به نام پروردگار مهربان

فیزیک یازدهم

ریاضی تجربی

نصراله افاضل، حمیدرضا عارف‌پور

مدیر و ناظر علمی گروه فیزیک : نصراله افاضل

مهروماه

فهرست

فصل ۱ الکتریسیتهٔ ساکن ۷

فصل ۲ جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم ۹۳

فصل ۳ مغناطیس ۱۵۹

فصل ۴ القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب (ادامهٔ فصل ۳ تجربی) ۲۰۵

لقمه آخر: فرمول نامه ۲۴۱

فصل ۱

الکتریسیتهٔ ساکن

- الکتریسیتهٔ ساکن
  - بار الکتریکی
  - پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی
  - قانون کولن
  - میدان الکتریکی
  - میدان الکتریکی حاصل از یک ذرهٔ باردار
  - خطوط میدان الکتریکی
  - انرژی پتانسیل الکتریکی
  - پتانسیل الکتریکی
  - میدان الکتریکی در داخل رسانا
  - خازن
  - خازن با دی‌الکتریک
  - انرژی خازن

نکاتی دربارهٔ میدان الکتریکی یکنواخت:

میدان یکنواخت الکتریکی

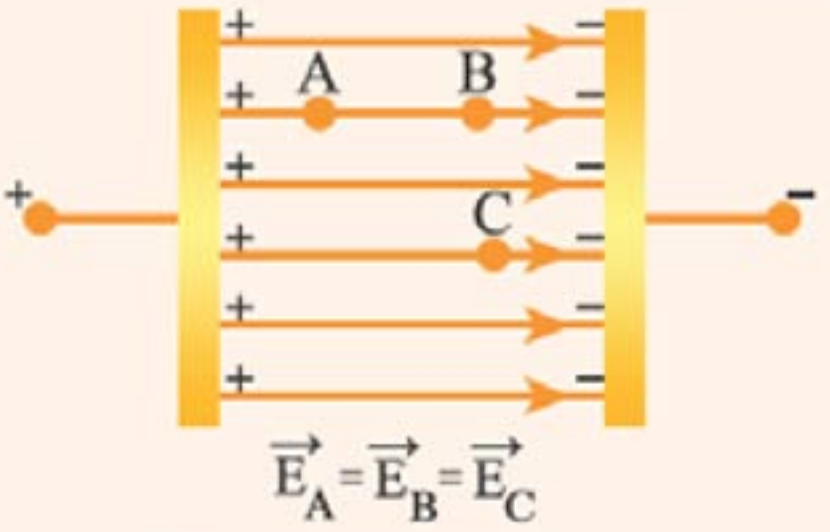
۱ در میدان یکنواخت، تراکم خطوط میدان همه‌جا یکسان است.

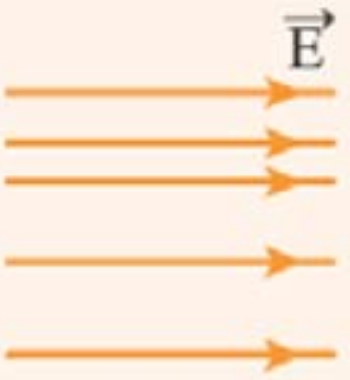
۲ در میدان یکنواخت خطوط میدان موازی‌اند.

۳ در میدان یکنواخت خطوط میدان هم‌جهت‌اند.

۴ با دو صفحهٔ رسانای موازی که به دو قطب مثبت و منفی وصل است، می‌توان میدان یکنواخت بین دو صفحه ایجاد کرد.

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





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

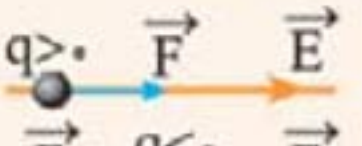
میدان الکتریکی غیریکنواخت: تراکم یکسان نیست، هر چند جهت میدان در همهٔ نقاط یکسان است.

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:

$$\vec{F} = q\,\vec{E} \quad \left(\vec{F}: \text{نیروی وارد بر بار } q \text{ از طرف میدان } \vec{E}\ (N)\right) \quad (q: C) \quad \left(\vec{E}: {}^{N}/_{C}\right)$$

نکته:

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

- اگر $q>0$ باشد — $\vec{F}$ هم جهت $\vec{E}$ است $\Rightarrow$ 
- اگر $q<0$ باشد — $\vec{F}$ خلاف جهت $\vec{E}$ است $\Rightarrow$

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 میدان الکتریکی می‌گیرد برابر است با:

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

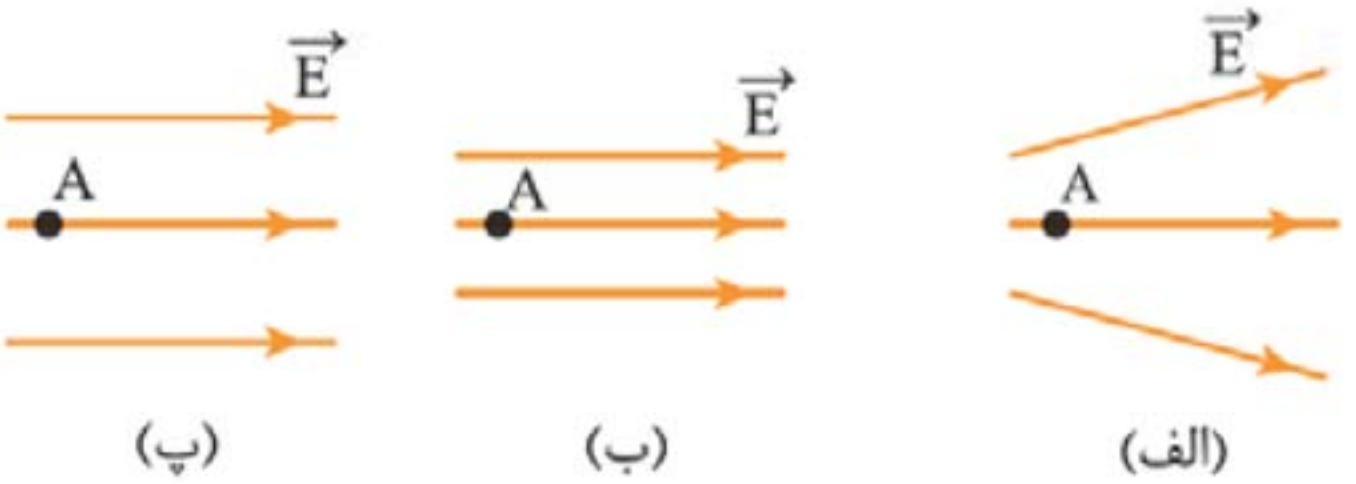
نکات:

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 بـه ذره‌ای به جرم m بار مثبت q می‌دهیـم و آن را در هریک از شـکل‌های زیـر از نقطهٔ A بدون تندی اولیـه 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.

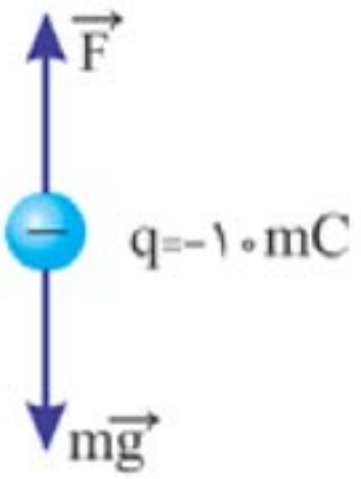
$$a_{(ب)} > a_{(الف)} > a_{(پ)}$$

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 بـه جرم $20\,g$ بـار الکتریکـی $-10\,mC$ دارد و در میـدان الکتریکـی یکنواخـت، معلق و ساکن است. اگر $g = 10\,m/s^2$ باشد:



الف بزرگی و جهت میدان را به دست آورید.

