

-۱

وقتی سیم پیچ یا مداری که مساحت آن برابر  $A$  می‌باشد در یک میدان مغناطیسی قرار گیرد، شار مغناطیسی که از سیم پیچ یا مدار عبور می‌کند طبق رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

$$\varphi = AB \cos\theta$$

مساحت یک حلقه ( $m^2$ )

میدان مغناطیسی (T)

زاویه‌ی بین نیم خط عمود بر سطح سیم پیچ (ویر Wb) و میدان مغناطیسی

-۲

وقتی سیم پیچ عمود بر میدان مغناطیسی است، شار مغناطیسی ماکزیمم می‌باشد.

$$|\cos\theta| = 1 \Rightarrow \varphi_{\max} = \pm AB$$

$\theta = 0^\circ$  یا  $180^\circ$  (سطح سیم پیچ عمود بر میدان)

-۳

وقتی سیم پیچ موازی میدان مغناطیسی باشد، شار مغناطیسی عبوری برابر صفر است.

$$\cos\theta = 0 \Rightarrow \varphi = 0$$

$\theta = 90^\circ$  یا  $270^\circ$  (سیم پیچ موازی میدان)

-۴

هرگاه شار مغناطیسی که از یک مدار بسته می‌گذرد تغییر نماید، در آن نیروی محرکه‌ای القاء خواهد شد و جریانی در آن برقرار می‌شود به‌طوری که بزرگی نیروی محرکه‌ی القا شده متناسب با آهنگ تغییر شار است.

$$\varepsilon = -\frac{d\varphi}{dt}$$

در این رابطه  $\varepsilon$  بر حسب ولت،  $\frac{d\varphi}{dt}$  بر حسب ویر بر ثانیه است.

-۵

سوی جریان حاصل از نیروی محرکه‌ی القایی به گونه‌ای است که به وسیله‌ی آثار مغناطیسی‌ای که به وجود می‌آورد باعث وجود آورنده خود (تغییر شار) مخالفت می‌کند.

-۶

#### محاسبه‌ی نیروی محرکه‌ی القایی متوسط و لحظه‌ای

از ترکیب دو قانون فارادی و لنز، فرمول‌ها از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\varepsilon = -N \frac{d\varphi}{dt} \quad (\text{نیروی محرکه‌ی خودالقایی متوسط}) \Rightarrow (\text{نیروی محرکه‌ی خودالقایی لحظه‌ای})$$

$N$  = تعداد حلقه‌های پیچه،  $\Delta\varphi$  = تغییر شار بر حسب ویر (Wb)،  $\Delta t$  = زمان تغییر شار بر حسب ثانیه (S)

$$\bar{\varepsilon} = \text{نیروی محرکه‌ی القایی متوسط در پیچه بر حسب ولت (V)} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \text{آهنگ تغییر شار در پیچه بر حسب } \left( \frac{\text{wb}}{\text{s}} \right)$$

- نکته: در مواردی که حرکت باعث تغییر شار می‌شود، قانون لنز مانند نیروی اصطکاک عمل کرده و در مقابل حرکت مقاومت نشان می‌دهد.

-۸

### روش‌های ایجاد تغییر شار در یک مدار

طبق رابطه‌ی  $\Phi = BA \cos\theta$  با تغییر هر یک از عوامل میدان مغناطیسی، شدت میدان مساحت حلقه (A)، زوایه‌ی بین سوی میدان مغناطیسی و نیم خط عمود بر صفحه ( $\theta$ )، شار تغییر نموده و باعث ایجاد نیروی حرکتی القایی در یک مدار بسته‌ی رسانا خواهد شد.

$$\Delta\varphi = A(\Delta B) \cos\alpha$$

$$\Delta\varphi = (\Delta A) B \cos\alpha$$

$$\Delta\varphi = AB(\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1)$$

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{تغییر شار به روش تغییر میدان} \\ \text{تغییر شار به روش تغییر مساحت} \\ \text{تغییر شار به روش تغییر زاویه} \end{array} \right.$$

-۹

وقتی شار مغناطیسی به هر دلیلی تغییر کند، نیروی حرکتی القایی و به دنبال آن جریان الکتریکی القایی تولید می‌شود. جریان الکتریکی القا شده، در اطراف مدار، میدان مغناطیسی به وجود می‌آورد که آن را میدان مغناطیسی القایی نامیده و با  $B_L$  نشان می‌دهیم.

