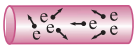
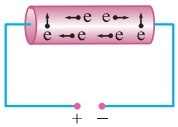
فصل دو: جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

بخش ۱: جریان الکتریکی و مقاومت الکتریکی

جریان الکتریکی

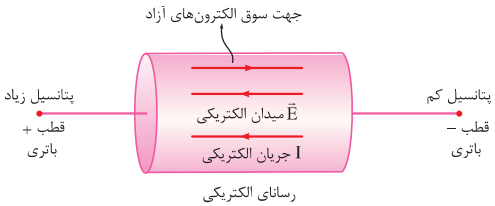
آهنگ شارش بار الکتریکی خالص در یک رسانا:

دو سر رسانا اختلاف پتانسیل الکتریکی برقرار نشده است.	دو سر رسانا اختلاف پتانسیل الکتریکی برقرار شده است.
حرکت الکترون‌ها فقط کاتوره‌ای است؛ در همهٔ جهت‌ها، با تندی زیاد ($10^6\ m/s$).	الکترون‌ها ضمن حفظ حرکت کاتوره‌ای خود به سمت پتانسیل بیشتر سوق پیدا می‌کنند.
بار خالص عبوری از هر مقطع رسانا صفر است.	بار خالص عبوری از هر مقطع رسانا صفر نیست.
	
جریان الکتریکی ایجاد نمی‌شود.	جریان الکتریکی ایجاد می‌شود.

نکته

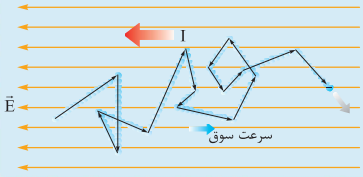
جریان الکتریکی ناشی از شارش بارهای متحرک است، اما همهٔ بارهای متحرک جریان ایجاد نمی‌کنند (باید بار خالص عبوری از سطح مقطع رسانا غیرصفر باشد تا جریان ایجاد شود).

جهت جریان الکتریکی:



نکته

مسیر حرکت الکترون‌ها در حضور اختلاف پتانسیل الکتریکی (و میدان الکتریکی درون رسانا) به صورت شکل زیر زیگزاگی است.



نکته

هنگام برقراری اختلاف پتانسیل، الکترون‌ها هم‌چنان به این‌طرف و آن طرف می‌روند، اما برآیند حرکت آن‌ها در خلاف جهت میدان (به سمت پتانسیل بیشتر) است. در این حالت به سرعت پیشروی الکترون‌ها در خلاف جهت میدان، سرعت سوق می‌گوییم. سرعت سوق خیلی کوچک ($10^{-4}\ m/s$ یا $10^{-5}\ m/s$) است.

نکته

سرعت حرکت هر الکترون: زیاد (در حدود $10^6\ m/s$)
سرعت سوق الکترون‌ها: کم (در حدود $10^{-4}\ m/s$ یا $10^{-5}\ m/s$)

جریان الکتریکی متوسط:

بار خالص عبوری از مقطع رسانا در واحد زمان

جریان الکتریکی متوسط (آمپر: A)

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

Δq: بار خالص عبوری (کولن: C)

Δt: زمان (ثانیه: s)

جریان الکتریکی: نرده‌ای، اصلی (آمپر جزء یکاهای اصلی است).

نکته

کولن برابر آمپرثانیه $(A.s)$ است.

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \Rightarrow \Delta q = I\Delta t \xrightarrow{\text{جای‌گذاری یکاها}} C = A.s$$

کولن = آمپر × ثانیه

@DaneshSad

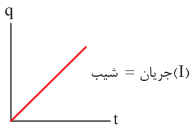
نکته

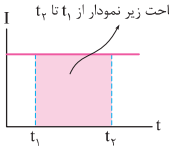
آمپرساعت (Ah) از یکاهای بار الکتریکی و برابر ۳۶۰۰ C است.

کولن (C)	$A \leftarrow I=\frac{\Delta q}{\Delta t}\ \begin{matrix}\rightarrow C\\ \rightarrow s\end{matrix}$	بار عبوری در مدت ۱ s، وقتی جریان ۱ A است.
آمپرساعت (Ah)	$A \leftarrow I=\frac{\Delta q}{\Delta t}\ \begin{matrix}\rightarrow Ah\\ \rightarrow h\end{matrix}$	بار عبوری در مدت ۱ h، وقتی جریان ۱ A است.

آمپرساعت باتری: حداکثر باری که باتری از مدار عبور می‌دهد تا به طور ایمن تخلیه شود.

جریان مستقیم: جریانی که اندازه و جهت آن در طی زمان ثابت است.





مقاومت الکتریکی

نشان‌دهندهٔ ممانعت اتم‌های رسانا در برابر عبور الکترون‌های آزاد است.

اختلاف پتانسیل یا ولتاژ دو سر رسانا (ولت: V)

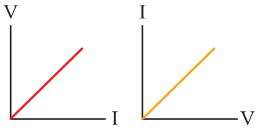
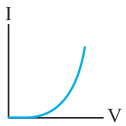
$$R=\frac{V}{I}$$

مقاومت الکتریکی (اهم: Ω) — جریان عبوری از رسانا (آمپر: A)

نماد در مدار:

قانون اهم: مقاومت الکتریکی برخی رساناها در دمای معین، ثابت است و به اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سر آن بستگی ندارد.

