لقمه اول مفاهیم، تعاریف، نکته‌ها و روابط

۱-۱ بار الکتریکی

بار الکتریکی مفهومی بنیادی از ماده است و در دو نوع مثبت و منفی وجود دارد. الکتریسیتهٔ ساکن (الکتروستاتیک)، شاخه‌ای از فیزیک است که به مطالعهٔ بارهای ساکن می‌پردازد.

نکاتی دربارهٔ بار الکتریکی:

۱ واژهٔ الکتریسیته از الکترون (به معنی کهربا) گرفته شده است.

۲ بار منفی مربوط به الکترون و بار مثبت مربوط به پروتون است.

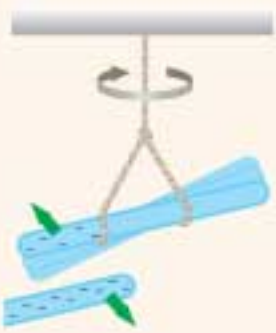
۳ نام‌گذاری مثبت و منفی برای بارهای الکتریکی توسط بنیامین فرانکلین دانشمند آمریکایی صورت گرفت.

۴ مالش دو جسم (غیر هم‌جنس) به یکدیگر سبب ایجاد بار الکتریکی در آن‌ها می‌شود.

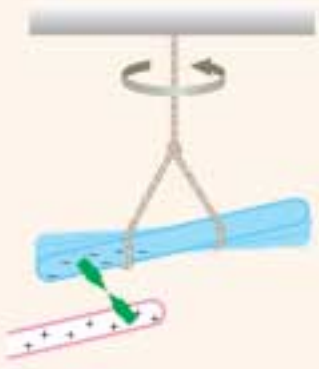
۵ بارهای الکتریکی بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند.

۶ بارهای همنام یکدیگر را دفع و بارهای ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند.

الف) وقتی دو میلهٔ شیشه‌ای را با پارچهٔ ابریشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.

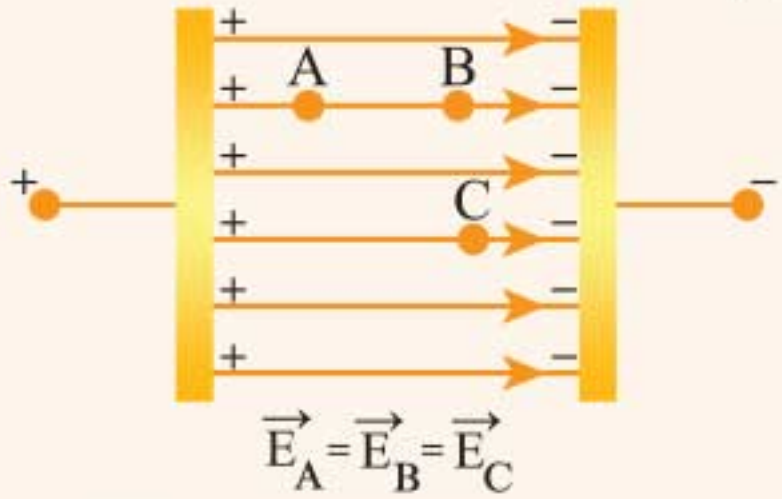


ب) وقتی دو میلهٔ پلاستیکی را با پارچهٔ پشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.

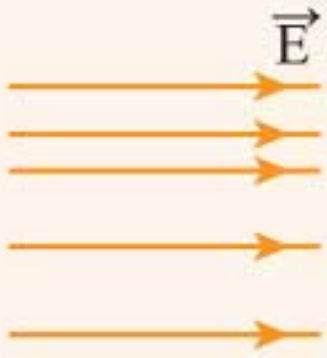


پ) وقتی میلهٔ پلاستیکی مالش داده شده با پارچهٔ پشمی را به میلهٔ شیشه‌ای مالش داده شده با پارچهٔ ابریشمی نزدیک کنیم، همدیگر را جذب می‌کنند.

۵ بـــردار میدان الکتریکی در همهٔ نقاط میدان الکتریکی یکنواخت **هم‌اندازه** و **هم‌جهت** است.



میدان‌الکتریکی غیریکنواخت: تراکم یکسان است، اما جهت میدان در همهٔ نقاط یکسان نیست.



میدان‌الکتریکی غیریکنواخت: تراکم یکسان نیست، هر چند جهت میدان در همه نقاط یکسان است.

نیروی الکتریکی وارد بر بار الکتریکی در یک میدان الکتریکی: اگر بار q در میدان $\vec{E}$ قرار گیرد، نیروی $\vec{F}$ طبق رابطهٔ زیر بر آن اعمال می‌شود:

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad \left(\frac{N}{C}\right)$$

$\vec{F}$: نیروی وارد بر بار q از طرف میدان (N)

q: (C)

$\vec{E}$

نکته:

$\vec{F}=q\vec{E}$

- اگر $q>0$ باشد ← $\vec{F}$ هم جهت $\vec{E}$ است ⇒ $q>0$: $\vec{F}$ و $\vec{E}$ هم جهت
- اگر $q<0$ باشد ← $\vec{F}$ خلاف جهت $\vec{E}$ است ⇒ $q<0$: $\vec{F}$ و $\vec{E}$ خلاف جهت

شتاب بار q در حضور میدان $\vec{E}$: اگر بار q در میدان $\vec{E}$ قرار گیرد و رها شود، شتابی که بار در اثر میدان‌الکتریکی می‌گیرد برابر است با:

$$\vec{F} = m\vec{a} \xrightarrow{\vec{F}=q\vec{E}} q\vec{E} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{q}{m}\vec{E}$$

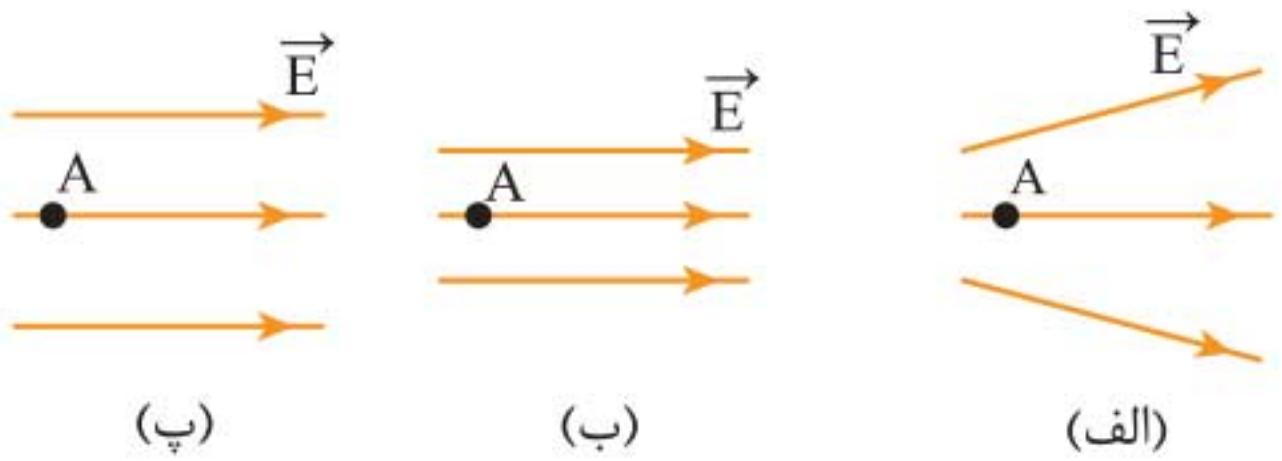
نکات:

۱ بزرگی شتاب بار q که در میدان الکتریکی $\vec{E}$ قرار دارد، متناسب با اندازهٔ بار، متناسب با وارون جرم ذرهٔ باردار و متناسب با بزرگی میدان الکتریکی است.