ب اگـر جهـت میـدان الکتریکی وارون شـود، 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:

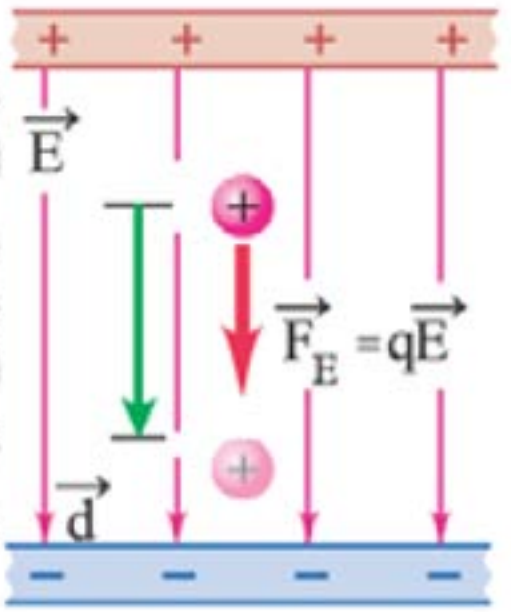
$$F + mg = ma \Rightarrow \underbrace{۱۰\times۱۰^{-۳}}_{|q|}\times\underbrace{۲۰}_{E} + \underbrace{۲۰\times۱۰^{-۳}}_{m}\times\underbrace{۱۰}_{g} = ۲۰\times۱۰^{-۳}a$$

$$\Rightarrow ۰/۴ = ۰/۰۲a \Rightarrow a = ۲۰\,m/s^۲$$

۱-۷ انرژی پتانسیل الکتریکی

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

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



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).

نکات:

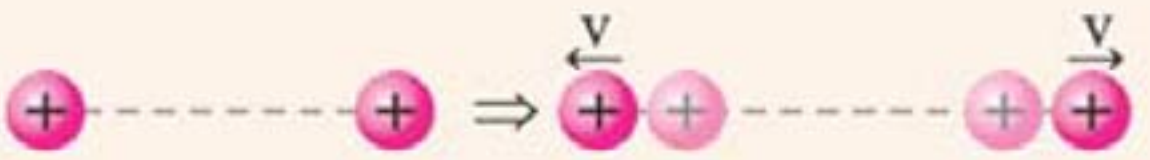
۱ اگر دو ذرهٔ باردار در فاصلهٔ معینی رها شـوند و به طرف یکدیگر نزدیک و یا از هم دور شوند، انرژی پتانسیل الکتریکی آن‌ها کاهش و انرژی جنبشی آن‌ها افزایش می‌یابد.

۲

ذره‌ها به طـرف یکدیگـر حـرکت می‌کنند (انـرژی جنبشی یافتـه‌اند)، زیرا انـرژی پتانسیل الکتریـکی آن‌ها کـاهش یافته است.

ذره‌ها تحت اثـر نیـروی جاذبه قرار دارند، ثابت نگه داشـــته شده‌اند و انرژی پتانســـیل الکتریکی دارند.

۳



۴ انـرژی پتانسـیل الکتریکـی را با U_E و تغییر انرژی پتانسـیل الکتریکی را با ΔU_E نشان می‌دهیم.

رابطهٔ کار میدان الکتریکی با تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی:

برای هر میدان الکتریکی داریم:

$$W_E = -\Delta U_E$$

↓ کار میدان الکتریکی

نکات:

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

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

فصل ۲

جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

- جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم
  - جریان الکتریکی
  - مقاومت الکتریکی و قانون اهم
  - عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی
  - نیروی محرکهٔ الکتریکی و مدارها
  - توان در مدارهای الکتریکی
  - ترکیب مقاومت‌ها

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	$-IR$	$\Delta V=-IR$
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

یادآوری: توان، آهنگ مصرف یا تولید انرژی یا انجام کار است.

$$(W) \leftarrow P = \frac{W}{t} = \frac{\Delta u}{t}$$

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

۲ توان خروجی (مفید) مولد: 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:

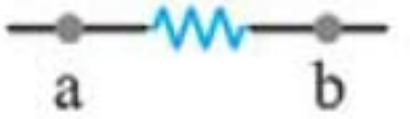
$$P = \frac{\Delta U}{t} = \frac{q\Delta V}{t} \Rightarrow (\text{توان الکتریکی}) P = I\Delta V$$

$$\Rightarrow P = I(V_b - V_a) \quad \text{با حرکت از هر جزء مدار در جهت جریان}$$

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

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:



$$P_{\text{مصرفی}} = |P| = |IV| \xrightarrow{V=IR} P_{(\text{مصرفی})} = RI^2$$

$$P_{\text{مصرفی}} = |IV| \xrightarrow{I=V/R} P_{(\text{مصرفی})} = \frac{V^2}{R}$$

نکته: انرژی مصرفی در یک جزء مصرف‌کننده با توان مصرفی P 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

$$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow R = \frac{V^2}{P} \Rightarrow R = \frac{(۲۲۰)^2}{۲۲۰۰} \Rightarrow R = ۲۲\Omega$$

نکته: در لامپ‌های رشته‌ای، 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:

$$\text{بهای برق مصرفی} = \text{بهای یک کیلووات ساعت} \times \frac{(\text{تعداد ماه‌های مصرف})m \times (\text{تعداد روزهای ماه})d \times (\text{ساعت‌های یک روز})h \times (\text{توان مصرفی})P}{1000}$$

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

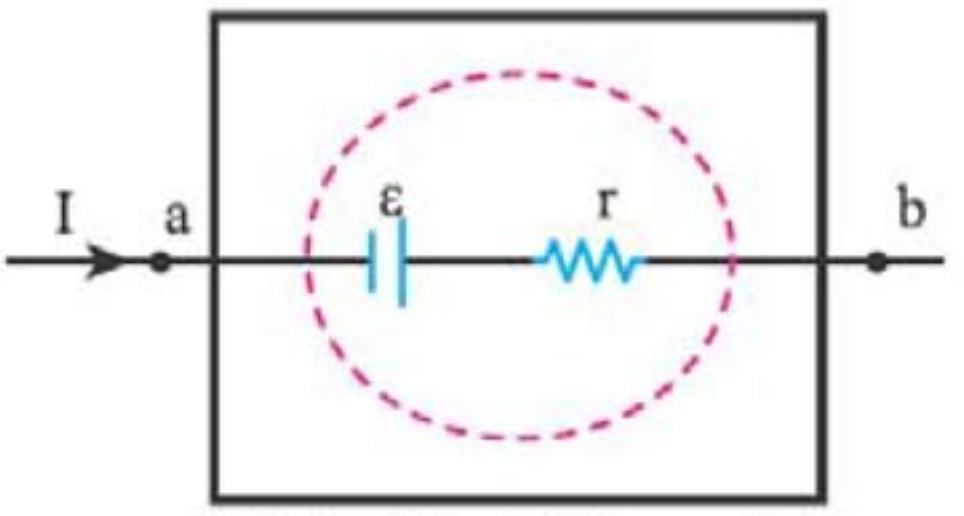
پاسخ

$$\text{بهای برق مصرفی} = \frac{[1500 + (5 \times 20)] \times 5(h) \times 30(d) \times 3(m)}{1000} \times 50$$

$$= 36000 \text{ تومان}$$

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.

$$V_{\text{باتری}} = \varepsilon - Ir$$

$$P = IV \Rightarrow P_{(\text{خروجی})} = \varepsilon I - I^2 r$$

نکاتی دربارهٔ توان باتری واقعی:

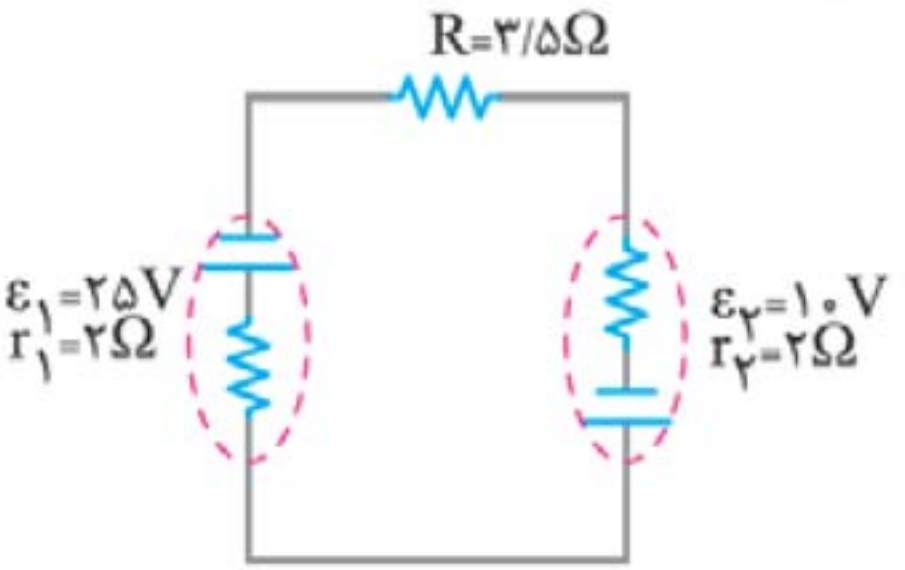
۱ $P_{(خروجی)}$ مقداری مثبت است و این باتری به مدار انرژی می‌دهد.

