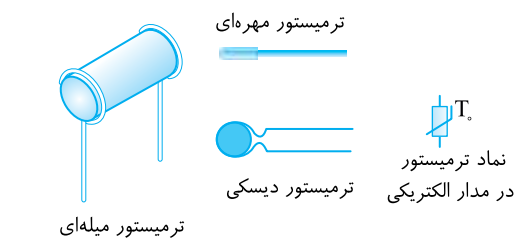
فن‌آوری و کاربرد

دماسنج‌های مقاومتی

یکی از کاربردهای اساسی تغییر مقاومت ویژه بر اثر دما، ساخت دماسنج‌های مقاومتی است. این دماسنج‌ها می‌توانند دماهای بسیار بالا و بسیار پایین را اندازه‌گیری کنند. در دماسنج‌های مقاومتی معمولاً از پلاتین استفاده می‌کنند که در مقابل خوردگی مقاوم بوده و نقطه‌ی ذوب بالایی دارد. در این نوع دماسنج‌های مقاومتی با افزایش دما مقاومت افزایش یافته و به کمک این تغییر مقاومت، دما اندازه‌گیری می‌شود. دماسنج مقاومتی پلاتین را می‌توان برای کارهای خیلی دقیق در گستره‌ی دمایی 253°C تا 1200°C به کار برد. در نوع دیگر دماسنج‌های مقاومتی از ترمیستور که شامل نیم‌رسانا یا اکسید فلزی است استفاده می‌شود. ویژگی آن‌ها کوچک بودن و حساسیت بالا نسبت به تغییر دما است. در مدارها برای نشان دادن ترمیستور از نماد  استفاده می‌شود. ترمیستورهای نیم‌رسانا در دماهای بالا، زودتر خراب شده و عمر کوتاه‌تری دارند.



(ب) تصویری از چند ترمیستور دیسکی واقعی



(الف) طرحی از چند ترمیستور و نماد آن در مدارهای الکتریکی

مسئله ۱۱ مقاومت یک ترمیستور نیم‌رسانا در دمای 20°C برابر $200\ \Omega$ است. آن را در محیطی قرار می‌دهند تا دمای محیط را

اندازه‌گیری کند، در این حالت مقاومت آن $180\ \Omega$ می‌شود. اگر ضریب دمایی مقاومت نیم‌رسانا برابر $\frac{1}{K} \times 10^{-4} - 5$ باشد، دمای محیط

چند درجه‌ی سلسیوس است؟

راه‌حل: با توجه به رابطه‌ی مقاومت با دما می‌توان نوشت:

$$R = R_0(1 + \alpha \Delta T) \Rightarrow 180 = 200[1 + (-5 \times 10^{-4} \Delta T)] \Rightarrow -20/1 = -5 \times 10^{-4} \Delta T$$

$$\Delta T = 200 \cdot K \Rightarrow \Delta \theta = \theta - \theta_0 = 200 \Rightarrow \theta - 20 = 200 \Rightarrow \theta = 220^{\circ}\text{C}$$

انواع مقاومت‌ها

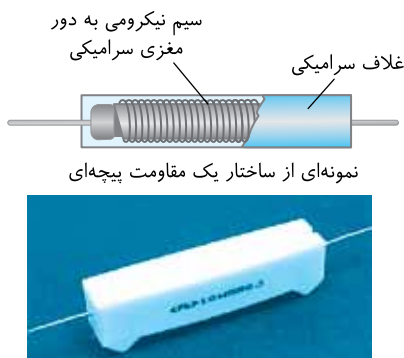
مقاومت‌ها در مدارهای الکتریکی مانند اتو، بخاری برقی، لامپ‌های رشته‌ای و ... به کار می‌روند. در مدارهای الکترونیکی از مقاومت‌ها برای کنترل جریان و ولتاژ استفاده می‌شود. انواع اصلی مقاومت‌ها بر دو دسته‌اند:

۱- مقاومت‌های پیچ‌های

مقاومت‌های پیچ‌های

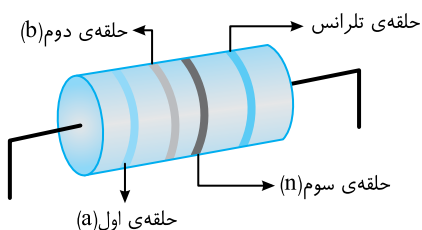
این مقاومت‌ها معمولاً از آلیاژهای نیکروم (نیکل، کروم) یا آلیاژ منگانه‌ن (مس، نیکل، منگنز) ساخته می‌شوند.