طبق قانون لنز، نیروی حرکتی القایی با آثاری که از خود به وجود می‌آورد، با تغییرات شار مخالفت می‌کند. به این ترتیب که اگر شار افزایش یابد با ایجاد میدان القایی در خلاف جهت میدان اصلی، با افزایش شار مخالفت می‌کند و اگر شار گاهش یابد با ایجاد میدان القایی در جهت میدان اصلی، با کاهش شار مخالفت خواهد کرد.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{قطب آهن ربا به سیم پیچ نزدیک شود} \\ \text{میدان القایی در خلاف جهت میدان اصلی} \Rightarrow \text{شار افزایش می‌یابد} \\ \text{مساحت حلقه افزایش می‌یابد} \\ \text{شدت جریان در مدار دارای مولد افزایش، یابد} \\ \text{قطب آهن ربا از سیم پیچ دور می‌شود} \\ \text{میدان القایی در جهت میدان اصلی} \Rightarrow \text{شار کاهش می‌یابد} \\ \text{مساحت حلقه کاهش می‌یابد} \\ \text{شدت جریان در مدار دارای مولد کاهش می‌یابد} \end{array} \right.$$

-۱۰

وقتی میله‌ای رسانا به طول 1 در امتداد عمود بر میدان مغناطیسی یکنواخت  $B$  با سرعت  $V$  و در امتداد عمود بر میدان مغناطیسی به حرکت درآید، نیروی حرکتی القایی در دو سر آن القا خواهد شد.

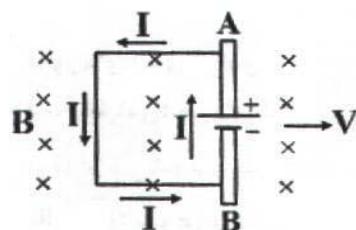
$$e = LV$$

### سوی جریان القایی در میله

-۱۱

اگر چهار انگشت دست راست، سوی حرکت میله ( $V$ ) و جمع شدن انگشتان به سمت میدان باشد، انگشت شست سوی جریان القایی را نشان خواهد داد.

نکته: در این پدیده، میله به عنوان مولد عمل می‌کند که همانند درون یک مولد، جریان از انتهای منفی (پتانسیل کمتر) به انتهای مثبت (پتانسیل بیشتر) جریان خواهد یافت.



-۱۲

هرگاه جریان الکتریکی از یک سیم پیچ عبور می‌کند در حال تغییر باشد در سیم پیچ تغییر شار مغناطیسی رخ می‌دهد که باعث ایجاد نیروی محرکه‌ای در سیم پیچ می‌شود که به آن نیروی محرکه‌ی خودالقایی می‌گوییم و از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

$$\bar{\varepsilon}_L = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

تغییرات شدت جریان(آمپر)

↓ ضریب خودالقایی

↓ مدت تغییر جریان(ثانیه)

↑ نیروی محرکه‌ی خودالقایی متوسط(ولت)

-۱۳

اگر جریان الکتریکی مدار در حال افزایش باشد، نیروی محرکه‌ی خودالقایی در خلاف جهت نیروی محرکه‌ی اصلی مدار (نیروی محرکه‌ی مولد) ایجاد می‌شود و اگر جریان الکتریکی مدار، در حال کاهش باشد، نیروی محرکه‌ی خودالقایی هم جهت نیروی محرکه‌ی اصلی مدار (نیروی محرکه‌ی مولد) ایجاد می‌شود.

