

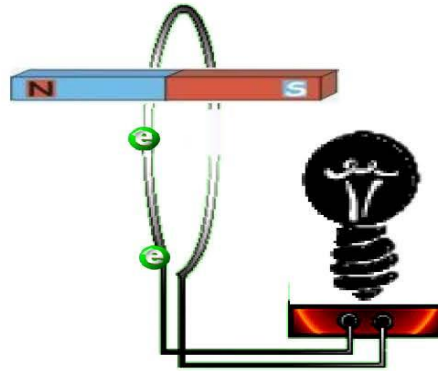
فصل ۴ فیزیک یازدهم

القای الکترو مغناطیس

علیرضا قیداری

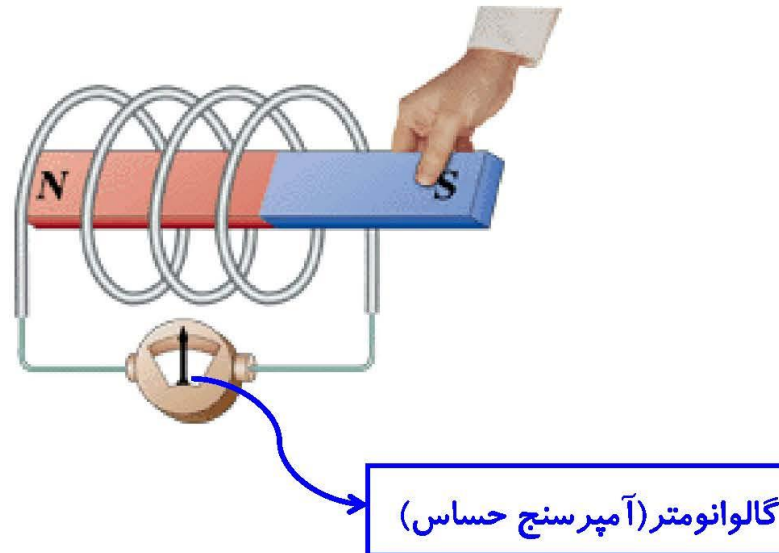
پدیده القای الکترو مغناطیسی :

هرگاه جریان الکتریکی در یک رسانا القا گردد، به این پدیده «القای الکترومغناطیسی» گویند .



جریان القایی :

حرکت آهنربا به سمت پیچه (دور نزدیک شدن آهنربا از پیچه) باعث القای جریانی در پیچه می‌گردد، که به آن جریان القایی گویند.



3 مثال مهم

پرسش:

میزان آب عبوری از کدام حلقه بیشتر است؟

پاسخ:

(حلقه ای که سطح بزرگتر دارد.)



پرسش:

اگر شیر آب را کمی ببندیم میزان آبی که در واحد زمان از حلقه می گذرد چه تغییری می کند؟

پاسخ:

(میزان آب عبوری کم می شود.)



پرسش:

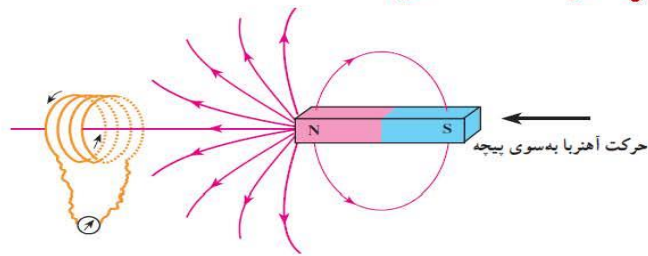
هرگاه حلقه را حول دسته آن بچرخانیم میزان آب عبوری چه تغییری می کند؟

پاسخ:

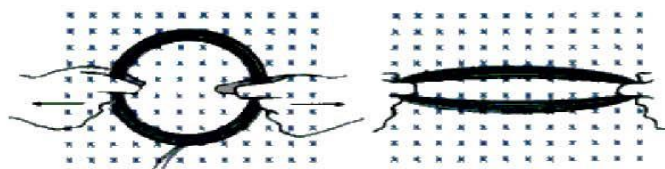
(تا ۹۰ درجه میزان آب عبوری کم می شود.)



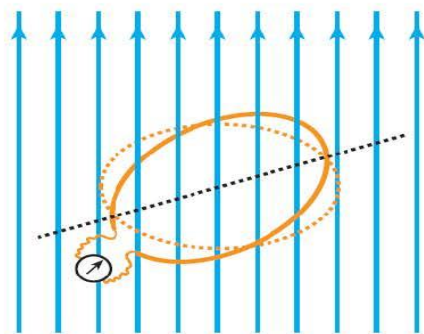
عوامل مؤثر در ایجاد جریان القایی عبارتند از :



۱- تغییر در اندازه میدان مغناطیسی، در محل پیچ مدار بسته



۲- تغییر مساحت مدار بسته در میدان مغناطیسی



۳- تغییر زاویه بین حلقه و راستای میدان مغناطیسی

تعریف شار مغناطیسی: Φ (فی)