۲ اگر بار q مثبت باشد، شتاب آن، هم‌جهت با میدان $\vec{E}$ است.

۳ اگر بار q منفی باشد، شتاب آن، خلاف جهت میدان $\vec{E}$ است.

مثال ۱۶ به ذره‌ای به جرم m بار مثبت q می‌دهیم و آن را در هریک از شکل‌های زیر از نقطهٔ A بدون تندی اولیه رها می‌کنیم. شتاب ذره در نقطهٔ A را با یکدیگر مقایسه کنید.



(پ) (ب) (الف)

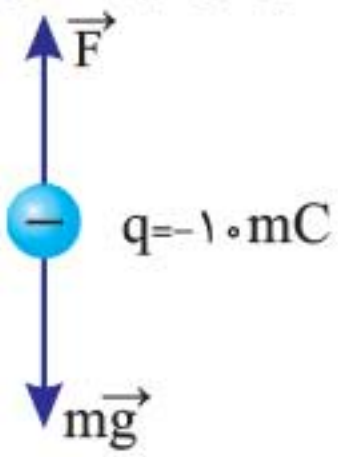
پاسخ بزرگی میدان در نقطهٔ A در شکل (ب) بیش‌تر از (الف) و (پ) است، از این رو بنابر $\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$ شتاب ذره در (ب) بیش‌تر از (الف) و در (الف) بیش‌تر از (پ) است.

$$a_{(ب)} > a_{(الف)} > a_{(پ)}$$

بار در حال تعادل: اگر ذره‌ای با بار q و جرم m فقط تحت تأثیر میدان الکتریکی و گرانشی بوده و در حال تعادل (معلق) باشد، داریم:

$$\left.\begin{matrix}\vec{F}=q\vec{E}\\ W=mg\end{matrix}\right\}\xrightarrow{F=W}|q|E=mg$$

مثال ۱۷ **ذره‌ای به جرم ۲۰ g بار الکتریکی $-۱۰\,mC$ دارد و در میدان الکتریکی یکنواخت، معلق و ساکن است. اگر $g=۱۰\,m/s^۲$ باشد:**



الف **بزرگی و جهت میدان را به دست آورید.**

ب **اگر جهت میدان الکتریکی وارون شود، بزرگی شتاب ذره را حساب کنید.**

پاسخ **الف** بر ذره دو نیروی وزن و F_E از سوی میدان (میدان الکتریکی) وارد می‌شود:

چون mg رو به پایین است، پس F_E رو به بالا می‌باشد تا برایند دو نیرو صفر شود و می‌توان نوشت:

$$F_E=mg\Rightarrow|q|E=mg\Rightarrow E=\frac{۲۰\times۱۰^{-۳}\times۱۰}{۱۰\times۱۰^{-۳}}\Rightarrow E=۲۰\,N/C$$

چون بار منفی است، نیروی F خلاف جهت میدان است. پس میدان رو به پایین است.

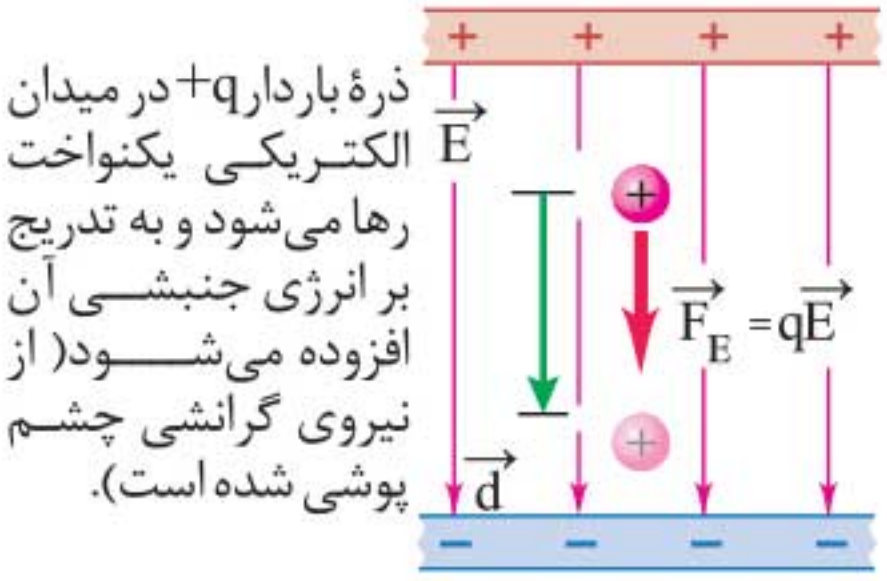
ب با وارون شدن جهت میدان، نیروی F_E به طرف پایین و هم‌جهت با mg می‌شود:

$$F+mg=ma\Rightarrow \underbrace{۱۰\times۱۰^{-۳}}_{|q|}\times\underbrace{۲۰}_{E}+\underbrace{۲۰\times۱۰^{-۳}}_{m}\times\underbrace{۱۰}_{g}$$

$$=۲۰\times۱۰^{-۳}\,a\Rightarrow ۰/۴=۰/۰۲a\Rightarrow a=۲۰\,m/s^۲$$

۱-۷ انرژی پتانسیل الکتریکی

نوعی از انرژی ذخیره شده است که بین دو یا چند ذرهٔ باردار و به سبب وجود بار ذرات پدید می‌آید.

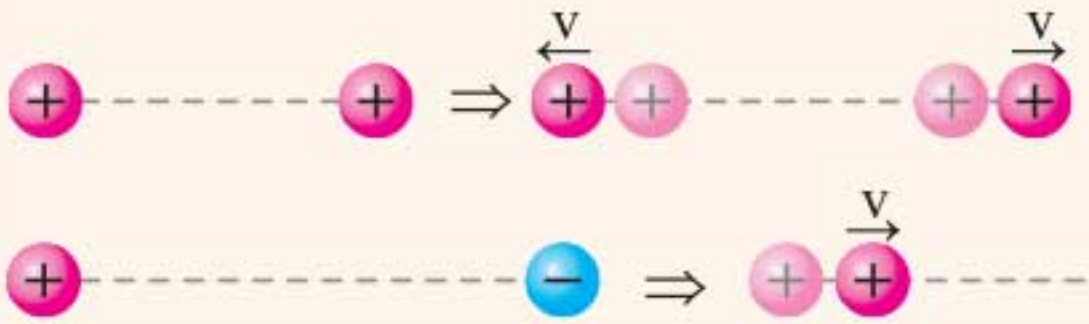


ذرهٔ باردار $q+$ در میدان الکتریکی یکنواخت رها می‌شود و به تدریج بر انرژی جنبشی آن افزوده می‌شود(از نیروی گرانشی چشم پوشی شده است).

اگر ذرهٔ باردار q_2+ در میدان الکتریکی فضای اطراف بار q_1+ رها شود، شتاب می‌گیرد و بر انرژی جنبشی‌اش افزوده می‌شود.

نکات:

۱ اگر دو ذرهٔ باردار در فاصلهٔ معینی رها شوند و به طرف یکدیگر نزدیک و یا از هم دور شوند، انرژی پتانسیل الکتریکی آن‌ها کاهش و انرژی جنبشی آن‌ها افزایش می‌یابد.