رسانای اهمی و غیراهمی:

	رسانای اهمی (مقاومت اهمی)	رسانای غیراهمی (مقاومت غیراهمی)
از قانون اهم	پیروی می‌کند.	پیروی نمی‌کند.
مقاومت الکتریکی آن در دمای معین	ثابت است.	ثابت نیست.
مقاومت الکتریکی آن به اختلاف پتانسیل دو سرش	بستگی ندارد.	بستگی دارد.
نمونه	فلزات و بسیاری از رساناهای غیرفلزی	دیود نورگسیل (LED)
نمودار اختلاف پتانسیل دو سر آن برحسب جریان عبوری از آن (V − I) و برعکس (یعنی I − V)	خط راست گذرا از مبدأ است. 	هر شکلی جز خط راست گذرا از مبدأ می‌تواند باشد. مثل شکل زیر: نمودار دیود نورگسیل (LED) 

نکته

چند نکته دربارهٔ رساناهای اهمی:

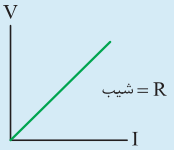
۱ با تغییر ولتاژ (V) دو سر یا جریان (I) عبوری از آن‌ها، مقاومت الکتریکی‌شان تغییری نمی‌کند.

۲ جریان عبوری از آن‌ها با اختلاف پتانسیل دو سرشان متناسب است:

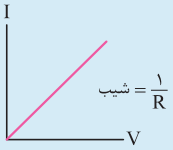
$$R:\text{ثابت} \xrightarrow{R=\frac{V}{I}} I \propto V \Rightarrow \frac{I_2}{I_1}=\frac{V_2}{V_1}$$

۳ اگر اختلاف پتانسیل به اندازهٔ ΔV تغییر کند، جریان به اندازهٔ ΔI تغییر می‌کند، که:

$$R=\frac{\Delta V}{\Delta I}$$ (↓ مقاومت الکتریکی)



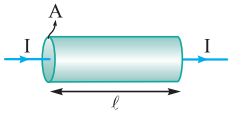
۴ نمودار!



@DaneshSad

عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی رسانای اهمی

در دمای معین مقاومت الکتریکی رسانا به طول (ℓ)، سطح مقطع (A) و جنس (یعنی مقاومت ویژه: ρ) آن بستگی دارد:



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

(R: مقاومت الکتریکی (اهم: Ω)، ℓ: طول رسانا (متر: m)، A: سطح مقطع رسانا (متر مربع: m^2)، ρ: مقاومت ویژه (اهم‌متر: Ω.m))

طول بیشتر رسانا ← تعداد بیشتر برخورد الکترون‌های آزاد به اتم‌های رسانا ← $R \uparrow$

مساحت مقطع بیشتر رسانا ← فضای بیشتر برای عبور الکترون آزاد ← $R \downarrow$

نکته

مقاومت ویژه

- وابسته به ساختار اتمی و دمای رسانا
- برای هر ماده در دمای معین عدد ثابتی است.
- هر چه کم‌تر باشد، جسم رساناتر است.

مثل ژرمانیم و سیلیسیم

$\rho_{\text{رسانا}} < \rho_{\text{نیم‌رسانا}} < \rho_{\text{نارسانا}}$

یادآوری مساحت مقطع دایره‌ای سیم‌ها: $A = \pi R^2 = \frac{\pi D^2}{4}$



رابطهٔ نسبتی:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \frac{\ell_2}{\ell_1} \times \frac{A_1}{A_2} \xrightarrow{\text{سیم با مقطع دایره‌ای}} \frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \frac{\ell_2}{\ell_1} \times \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

(D: قطر سیم‌ها)

نکته

اگر با ثابت‌ماندن حجم (یا جرم) سیم، ابعاد آن عوض شود:

$$R \propto \ell^2 \quad \text{یا} \quad R \propto \frac{1}{A^2} \quad \text{یا} \quad R \propto \frac{1}{D^4}$$

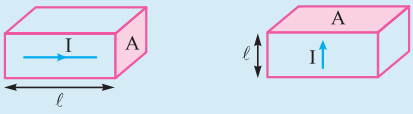
مثلاً

- اگر با ثابت‌ماندن حجم سیم، آن را آن‌قدر بکشیم تا طولش ۲ برابر شود، مقاومت آن $2^2 = 4$ برابر می‌شود.
- اگر سیمی را ذوب کرده و با همان ماده، سیمی با قطر ۲ برابر بسازیم مقاومت آن $\frac{1}{2^4} = \frac{1}{16}$ برابر می‌شود.

نکته

اگر جسم رسانا به صورت مکعب مستطیل باشد:

- ℓ: موازی جریان عبوری
- A: عمود بر جریان عبوری



اثر دما روی مقاومت الکتریکی

رابطهٔ تغییر مقاومت ویژه با تغییر دما:

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

($\Delta\rho$: تغییر مقاومت ویژه (اهم‌متر: Ω.m)، α: ضریب دمایی مقاومت ویژه $\left(\frac{1}{K} \text{ یا } \frac{1}{^\circ C}\right)$، ρ_0: مقاومت ویژهٔ اولیه (اهم‌متر: Ω.m)، $\Delta\theta$: تغییرات دما (K یا °C))

رابطهٔ تغییر مقاومت با تغییر دما:

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

(ΔR: تغییر مقاومت (اهم: Ω)، R_0: مقاومت اولیه (اهم: Ω))

نکته

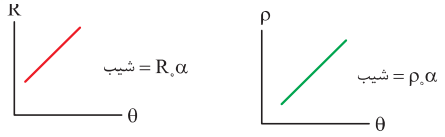
چند نکته دربارهٔ دو رابطهٔ بالا:

- تغییرات دما برحسب درجهٔ سلسیوس و کلوین یکسان است.
- تغییر دما $(\Delta\theta)$ برابر $\Delta\theta = \theta - \theta_0$ است که به θ_0 دمای مرجع می‌گوییم (معمولاً دمای مرجع، دمای اتاق است).
- برای پیداکردن مقاومت ویژه یا مقاومت در حالت ثانویه داریم:

$$R = R_0(1+\alpha\Delta\theta) \;,\; \rho = \rho_0(1+\alpha\Delta\theta)$$

@DaneshSad

نمودار مقاومت و مقاومت ویژه برحسب دما:



اثر دما روی مقاومت ویژهٔ رسانا‌ها:

- افزایش دما
  - ارتعاشات کاتوره‌ای اتم‌ها و یون‌ها: افزایش
  - تعداد حاملان بار (الکترون‌های آزاد): تقریباً ثابت
- تعداد برخورد حاملان بار با شبکهٔ اتمی رسانا: افزایش
- مقاومت ویژه: افزایش

اثر دما روی مقاومت ویژهٔ نیم‌رسانا‌ها:

- افزایش دما
  - تعداد حاملان بار: افزایش زیاد
  - تعداد برخوردهای کاتوره‌ای حاملان بار با شبکهٔ اتمی: افزایش کم
- مقاومت ویژه: کاهش

نکته

در دماهای پایین تعداد حاملان بار نیم‌رسانا‌ها ناچیز است و نیم‌رسانا مانند یک نارسانا رفتار می‌کند.

نکته

ضریب دمایی مقاومت ویژه (α) نیم‌رسانا‌ها منفی است ($\alpha_{\text{نیم‌رسانا}} < \circ$).

مقاومت‌های ترکیبی (کربنی)

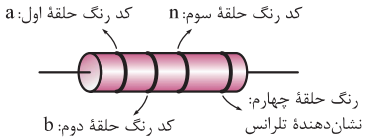
- معمولاً از کربن، برخی نیم‌رسانا‌ها و لایه‌های نازک فلزی ساخته می‌شوند.
- در اندازه‌های خاص استانداردی تولید می‌شوند.

محاسبهٔ مقاومت:

مقاومت الکتریکی (اهم: Ω)

$$R = \overline{ab} \times 10^{n}$$

عدد دورقمی با دهگان a و یکان b



کد رنگی مقاومت‌ها			
رنگ	عدد	ضریب	تلرانس
بنفش	۷	10^{7}	
خاکستری	۸	10^{8}	
سفید	۹	10^{9}	
طلایی		10^{-1}	٪۵
نقره‌ای		10^{-2}	٪۱۰
بی‌رنگ			٪۲۰

کد رنگی مقاومت‌ها			
رنگ	عدد	ضریب	تلرانس
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}	

نکته

- حلقهٔ چهارم طلایی، نقره‌ای یا بی‌رنگ است که درصد انحراف مجاز از مقدار محاسبه‌شده را نشان می‌دهد.
- مقاومت را طوری باید گرفت که حلقهٔ تلرانس (که در فاصلهٔ بیشتری از بقیهٔ حلقه‌ها قرار دارد.) سمت راست باشد.
- حلقهٔ سوم هم می‌تواند به رنگ طلایی یا نقره‌ای باشد.

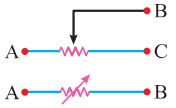
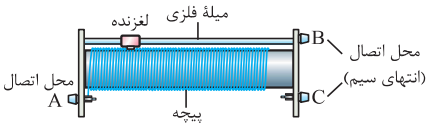
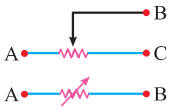
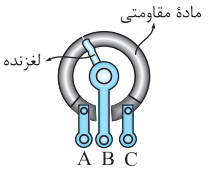
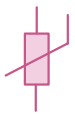
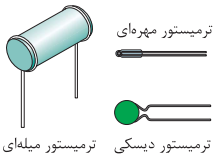
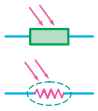
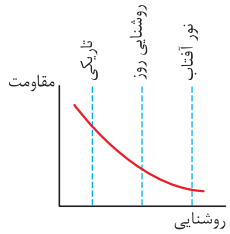
مقاومت‌های پیچه‌ای

- شامل پیچه‌ای از سیم نازک از جنس آلیاژهایی مثل نیکروم و منگانین
- کاربرد: به دست آوردن مقاومت‌های پایین بسیار دقیق و توان‌های بالا

- دو نوع مشهور
  - رئوستا
  - پتانسیومتر
- هر دو نوعی مقاومت متغیر هستند.