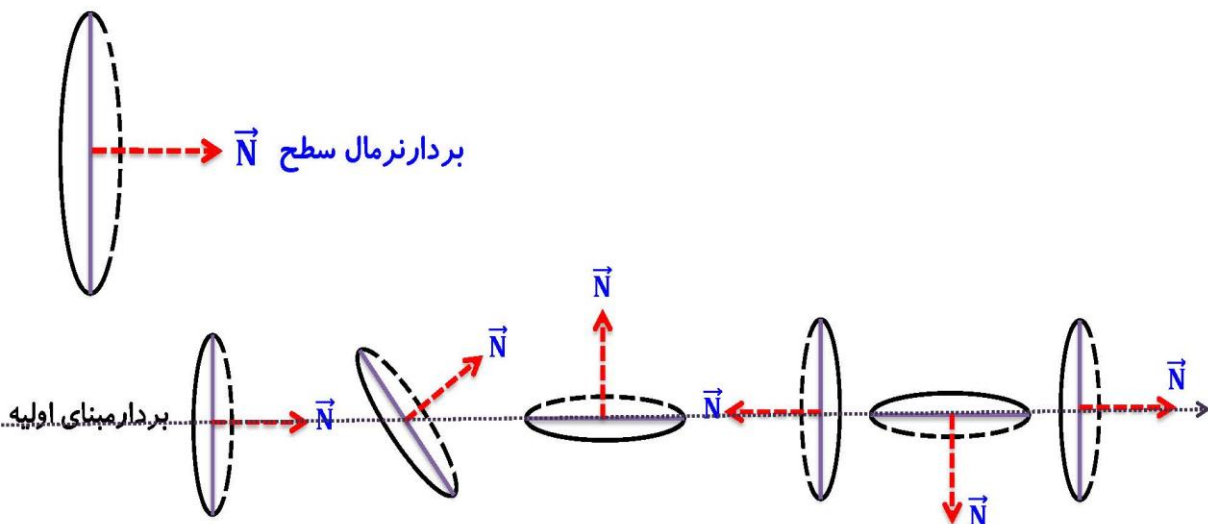
معرف تعداد خطوط مغناطیسی که به طور عمود از یک سطح بسته می‌گذرند ، شار مغناطیسی گویند.
شار کمیتی نرده‌ای است .



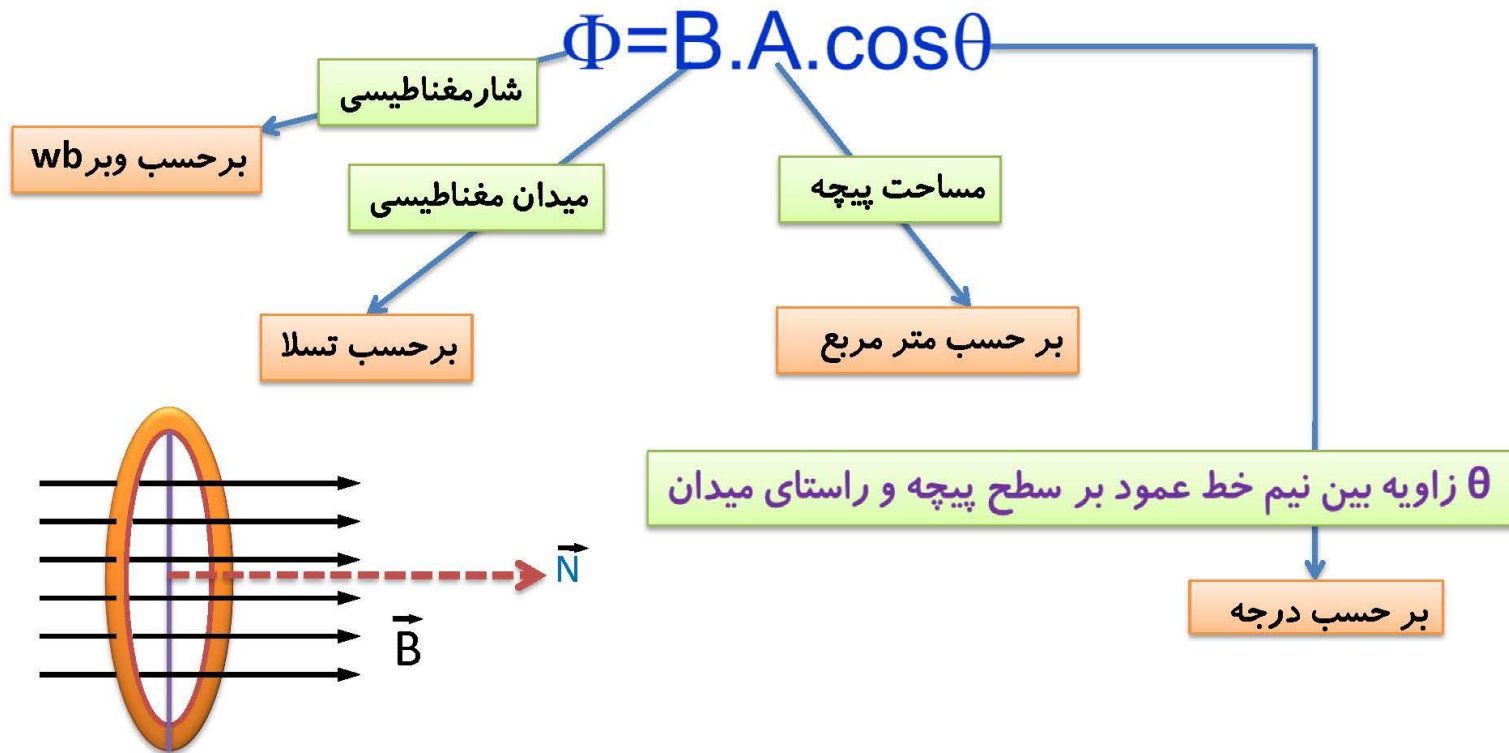
$\vec{B}$

بردار سطح:

برای نمایش یک سطح، نیم خطی بر سطح پیچیده عمود می‌کنیم. جهت این نیم خط همان جهت بردار سطح خواهد بود.
اگر یک سطح بچرخد، نیم خط عمود بر سطح N نیز با همان اندازه می‌چرخد.