در این مقاومت‌ها یک سیم نازک به صورت پیچ‌های به دور یک هسته از جنس سرامیک، پلاستیک یا شیشه پیچیده شده و در غلافی از سرامیک قرار دارد (مطابق شکل روبه‌رو). کاربرد این مقاومت در ساخت مقاومت‌های پایین بسیار دقیق و توان‌های بالا است.



مقاومت‌های ترکیبی

این مقاومت‌ها معمولاً از جنس کربن، برخی نیم‌رساناها و یا فیلم‌های نازک فلزی هستند و درون پوشش پلاستیکی قرار دارند. کدگذاری رنگی مقاومت‌های کربنی:



برای مشخص کردن اندازه‌ی این مقاومت‌ها از چهار حلقه‌ی رنگی استفاده می‌شود. اگر حلقه‌ی طلایی یا نقره‌ای را سمت راست قرار دهیم حلقه‌ها به ترتیب از چپ به راست رقم اول و رقم دوم عدد مقاومت و رقم سوم توان 10^0 است (به شکل دقت کنید).

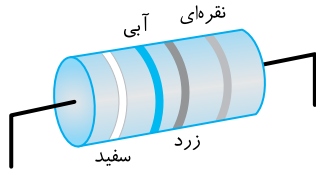
$$R = ab \times 10^n$$

حلقه‌ی چهارم را **تُرانس** گویند و مقدار مجاز انحراف از مقدار دقیق مقاومت بر حسب درصد را مشخص می‌کند. اگر یک مقاومت کربنی دارای سه حلقه باشد و حلقه‌ی ترانس را نداشته باشد به این معنی است که ترانس آن ۲۰٪ است.

رنگ	عدد	ضریب	ترانس
سیاه	۰	۱	
قهوه‌ای	۱	10^1	
قرمز	۲	10^2	
نارنجی	۳	10^3	
زرد	۴	10^4	
سبز	۵	10^5	
آبی	۶	10^6	
بنفش	۷	10^7	
خاکستری	۸	10^8	
سفید	۹	10^9	
طلایی		10^{-1}	۵٪
نقره‌ای		10^{-2}	۱۰٪
بی‌رنگ			۲۰٪

دو مسأله‌ی زیر را با توجه به جدول کد رنگی مقاومت‌ها حل کنید.

مسئله ۱۲) اندازه‌ی مقاومت داده شده چند اهم است و این مقاومت بین چه مقادیری تیرانس دارد؟



راه‌حل: با توجه به جدول، رقم اول $a=9$ و رقم دوم $b=6$ و توان عدد $n=4$ است در این صورت:

$$R = 96 \times 10^4 \Omega$$

تیرانس آن نیز ۱۰٪ است یعنی:

$$R_{\min} = R - \frac{10}{100} R = \frac{9}{10} R$$

کم‌ترین مقدار این مقاومت برابر است با:

$$R_{\min} = \left(\frac{9}{10}\right) \times 96 \times 10^4 \Rightarrow R_{\min} = 86.4 \times 10^4 \Omega = 8.64 \times 10^5 \Omega$$

و بیش‌ترین مقدار این مقاومت برابر است با:

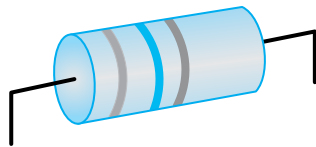
$$R_{\max} = R + \frac{10}{100} R = \frac{11}{10} R$$

$$R_{\max} = \left(\frac{11}{10}\right) \times 96 \times 10^4 \Rightarrow R_{\max} = 105.6 \times 10^4 \Omega = 1.056 \times 10^6 \Omega$$

مسئله ۱۳) مقاومت شکل روبه‌رو 570Ω است.

الف) رنگ حلقه‌های آن را مشخص کنید.