ذره‌ها به طرف یکدیگر حرکت می‌کنند (انرژی جنبشی یافته‌اند)، زیرا انرژی پتانسیل الکتریکی آن‌ها کاهش یافته است.

ذره‌ها تحت اثر نیروی جاذبه قرار دارند، ثابت نگه داشته شده‌اند و انرژی پتانسیل الکتریکی دارند.

۲ انرژی پتانسیل الکتریکی را با U_E و تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی را با ΔU_E نشان می‌دهیم.

رابطهٔ کار نیروی الکتریکی با تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی

برای هر میدان الکتریکی داریم:

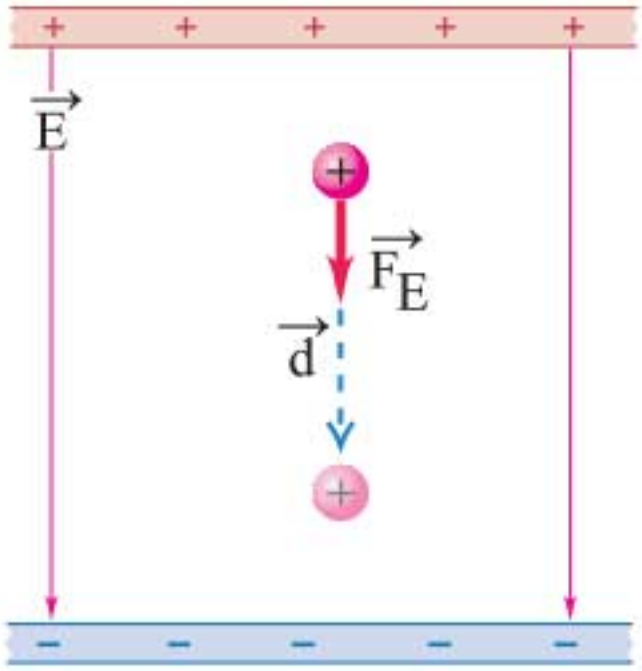
$$W_E = -\Delta U_E$$

W_E: کار نیروی الکتریکی

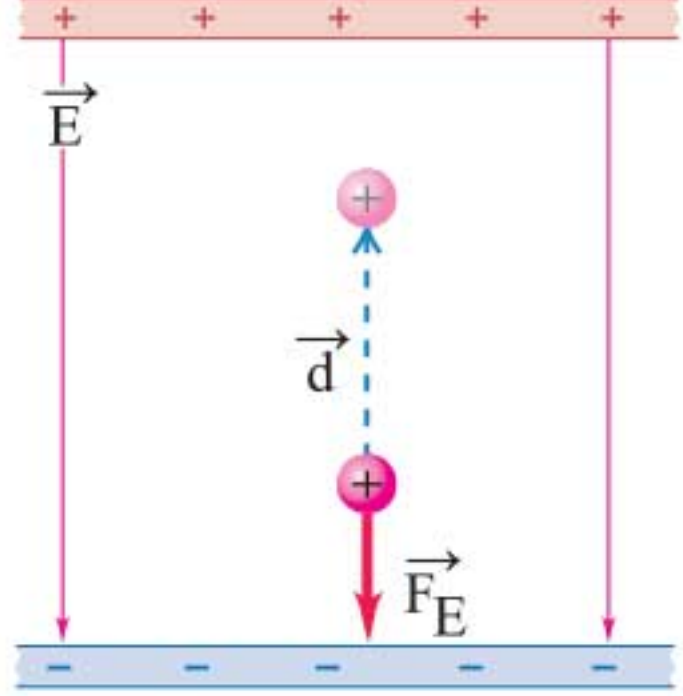
نکات:

۱ اگر بار الکتریکی (مثبت یا منفی) هم‌جهت با نیروی الکتریکی جابه‌جا شود، کار (W_E) مثبت و تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی (ΔU_E) منفی است.

۲ اگر بار الکتریکی q (مثبت و منفی) را در یک میدان الکتریکی رها کنیم تا بار آزادانه و فقط تحت اثر نیروی میدان حرکت کند، انرژی پتانسیل الکتریکی‌اش کاهش می‌یابد.



الف) بار مثبت را در جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ جابه‌جا می‌کنیم: میدان الکتریکی کار مثبت W_E را روی بار انجام می‌دهد. انرژی پتانسیل الکتریکی U_E کاهش می‌یابد.



ب) بار مثبت را در خلاف جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ جابه‌جا می‌کنیم: میدان الکتریکی کار منفی W_E را روی بار انجام می‌دهد. انرژی پتانسیل الکتریکی U_E افزایش می‌یابد.

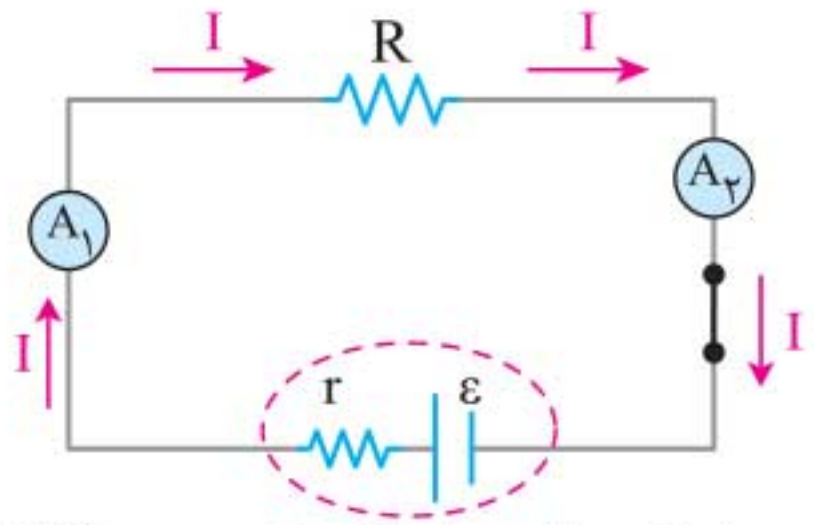
مدار تک‌حلقه‌ای

مدار تک‌حلقه: مداری است که هیچ‌گونه انشعابی نداشته باشد.

نکته: در مدار تک‌حلقه در همهٔ قسمت‌ها، جریان الکتریکی یکسان است.

۱ مدار تک‌حلقهٔ ساده

مداری شامل یک باتری، یک مقاومت، کلید و سیم‌های رابط است.



در مدار تک حلقه جریان‌الکتریکی در همهٔ نقاط یکسان است و آمپرسنج‌ها عدد یکسانی می‌دهند.

قرارداد (دستورالعمل) تعیین اختلاف پتانسیل: **ویژهٔ رشتهٔ ریاضی**

می‌دانیم هرگاه هم جهت میدان الکتریکی حرکت کنیم، پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد و اگر از یک باتری یا مقاومت بگذریم برای تعیین تغییر پتانسیل الکتریکی دو دستورالعمل زیر را در نظر می‌گیریم:

الف هرگاه در مدار در جهت جریان از مقاومت R (یا r) عبور کنیم، پتانسیل الکتریکی به اندازهٔ IR (یا Ir) کاهش می‌یابد و اگر در خلاف جهت جریان حرکت کنیم، پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد.

ب هرگاه از پایانهٔ منفی به طرف پایانهٔ مثبت یک باتری (آرمانی و یا واقعی) حرکت کنیم پتانسیل الکتریکی به اندازهٔ ε افزایش می‌یابد و اگر از پایانهٔ مثبت به پایانهٔ منفی باتری عبور کنیم، پتانسیل الکتریکی به اندازهٔ ε کاهش می‌یابد.