فرمول شار مغناطیسی که از یک سطح تخت می‌گذرد :



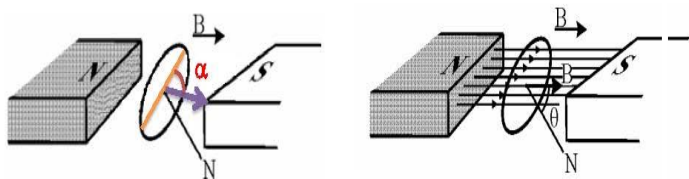
بردار N را بر هر طرف سطح حلقه عمود کنیم، اهمیت ندارد. البته با تعویض جهت N ، علامت Φ تغییر خواهد کرد، ولی اندازه آن تغییر نمی‌کند.

مدل های مختلف زاویه θ

نکته:

در مسائل شار، اگر زاویه بین سطح قاب با سوی مثبت میدان مغناطیسی (α) را داده باشند
 آنگاه: زاویه بین نیم خط عمود بر سطح و سوی مثبت میدان مغناطیسی یعنی θ از رابطه ی
 زیر پیدا می شود

$$\theta = |90^\circ - \alpha|$$

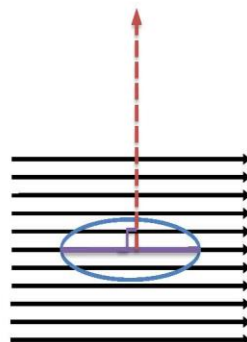


نکته:

هرگاه سطح قاب موازی میدان مغناطیسی باشد، آنگاه $\alpha = 0$ بوده یعنی: شار عبوری از قاب صفر می شود.

$$\begin{cases} \theta = |90^\circ - \alpha| \\ \theta = |90^\circ - 0| = 90^\circ \end{cases} \Rightarrow \Phi_{\min} = 0$$

$$\cos 90^\circ = 0$$

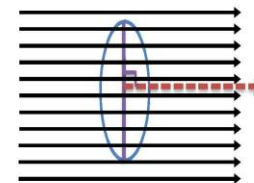


نکته:

هرگاه سطح قاب عمود بر میدان مغناطیسی باشد، آنگاه $\alpha = 90^\circ$ بوده یعنی: شار عبوری از قاب ماکزیمم می شود.

$$\begin{cases} \theta = |90^\circ - \alpha| \\ \theta = |90^\circ - 90^\circ| = 0^\circ \end{cases} \Rightarrow \Phi_{\max} = BA$$

$$\cos 0^\circ = 1$$

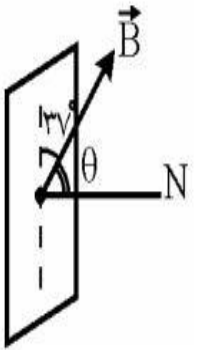


تمرین:

صفحه‌ای مربع شکل به ضلع 20 cm در یک میدان مغناطیسی یکنواخت به بزرگی $3\text{ }\mu\text{T}$ قرار دارد؛ به طوری که خط‌های میدان با سطح صفحه زاویه 37° می‌سازند. شار مغناطیسی گذرنده از صفحه چند و بر است؟ $\cos 53^\circ = 0.6$

پاسخ:

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA \cos \theta$$



$$a = 20\text{ cm} = 0.2\text{ m} \Rightarrow A = a^2 \Rightarrow A = 4 \times 10^{-2}\text{ m}^2$$

$$\alpha = 37^\circ \Rightarrow \theta = |90^\circ - \alpha| \Rightarrow \theta = |90^\circ - 37^\circ| = 53^\circ$$

$$B = 3\text{ }\mu\text{T} = 3 \times 10^{-6}\text{ T} \quad \Phi = BA \cos \theta$$

$$\Phi = 3 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-2} \times 0.6$$

$$\Phi = 7.2 \times 10^{-8}\text{ Wb}$$

تمرین ۱-۴

الف) حلقه‌ای به مساحت 25 cm^2 درون میدان مغناطیسی یکنواخت درون سویی به اندازه 0.3 T 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 ابرسانیم، شار مغناطیسی عبوری از حلقه را در این وضعیت به دست آورید. پ) اگر این تغییر شار در بازه زمانی $\Delta t = 0.2\text{ s}$ رخ داده باشد، آهنگ تغییر شار $(\Delta\Phi/\Delta t)$ را پیدا کنید.