۲ به مقدار εI ، توان تولیدی مولد می‌گویند.

۳ به مقدار، rI^2 ،توان مصرفی در مقاومت داخلی باتری می‌گویند.

۴ برای باتری آرمانی داریم: $r=0 \Rightarrow P_{(خروجی\,آرمانی)}=\varepsilon I$

مثال ۱۴ در مدار شکل مقابل



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

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

$$P_{\text{مصرفی}}=RI^2=۳/۵\times۲^2=۱۴W$$

$$U_{\text{مصرفی}}=P_{\text{مصرفی}}\times t=۱۴\times۶۰=۸۴۰\,J$$

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

$$P_2 = I(-\varepsilon_2 - Ir_2) \Rightarrow P = -2(10 + 2\times 2) = -28\,W$$

ملاحظه می‌شود که باتری ε_2، ضد محرکه است و از مدار انرژی می‌گیرد (مصرف می‌کند) زیرا $P_2 < 0$ 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:

$$P_{1\text{خروجی}} = P_{R\text{مصرفی}} + P_{2\text{مصرفی}}$$

۲-۶ ترکیب مقاومت‌ها

مقاومت‌ها را می‌توان به دو صورت بررسی کرد:

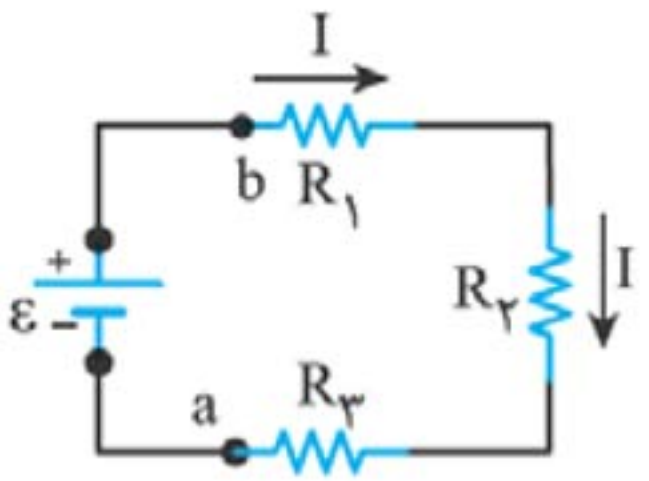
۱ مقاومت‌های متوالی **۲** مقاومت‌های موازی

به هم بستن متوالی مقاومت‌ها:

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

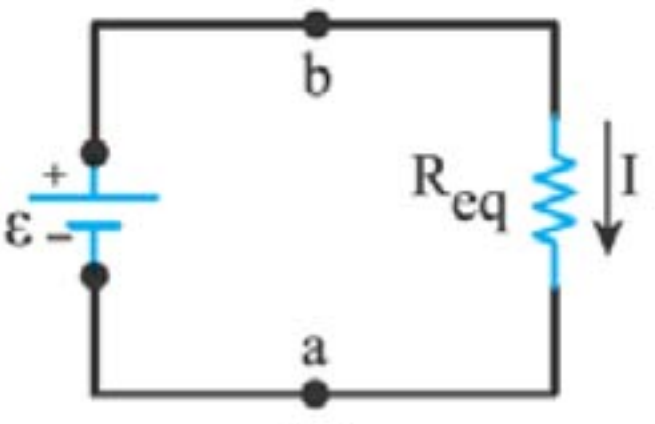
$$V = \varepsilon = V_1 + V_2 + V_3$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$



(الف)

سه مقاومت که به طور متوالی به یک باطری متصل شده‌اند.



(ب)

مدار معادل شکل (الف) که در آن سه مقاومت با R_{eq} جایگزین شده است.

لقمهٔ دوم تمرین‌ها، فعالیت‌ها و پرسش‌ها

فعالیت ۲-۱

سرعت سوق الکترون‌های آزاد در یک رسانا می‌تواند به کُندی سرعت حرکت یک حلزون باشد. چرا وقتی کلید برق را می‌زنیم، چراغ‌های خانه به سرعت روشن می‌شوند؟

پاسخ الکترون‌های آزاد در سرتاسر سیم حضور دارند. با زدن کلید، میدان الکتریکی با سرعتی نزدیک به سرعت نور برقرار می‌شود و باعث انتقال سریع انرژی توسط الکترون‌ها و روشن شدن لامپ می‌شود.

تمرین ۲-۱

در رابطهٔ $\Delta q = I(\Delta t)$. اگر I بر حسب آمپر و Δt بر حسب ساعت باشد، یکای Δq ، آمپرساعت می‌شود. باتری خودروها با آمپر- ساعت (Ah) و باتری گوشی‌های همراه با میلی‌آمپر-ساعت (mAh) مشخص می‌شود. هر چه آمپر- ساعتِ یک باتری بیش‌تر باشد، حداکثر باری که می‌تواند از مدار عبور دهد تا به طور ایمن تخلیه شود، بیش‌تر است.

الف باتری استاندارد خودرویی، $50\ Ah$ است. اگر این باتری جریان متوسط $5\ A$ را فراهم سازد، چقدر طول می‌کشد تا خالی شود؟

ب آمپر- ساعت نوعی از باتری‌های قلمی (AA)، برابر $1000\ mAh$ است. اگر این باتری جریان متوسط $100\ \mu A$ را فراهم سازد، چه مدت طول می‌کشد تا خالی شود؟

انرژی الکتریکی مصرفی به دست می‌آید که مقدار آن تقریباً با Q که در بالا گفته شد برابر است.

فعالیت ۲–۸ (ریاضی) و ۲–۵ (تجربی)

الف همانند شکل با یک اُهم متر، مقاومت رشتهٔ داخل سیم داخل لامپ ۱۰۰ واتی را اندازه‌گیری کنید. سپس با استفاده از رابطهٔ $R=\frac{V^2}{P}$ و با داشتن مشخصات روی لامپ، مقاومت آن را در حالت روشن محاسبه کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

ب با استفاده از نتیجهٔ قسمت الف، دمای رشتهٔ سیم داخل لامپ را در حالت روشن برآورد کنید. $(\alpha_{\text{تنگستن}}=۴/۵\times۱۰^{-۳}\,^\circ C^{-۱})$

پاسخ الف عددی که اُهم متر نشان می‌دهد، مقاومت لامپ در حالت خاموش و عددی که رابطهٔ $R=\frac{V^2}{P}$ نشان می‌دهد، مقاومت لامپ در حالت روشن است. چون مقاومت رسانا با زیاد شدن دما، افزایش می‌یابد، پس مقدار $R=\frac{V^2}{P}$ بیش‌تر از عدد اهم متر خواهد بود.