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

ویژهٔ رشتهٔ ریاضی

عنصر مدار	جهت حرکت	تغییرپتانسیل	
مقاومت	در جهت جریان	$-IR$	$\Delta V=-IR$
مقاومت	در خلاف جهت جریان	$+IR$	$\Delta V=+IR$
منبع نیروی محرکه	از پایانهٔ منفی به پایانهٔ مثبت	$+\varepsilon$	$\Delta V=+\varepsilon$
منبع نیروی محرکه	از پایانهٔ مثبت به پایانهٔ منفی	$-\varepsilon$	$\Delta V=-\varepsilon$

۲-۵ توان در مدارهای الکتریکی

توان آهنگ مصرف یا تولید انرژی یا انجام کار است.

$$(W) \leftarrow P = \frac{W}{t} = \frac{\Delta U}{t} = \frac{q\Delta V}{t} = I\Delta V$$

نکته: یکای توان ژول بر ثانیه است و به آن وات می‌گویند.

نکاتی دربارهٔ توان الکتریکی:

در مدارهای الکتریکی توان را به دو دسته تقسیم می‌کنیم:

۱ **تـوان مصرفـی:** توان مصرفی مربوط بـه آهنگ مصرف انرژی در اجزایی است که از مدار انرژی می‌گیرند. مانند مقاومت.

۲ **تـوان خروجی (مفید) مولـد:** توان خروجی مربوط به آهنگ تولید انرژی در اجزایی است که به مدار انرژی می‌دهند. مانند باتری

نکتـه: در یک جزء مدار (مانند مقاومت و باتری) می‌توان نمودار نقشهٔ مفهومی زیر را در نظر گرفت:

$$P = \frac{\Delta U}{t} = \frac{q\Delta V}{t} \Rightarrow P = I\Delta V \text{ (توان الکتریکی)}$$

$$\Rightarrow P = I(V_b - V_a) \quad \text{باحرکت ازهر جزءمدار در جهت جریان}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} V_b < V_a \text{ اگر} \rightarrow P < 0 \rightarrow \text{این جزء از مدار انرژی می‌گیرد.} \\ V_b > V_a \text{ اگر} \rightarrow P > 0 \rightarrow \text{این جزء به‌مدار انرژی می‌دهد.} \end{cases}$$

از رابطهٔ $P = I\Delta V$ می‌توان برای منبع نیروی محرکه (مانند باتری) یا جزء مصرف کننده (مانند مقاومت الکتریکی دستگاه الکتریکی) و ... استفاده کرد.

توان الکتریکی مصرفی در یک مقاومت

$$P_{\text{مصرفی}} = |P| = |IV| \xrightarrow{V=IR} P_{(\text{مصرفی})} = RI^{۲}$$

$$P_{\text{مصرفی}} = |IV| \xrightarrow{I=V/R} P_{(\text{مصرفی})} = \frac{V^{۲}}{R}$$

نکته: انرژی مصرفی در یک جزء مصرف‌کننده با توان مصرفی P در مدت t برابر است با: $U = Pt$

نکاتی دربارهٔ توان مصرفی:

روی همهٔ وسایل الکتریکی دو ویژگی درج می‌شود که مربوط به کارکرد وسیله است:

۱ ولتاژی که وسیله با آن کار می‌کند.

۲ توان مصرفی وسیله هنگامی که به ولتاژ مورد نظر وصل است.

مثال ۱۲ در اتوی برقی $۲۲۰V - ۲۲۰۰W$، هنگامی که روشن است:

الف چه جریانی از آن عبور می‌کند؟

ب مقاومت اتو در حالت روشن چند اهم است؟

پاسخ الف

$$P = IV \Rightarrow I = \frac{P}{V} \Rightarrow I = \frac{۲۲۰۰}{۲۲۰} = ۱۰\,A$$

ب

$$P = \frac{V^{۲}}{R} \Rightarrow R = \frac{V^{۲}}{P} \Rightarrow R = \frac{(۲۲۰)^{۲}}{۲۲۰۰} \Rightarrow R = ۲۲\Omega$$

نکته: در لامپ‌ها، هر قدر توان مصرفی لامپ بیش‌تر باشد، روشنایی وسیله نیز بیش‌تر است.

بهای برق مصرفی

برای محاسبهٔ بهای برق مصرفی می‌توان از رابطهٔ زیر استفاده کرد:

$$\text{بهای برق مصرفی} = \frac{P_{(\text{توان مصرفی})} \times h_{(\text{ساعت‌های یک روز})}}{۱۰۰۰} \times$$

$$\text{بهای یک کیلو وات ساعت} \times \frac{d_{(\text{تعداد روزهای ماه})} \times m_{(\text{تعداد ماه‌های مصرف})}}{۱۰۰۰}$$

مثال ۱۳ اگر یک اتوی برقی ۱۵۰۰ واتی و ۵ لامپ ۲۰ واتی هر روز به مدت ۵ ساعت روشن باشند و بهای هر کیلووات ساعت انرژی برق برابر ۵۰ تومان باشد، بهای برق مصرفی این وسیله‌ها در مدت سه ماه چند تومان خواهد شد؟

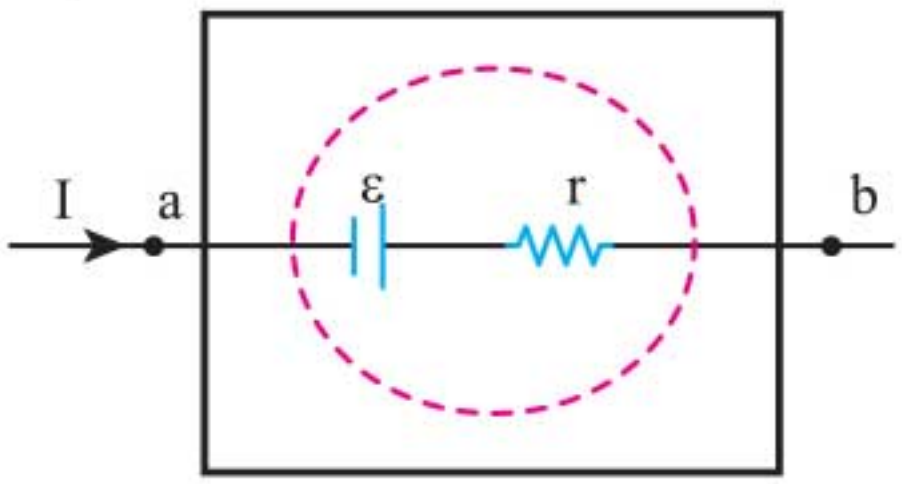
پاسخ

$$\text{بهای برق مصرفی} = \frac{[۱۵۰۰+(۵\times۲۰)]\times۵(h)\times۳۰(d)\times۳(m)}{۱۰۰۰}\times۵۰$$

$$= ۳۶۰۰۰ \text{ تومان}$$

توان خروجی یک منبع نیروی محرکهٔ واقعی

مطابق شکل اگر در جهت جریان از مولد عبور کنیم داریم:



توان خروجی از باتریِ شکل، از رابطهٔ $P=(V_b-V_a)I$ به دست می‌آید.