پاسخ:

$$A_1 = 25 \times 10^{-4}\text{ m}^2$$

$$B = 0.3\text{ T} \quad \Phi = BA \cos \theta$$

$$\Phi_1 = ? \Rightarrow \Phi_1 = 0.3 \times 25 \times 10^{-4} \times \cos 0^\circ \Rightarrow \Phi_1 = 7.5 \times 10^{-5}\text{ Wb}$$

$$A_2 = 10 \times 10^{-4}\text{ m}^2$$

$$\Phi_2 = ? \Rightarrow \Phi_2 = 0.3 \times 10 \times 10^{-4} \times \cos 0^\circ \Rightarrow \Phi_2 = 3 \times 10^{-5}\text{ Wb}$$

$$\Delta t = 0.2\text{ s}$$

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = ? \Rightarrow \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{3 \times 10^{-5} - 7.5 \times 10^{-5}}{0.2} \Rightarrow \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -2.25 \times 10^{-5}\text{ Wb/s}$$

الف

ب

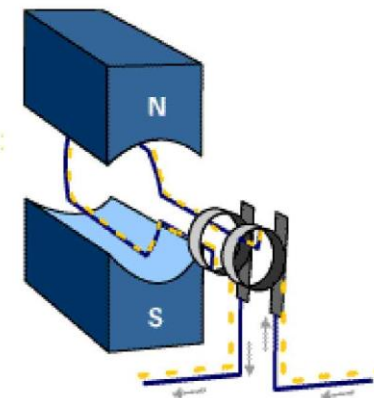
پ

کتاب

قانون فارادی :

هرگاه شار مغناطیسی ای که از مدار بسته ای می گذرد تغییر کند، نیروی محرکه ای در آن القا می شود که بزرگی نیروی محرکه القایی با آهنگ تغییر شار مغناطیسی متناسب است.

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



نکته:

علامت منفی در رابطه به خاطر رعایت قانون لنز می باشد. (بعداً توضیح داده خواهد شد)

نکته:

هنگامی که آهنگ تغییر شار مغناطیسی ثابت بماند، نیروی محرکه القایی متوسط $\bar{\varepsilon}$ برابر نیروی محرکه ای لحظه ای بوده و با نماد ε نمایش می دهیم

مقدار شدت جریان القاء شده از رابطه زیر بدست می آید :

$$\bar{I} = \frac{\bar{\varepsilon}}{R} \rightarrow \bar{I} = -\frac{N}{R} \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \text{جریان القایی متوسط:}$$

نکته:

هرچه آهنگ تغییر شار مغناطیسی بیشتر باشد، نیروی محرکه القایی و در نتیجه جریان القایی تولید شده در مدار بیشتر خواهد بود

خلاصه

آهنگ تغییراتی که باعث ایجاد جریان القایی :

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

{	B تغییر کند	$\Delta\Phi = A \cos \theta (\Delta B)$	$\rightarrow \bar{\varepsilon} = -NA \frac{\Delta B}{\Delta t} \cos \theta$	آهنگ تغییرات میدان
	A تغییر کند	$\Delta\Phi = B \cos \theta (\Delta A)$	$\rightarrow \bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta A}{\Delta t} B \cos \theta$	آهنگ تغییرات سطح
	θ تغییر کند	$\Delta\Phi = BA (\Delta \cos \theta)$	$\rightarrow \bar{\varepsilon} = \frac{-NAB(\cos \theta_r - \cos \theta_i)}{\Delta t}$	

تمرین:

تابع شار مغناطیسی گذرنده از یک حلقه بسته بر حسب زمان در SI به صورت $\Phi = t^2 - 2t + 3$ است. اندازه نیروی محرکه القایی متوسط در بازه زمانی $t_1 = 1\text{ s}$ تا $t_2 = 3\text{ s}$ چند ولت است؟

پاسخ:

$$\bar{\varepsilon} = -2\text{ V}$$

تمرین:

میدان مغناطیسی عمود بر سطح پیچه ای با مساحت سطح مقطع 1 m^2 ، شامل 1000 دورسیم روکش دار به طوریکه نواخت در بازه زمانی 0.5 s ، ثانیه، بدون تغییر جهت از 9 T تسلا به 4 T تسلا کاهش می یابد. اندازه نیروی محرکه القای متوسط در پیچه چند ولت است؟

پاسخ:

$$\bar{\varepsilon} = 100\text{ V}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta = 0 \\ A = 1\text{ m}^2 \\ N = 1000 \\ \Delta t = 0.5\text{ s} \\ B_1 = 9\text{ T} \\ B_2 = 4\text{ T} \\ \bar{\varepsilon} = ? \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \xrightarrow{\text{B متغیر}} \bar{\varepsilon} = -NA \frac{\Delta B}{\Delta t} \cos \theta \rightarrow \\ \bar{\varepsilon} = -1000 \times 1 \times \frac{4 - 9}{0.5} \cos 0 \rightarrow \bar{\varepsilon} = +100\text{ V} \\ \Delta B = B_2 - B_1 = 4 - 9 = -5\text{ T} \end{array}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} N = 1 \\ \Phi = t^2 - 2t + 3 \\ \bar{\varepsilon} = ? \\ t_1 = 1\text{ s} \\ t_2 = 3\text{ s} \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{ll} t_1 = 1\text{ s} & \xrightarrow{\Phi = t^2 - 2t + 3} \Phi_1 = 1^2 - 2 \times 1 + 3 = 2\text{ Wb} \\ t_2 = 3\text{ s} & \xrightarrow{\quad} \Phi_2 = 3^2 - 2 \times 3 + 3 = 6\text{ Wb} \\ \hline \Delta t = t_2 - t_1 = 2\text{ s} & \Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = 6 - 2 = 4\text{ Wb} \\ \hline \bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} & \xrightarrow{\quad} \bar{\varepsilon} = -1 \times \frac{4}{2} = -2\text{ V} \end{array}$$