ب فرض می‌کنیم آزمایش در دمای اتاق که تقریباً $۲۰^\circ C$ است انجام می‌شود. $(\theta_۰=۲۰^\circ C)$. اُهم‌متر که به دو سر لامپ خاموش وصل می‌شود، عدد تقریبی ۴۰Ω را نشان می‌دهد. $(R_۰=۴۰\Omega)$

مقاومت لامپ در حالت روشن برابر است با:

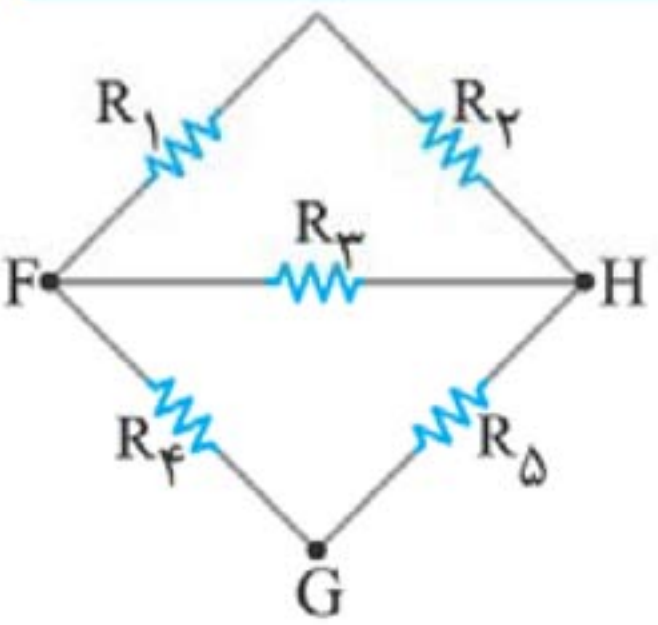
$$R=\frac{V^2}{P}=\frac{۲۲۰^2}{۱۰۰}=۴۸۴\Omega$$

$$R=R_۰(۱+\alpha\Delta\theta)\Rightarrow ۴۸۴=۴۰(۱+۴/۵\times۱۰^{-۳}(\theta-۲۰))\Rightarrow$$

$$\theta=۲۵۰۰^\circ C$$

تمرین ۲–۷ (ویژهٔ رشتهٔ ریاضی)

شکل روبه‌رو پنج مقاومت ۸ اُهمی را نشان می‌دهد.

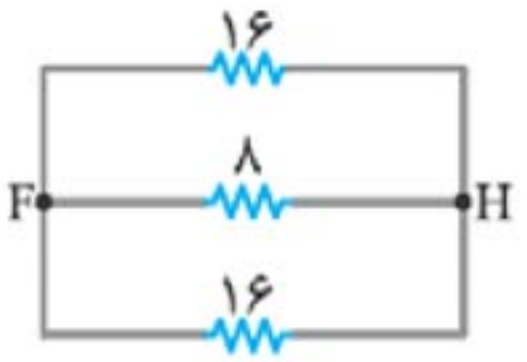


الف مقاومت معادل بین نقطه‌های F و H چقدر است؟

ب مقاومت معادل بین نقطه‌های F و G چقدر است؟

پاسخ الف

سری $R_{۱},R_{۲} \Rightarrow R_{۱,۲}=R_{۱}+R_{۲}=۸+۸=۱۶\Omega$



$R_{۴},R_{۵} \Rightarrow R_{۴,۵}=R_{۴}+R_{۵}=۸+۸=۱۶\Omega$

$$\frac{۱}{R_{eq}}=\frac{۱}{۱۶}+\frac{۱}{۸}+\frac{۱}{۱۶} \Rightarrow R_{eq}=۴\Omega$$

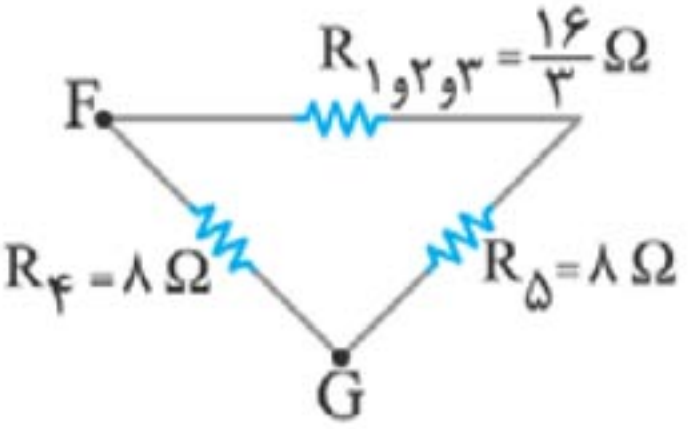
ب

سری $R_{۱},R_{۲} \Rightarrow R_{۱,۲}=R_{۱}+R_{۲}=۸+۸=۱۶\Omega$

موازی $R_{۱,۲},R_{۳} \Rightarrow R_{۱,۲,۳}=\frac{۱۶\times ۸}{۱۶+۸}=\frac{۱۶}{۳}\Omega$

سری $R_{۱,۲,۳},R_{۵} \Rightarrow R_{۱,۲,۳,۵}=۸+\frac{۱۶}{۳}=\frac{۴۰}{۳}\Omega$

$$\frac{۱}{R_{eq}}=\frac{۱}{\frac{۴۰}{۳}}+\frac{۱}{۸} \Rightarrow R_{eq}=۵\Omega$$



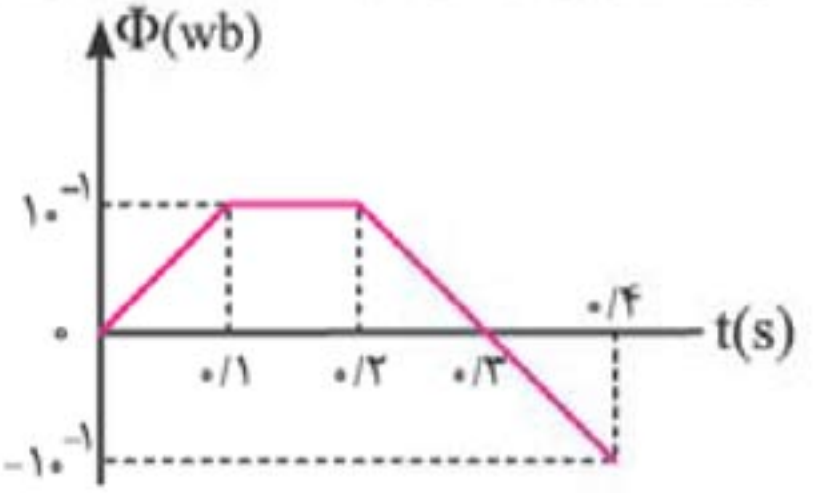
فصل ۴

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

(ادامهٔ فصل ۳ تجربی)

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب
- پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی
- قانون القای الکترومغناطیسی فاراده
- قانون لنز
- القاگرها
- جریان متناوب

مثال ۴ در شکل زیر نمودار تغییرات شارمغناطیسی 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

در قسمت اول نمودار: $\bar{\varepsilon}_1 = -10 \times \frac{10^{-1} - 0}{0/1} = -10V$

در قسمت دوم نمودار: $\bar{\varepsilon}_2 = -10 \times \frac{10^{-1} - 10^{-1}}{0/1} = 0$

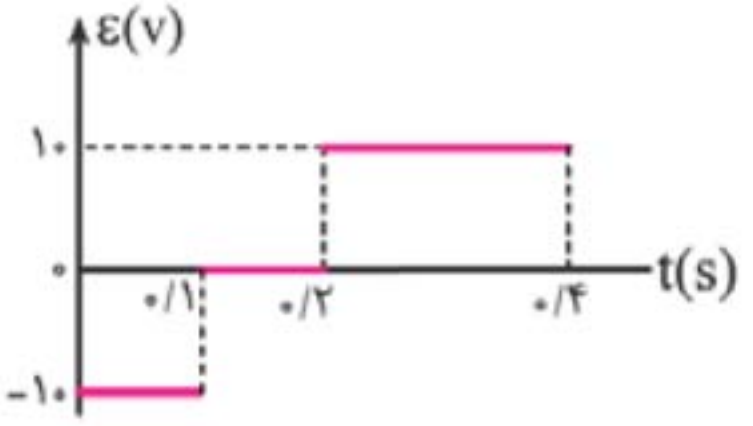
در قسمت سوم نمودار: $\bar{\varepsilon}_3 = -10 \times \frac{-10^{-1} - 10^{-1}}{0/2} = 10V$