اختلاف پتانسیل دو سر باتری: $V_{\text{باتری}} = \varepsilon - Ir$

توان خروجی باتری: $P = IV \Rightarrow P_{(\text{خروجی})} = \varepsilon I - I^{۲} r$

نکاتی دربارهٔ توان باتری واقعی:

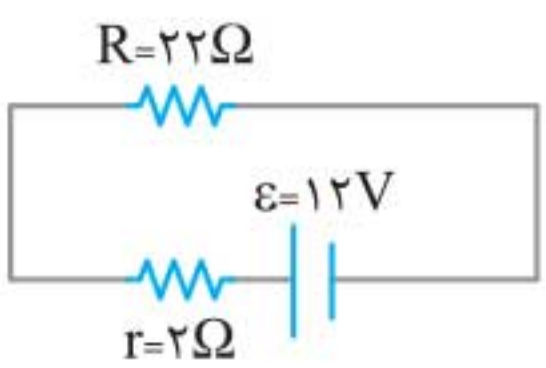
۱ $P_{(\text{خروجی})}$ مقداری مثبت است و این باتری به مدار انرژی می‌دهد.

۲ به مقدار εI، توان تولیدی مولد می‌گویند.

۳ به مقدار، $rI^{۲}$ ،توان مصرفی در مقاومت داخلی باتری می‌گویند.

۴ برای باتری آرمانی داریم: $r = ۰ \Rightarrow P_{(\text{خروجی آرمانی})} = \varepsilon I$

مثال ۱۴ در شـــکل زیر توان مصرفی مقاومت R و توان خروجی باتری را حساب کنید.



پاسخ جریان مدار را حساب می‌کنیم:

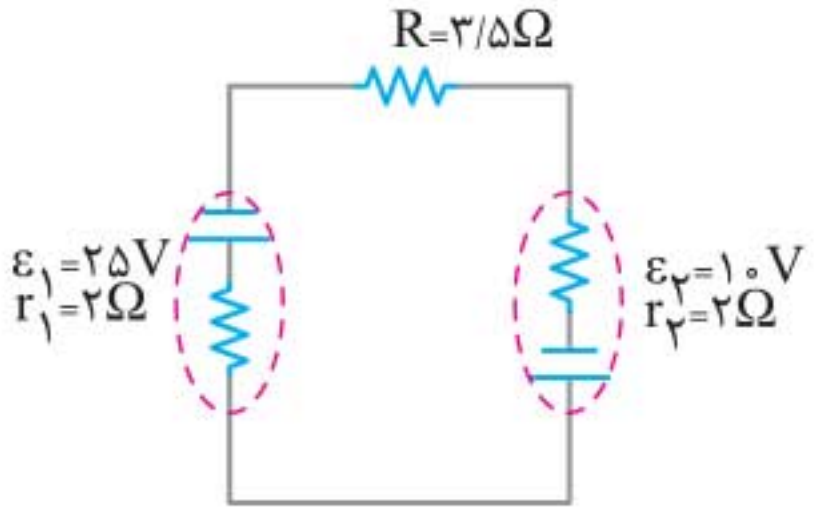
$$\varepsilon = ۱۲V, r = ۲\Omega \qquad I = \frac{\varepsilon}{R+r} = \frac{۱۲}{۲۲+۲} = ۰/۵A$$

توان مصرفی R برابر است با: $P = RI^{۲} = ۲۲ \times ۰/۵^{۲} = ۵/۵W$

اکنون توان خروجی باتری را به‌دست می‌آوریم:

$$P = \varepsilon I - I^{۲} r = ۱۲ \times ۰/۵ - ۲ \times ۰/۵^{۲} \Rightarrow P = ۵/۵W$$

مثال ۱۵ در مدار شکل مقابل



الف کدام باتری به مدار انرژی می‌دهد؟ توان خروجی آن را به دست آورید. ویژهٔ رشتهٔ ریاضی

ب توان مصرفی و انرژی مصرفی در مقاومت R را در مدت ۱ دقیقه به دست آورید.

پ توان باتری ε_2 را حساب کنید.

پاسخ الف چون $\varepsilon_2 < \varepsilon_1$ است، جریان پادساعتگرد (در جهت ε_1) است و این باتری به مدار انرژی می‌دهد و اگر جریان را به‌دست آوریم سپس از مولد عبور کنیم، داریم:

$$I = \frac{۲۵ - ۱۰}{۳/۵ + ۲ + ۲} = ۲\,A \text{(پادساعت‌گرد)}$$

$$P_{\text{خروجی}_1} = I\Delta V \Rightarrow P_1 = ۲\times(+۲۵ - (۲\times۲) \Rightarrow P_{\text{خروجی}_1} = +۴۲W$$

ب

$$P_{\text{مصرفی}} = RI^۲ = ۳/۵ \times ۲^۲ = ۱۴W$$

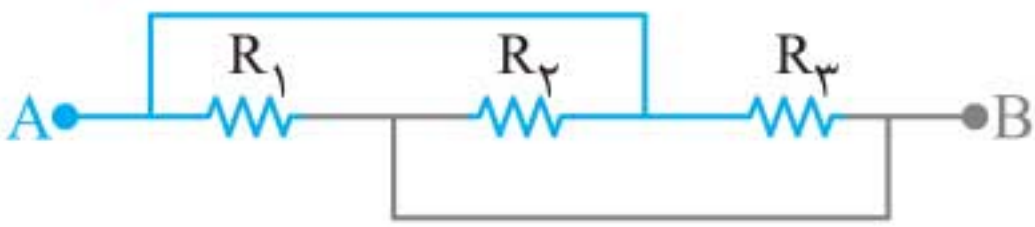
$$U_{\text{مصرفی}} = P_{\text{مصرفی}} \times t = ۱۴ \times ۶۰ = ۸۴۰\,J$$

پ در جهت جریان از ε_2 عبور می‌کنیم و توان آن را از رابطهٔ $P = I\Delta V$ به دست می‌آوریم:

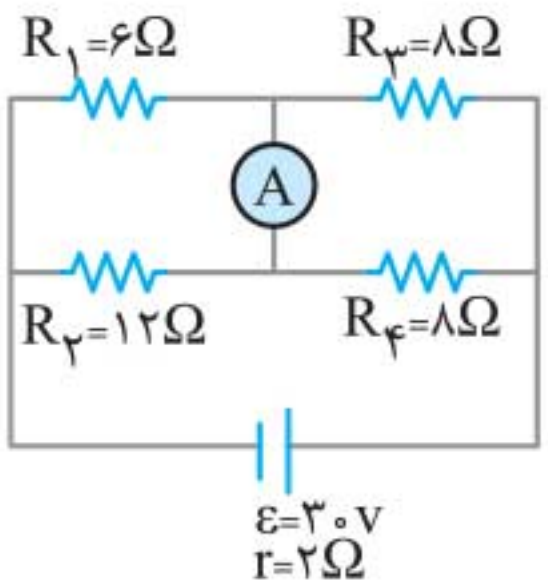
$$P_2 = I(-\varepsilon_2 - Ir_2) \Rightarrow P = -۲(۱۰ + ۲\times۲) = -۲۸W$$

ملاحظه می‌شود که باتری ε_2، ضد محرکه است و از مدار انرژی می‌گیرد (مصرف می‌کند) زیرا $P_2 < ۰$ است.