تمرین ۴-۲

میدان مغناطیسی بین قطب های آهنربای الکتریکی شکل روبه رو که بر سطح حلقه عمود است با زمان تغییر می کند و در مدت 45ms از 28mT ، رو به بالا به 17mT ، رو به پایین می رسد. در این مدت، الف) نیروی محرکه القایی متوسط در حلقه را به دست آورید. ب) اگر مقاومت حلقه $10\ \Omega$ باشد، جریان القایی متوسط در حلقه را پیدا کنید.

$$\left\{ \begin{array}{l} N = 1 \\ \theta = 0^\circ \\ \Delta t = 45\text{ms} \\ B_1 = 28\text{mT} \\ B_2 = 17\text{mT} \\ A_1 = 100 \times 10^{-4}\text{m}^2 \\ \bar{\varepsilon} = ? \\ R = 10\ \Omega \\ \bar{I} = ? \end{array} \right.$$

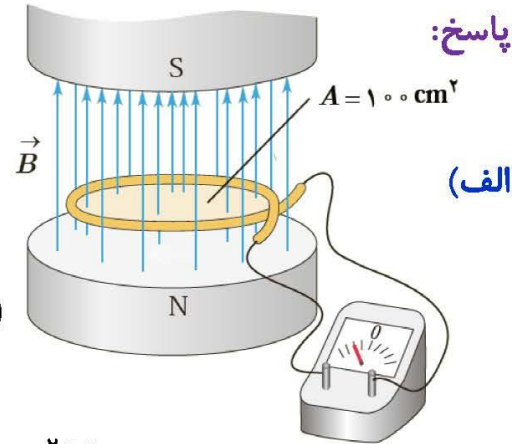
کتاب

$$\Delta B = B_2 - B_1 = -0.017 - 0.028 = -0.045\text{T}$$

$$\bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \xrightarrow{\text{B متغییر}} \bar{\varepsilon} = -NA \frac{\Delta B}{\Delta t} \cos \theta$$

$$\bar{\varepsilon} = -1 \times 100 \times 10^{-4} \times \frac{-0.045}{0.045} \times \cos 0^\circ \Rightarrow \bar{\varepsilon} = 10^{-2}\text{V}$$

$$\bar{I} = \frac{\bar{\varepsilon}}{R} \Rightarrow \bar{I} = \frac{10^{-2}}{10} \Rightarrow \bar{I} = 10^{-3}\text{A} = 1\text{mA}$$



ب)

تست:

اگر آهنگ تغییر سطح در یک حلقه به مقاومت 400Ω برابر $200 \text{ cm}^2/\text{s}$ ، باشد و سطح حلقه بر خطوط میدان مغناطیسی یکنواختی به شدت $4 / 0$ تسلا عمود باشد ، شدت جریان القاء شده در آن چند آمپر است؟

(۴) 1×10^{-5}

(۳) 2×10^{-5}

(۲) 0.2×10^{-3}

(۱) 4×10^{-5}

پاسخ :

$$\left\{ \begin{array}{l} R = 400 \Omega \\ N = 1 \\ \frac{\Delta A}{\Delta t} = 200 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\ B = 0.4 \text{ T} \\ \theta = 0 \\ I = ? \end{array} \right.$$

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \xrightarrow{\text{متغییر } A} \varepsilon = -NB \frac{\Delta A}{\Delta t} \cos \theta$$

$$\varepsilon = -1 \times 0.4 \times 200 \times 10^{-4} \cos 0 \rightarrow \varepsilon = -8 \times 10^{-3} \text{ V}$$
$$R = 400 \Omega$$

$$I = \left| \frac{\varepsilon}{R} \right| \rightarrow I = \frac{8 \times 10^{-3}}{400} \rightarrow I = 2 \times 10^{-5} \text{ A}$$

تمرین :

سیملوله ای با ۵۰۰ دور در یک میدان مغناطیسی متغیر با زمان قرار گرفته است. مساحت مقطع سیملوله ۲۵cm^2 و آهنگ تغییر میدان $۸ \times 10^{-3} \text{ T/S}$ است. بیشینه نیروی محرکه القایی متوسط در سیملوله را محاسبه کنید.