@DaneshSad

مقاومت‌های خاص

نام مقاومت	نماد یا نمادها در مدار	تصویر	نکات و کاربرد
رئوستا			۱) رئوستا یک مقاومت متغیر پیچه‌ای است. ۲) اگر ورودی جریان به رئوستا محل اتصال A و خروجی جریان از رئوستا اتصال B باشد، با حرکت لغزنده به سمت B، مقاومت رئوستا افزایش می‌یابد.
پتانسیومتر			۱) در مدارهای الکترونیکی همانند رئوستا به عنوان یک مقاومت متغیر به کار می‌رود. ۲) اگر ورودی جریان به پتانسیومتر محل اتصال A و خروجی جریان از پتانسیومتر B باشد، با حرکت لغزنده در جهت ساعتگرد، مقاومت پتانسیومتر افزایش می‌یابد.
ترمیستور			۱) بستگی مقاومت الکتریکی ترمیستور به دما با مقاومت‌های الکتریکی معمولی تفاوت دارد. ۲) اغلب به عنوان حسگر دما در مدارهای حساس به دما، مانند زنگ خطر آتش، دماپاها و دماسنج‌ها استفاده می‌شود. ۳) در ابعاد کوچک ساخته می‌شوند.
مقاومت‌های نوری (LDR)			۱) مقاومت الکتریکی LDR به نور تابیده‌شده به آن بستگی دارد و با افزایش شدت نور، مقاومت آن کم می‌شود. ۲) از LDR در چشم‌های الکترونیکی، دزدگیرها، کنترل‌کننده‌های خودکار و چراغ‌های روشنایی خیابان‌ها استفاده می‌شود. ۳) نمودار مقاومت برحسب روشنایی یک LDR به صورت زیر است: 
دیود			۱) جریان را تنها از یک سو عبور می‌دهد و به همین دلیل اغلب یکسوکنندهٔ جریان نامیده می‌شود. ۲) پیکان در نماد دیود، جهتی را نشان می‌دهد که جریان می‌تواند از آن عبور کند. ۳) از دیود در مدارهای یکسوکننده برای تبدیل جریان‌های متناوب به جریان‌های مستقیم استفاده می‌شود.
دیود نورگسیل (LED)			۱) در این دیودها از نیم‌رساناهایی استفاده می‌شود که انرژی الکتریکی را به نور تبدیل می‌کنند. ۲) LEDها در مقایسه با لامپ‌های روشنایی معمولی، توان الکتریکی کمی مصرف می‌کنند و در عوض، نور قابل ملاحظه‌ای تولید می‌کنند و عمر طولانی‌تری دارند. ۳) در چراغ‌های خودرو، روشنایی منازل و تابلوهای تبلیغاتی از LED استفاده می‌شود. ۴) برای روشن‌شدن LED، پایهٔ بلند آن باید به قطب مثبت باتری و پایهٔ کوتاه آن بایدبه قطب منفی باتری وصل شود.

@DaneshSad

بخش ۲: مدار تک‌حلقه

– نیروی محرکهٔ الکتریکی (ε یا emf) –

کار انجام‌شده توسط منبع نیروی محرکه (همان باتری!) روی واحد بار الکتریکی مثبت برای انتقال آن از پایانهٔ ⊖ (با پتانسیل کم‌تر) به پایانهٔ ⊕ (با پتانسیل بیشتر):

کار انجام‌شده توسط منبع نیروی محرکه (ژول: J)

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

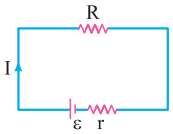
نیروی محرکه (ولت: V) — بار عبوری از منبع نیروی محرکه (کولن: C)

رابطهٔ بالا نتیجه‌ای از رابطهٔ $\Delta V = \frac{\Delta U}{q}$ است.

انواع منبع نیروی محرکه (باتری)

	مقاومت درونی	نماد در مدار	اختلاف پتانسیل دو سر
آرمانی	ندارد. $(r = 0)$	ε	$V_{\text{باتری}} = \varepsilon$
واقعی	دارد. $(r \neq 0)$	ε r یا r ε	$V_{\text{باتری}} = \varepsilon - rI$

– محاسبهٔ جریان در مدار تک‌حلقهٔ (با یک باتری و یک مقاومت) –



جریان از پایانهٔ ⊕ باتری خارج می‌شود.

نیروی محرکهٔ منبع (باتری) (ولت: V) — جریان عبوری از مدار (آمپر: A)

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

مقاومت درونی (اهم: Ω) — مقاومت خارجی (اهم: Ω)

حرکت در مدار برای تعیین اختلاف پتانسیل دو نقطه

عبور از مقاومت

- جهت حرکت ما → R، I — حرکت در جهت جریان: $-RI$
- جهت حرکت ما → R، I — حرکت در خلاف جهت جریان: $+RI$

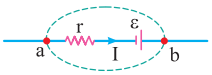
عبور از باتری

- جهت حرکت ما → +، −، ε — حرکت از قطب ⊕ به قطب ⊖: $-\varepsilon$
- جهت حرکت ما → −، + — حرکت از قطب ⊖ به قطب ⊕: $+\varepsilon$

هنگام عبور از باتری جهت جریان اهمیت ندارد.

اختلاف پتانسیل دو سر باتری : ($V_{\text{باتری}}$)

منظور از $V_{\text{باتری}}$ اختلاف پتانسیل دو نقطهٔ a و b $(V_b - V_a)$ در شکل زیر است:



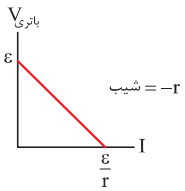
مقاومت درونی باتری (اهم: Ω) — اختلاف پتانسیل دو سر باتری (ولت: V)

$$V_{\text{باتری}} = \varepsilon - r\,I$$

نیروی محرکهٔ باتری (ولت: V) — جریان عبوری از باتری (آمپر: A)

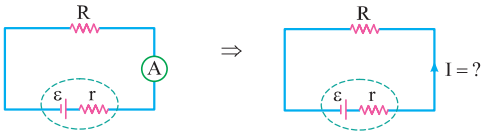
@DaneshSad

نمودار $V_{\text{باتری}} - I$



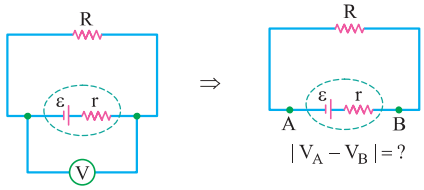
آمپرسنج

- وسیله‌ای برای نشان‌دادن جریان عبوری از یک شاخه از مدار
- **نماد:** (A)
- **مقاومت الکتریکی:** بسیار کم ← مقاومت آمپرسنج آرمانی: صفر
- در مدار می‌توان آن را به سیم بدون مقاومت تبدیل کرد.