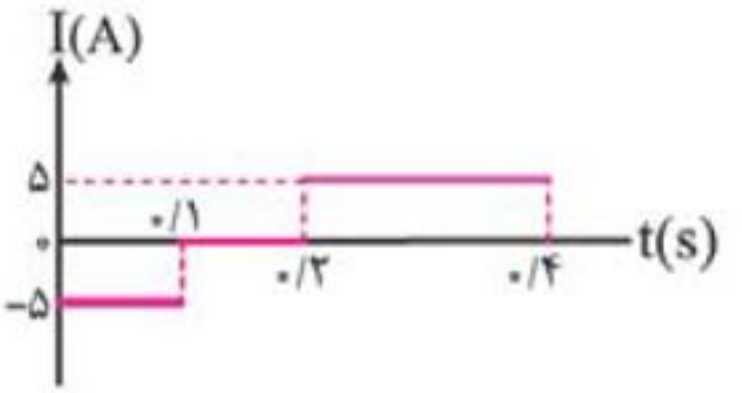
جریان القایی در هر قسمت برابر است با:

$\bar{I}_1 = \frac{\varepsilon_1}{R} = \frac{-10}{2} = -5A$

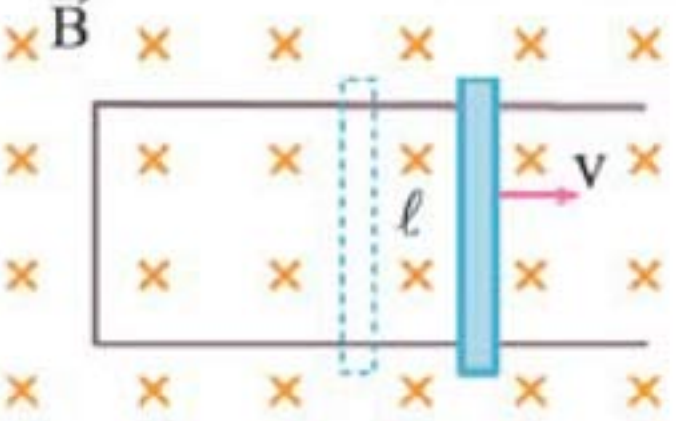
$\bar{I}_2 = 0$

$\bar{I}_3 = \frac{10}{2} = 5A$





نیروی محرکهٔ دو سر میلهٔ رسانای متحرک در میدان مغناطیسی: اگر میلهٔ رسانایی به طول ℓ با تندی ثابت v روی قاب رسانای U شکل عمود بر میدان مغناطیسی حرکت کند، در دو سر میله نیروی محرکهٔالقایی متوسط $\overline{\varepsilon}$ به‌وجود می‌آید و مقدار آن برابر است با:



$$\overline{\varepsilon} = -B v \ell \quad (V) \quad (T) \quad (m) \quad \left(\frac{m}{s}\right)$$

نکته‌ها:

۱ میلهٔ رسانا هنگام حرکت، مانند یک باتری مولد جریان مستقیم عمل می‌کند.

۲ چون تندی میله ثابت است، نیروی محرکه‌ای که تولید می‌شود، نیز ثابت است.

۳ اگر حرکت میله شتاب‌دار باشد، نیروی محرکهٔ القایی ثابت نخواهد بود.

۳-۴ قانون لنز ۳-۹ (تجربی)

از قانون لنز برای تعیین جهت جریان القایی استفاده می‌شود و این قانون به صورت زیر بیان می‌شود: «جریان حاصل از نیروی محرکهٔ القایی در یک مدار یا پیچه در جهتی است که آثار مغناطیسی ناشی از آن، با عامل به‌وجود آورندهٔ جریان القایی، یعنی تغییر شار مغناطیسی مخالفت می‌کند.»

نکته: در رابطهٔ $\overline{\varepsilon} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$، علامت منفی بیان‌گر قانون لنز است.

چگونگی استفاده از قانون لنز در تعیین جهت جریان القایی:

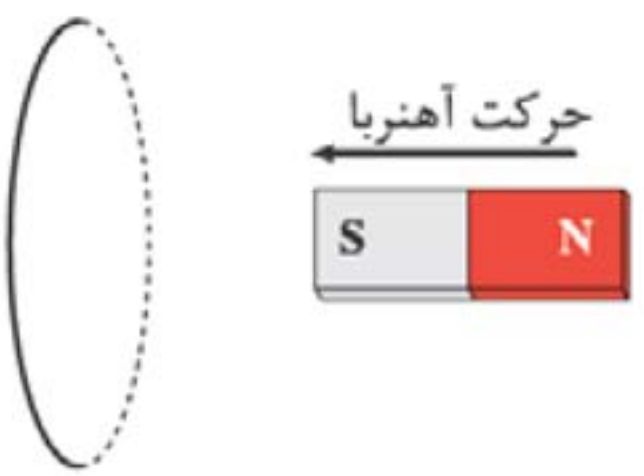
۱ ابتدا جهت میدان مغناطیسی خارجی را که در مدار بسته (حلقه) وجود دارد، تعیین می‌کنیم.

۲ چگونگی کم یا زیاد شدن شار مغناطیسی را با توجه به رابطهٔ $\Phi = BA\cos\theta$، تعیین می‌کنیم.

۳ اگر شار مغناطیسی کاهش یابد، میدان مغناطیسی القایی (که در اثر جریان القایی پدید می‌آید) هم‌جهت میدان خارجی است. اگر شار مغناطیسی افزایش یابد، میدان مغناطیسی القایی، خلاف جهت میدان خارجی است.

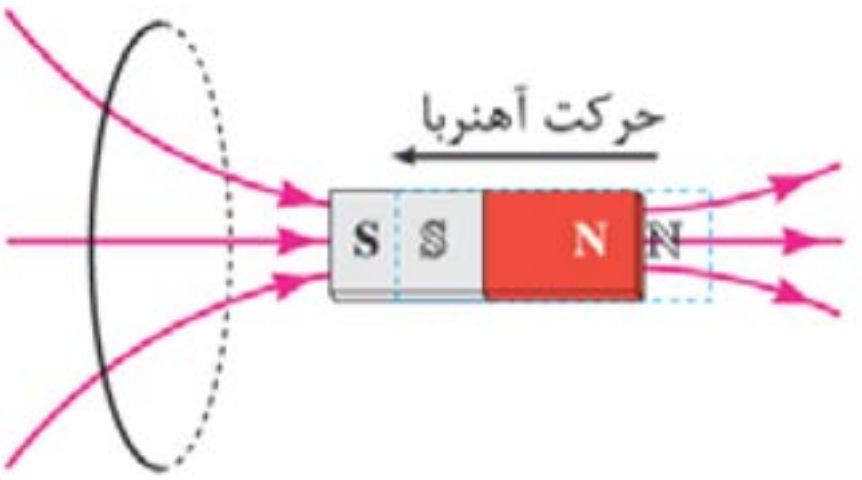
۴ با استفاده از قاعدهٔ دست راست (مشابه تعیین میدان مغناطیسی سیم حامل جریان)، چهار انگشت را در جهت میدان مغناطیسی القایی که درون حلقه پدید می‌آید قرار می‌دهیم و در این حالت شست جهت جریان حلقه را نشان می‌دهد.

مثال ۵ در شکل روبه‌رو اگر آهنربا به طرف حلقه حرکت کند، جهت جریان القایی را تعیین کنید.



پاسخ طی ۴ مرحله که پیش از این ذکر کردیم پاسخ را دنبال می‌کنیم.