تذکر: در مثال فوق باتری ε_1 علاوه بر مقاومت R به باتری ε_2 نیز انرژی می‌دهد. گویی ε_1 باتری ε_2 را شارژ می‌کند و بنابراصل پایستگی انرژی در این مثال داریم: $P_{\text{خروجی}_1} = P_{R\,\text{مصرفی}} + P_{\text{مصرفی}_2}$



مثال ۲۵ در شکل مقابل آمپرسنج چند آمپر را نشان می‌دهد؟

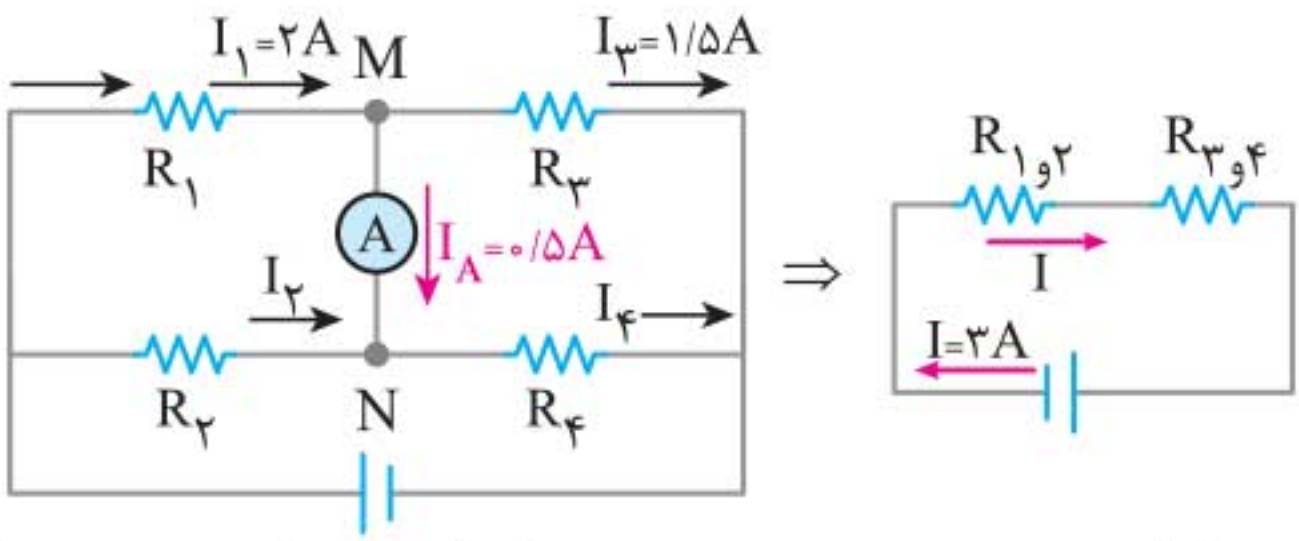


پاسخ چون مقاومت آمپرسنج تقریباً صفر است مانند یک سیم رسانا عمل می‌کند و می‌توان دریافت $R_۱$ با $R_۲$ موازی است و $R_۳$ با $R_۴$ موازی و $R_{۱,۲}$ با $R_{۲,۴}$ متوالی است.

$$R_{۱,۲}=\frac{۶\times۱۲}{۶+۱۲}=۴\Omega\,,\qquad R_{۳,۴}=\frac{۸\times۸}{۸+۸}=۴\Omega$$

$$R_{eq}=۴+۴=۸\Omega$$

جریان کل مدار برابر است با: $I_{۱,۲}=I_{۳,۴}=I=\frac{۳۰}{۸+۲}=۳A$



اکنون ولتاژ دو سر $R_{۱,۲}$ و $R_{۳,۴}$ و جریان گذرنده از $R_۱$ و $R_۳$ را به دست می‌آوریم.

باتری، یک کلید قطع و وصل، و یک مقاومت یا لامپ کوچک را سوار کنید. نخست در حالی 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 چگونه می‌توانید مقاومت داخلی باتری را حساب کنید؟

پاسخ وقتی کلید باز است، ولت‌سنج نیروی محرکهٔ مولد را نشان می‌دهد $(V = \varepsilon)$. وقتی کلید بسته می‌شود، ولت‌سنج اختلاف پتانسیل دو سر باتری که برابر $V = \varepsilon - rI$ است را نشان می‌دهد. با خواندن عدد آمپرسنج (I) و مشخص بودن ε از مرحلهٔ قبل، می‌توان r را محاسبه کرد.

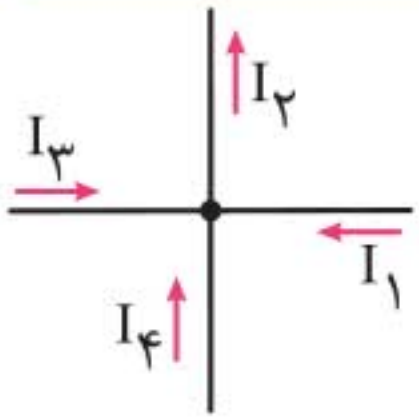
فعالیت ۲-۷ ریاضی و ۲-۴ تجربی

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

پاسخ با برقراری جریان الکتریکی و گرم شدن مقاومت، گرمای Q از مقاومت به آب و ظرف گرماسنج، منتقل می‌شود و سبب افزایش دما به اندازهٔ ΔT می‌شود. این گرما از رابطهٔ $Q = (m_{آب}c_{آب} + C_{گرمکن})\Delta T$ به دست می‌آید. پس از آن‌که سیم گرمکن گرماسنج به حدّ کافی گرم شد و به دمای تقریباً ثابتی رسید، انرژی الکتریکی مصرفی در این مقاومت کاملاً به گرما تبدیل می‌شود. با خواندن عددهای ولت‌سنج و آمپرسنج و داشتن مدت زمان این فرآیند با استفاده از رابطهٔ $U = VIt$

پرسش ۲–۳ ویژهٔ رشتهٔ ریاضی

برای نقطهٔ انشعاب نشان داده شده در شکل؛ رابطهٔ بین جریان‌ها را بنویسید.



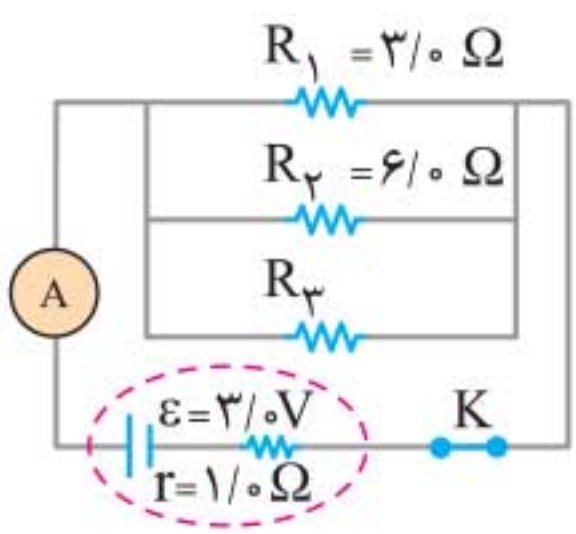
پاسخ

جمع جریان‌های خروجی از گره = جمع جریان‌های ورودی به‌گره

$$\Rightarrow I_1 + I_3 + I_4 = I_2$$

تمرین ۲–۶ ریاضی و ۲–۴ تجربی

در شکل روبه‌رو سه مقاومت موازی به همراه یک آمپرسنج آرمانی به دو سر باتری وصل شده‌اند. اگر مقاومت معادل این ترکیب، ۱/۶Ω باشد،



الف مقاومت R_3 چقدر است؟

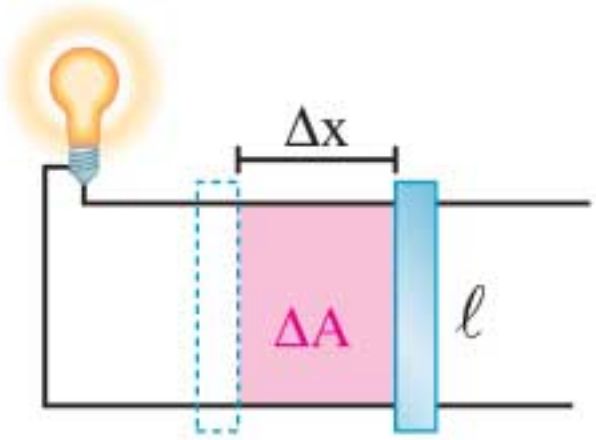
ب جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد را به دست آورید.