-۱۴

ضریب خودالقایی سیم‌لوله (L) کمیتی است که فقط به مشخصات ساختمانی سیم‌لوله بستگی دارد و با تغییرات شدت جریان یا شار مغناطیسی مقدار آن ثابت می‌ماند و بر اساس مشخصات ساختمانی سیم‌لوله (تعداد حلقه، مساحت هر حلقه، طول سیم پیچ و جنس هسته) از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است.

$$L = k \mu \cdot \frac{N^2 A}{l}$$

↑ تعداد حلقه‌ها

↑ مساحت هر حلقه → ضریب خودالقایی(هانری)

→ طول سیم‌لوله

↓ ضریب مغناطیسی مربوط به هسته‌ی سیم پیچ (بدون واحد)

$k = \begin{cases} 1 & \text{هوا و خلا} \\ >> 1 & \text{آهن، نیکل و کبالت} \end{cases}$

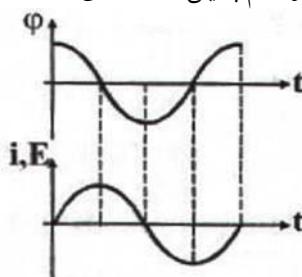
-۱۵

هنگامی که جریان الکتریکی در یک سیم پیچ از صفر تا I افزایش می‌یابد، انرژی الکتریکی در سیم پیچ به صورت انرژی مغناطیسی ذخیره می‌شود که طبق رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است.

$$U = \frac{1}{2} L I^2 \Rightarrow \Delta U = \frac{1}{2} L (I_2^2 - I_1^2)$$

### مولد جریان متناوب

هرگاه سیم‌پیچی را با  $N$  حلقه در یک میدان مغناطیسی یکنواخت با سرعت زاویه‌ای ثابت  $\omega$  بجرخانیم، شار مغناطیسی که از آن عبور می‌کند به طور متناوب تغییر خواهد کرد و در نتیجه نیروی محرکه‌ی القایی و جریان الکتریکی القایی متناوبی در سیم‌پیچ ایجاد می‌گردد که نمودار تغییرات شار و نیروی محرکه و همچنین معادله‌ی آن‌ها به صورت زیر می‌باشد.

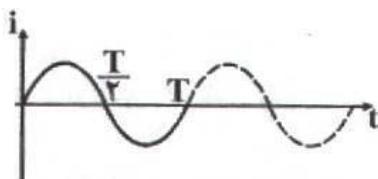


$$\begin{aligned}\Phi &= BA \cos(\omega t) \Rightarrow \varphi = \varphi_m \cos \omega t \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu \\ \varepsilon &= -N \frac{d\varphi}{dt} \Rightarrow \varepsilon = NBA(\omega) \sin(\omega t) \Rightarrow \varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t \\ \varepsilon_m &= NBA\omega\end{aligned}$$

### جریان القایی متناوب

طبق رابطه‌ی  $I = \frac{\varepsilon}{R}$  در سیم‌پیچ، جریان الکتریکی القایی شود که تغییرات آن همانند تغییرات نیروی محرکه‌ی القایی می‌باشد. یعنی وقتی  $\varepsilon = 0$  است باید  $I = 0$  باشد و وقتی  $\varepsilon$  ماقزیم است باید  $I$  نیز ماقزیم باشد.

با دقت به شکل زیر می‌بینید که وقتی شار مغناطیسی عبوری از سیم‌پیچ ماقزیم است (سطح سیم‌پیچ عمود بر میدان مغناطیسی) نیروی محرکه‌ی القایی و جریان الکتریکی القایی برابر صفر می‌باشد و هنگامی که شار مغناطیسی عبوری برابر صفر است (سطح سیم‌پیچ موازی میدان مغناطیسی) نیروی محرکه‌ی القایی و جریان الکتریکی القایی ماقزیم می‌شود.



### ۱۷- نیروی محرکه القایی در یک پیچه (یا سیم‌لوله)

اگر در یک پیچه شار مغناطیسی تغییر کند به هر حلقه‌ی آن نیروی محرکه‌ای القایی شود. با فرض یکسان بودن حلقه‌ها نیروهای محرکه‌ی القایی نیز یکسان است.

پس نیروی محرکه‌ی القایی کل برابر است با تعداد حلقه‌ها ضرب در نیروی محرکه‌ی القایی هر حلقه.

$$\varepsilon = -N \frac{d\varphi}{dt}$$

### ۱۸- یکای خودالقایی (هانری)

یک هانری ضریب خودالقایی سیم‌لوله‌ای است که اگر جریان آن با آهنگ یک آمپر بر ثانیه تغییر کند، نیروی محرکه‌ی یک ولت در آن القا شود.