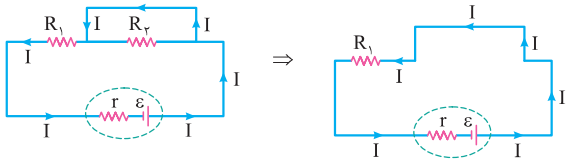
ولت‌سنج

- وسیله‌ای برای نشان‌دادن اختلاف پتانسیل دو نقطه در مدار
- **نماد:** (V)
- **مقاومت الکتریکی:** بسیار زیاد ← مقاومت ولت‌سنج آرمانی: بی‌نهایت (ولت‌سنج آرمانی اجازهٔ عبور جریان از شاخهٔ خود را نمی‌دهد.)
- در مدار می‌توان آن را حذف و اختلاف پتانسیل دو نقطه‌ای که به آن دو وصل شده است را محاسبه کرد.



اتصال کوتاه

اتصال دو سر یک قطعه از مدار با سیم بدون مقاومت ← عدم عبور جریان از آن قطعه ← حذف قطعه از مدار

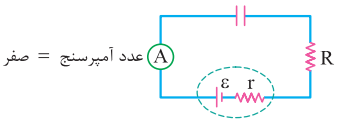


نکته

اگر دو سر قطعه‌ای در مدار با آمپرسنج آرمانی به هم وصل باشد، قطعه دچار اتصال کوتاه می‌شود.

حضور خازن پرشده در مدار

خازن پرشده اجازهٔ برقراری جریان در شاخهٔ خود را نمی‌دهد.



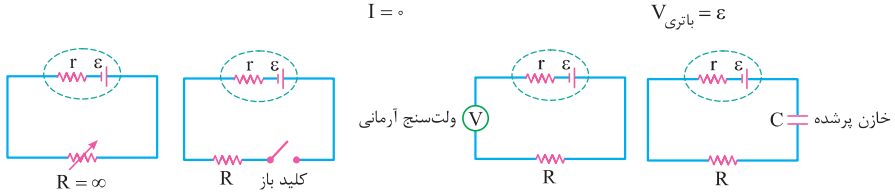
حضور کلید k در مدار

با قطع و وصل کلید، مدار در دو حالت مختلف باید بررسی شود.

بررسی دو حالت خاص در مدار تک‌حلقه

الف) وقتی جریان عبوری از باتری صفر است:

مثل مدارهای مقابل:

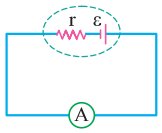


@DaneshSad

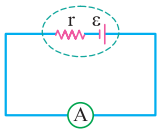
ب) وقتی مقاومت خارجی مدار صفر است:

$V_{\text{باتری}} = 0$ $\quad I = \frac{\varepsilon}{r}$

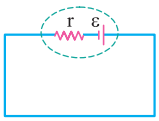
مثل مدارهای زیر:



مقدار مقاومت متغیر: صفر



آمپرسنج آرمانی



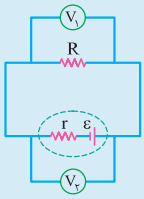
اتصال دو سر باتری به هم با سیم بدون مقاومت

نکته

- افت پتانسیل در مقاومت = اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت در مدار $= RI$
- افت پتانسیل در باتری = افت پتانسیل در مقاومت درونی باتری $= rI$

نکته

در مدار شکل روبه‌رو اختلاف پتانسیل دو سر باتری با اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت خارجی برابر است.



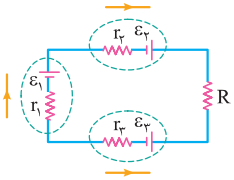
عدد ولت‌سنج‌های V_1 و V_2 برابر است: $V_{\text{باتری}} = V_R$

یعنی $\varepsilon - rI = RI$ است.

مدار تک‌حلقه با چند باتری

جریان در مدار تک‌حلقه با چند باتری:

الف) جهت جریان: نیروی محرکهٔ باتری‌های هم‌جهت را با هم جمع می‌کنیم. جریان در مدار در جهتی است که باتری‌های قوی‌تر تعیین می‌کنند. در مدار روبه‌رو ε_1 و ε_2 هم‌جهت و در خلاف جهت ε_3 است. اگر $\varepsilon_3 > \varepsilon_1 + \varepsilon_2$ باشد، جریان ساعتگرد و اگر $\varepsilon_3 < \varepsilon_1 + \varepsilon_2$ باشد، جریان پادساعتگرد خواهد بود.



ب) اندازهٔ جریان:

$$I = \frac{\text{جمع جبری نیروهای محرکه}}{\text{جمع مقاومت‌های درونی و خارجی}}$$

در مدار بالا: $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 > \varepsilon_3$ با فرض $\Rightarrow I = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_3}{r_1 + r_2 + r_3 + R}$

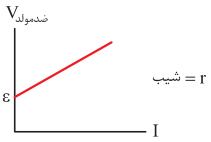
مولد در حال شارژ (ضدمولد!)

اگر جریان به شکل زیر از پایانهٔ ⊖ مولد خارج شود، مولد در حال دریافت انرژی از مدار است (مثل باتری در حال شارژ).



$V_{\text{ضدمولد}} = \varepsilon + rI$

نمودار اختلاف پتانسیل دو سر مولد در حال شارژ برحسب جریان عبوری از آن:



بخش ۳: توان الکتریکی

توان الکتریکی یک وسیلهٔ رسانا



توان الکتریکی (وات: W)

$P = V I$

اختلاف پتانسیل دو سر رسانا، یعنی $|V_a - V_b|$ (ولت: V)

جریان عبوری از رسانا (آمپر: A)

این رابطه برای هر وسیلهٔ رسانایی قابل استفاده است.