پ نشان دهید توان خروجی باتری با مجموع توان‌های مصرفی مقاومت‌های R_1، R_2 و R_3 برابر است.

پاسخ الف

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow \frac{1}{1/6} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_3 = 8\Omega$$



$$t = ۲s \rightarrow \Delta x = ۱ \times ۲ = ۲m$$

$$\Delta\Phi = B\ell\Delta x \xrightarrow[B=۰/۱T]{\ell=۰/۲m}$$

$$\Delta\Phi = ۰/۱ \times ۰/۲ \times ۲ = ۰/۰۴Wb$$

رابطهٔ قانون القای فاراده

اگر تغییر شار مغناطیسی با آهنگ بیش‌تری صورت گیرد یا تعداد حلقه‌های پیچه (N) بیش‌تر باشد، نیروی محرکهٔ القایی و در نتیجه جریان القاییِ بیش‌تری پدید می‌آید. نیروی محرکهٔ القاییِ متوسط $(\bar{\varepsilon})$ از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$\bar{\varepsilon} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\ Wb/s$$

$\downarrow$
V

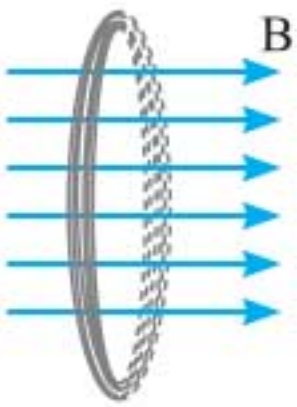
اگر مقاومت پیچه یا مدار برابر R باشد، با استفاده از قانون اهم $(I = \frac{V}{R})$، جریان القایی متوسط به صورت مقابل است: $\bar{I} = \frac{\bar{\varepsilon}}{R} \Rightarrow \bar{I} = -\frac{N}{R}\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

نکته‌ها:

۱ هر قدر تغییر شارمغناطیسی (تغییر میدان مغناطیسی، دوران پیچه یا تغییر سطحِ پیچه) سریع‌تر انجام شود (یعنی تغییرات در زمان کوتاه‌تریِ انجام شود)، نیروی محرکهٔ القایی یا جریان القایی بیش‌تری تولید می‌شود.

۲ هر قدر مقاومت مدار بیش‌تر باشد، جریان القایی کم‌تری ایجاد می‌شود.

مثال ۳ **پیچه‌ای با مساحت $۲۰cm^۲$، عمود بر میدان مغناطیسی $B = ۰/۵T$ است. اگر در مدت ۰/۱ ثانیه میدان مغناطیسی به تدریج کاهش و در جهت مخالف تا $۰/۲T$ افزایش یابد، به‌طوری که مقاومت پیچه ۰/۵ اهم و تعداد حلقه‌های آن ۱۰۰ باشد، موارد زیر را به‌دست آورید.**



الف **تغییر شار مغناطیسی**

ب **نیروی محرکهٔ القایی متوسط**

پ **جریان القایی متوسط**

پاسخ **الف** در این سؤال میدان مغناطیسی تغییر کرده است و چون جهت میدان هم تغییر کرده است می‌توان نوشت:

$$\theta_۱ = ۰ \rightarrow \Phi_۱ = B_۱ A \cos\theta_۱ = ۰/۵ \times ۲۰ \times ۱۰^{-۴} \times ۱ = ۱۰^{-۳}\ Wb$$

$$\theta_۲ = ۱۸۰^\circ \rightarrow \Phi_۲ = B_۲ A \cos\theta_۲ = ۰/۲ \times ۲۰ \times ۱۰^{-۴} \times (-۱)$$

$$= -۰/۴ \times ۱۰^{-۳}\ Wb$$

$$\Delta\Phi = \Phi_۲ - \Phi_۱ = -۰/۴ \times ۱۰^{-۳} - ۱۰^{-۳} = -۱/۴ \times ۱۰^{-۳}\ Wb$$

ب برای محاسبهٔ نیروی محرکه القایی متوسط داریم:

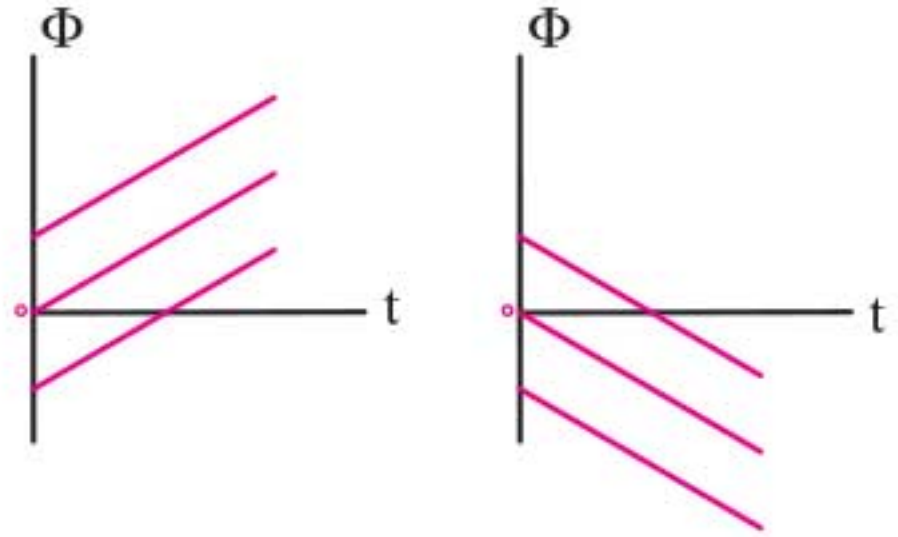
$$\bar{\varepsilon} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -۱۰۰ \times \frac{-۱/۴ \times ۱۰^{-۳}}{۰/۱} = ۱/۴V$$

پ جریان القایی متوسط برابر است با:

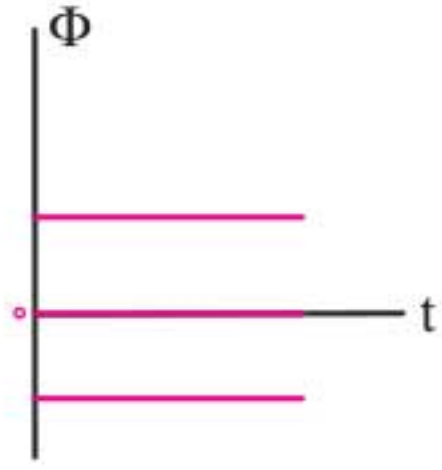
$$\bar{I} = \frac{\bar{\varepsilon}}{R} = \frac{۱/۴}{۰/۵} = ۲/۸A$$

نمودار $\Phi - t$ و نمودار $\varepsilon - t$:

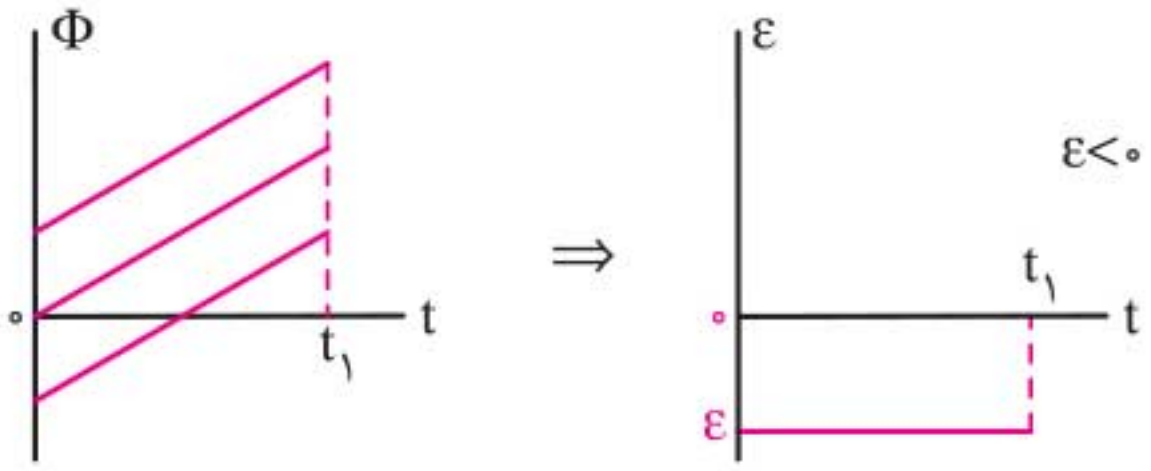
۱ اگر آهنگ تغییر شارمغناطیسی یعنی $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$، ثابت باشد، آن‌گاه نمودار شار برحسب زمان به صورت خط راست و به‌صورت یکی از دو نمودار زیر است:

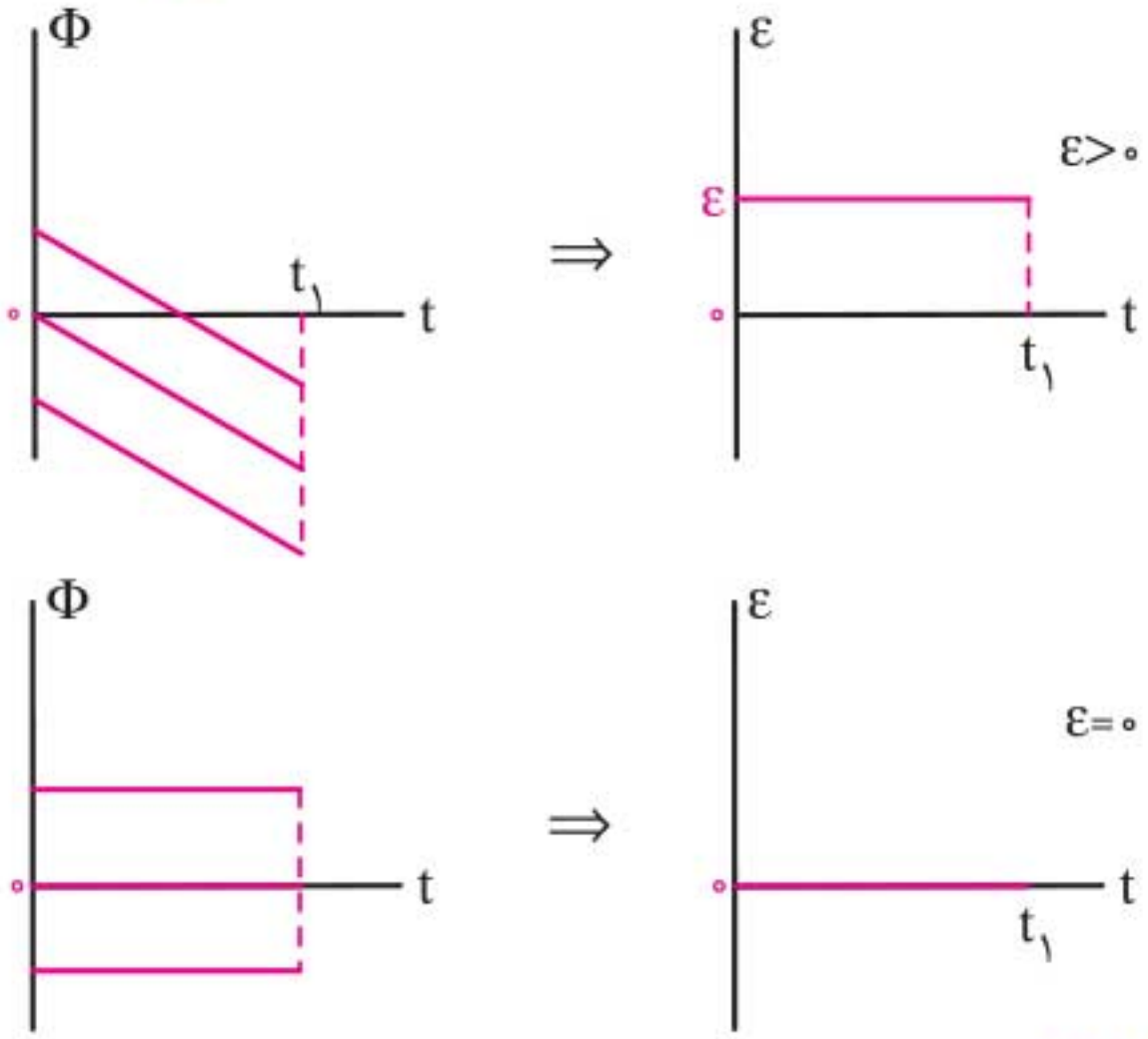


۲ اگر شارمغناطیسی گذرنده از یک پیچه تغییر نکند (ثابت باشد)، نمودار $\Phi - t$ آن می‌تواند به‌صورت یکی ازخطوط زیر باشد:

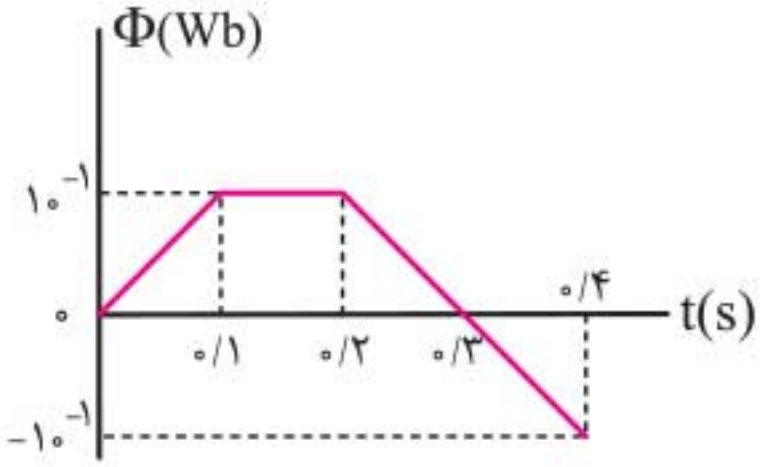


۳ اگر نمودار $\Phi - t$، به شکل خط (با شیب مثبت یا منفی) باشد، نمودار $\varepsilon - t$ آن به صورت خط افقی (با شیب صفر) است.





مثال ۴ در شکل زیر نمودار تغییرات شار مغناطیسی که از یک پیچه با ۱۰ حلقه و مقاومت ۲ اهم می‌گذرد، برحسب زمان رسم شده است. نمودار نیروی محرکهٔ القایی و جریان القایی برحسب زمان آن را رسم کنید.



پاسخ

$$\bar{\varepsilon} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

در قسمت اول نمودار:

$$\bar{\varepsilon}_1 = -۱۰ \times \frac{۱۰^{-۱} - ۰}{۰/۱} = -۱۰V$$