۱- حلقه‌ای به مساحت  $50 \text{ cm}^2$  در یک میدان مغناطیسی یکنواخت  $\vec{B}$  قرار دارد. با فرض این که خطهای میدان مغناطیسی  $\vec{B}$  عمود بر سطح حلقه باشند، اگر بزرگی میدان مغناطیسی بدون تغییر جهت آن به اندازه‌ی  $T = ۰/۳$  افزایش یابد، شار مغناطیسی که از سطح حلقه می‌گذرد، چه قدر تغییر می‌کند؟

$$A = 50 \text{ cm}^2 = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\theta = ۹۰^\circ$$

$$\Delta B = ۰/۳ T$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \Phi = (\Delta B) A \cos \theta \\ \Delta \Phi = (0/3) \times 50 \times 10^{-4} \times 1 = 1/5 \times 10^{-3} \text{ wb} \end{array} \right.$$

۲- میدان مغناطیسی عمود بر یک قاب دایره‌ای شکل به قطر  $۲۰$  سانتی‌متر با زمان تغییر می‌کند و در مدت  $۰/۵ \text{ s}$  از  $۰/۱۲$  تسلیا به  $۰/۰۰$  تسلیا می‌رسد (تغییر علامت نشان می‌دهد که جهت میدان نیز وارون شده است). نیروی محرکه‌ی القایی متوسط در حلقه را حساب کنید.

$$N = ۱$$

$$2R = ۲۰ \text{ cm} \Rightarrow R = ۱۰ \text{ cm} = ۰/۱ \text{ m}$$

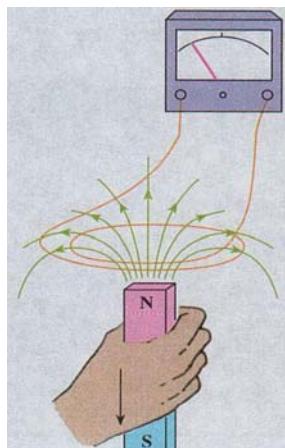
$$\Delta t = ۰/۵ \text{ s}$$

$$B_1 = ۰/۱۲ \text{ T}$$

$$B_2 = ۰/۰۰ \text{ T}$$

$$\theta = ۹۰^\circ$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\epsilon} = -\pi D^2 = -\pi (۰/۱)^2 \\ |\bar{\epsilon}| = \left| -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| \\ \Phi = AB \cos \theta \\ |\bar{\epsilon}| = \left| -N \left( \frac{B_2 - B_1}{\Delta t} \right) A \cos \theta \right| \\ |\bar{\epsilon}| = -1 \times \left( \frac{0/00 - 0/12}{0/5} \right) \times \pi \times (0/1)^2 = 8\pi \times 10^{-3} \text{ ولت} \end{array} \right.$$



۳- قطب N یک آهنربای میله‌ای را مطابق شکل زیر از پیچه دور می‌کنیم، با استفاده از قانون لنز جهت جریان القایی را در پیچه تعیین کنید.

با توجه به این که آهنربا از پیچه دور می‌شود، آثار مغناطیسی حاصل از جریان القایی، قطب غیرهم‌نام را مجاور آهنربا تشکیل می‌دهد تا با دور شدن آهنربا مخالفت کند. در این صورت قسمت پایین پیچه قطب S و بالای پیچه قطب N را تشکیل می‌دهد. پس با توجه به قانون دست راست جریان القایی در پیچه پاد ساعتگرد است، یعنی جریان از قطب سمت چپ گالوانومتر به قطب سمت راست آن می‌باشد.