@DaneshSad

اگر جریان عبور از رسانا از پتانسیل {بیشتر به کم‌تر / کم‌تر به بیشتر} باشد، انرژی الکتریکی {وارد رسانا / از رسانا خارج} می‌شود.

انرژی الکتریکی

انرژی الکتریکی (ژول: J)
$U = P\ t$
توان الکتریکی (وات: W) — زمان (ثانیه: s)

نکته

کیلووات‌ساعت (kWh) از یکاهای انرژی و معادل $3/6\times10^{6}$ J است. گاهی بهتر است از یکاهای زیر استفاده کنیم:

کیلووات‌ساعت (kWh)
$U = P\ t$
کیلووات (kW) — ساعت (h)

توان الکتریکی مقاومت (توان مصرفی مقاومت)

$$P = RI^{2} = VI = \frac{V^{2}}{R}$$
توان مصرفی مقاومت (وات: W)

R: مقاومت الکتریکی برحسب اهم (Ω)
V: اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت برحسب ولت (V)
I: جریان عبوری از مقاومت برحسب آمپر (A)

تذکر با توجه به داده‌های تست از یکی از رابطه‌های بالا استفاده می‌کنیم.

نکته

مقاومت‌ها توان الکتریکی را دریافت و آن را به سایر انرژی‌ها (مثل گرما) تبدیل می‌کنند.

توان اسمی (P_s)، ولتاژ اسمی (V_s)

این دو عدد روی وسیله‌های برقی حک می‌شوند.

ولتاژ اسمی (V_s): ولتاژ مناسب برای وسیله (وسیله می‌تواند به ولتاژ دیگری وصل شود. ولتاژ واقعی وسیله را با V نشان می‌دهیم.)

$V = V_s$ ← وسیله با توان بیشینه یعنی همان توان اسمی (P_s) کار می‌کند.

$V < V_s$ ← توان مصرفی وسیله از توان اسمی آن کم‌تر خواهد بود.

$V > V_s$ ← وسیله آسیب می‌بیند.

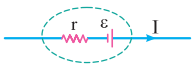
نکته

اگر وسیله به جای ولتاژ اسمی (V_s) به ولتاژ دیگری (V) وصل شود، توان آن (با فرض ثابت‌بودن مقاومت وسیله) از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\frac{P}{P_s} = \left(\frac{V}{V_s}\right)^{2}$$

توان منبع نیروی محرکه (باتری)

برای باتری شکل زیر سه توان تعریف می‌شود:



$P_{\text{تولیدی}} = \varepsilon I$: توان کل: توان تولیدی

$P_{\text{تلف}} = rI^{2}$: توان مصرفی: توان غیرمفید: توان تلف‌شده

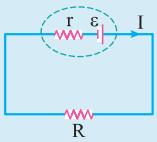
$P_{\text{خروجی}} = \varepsilon I - rI^{2}$: توان مفید: توان خروجی

ε: نیروی محرکهٔ باتری برحسب ولت (V)، r: مقاومت درونی باتری برحسب اهم (Ω)، I: جریان عبوری از باتری برحسب آمپر (A)

تذکر در واقع باتری توان εI را تولید می‌کند، توان rI^{2} را خودش مصرف می‌کند و بقیه، یعنی توان $\varepsilon I - rI^{2}$ را به مدار می‌دهد.

نکته

در مدار زیر طبق قانون پایستگی انرژی:



توان مصرفی مقاومت خارجی = توان خروجی باتری

$P_{\text{خروجی}} = P_R$

$\varepsilon I - rI^{2} = RI^{2}$

@DaneshSad

نمودار توان خروجی باتری برحسب جریان

طبق رابطهٔ $P_{خروجی} = \varepsilon I - rI^2$، نمودار $P_{خروجی} - I$ به شکل سهمی مقابل است:

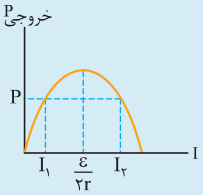


بررسی سه نقطهٔ مهم در نمودار:

نقطه	جریان	توان خروجی	توضیح
A	صفر	صفر	باتری اصلاً انرژی تولید نمی‌کند!
B	$\frac{\varepsilon}{r}$	صفر	دو سر باتری با سیم بدون مقاومت به هم وصل است. مصرف‌کننده‌ای وجود ندارد. باتری هر چه تولید می‌کند، خودش مصرف می‌کند.
C	$\frac{\varepsilon}{2r}$	$P_{max} = \frac{\varepsilon^2}{4r}$	وقتی ایجاد می‌شود که مقاومت خارجی و درونی برابر باشد $(r = R)$.

نکته

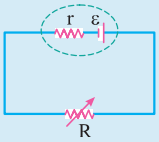
با توجه به تقارن سهمی، اگر به ازای جریان‌های متمایز I_1 و I_2، توان خروجی باتری یکسان باشد داریم:



$$\frac{\varepsilon}{2r} = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

نکته

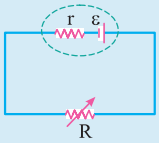
در مدار شکل زیر، هر چه مقدار مقاومت خارجی به مقدار مقاومت درونی باتری نزدیک‌تر باشد، توان خروجی باتری بیشتر است. مثلاً اگر $r = 5\ \Omega$ باشد:



تغییرات مقاومت خارجی	چگونگی تغییر توان خروجی	دلیل
از $1\ \Omega$ به $4\ \Omega$	افزایش	R به r نزدیک می‌شود.
از $6\ \Omega$ به $8\ \Omega$	کاهش	R از r دور می‌شود.
از $2\ \Omega$ به $6\ \Omega$	ابتدا افزایش و سپس کاهش	R ابتدا به r نزدیک و سپس از آن دور می‌شود.