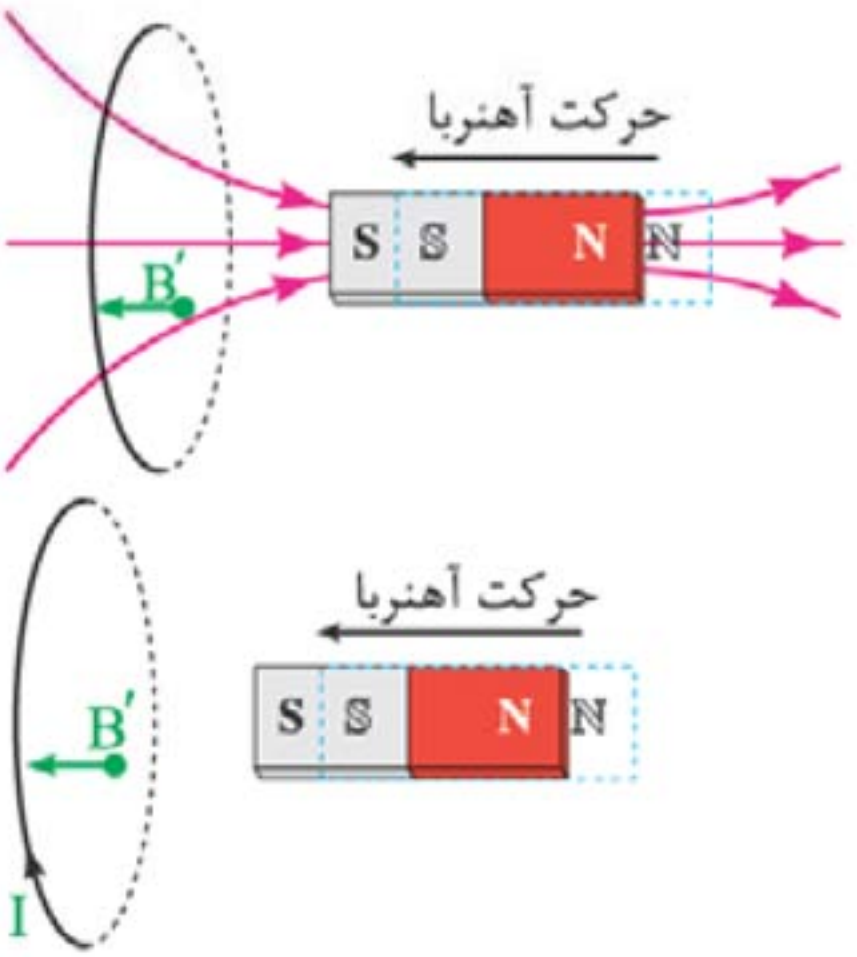
۱ میدان مغناطیسی خارجی گذرنده از حلقه به طرف راست است.



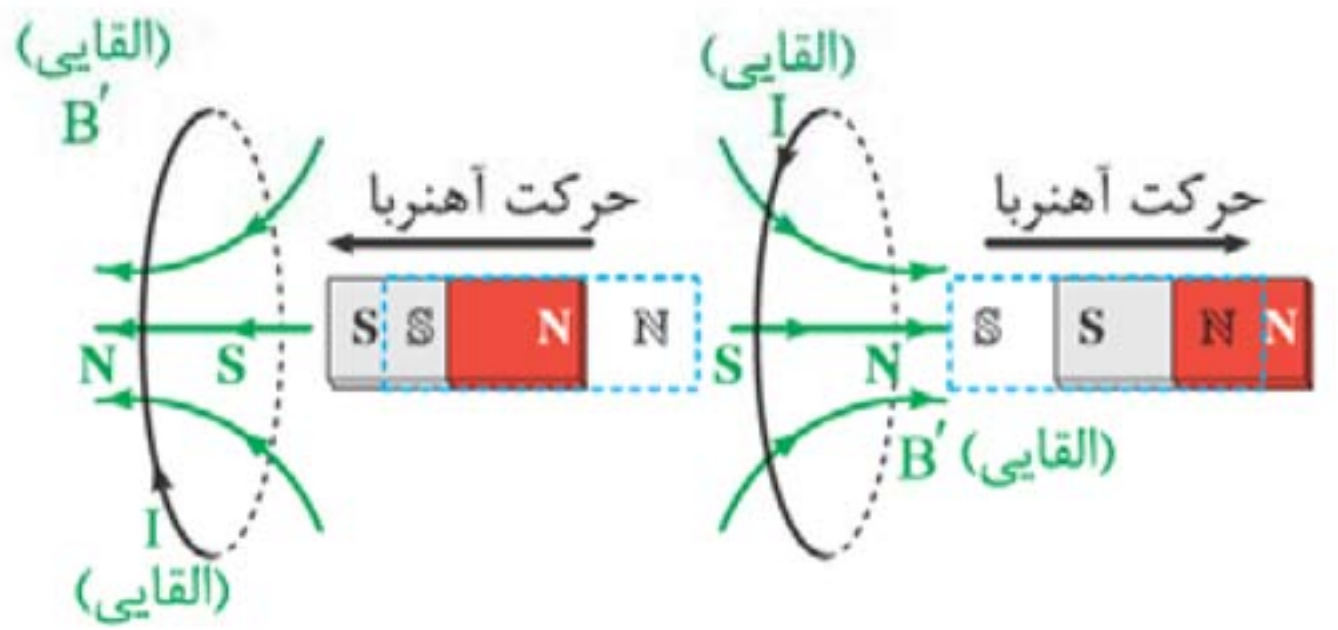
۲ چون آهنربا به سمت حلقه حرکت می‌کند، میدان مغناطیسی و در نتیجه شار مغناطیسی گذرنده از حلقه زیاد می‌شود.

۳ میدان مغناطیسی القایی (B') که در اثر جریان القایی، در حلقه پدید می‌آید مخالف میدان مغناطیسی خارجی گذرنده از حلقه است.

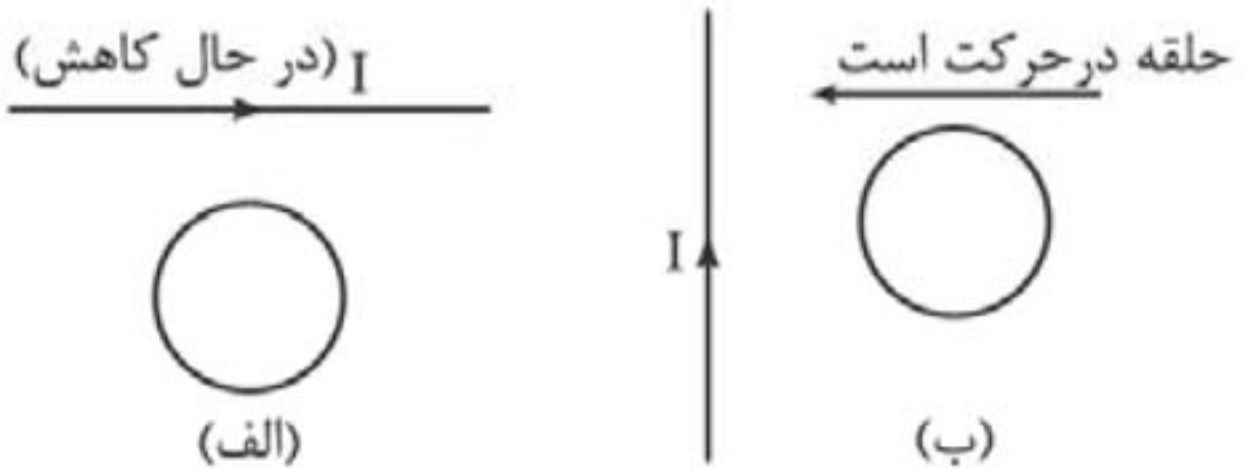
۴ با استفاده از قاعدهٔ دست راست جهت جریان القایی را مشخص می‌کنیم.