۴- دو سیم‌لوله با سطح مقطع و تعداد دور یکسان در نظر بگیرید. اگر طول یکی از سیم‌لوله‌ها دو برابر دیگری باشد، نسبت ضریب خودالقایی آن‌ها را محاسبه کنید.

$$\left\{ \begin{array}{l} L = k\mu \cdot \frac{N^2 A}{L} \\ N_1 = N_2 \\ A_1 = A_2 \\ k_1 = k_2 \end{array} \right. \Rightarrow \frac{L_2}{L_1} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{l_1}{2l_1} = \frac{1}{2}$$

ضریب خودالقایی سیم لوله L  
طول سیم لوله l

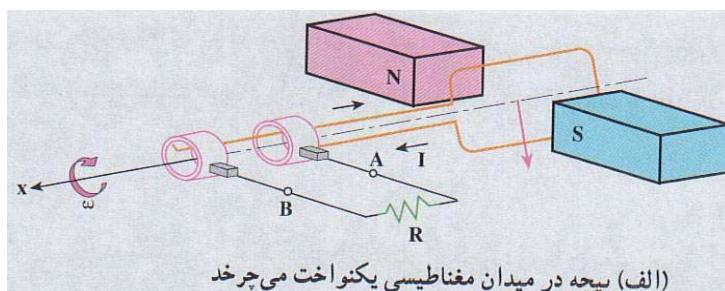
۵- رابطه‌ای برای انرژی ذخیره شده در یک سیم‌لوله‌ی بدون هسته برحسب ویژگی‌های سیم‌لوله به دست آورید.

$$\left\{ \begin{array}{l} L = k\mu \cdot \frac{N^2 A}{L} \\ k = 1 \Rightarrow L = \mu \cdot \frac{N^2 A}{L} \end{array} \right.$$

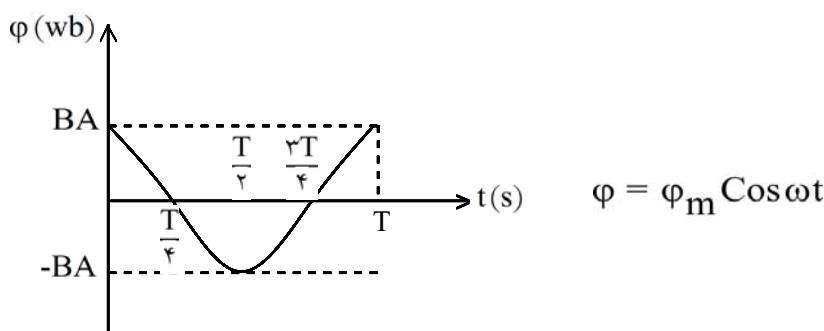
اگر طرفین معادله را در  $I \cdot \mu$  ضرب کنیم، خواهیم داشت:

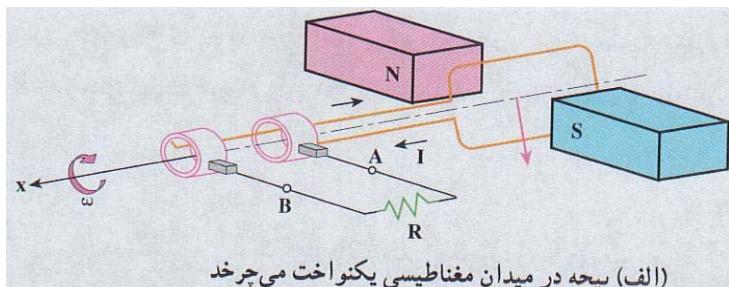
$$\left\{ \begin{array}{l} U = \frac{1}{2}\mu \cdot \frac{N^2 A}{L} \times I^2 \times \left( \frac{\mu \cdot \times L}{\mu \cdot \times L} \right) \Rightarrow U = \frac{1}{2}B^2 A \left( \frac{L}{\mu} \right) \\ B^2 = \mu \cdot \frac{N^2 I^2}{L^2} \\ U = \frac{1}{2}B^2 A \left( \frac{L}{\mu} \right) \\ V = AL \Rightarrow U = \frac{B^2 V}{2\mu} \end{array} \right.$$

در این رابطه  $B$  میدان مغناطیسی و  $V$  حجم داخل سیم‌لوله می‌باشد.