نکته

در مدار شکل زیر اگر به ازای دو مقدار R_1 و R_2 برای مقاومت متغیر، توان خروجی باتری یکسان باشد، داریم:



$$r_1 r_2 = R^2$$

– توان ورودی مولد در حال شارژ –

اگر باتری در مداری باشد و جریان از پایانهٔ منفی آن خارج شود، نه تنها انرژی الکتریکی از آن خارج نمی‌شود، بلکه به آن وارد می‌شود (باتری در حال شارژ است، ضدمولد!).



در این حالت:

$$P_{ورودی} = \underbrace{\varepsilon I}_{\text{این جزء از توان در باتری ذخیره می‌شود}} + \underbrace{rI^2}_{\text{این جزء در باتری تلف می‌شود.}}$$

$P_{ورودی}$: توان واردشده به باتری در حال شارژ

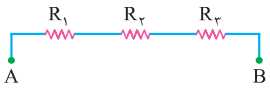
ε: نیروی محرکهٔ باتری برحسب ولت (V)، r: مقاومت درونی باتری برحسب اهم (Ω)، I: جریان عبوری از باتری برحسب آمپر (A)

@DaneshSad

بخش ۴: ترکیب مقاومت‌ها

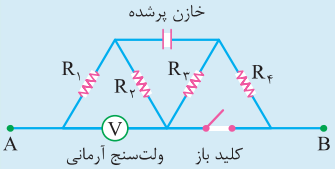
– الف) مقاومت‌های متوالی (سری) –

دو مقاومت متوالی‌اند، اگر یک سر مشترک داشته باشند و از این سر مشترک انشعاب مفید دیگری خارج نشود.

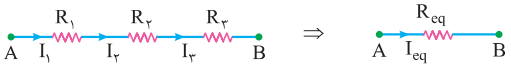


نکته

کلید باز، سیمی که به نقطهٔ دیگر مدار متصل نیست، ولت‌سنج آرمانی و خازن پرشده انشعاب مفید محسوب نمی‌شوند. در شکل زیر مقاومت‌ها متوالی‌اند.



رابطهٔ بین مقاومت‌های متوالی و معادلشان



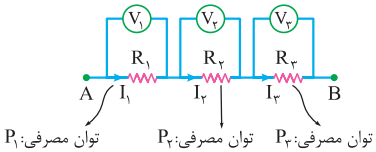
جریان الکتریکی: $I_1 = I_2 = I_3 = I_{eq}$

توان مصرفی: $P_1 + P_2 + P_3 = P_{eq}$

اختلاف پتانسیل: $V_1 + V_2 + V_3 = V_{eq} = V_{AB}$

مقاومت الکتریکی: $R_1 + R_2 + R_3 = R_{eq}$

روابط بین چند مقاومت متوالی

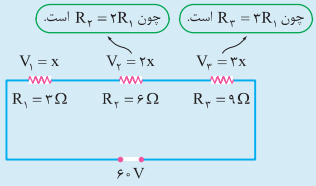


$V \propto R \Rightarrow$ مثلاً: $\frac{V_2}{V_1} = \frac{R_2}{R_1}$

$P \propto R \Rightarrow$ مثلاً: $\frac{P_3}{P_2} = \frac{R_3}{R_2}$

نکته

برای تقسیم ولتاژ بین چند مقاومت متوالی، ولتاژ مقاومت کوچک‌تر را x می‌گیریم و ولتاژ مقاومت‌های دیگر را برحسب x به دست می‌آوریم؛ سپس به کمک داشتن ولتاژ دو سر مجموعهٔ مقاومت‌ها، x را به دست می‌آوریم.



$x + 2x + 3x = 60 \Rightarrow x = 10 \Rightarrow \begin{cases} V_1 = 10\ V \\ V_2 = 20\ V \\ V_3 = 30\ V \end{cases}$

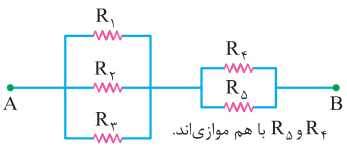
۱ اگر از میان چند لامپ سری، یکی بسوزد، سایر لامپ‌ها خاموش می‌شوند (مدار قطع می‌شود).

۲ مقاومت معادل چند مقاومت متوالی از تک‌تک آن‌ها بزرگ‌تر است.

۳ اگر n مقاومت R اهمی، متوالی باشند: $R_{eq} = nR$

– ب) مقاومت‌های موازی –

دو مقاومت موازی‌اند، اگر دوسرشان به هم وصل باشد.

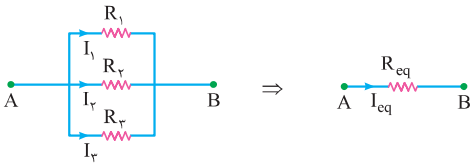


R_4 و R_5 با هم موازی‌اند.

R_1، R_2 و R_3 با هم موازی‌اند.