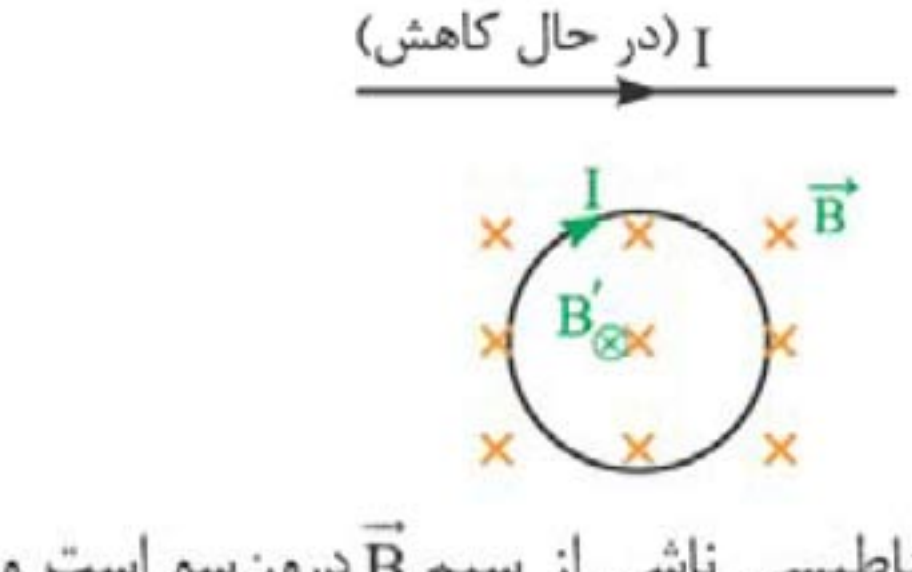
نکته: جریان القایی در جهتی ایجاد می‌شود که با حرکت آهنربا یا دوران پیچه یا تغییر سطح پیچه مخالفت کند. هرگاه آهنربا با هر قطبی به پیچه نزدیک شود، در سطح پیچه که مقابل آهنربا است، قطب مخالف با قطب نزدیک‌شوندهٔ آهنربا پدید می‌آید و اگر آهنربا از پیچه دور شود، این قطب موافق با قطب آهنربا می‌شود.



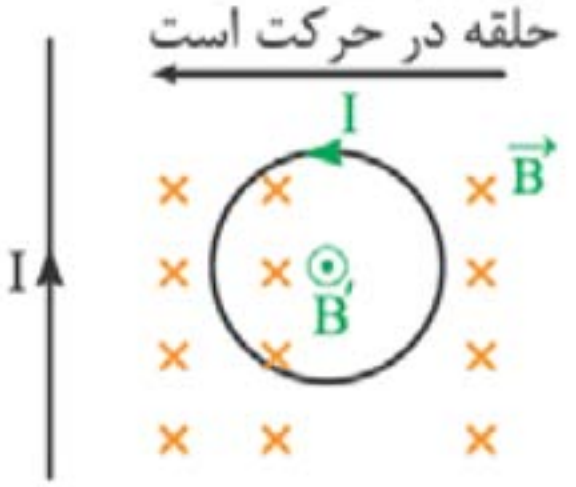
مثال ۶ جهت جریان القایی را در شکل‌های زیر در حلقهٔ رسانا، مشخص کنید.



پاسخ الف جهت میدان مغناطیسی ناشی از سیم $(\vec{B})$ به طرف داخل صفحه (داخل حلقه) است و جریان سیم در حال کاهش می‌باشد. پس میدان مغناطیسی و شار گذرنده از درون حلقه در حال کاهش است و میدان القایی (B') نیز درون‌سو و جهت جریان، ساعتگرد است.

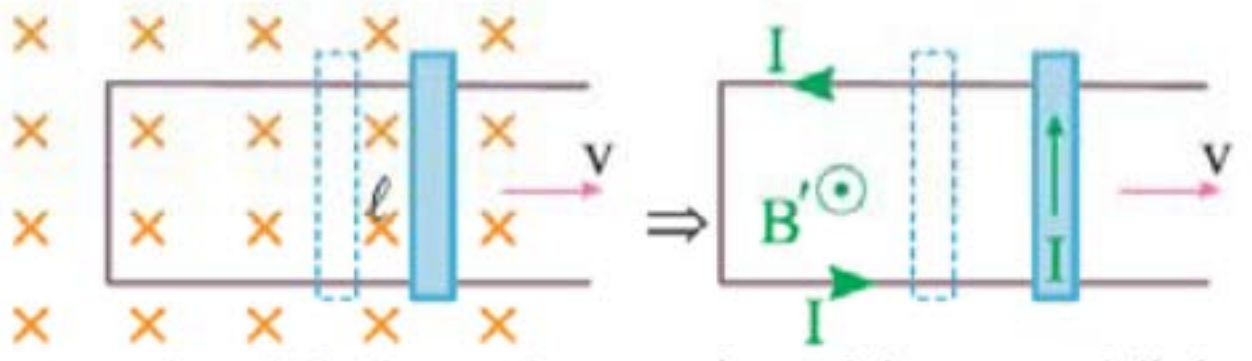


ب جهت میدان مغناطیسی ناشی از سیم $\vec{B}$ درون‌سو است و حلقه به طرف سیم نزدیک می‌شود. پس شار مغناطیسی افزایش می‌یابد. در نتیجه میدان القایی خلاف جهت میدان مغناطیسی و برون‌سو است. پس جریان القایی پاد ساعتگرد است.



مثال ۷ در شکل‌های زیر جهت جریان القایی در پیچه یا حلقه را بیابید.

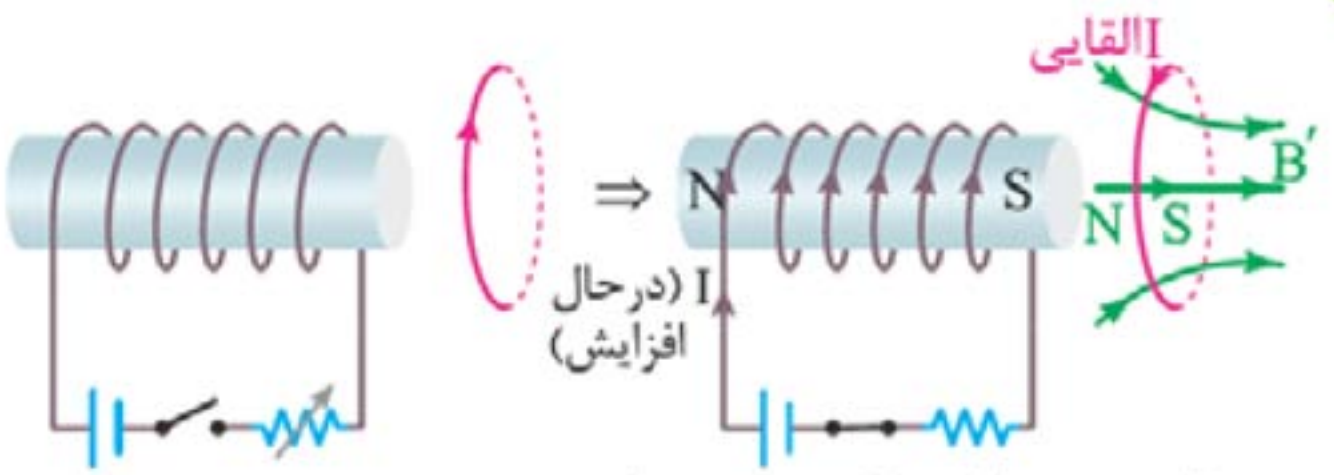
الف



میدان القایی خلاف میدان خارجی و برون‌سو است و جریان القایی پاد ساعتگرد است.

شار در حال افزایش است، زیرا سطح حلقه زیاد می‌شود.

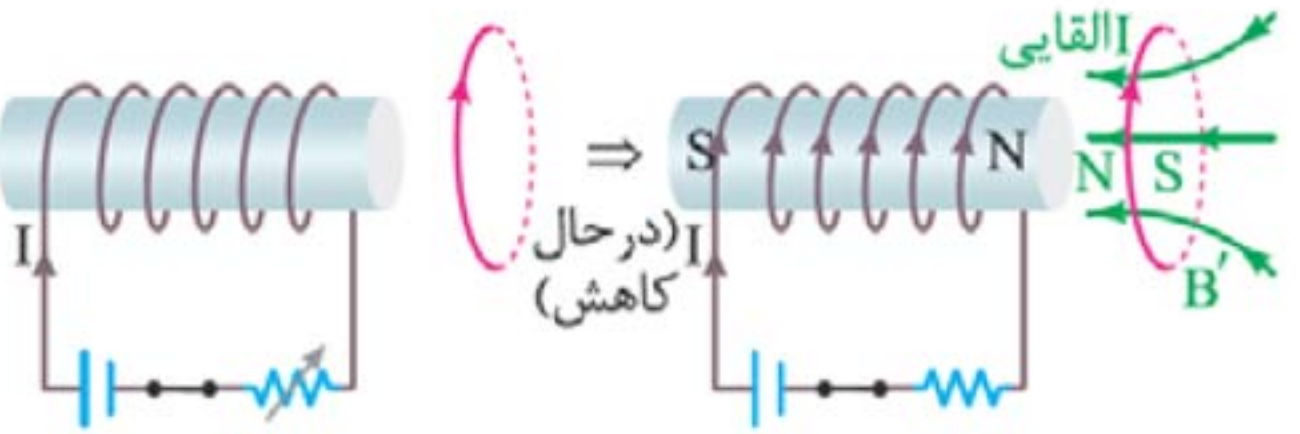
ب



هنگام بستن کلید

هنگام بستن کلید، I و در نتیجه شار گذرنده از حلقه زیاد می‌شود و قطب مخالف S یعنی N در سمت چپ حلقه ایجاد می‌شود.