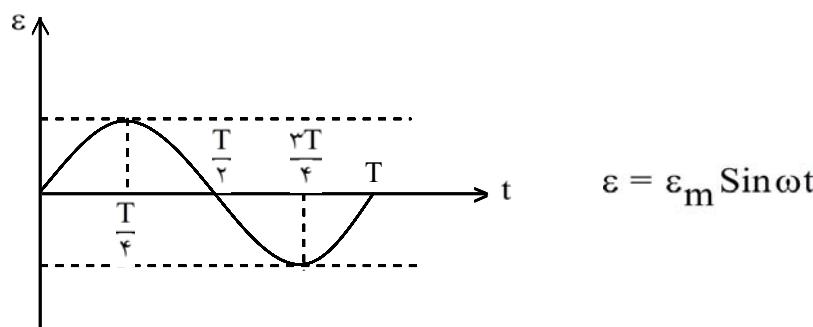


۶- نمودار تغییرات شاری که از مدار پیچه در شکل زیر می‌گذرد را برحسب زمان در طول یک دوره‌ی چرخش پیچه رسم کنید.

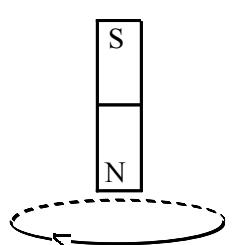
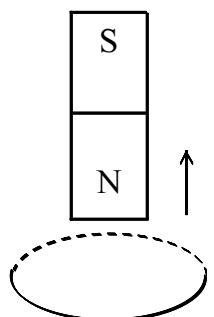




۷- نمودار تغییرات نیروی محرکه‌ی القای شده در پیچه در شکل زیر را بر حسب زمان و طول یک دوره‌ی چرخش پیچه رسم کنید.



۸- قطب شمال یک آهنربا، مطابق شکل زیر از یک حلقه‌ی فلزی دور می‌شود، جهت جریان القایی را در حلقه مشخص کنید.

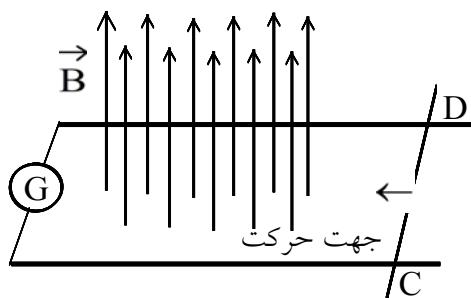


وقتی آهنربا از حلقه دور می‌شود، شار مغناطیسی در حلقه فلزی تغییر می‌کند و در آن نیروی محرکه القایی ایجاد می‌شود که باعث برقراری جریان القایی می‌گردد (قانون فارادی). جهت جریان القایی در جهتی است که آثار مغناطیسی حلقه با دور شدن آهنربا مخالفت می‌کند. هرگاه میدان مغناطیسی حلقه رو به بالا باشد، جهت جریان القایی در حلقه، مطابق شکل مقابل ساعتگرد خواهد بود (از رخ بالا).

۹- یک آهنربای میله‌ای را به‌طور قائم از ارتفاع معینی نزدیک زمین رها می‌کنیم. اگر سطح زمین در محل برخورد آهنربا با آن نرم باشد آهنربا در زمین فرو می‌رود. اگر این آزمایش را بار دیگر در وضعیتی تکرار کنیم که آهنربا در حين سقوط از درون حلقه‌های یک پیچه بگذرد، مقدار فرورفتگی آهنربا در زمین چه تغییری خواهد کرد؟ چرا؟ (از اثر مغناطیسی زمین بر روی آهنربا چشم‌پوشی کنید).

هنگامی که آهنربا را از ارتفاع رها می‌کنیم، زمانی که به پیچه می‌رسد میدان مغناطیسی آهنربا در پیچه، جریان القایی به وجود می‌آورد که آثار آن با حرکت آهنربا به طرف پایین مخالفت می‌کند و هنگام خارج شدن آهنربا نیروی محرکه القایی داخل پیچه با خارج شدن آهنربا به طرف پایین مخالفت می‌کند. در نتیجه نیروی محرکه القایی ایجاد شده در پیچه نیرویی از طرف پایین به بالا به آهنربا وارد می‌کند و سرعت سقوط آهنربا را کاهش می‌دهد و آهنربا به هنگام برخورد با سطح نرم زمین به مقدار کمتری در زمین فرو می‌رود.