ب) تیرانس آن چند درصد است؟



راه‌حل: الف) رقم اول آن ۵ است که رنگ سبز است. رقم دوم آن ۷ است که رنگ بنفش

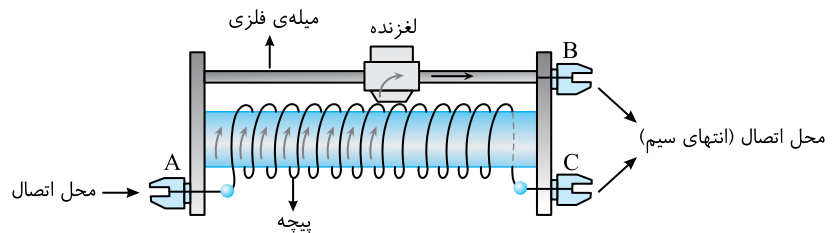
است. توان عدد ۱۰ آن برابر $n=1$ است که رنگ آن قهوه‌ای است.

ب) چون نوار چهارم را ندارد تیرانس ۲۰٪ است.

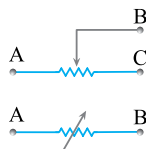
مقاومت متغیر (رئوستا - پتانسیومتر)

رئوستا یک مقاومت متغیر از نوع مقاومت پیچ‌های است. کاربرد آن برای تنظیم و کنترل جریان مدار است. در مدارهای الکتریکی به آن **رئوستا** و در مدارهای الکترونیکی به آن پتانسیومتر می‌گویند. ساختمان رئوستا مطابق شکل زیر است.

این وسیله از یک سیم دراز با مقاومت ویژه نسبتاً زیاد (تنگستن) تشکیل می‌شود. این سیم روی استوانه‌ای نارسانا پیچیده شده است. با استفاده از یک دکمه‌ی لغزنده که روی ریلی در بالای استوانه قرار دارد و انتهای آن با سیم در تماس است، می‌توان قسمت‌های دلخواه از سیم را در مسیر جریان قرار داده و مقاومت را به دلخواه تغییر داد، اگر بخواهیم مقاومت بیش‌تر شود لغزنده را به سمت **B** می‌کشیم چون طول سیم زیاد می‌شود مقاومت آن بیش‌تر می‌شود. اگر اتصال‌ها **A** و **C** باشند لغزنده از مسیر خارج می‌شود و مقاومت رئوستا ثابت و بیشینه مقدار است.



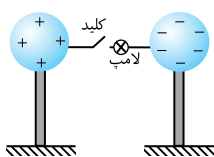
الف) طرحی از ساختار یک رئوستا

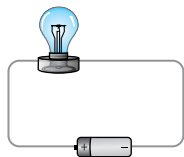


ب) نماد یک رئوستا یا پتانسیومتر در مدار الکتریکی

نیروی محرکه‌ی الکتریکی (مولد)

هرگاه دو کره‌ی باردار را که دارای اختلاف پتانسیل هستند به هم وصل کنیم، بار بین دو کره شارش می‌کند. شارش بار همان جریان برقی است که در زندگی بارها نام آن را شنیده‌ایم. اگر دو کره‌ی باردار مطابق شکل در اختیار داشته باشیم و بین آن‌ها یک لامپ گازی کوچک که با ولتاژ کوچکی روشن می‌شود (مثلاً لامپ درون فازمتر) قرار دهیم با وصل کلید به‌طور لحظه‌ای لامپ روشن می‌شود و بلافاصله خاموش می‌شود زیرا دو کره هم‌پتانسیل می‌شوند و اختلاف پتانسیل آن‌ها صفر می‌شود و دیگر از سیم جریانی نمی‌گذرد و لامپ خاموش می‌شود.





اگر یک لامپ ۱/۵ ولتی را با سیم مسی به یک باتری قلمی ۱/۵ ولت وصل کنیم، لامپ روشن می‌شود و روشن می‌ماند. در واقع باتری وسیله‌ای است که اختلاف پتانسیل بین قطب مثبت و قطب منفی‌اش را حفظ می‌کند تا شارش بار دائمی باشد. اما چگونه؟
به تصویر زیر نگاه کنید. آب از بالا به پایین این آب‌نما می‌ریزد. علت جاری شدن آب اختلاف ارتفاع آن در بالا و پایین آب‌نماست.