پاسخ :

$$\bar{\varepsilon} = -۱ \cdot ۲ \text{ V}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} N = ۵۰۰ \\ A = ۲۵ \times 10^{-۴} \text{ m}^2 \\ \frac{\Delta B}{\Delta t} = ۸ \times 10^{-۳} \frac{\text{T}}{\text{s}} \\ \theta = ۰ \\ \bar{\varepsilon} = ? \end{array} \right.$$

$$\bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \xrightarrow{\text{B متغیر}} \bar{\varepsilon} = -NA \frac{\Delta B}{\Delta t} \cos \theta \rightarrow$$

$$\bar{\varepsilon} = -۵۰۰ \times ۲۵ \times 10^{-۴} \times ۸ \times 10^{-۳} \cos ۰ \rightarrow \bar{\varepsilon} = -۱ \cdot ۲ \text{ V}$$

تمرین :

قابی به مساحت ۶۰۰cm^2 عمود بر خط های میدان مغناطیسی به بزرگی ۰.۴ T تسلا قرار گرفته است. اگر این قاب را در مدت ۳ میلی ثانیه به طوری بچرخانیم که زاویه نیم خط عمود بر قاب با خط های میدان به ۶۰° برسد، اندازه نیروی محرکه القایی متوسط چقدر است؟ $\cos ۶۰ = ۰.۵$

پاسخ :

$$\bar{\varepsilon} = -۴ \text{ V}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} N = ۱ \\ A = ۶۰۰ \times 10^{-۴} \text{ m}^2 \\ \theta_1 = ۰ \\ B = ۰.۴ \text{ T} \\ \Delta t = ۳ \times 10^{-۳} \text{ s} \\ \theta_r = ۶۰ \\ \bar{\varepsilon} = ? \end{array} \right.$$

$$\bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \xrightarrow{\theta \text{ متغیر}} \bar{\varepsilon} = \frac{-NAB(\cos \theta_r - \cos \theta_1)}{\Delta t}$$

$$\bar{\varepsilon} = -\frac{1 \times ۰.۴ \times ۶۰۰ \times 10^{-۴} (۰.۵ - ۱)}{۳ \times 10^{-۳}} \rightarrow \bar{\varepsilon} = -۴ \text{ V}$$

تست:

حلقه‌ای عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی قرار دارد و شار عبوری از آن ۵ / ۰ وبر است. اگر در مدت ۰.۲ ثانیه حلقه حول خطی که در سطح آن است 180° دوران نماید، نیروی محرکه القاء شده در آن چند ولت است؟

۱۰۰ (۴)

۲۵ (۳)

۵۰ (۲)

صفر (۱)

پاسخ:

$$N = 1$$

$$\Delta\Phi = -\Phi - \Phi = -2\Phi$$

$$\Phi_1 = .5 \text{ Wb}$$

$$\Delta\Phi = -2 \times .5 = -1 \text{ Wb}$$

$$\Delta t = .2 \text{ s}$$

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

$$\theta = 180^\circ$$

$$\bar{\varepsilon} = -1 \times \frac{-1}{.2}$$

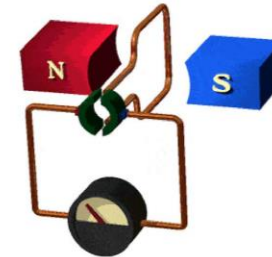
$$\varepsilon = ?$$

$$\bar{\varepsilon} = 5 \text{ V}$$

$$\Delta\Phi = ?$$

نکته:

هرگاه حلقه‌ای به هر وضعیتی که در یک میدان مغناطیسی قرار داشته باشد و شار عبوری از آن Φ باشد، اگر حلقه حول خطی که در سطح حلقه است 180° دوران نماید، شار عبوری از آن $-\Phi$ می‌شود.

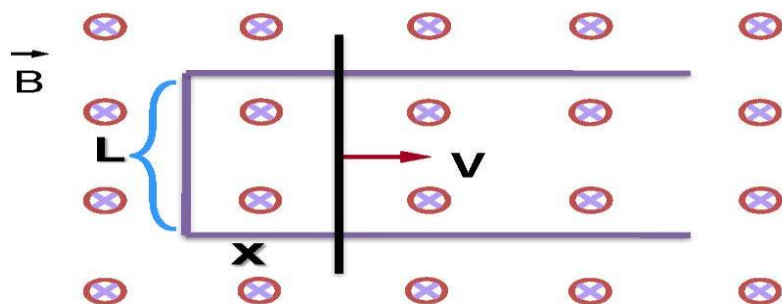


★ نکته کنکوری ★

محاسبه نیروی محرکه القایی در رسانای متحرک در میدان مغناطیسی

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi = B \cdot A \cos \theta \\ A = L \cdot x \\ \cos \theta = 1 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \Phi = BLx \\ \varepsilon = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon = -BL \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \end{array} \right\} \varepsilon = -BLV \quad \text{بلوار!}$$

سیم با تندی v خارج می شود

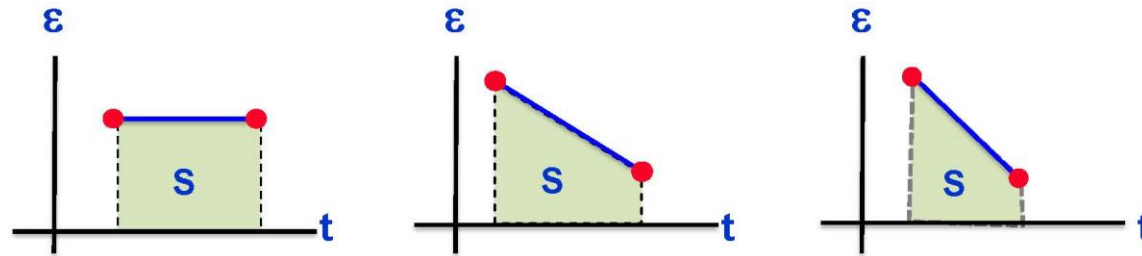


رسم نمودار ε - t

چند نکته مهم:

۱- برای رسم نمودار ε - t از روی Φ - t ، باید لزوماً به علامت منفی در رابطه $N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ توجه شود.