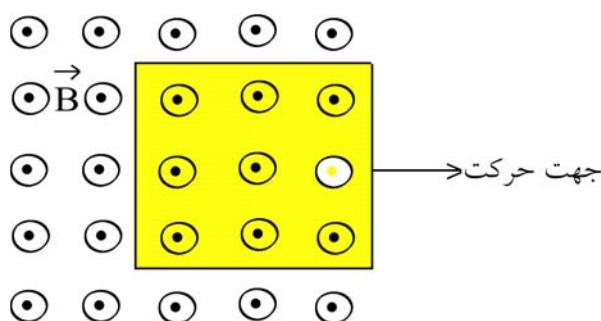
- ۱۰- دو میله‌ی رسانای موازی در صفحه‌ای عمود بر میدان مغناطیسی یکنواخت  $\vec{B}$  قرار دارند. این میله‌ها توسط گالوانومتری مطابق شکل زیر به یکدیگر بسته شده‌اند. میله‌ی رسانای  $CD$  می‌تواند روی دو میله‌ی موازی بلغزد. اگر میله‌ی  $CD$  در جهت نشان داده شده در شکل به حرکت درآید جهت القایی در مدار در چه سویی است؟



وقتی میله  $CD$  به طرف چپ حرکت می‌کند، خطهای میدان مغناطیسی را قطع می‌کند و سطح قاب رو به کاهش خواهد بود و در نتیجه شار مغناطیسی کاهش می‌یابد در این صورت با توجه به قانون لنز جهت جریان القایی در جهتی خواهد بود که آثار مغناطیسی آن با تغییر شار مخالفت می‌کند و میدانی رو به بالا را ایجاد می‌کند. پس جهت جریان القایی از  $C$  به  $D$  می‌باشد، زیرا میدان مغناطیسی رو به بالا در قاب ایجاد کرده است تا با کاهش شار مغناطیسی مخالفت کند.

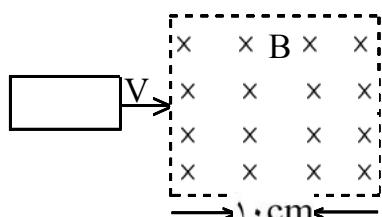
راه حل دیگر استفاده از قاعده دست راست راست بردار سرعت و خم چهار انگشت جهت مغناطیسی داخل قاب را نشان دهد، انگشت شست جهت جریان در میله را نشان می‌دهد که از  $C$  به  $D$  می‌باشد.

- ۱۱- پیچه‌ی مستطیلی را که در شکل زیر نشان داده شده است به طرف راست می‌کشیم و از میدان مغناطیسی برونسو خارج می‌کنیم. جهت جریان القایی در پیچه در چه سویی است؟



وقتی قاب را به طرف راست می‌کشیم تا از میدان مغناطیسی خارج کنیم، شار مغناطیسی عبوری از سطح قاب رو به کاهش خواهد بود، زیرا تعداد خطهایی که از قاب می‌گذرد رو به کاهش خواهد بود، در این صورت طبق قانون لنز جهت جریان القایی در قاب پاد ساعتگرد است و میدان مغناطیسی برونسو ایجاد می‌کند تا با کاهش شار مغناطیسی مخالفت کند.

۱۲- حلقه‌ی فلزی مستطیلی شکلی به ابعاد  $3\text{cm} \times 5\text{cm}$  مطابق شکل زیر با سرعت ثابت  $2\text{m/s}$  وارد میدان مغناطیسی  $T = 0.02$  می‌شود و از طرف دیگر آن خارج می‌شود. نمودار تغییرات شاری که از حلقه می‌گذرد و نیروی محکه‌ی القا شده در آن را بر حسب زمان رسم کنید.