پ



هنگام افزایش مقاومت رئوستا

افزایش مقاومت رئوستا سبب کاهش جریان سیملوله و کاهش شار گذرنده از حلقه و ایجاد قطب موافق در سمت چپ حلقه می‌شود.

لقمهٔ دوم — تمرین‌ها، فعالیت‌ها و پرسش‌ها

تمرین ۴–۱ (ریاضی) و ۴–۳ (تجربی)

الف حلقه‌ای به مساحت $25\,cm^2$ درون میدان مغناطیسی یکنواخت درون سویی به اندازهٔ $0/03T$ قرار دارد (شکل الف).
شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید.

ب اگر مطابق شکل (ب) و بدون تغییر $\vec{B}$، مساحت سطح حلقه را به $10\,cm^2$ برسانیم، شار مغناطیسی عبوری از حلقه را در این وضعیت به دست آورید.

پ اگر این تغییر شار در بازهٔ زمانی $\Delta t = 0/2s$ رخ داده باشد، آهنگ تغییر شار $(\Delta\Phi / \Delta t)$ را پیدا کنید.

(الف) (ب)

پاسخ الف

$$\Phi = BA\cos\theta = 0/03 \times 25 \times 10^{-4} \times \underbrace{\cos 0^\circ}_{1}$$

$$= 7/5 \times 10^{-5}\,Wb$$

ب

$$\Phi' = BA'\cos\theta = 0/03 \times 10 \times 10^{-4} \times 1 = 3 \times 10^{-5}\,Wb$$

پ

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Phi' - \Phi}{\Delta t} = \frac{3 \times 10^{-5} - 7/5 \times 10^{-5}}{0/2}$$

$$= 2/25 \times 10^{-4}\,Wb/s$$

پرسش ۴-۱ (ریاضی) و ۳-۱۱ (تجربی)

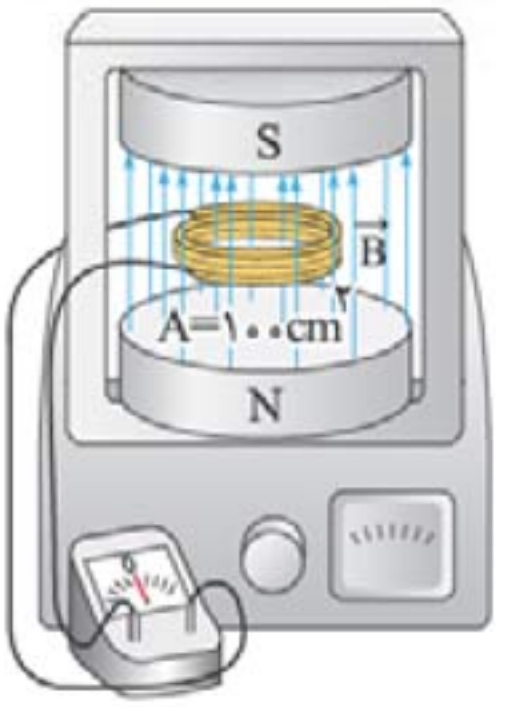
کدام یک از یکاهای زیر معادل یکای وبر بر ثانیه (Wb/s) است؟

□V/A □V □A □Ω

$$\frac{Wb}{s}=\frac{T.m^2}{s}\xrightarrow[T=\frac{N}{C.\frac{m}{s}}]{F=|q|vB\sin\theta}\frac{\frac{N}{C.\frac{m}{s}}.m}{s}$$

$$=\frac{N.m}{C}=\frac{J}{C}=V$$

تمرین ۴-۲ (ریاضی) و ۳-۵ (تجربی)



میدان مغناطیسی بین قطب‌های آهنربای الکتریکی شکل روبه‌رو که بر سطح حلقه عمود است با زمان تغییر می‌کند و در مدت ۰/۴۵s از ۰/۲۸ T رو به بالا، به ۰/۱۷ T رو به پایین می‌رسد. در این مدت:

الف نیروی محرکهٔ القایی متوسط در حلقه را به دست آورید.

ب اگر مقاومت حلقه ۱۰Ω باشد، جریان القایی متوسط در حلقه را پیدا کنید.

پاسخ الف

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

$$=-۱\times۱۰۰\times۱۰^{-۴}\times\frac{-۰/۱۷-۰/۲۸}{۰/۴۵}=۱\times۱۰^{-۲}V$$

ب

$$\bar{I}=\frac{\bar{\varepsilon}}{R}=\frac{۱\times۱۰^{-۲}}{۱۰}=۱\times۱۰^{-۳}A$$

لقمهٔ آخر

تعاریف و روابط (فرمول‌ها)

مـواد مغناطیسـی: مـوادی که اتم یا مولکول‌هـای آن دارای خاصیت مغناطیسی باشند.

انواع مواد از لحاظ خاصیت مغناطیسی:

۱) **مواد پارامغناطیسی:** دوقطبی‌های مغناطیسی جهت‌گیری مشخصی ندارند و در جهت‌های کاتوره‌ای قرار دارند. اگر در میدان مغناطیسـی قوی قرار گیرند تا حدودی خاصیت مغناطیسی **موقت** پیدا می‌کنند.

۲) **مـواد دیامغناطیسـی:** اتم‌های این مواد، به‌طـور ذاتی فاقد خاصیت مغناطیسی‌اند. حضور میدان مغناطیسی خارجی می‌تواند سبب القای دوقطبی‌های مغناطیسی در خلاف سوی میدان خارجی در این مواد شود.

۳) **مـواد فرومغناطیـس:** اتم‌های این مواد، به‌طور ذاتی دارای دوقطبی مغناطیسی هستند.

حـوزهٔ مغناطیسـی: بخش‌هـای کوچکـی در مـادهٔ فرومغناطیس که جهت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی در آن ناحیه هم‌جهت است.

مواد فرومغناطیس نرم: به سـهولت آهنربا می‌شـوند و با حذف میدان خارجی خاصیت مغناطیسی خود را از دست می‌دهند.

مواد فرومغناطیس سخت: به‌سختی و در مجاورت میدان خارجی قوی آهنربا می‌شوند و با حذف میدان خارجی خاصیت مغناطیسی خود را به سهولت از دست نمی‌دهند.

مقدار اشـباع یا بیشـینه: وقتی یک مـادهٔ فرومغناطیس در یک میدان بسـیار قوی قرار بگیرد، حجـم حوزه‌هایی که با میدان مغناطیسـی خارجی همسو هستند به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد.

۲ روابط

نیروی وارد بر سیم حامل جریان از طرف میدان مغناطیسی:

$$F = I\ell B\sin\theta$$

۲ روابط

شار مغناطیسی:

$$\Phi = BA\cos\theta$$

نیروی محرکهٔ القایی متوسط:

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

عبور میله از روی رسانای U شکل (ویژهٔ رشتهٔ ریاضی):

$$\varepsilon = -B\ell v$$

ضریب خودالقاوری سیملوله (ویژهٔ رشتهٔ ریاضی):

$$L = k\mu_{\circ}\frac{N^{۲}A}{\ell}$$

انرژی القاگر:

$$U = \frac{۱}{۲}LI^{۲}$$

نیروی محرکهٔ القایی در جریان متناوب:

$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin\frac{۲\pi}{T}t$$

جریان القایی متناوب:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = I_m \sin\frac{۲\pi}{T}t$$

مبدل (ویژهٔ رشتهٔ ریاضی):

$$\frac{V_۲}{V_۱} = \frac{N_۲}{N_۱}$$