@DaneshSad

رابطهٔ بین مقاومت‌های موازی و معادلشان



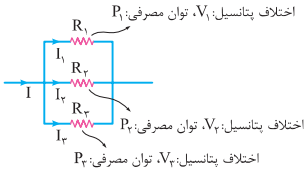
اختلاف پتانسیل: $V_۱ = V_۲ = V_۳ = V_{eq} = V_{AB}$

توان مصرفی: $P_۱ + P_۲ + P_۳ = P_{eq}$

جریان الکتریکی: $I_۱ + I_۲ + I_۳ = I_{eq}$

مقاومت الکتریکی: $\frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳} = \frac{۱}{R_{eq}}$

رابطهٔ بین چند مقاومت موازی

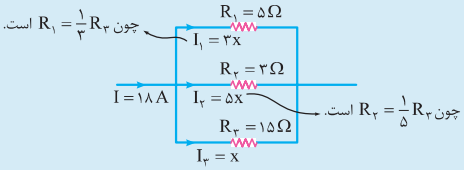


$I \propto \frac{۱}{R} \Rightarrow$ مثلاً: $\frac{I_۲}{I_۱} = \frac{R_۱}{R_۲}$

$P \propto \frac{۱}{R} \Rightarrow$ مثلاً: $\frac{P_۲}{P_۳} = \frac{R_۳}{R_۲}$

نکته

۱ برای تقسیم جریان بین چند مقاومت موازی، جریان عبوری از مقاومت بزرگ‌تر را x در نظر می‌گیریم و جریان عبوری از مقاومت‌های دیگر را برحسب x به دست می‌آوریم؛ سپس به کمک داشتن جریان کل (مجموع جریان‌ها)، x را حساب می‌کنیم.



چون $R_۱ = \frac{۱}{۳}R_۳$ است.

چون $R_۲ = \frac{۱}{۵}R_۳$ است.

$۳x + x + ۵x = ۱۸ \Rightarrow x = ۲ \Rightarrow \begin{cases} I_۳ = ۲\ A \\ I_۲ = ۱۰\ A \\ I_۱ = ۶\ A \end{cases}$

۲ اگر از میان چند لامپ موازی، یکی بسوزد، سایر لامپ‌ها خاموش نمی‌شوند (مدار قطع نمی‌شود).

۳ مقاومت معادل چند مقاومت موازی از تک‌تک آن‌ها کوچک‌تر است.

۴ اگر n مقاومت R اهمی، موازی باشند:

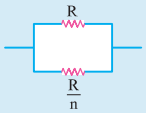
$R_{eq} = \frac{R}{n}$

نکته

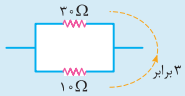
۵ اگر مقاومت‌های $R_۱$ و $R_۲$ موازی باشند:

$R_{eq} = \frac{R_۱R_۲}{R_۱ + R_۲} = \frac{\text{ضرب}}{\text{جمع}}$

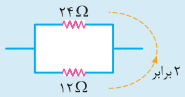
۶ اگر از دو مقاومت موازی، یکی مضربی از دیگری باشد، مقاومت معادل برابر است با $\frac{\text{مقاومت بزرگ‌تر}}{\text{ضریب} + ۱}$.



$R_{eq} = \frac{R}{n+۱}$



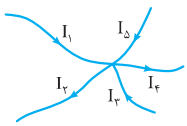
۳ برابر $\Rightarrow R_{eq} = \frac{۳۰}{۳+۱} = ۷/۵\ \Omega$



۲ برابر $\Rightarrow R_{eq} = \frac{۲۴}{۲+۱} = ۸\ \Omega$

قاعدهٔ انشعاب

مجموع جریان‌های خروجی از نقطهٔ انشعاب = مجموع جریان‌های ورودی به هر نقطهٔ انشعاب



$\vec{I}_۱ + \vec{I}_۳ + \vec{I}_۵ = \vec{I}_۲ + \vec{I}_۴$

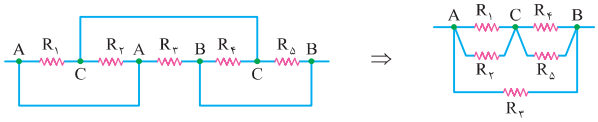
تذکر قاعدهٔ انشعاب: نتیجه‌ای از اصل پایستگی بارالکتریکی

@DaneshSad

DaneshSad
دانش صد

روش نقطه‌گذاری

انشعاب‌های مدار داده‌شده را نام‌گذاری می‌کنیم (A، B، C و...) و به کمک این نقاط مدار ساده‌شده را رسم می‌کنیم.



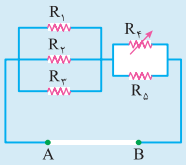
تذکر

۱) انشعاب‌هایی که با سیم بدون مقاومت به هم وصل‌اند، اسم یکسانی دارند.

۲) در مدار داده‌شده به این توجه می‌کنیم که دو سر هر مقاومت به چه نقاطی متصل است و در مدار جدید هم بین همان دو نقطه رسم می‌کنیم.

نکته

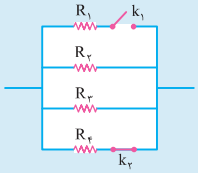
۱ اگر مقدار یکی از مقاومت‌های مدار افزایش (یا کاهش) یابد، مقاومت معادل مدار حتماً افزایش (یا کاهش) می‌یابد.



$R_۴: \uparrow \Rightarrow R_{eq}: \uparrow$

$R_۴: \downarrow \Rightarrow R_{eq}: \downarrow$

۲ اگر {به / از} چند مقاومت موازی، یک مقاومت موازیِ دیگر {اضافه / کم} شود، مقاومت معادل {کاهش / افزایش} می‌یابد.



$k_۱$ وصل کلید $\Rightarrow R_{eq}: \downarrow$

$k_۲$ قطع کلید $\Rightarrow R_{eq}: \uparrow$

نکته

فیوز: قطعه‌ای در مدار که اگر جریان عبوری از آن از حد معینی بیشتر باشد، مدار را قطع می‌کند. جریان بیشینهٔ عبوری از هر فیوز مقدار معینی است؛ مثلاً اگر جریان عبوری از یک فیوزِ ۱۵ A، بیشتر از ۱۵ A شود، فیوز مدار را قطع می‌کند.

@DaneshSad