پرسش: آیا آب خودبه‌خود از پایین حوض به بالای آب‌نما می‌رود؟

پاسخ: جواب این پرسش قطعاً منفی است. برای برقراری دائمی جریان آب باید به کمک یک پمپ، آب از پایین حوض به بالای آب‌نما منتقل شود و از آن‌جا دوباره سرازیر شود.

عملکرد یک مولد برق (مثلاً یک باتری معمولی) شبیه عملکرد پمپ در آب‌نما است.

«مولد» وسیله‌ای است که در مدارهای الکتریکی **اختلاف پتانسیل الکتریکی** ایجاد می‌کند و صورتی از انرژی را با انجام واکنش‌هایی که درون آن رخ می‌دهد به انرژی الکتریکی تبدیل کرده و صرف ایجاد اختلاف پتانسیل الکتریکی در دو سر مدار می‌کند تا سبب شارش بارهای الکتریکی و ایجاد جریان الکتریکی در مدار و رسانا شده و اجزای مصرف‌کننده‌ی مدار را روشن کرده و به کار اندازد.

در مولدهای شیمیایی (باتری - پیل الکتروشیمیایی) انرژی لازم، از واکنش‌های شیمیایی که درون مولد رخ می‌دهد به دست می‌آید. با این انرژی بارهای مثبت درون مولد، از پایانه‌ی منفی به پایانه‌ی مثبت آن منتقل شده و آماده‌ی ورود و شارش یافتن به مدار می‌شوند. کاری که مولد انجام می‌دهد (انرژی‌ای که صرف می‌کند) تا واحد بار الکتریکی مثبت در مدار شارش یابد **نیروی محرکه‌ی الکتریکی مولد** نامیده می‌شود و آن را با حرف \mathcal{E} نمایش می‌دهند.

$$V = \frac{W}{q} \Rightarrow \mathcal{E} = \frac{W}{q}$$

تعریف **نیروی محرکه‌ی الکتریکی مولد عبارت است از کاری که روی واحد بار مثبت انجام می‌شود تا آن را از پایانه‌ای با پتانسیل کم‌تر به پایانه‌ای با پتانسیل بیش‌تر ببرد.**

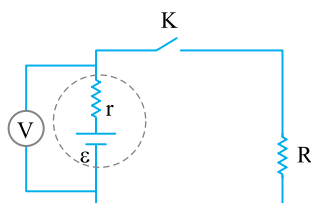


پرسش: در شکل روبه‌رو اجزای تشکیل‌دهنده‌ی مدار و آبشار را مقایسه کنید.

پاسخ: مخزن آب در پایین و بالا قرار دارد و انسان‌ها نقش مولد را دارند. قسمت آبشار شبیه به لامپ است که در آن انرژی مصرف می‌شود. جریان آب از ارتفاع بالا به ارتفاع پایین و در مدار الکتریکی شارش بار از پایانه‌ی مثبت به پایانه‌ی منفی است. درون مولد، واکنش‌های شیمیایی، انرژی لازم برای ایجاد اختلاف پتانسیل دو سر مولد را ایجاد کرده و در شکل دیگر انرژی انسان‌ها برای بالا بردن آب سبب ایجاد اختلاف ارتفاع می‌شود.

تعریف دیگری که برای نیروی محرکه‌ی باتری بیان می‌شود به صورت زیر است:

تعریف **اختلاف پتانسیل دو سر باتری (مولد) هرگاه از آن جریانی گرفته نشود را نیروی محرکه‌ی باتری می‌گویند.**



در شکل روبه‌رو وقتی کلید K باز است و از مدار جریانی نمی‌گذرد، اختلاف پتانسیلی که ولت‌سنج نشان می‌دهد برابر نیروی محرکه‌ی باتری است. اما اگر کلید بسته شود و در مدار جریان برقرار شود به دلیل عبور جریان از مقاومت درونی مولد یک افت پتانسیل برابر Ir ایجاد می‌شود که سبب می‌گردد اختلاف پتانسیل دو سر مولد از نیروی محرکه‌ی آن کم‌تر باشد و عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد برابر $V = \mathcal{E} - Ir$ خواهد بود.