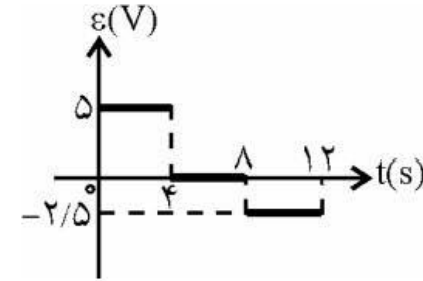
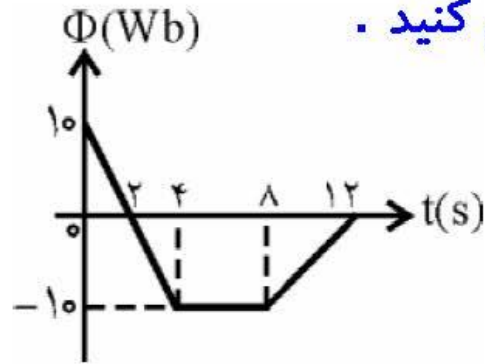
۲- مساحت زیر نمودار نیرو-زمان برابر $|N \Delta \Phi|$ می باشد. که N تعداد حلقه ها و $\Delta \Phi$ تغییر شار عبوری از پیچه است



$$\varepsilon = \left| -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| \rightarrow \left. \begin{array}{l} S = \varepsilon \cdot \Delta t \\ \varepsilon \cdot \Delta t = |N \Delta \Phi| \end{array} \right\} S = |N \Delta \Phi|$$

تمرین:

نمودار شار مغناطیسی گذرنده از یک حلقه بسته بر حسب زمان به صورت زیر است. نمودار تغییرات نیروی محرکه القایی در حلقه را بر حسب زمان رسم کنید.



پاسخ:

$$\varepsilon_1 = 5V$$

$$\varepsilon_2 = 0V$$

$$\varepsilon_3 = -2/5V$$

در بازه‌ی زمانی صفر تا ۴ s

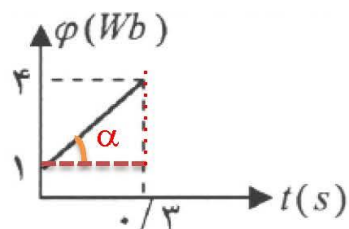
در بازه‌ی زمانی ۴ s تا ۸ s

در بازه‌ی زمانی ۸ s تا ۱۲ s

$$\bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$
$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_1 = -1 \times \frac{(-1.0 - 1.0)}{4 - 0} \rightarrow \varepsilon_1 = 5V \\ \varepsilon_2 = -1 \times \frac{-1.0 - (-1.0)}{8 - 4} \rightarrow \varepsilon_2 = 0V \\ \varepsilon_3 = -1 \times \frac{0 - (-1.0)}{12 - 8} \rightarrow \varepsilon_3 = -2/5V \end{array} \right.$$

تمرین :

نمودار $\Phi - t$ عبوری از یک حلقه رسانا مطابق شکل روبه رواست. نیروی محرکه القایی در حلقه رابه دست آورده ونمودار $\varepsilon - t$ رادرمدت فوق رسم نمائید.



پاسخ :

$$\varepsilon = -1 \cdot \text{V}$$

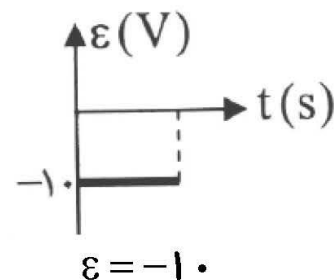
$$\left. \begin{aligned} m &= \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \\ \bar{\varepsilon} &= -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \end{aligned} \right\}$$

شیب نمودار شارمغناطیسی - زمان با علامت منفی برابر نیروی محرکه ی القایی است چون نمودار خط راست است پس شیب آن ثابت است .

چون شیب ثابت است

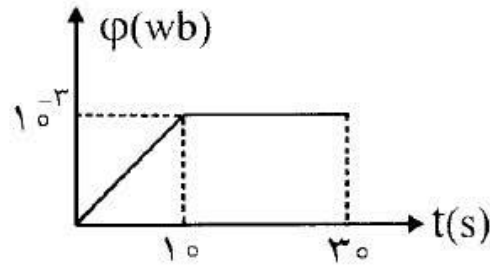
$$\bar{\varepsilon} = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$\Rightarrow \varepsilon = -\frac{(4-1)}{3} = -1 \cdot \text{V} \Rightarrow$$

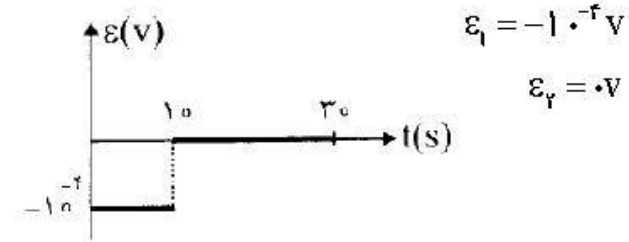


تمرین :

در شکل، نمودار تغییرات شار مغناطیسی که از یک حلقهٔ رسانا می‌گذرد، بر حسب زمان رسم شده است. با محاسبات لازم، نمودار نیروی محرکهٔ القایی در حلقه را بر حسب زمان رسم کنید.



پاسخ :



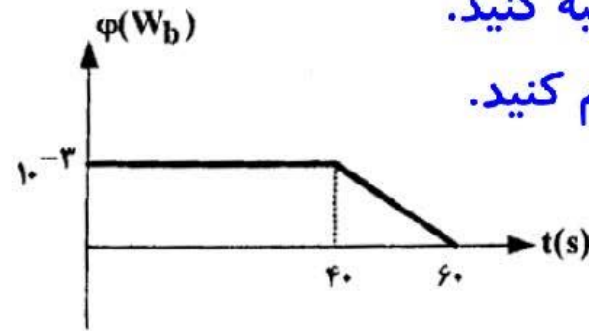
$$\varepsilon_1 = -10^{-7} \text{ V}$$

$$\varepsilon_2 = 0 \text{ V}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{در بازه‌ی زمانی صفر تا } 10 \text{ s} \\ \text{در بازه‌ی زمانی } 10 \text{ s تا } 30 \text{ s} \end{array} \right. \xrightarrow{\bar{\varepsilon} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}} \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_1 = -\frac{(10^{-3} - 0)}{10} \rightarrow \varepsilon_1 = -10^{-7} \text{ V} \\ \varepsilon_2 = -\frac{(10^{-3} - 10^{-3})}{30 - 10} \rightarrow \varepsilon_2 = 0 \text{ V} \end{array} \right.$$

تمرین :

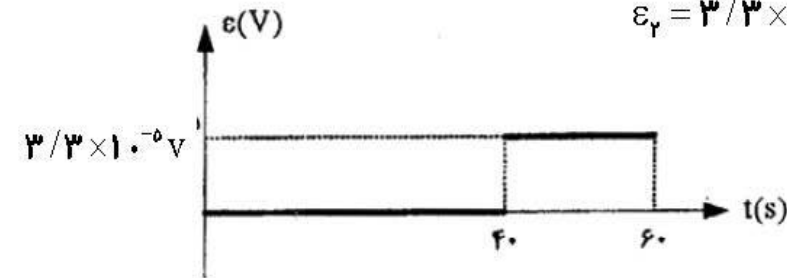
نمودار تغییرات شار مغناطیسی عبوری از یک حلقه بر حسب زمان را در شکل مقابل مشاهده می کنید. الف) نیروی محرکه ی القایی را در هر مرحله محاسبه کنید.
ب) نمودار نیروی محرکه بر حسب زمان را در این مدت رسم کنید.



پاسخ :

$$\varepsilon_1 = 0 \text{ V}$$

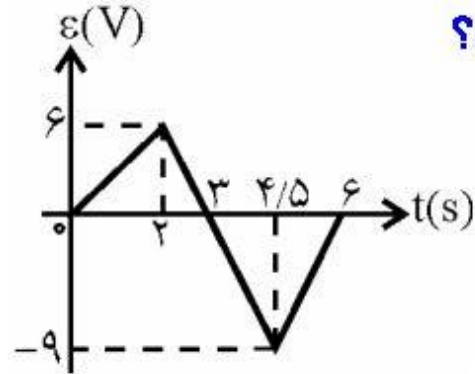
$$\varepsilon_2 = 3/3 \times 10^{-5} \text{ V}$$



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{در بازه ی زمانی صفر تا } 4 \text{ s} \\ \text{در بازه ی زمانی } 4 \text{ s تا } 6 \text{ s} \end{array} \right. \xrightarrow{\bar{\varepsilon} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}} \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_1 = -\frac{(1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-3})}{4 - 0} \Rightarrow \varepsilon_1 = 0 \text{ V} \\ \varepsilon_2 = -\frac{(0 - 1 \cdot 10^{-3})}{6 - 4} \Rightarrow \varepsilon_2 = 3/3 \times 10^{-5} \text{ V} \end{array} \right.$$

تمرین :

نمودار نیروی محرکه القایی-زمان مربوط به یک حلقه بسته مطابق شکل روبه‌رو می‌باشد .
تغییر شار مغناطیسی در بازه زمانی صفر تا ۶ S چند وبر است؟



پاسخ :

$$\Delta\Phi = -4/5 \text{ Wb}$$

مساحت سطح محصور بین نمودار نیروی محرکه القایی-زمان با محور زمان در یک حلقه برابر $\Delta\Phi$ - است؛



$$\left. \begin{aligned} \bar{\varepsilon} &= -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \rightarrow \Delta\Phi = -\bar{\varepsilon} \Delta t \\ S &= \left(\frac{3 \times 6}{2} \right) + \left(\frac{3 \times (-9)}{2} \right) = 9 + (-13.5) = -4.5 \end{aligned} \right\} \Delta\Phi = -4/5 \text{ Wb}$$