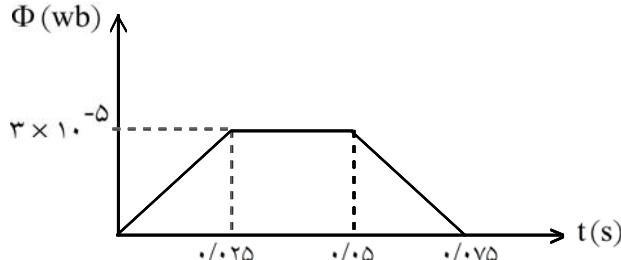
وقتی قاب با سرعت  $V$  وارد میدان مغناطیسی می‌شود، در لحظه‌ی اول  $\Phi = 0$  و وقتی به طور کامل وارد میدان می‌شود  $\Phi_2 = BA$  و هنگامی که از طرف دیگر خارج می‌شود شار مغناطیسی کم و به  $\Phi_3 = 0$  می‌رسد.

$$\Phi_1 = 0$$

$$\Phi_2 = BA \cos \theta$$

$$\Phi_3 = 0$$

$$\Phi(\text{wb}) = \begin{cases} \Phi_2 = BA \cos \theta \\ A = 3 \times 5 = 15\text{cm}^2 = 15 \times 10^{-4}\text{m}^2 \\ B = 0.02\text{T} \quad \theta = 0^\circ \Rightarrow \Phi_2 = 0.02 \times (15 \times 10^{-4}) = 3 \times 10^{-5} \text{ (wb)} \end{cases}$$



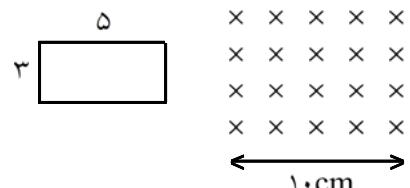
نمودار شار مغناطیسی - زمان

وقتی قاب به‌طور کامل وارد میدان می‌شود، مسافت  $5\text{cm}$  را طی می‌کند و این بازه زمانی برابر است با:

$$\begin{cases} x = V \cdot \Delta t \\ x = 5\text{cm} \quad V = 2\text{m/s} \Rightarrow \Delta t = \frac{x}{V} = \frac{5 \times 10^{-2}}{2} = 0.025 \end{cases}$$

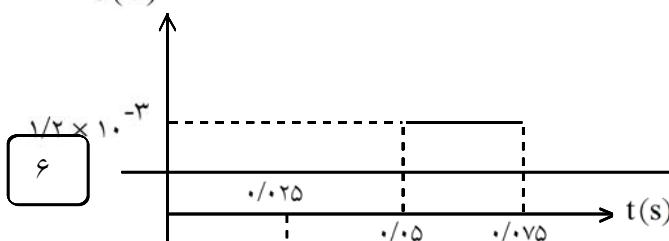
مدت زمانی که طول می‌کشد تا با سرعت ثابت از میدان مغناطیسی عبور کند، از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\begin{cases} \Delta x = V(\Delta t) \\ x = 5\text{cm} \quad V = 2\text{m/s} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta x}{V} = \frac{5 \times 10^{-2}}{2} = 0.025\text{s} \end{cases}$$



قاب در مدت  $0.025$  ثانیه وارد میدان می‌شود و در مدت  $0.025$  ثانیه از آن خارج می‌شود و در مدتی که در میدان حرکت می‌کند شار مغناطیسی ثابت و نیروی محکه برابر صفر خواهد بود.

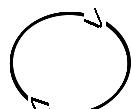
$$\begin{cases} \varepsilon = B \cdot L \cdot V \cdot \sin \alpha \quad \alpha = 0^\circ \\ \varepsilon = 0.02 \times (3 \times 10^{-2}) \times (2) = 1/2 \times 10^{-3} \text{ V} \\ \varepsilon(\text{V}) \end{cases}$$



۱۳- جهت جریان القایی در هر یک از حلقه‌های دایره‌ای نشان داده شده در شکل زیر در چه سویی است؟

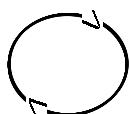
(الف) جریان در سیم رو به افزایش است و میدان مغناطیسی اطراف آن در حال قوی شدن است و شاری که از حلقه می‌گذرد در حال افزایش می‌باشد، پس طبق قانون لنز جریان ساعتگرد در حلقه برقرار می‌شود تا با افزایش شار افزایش مغناطیسی مخالفت کند.

I



(ب) جریان در سیم رو به کاهش و میدان مغناطیسی اطراف آن در حال ضعیف شدن است و شاری که از حلقه می‌گذرد در حال کاهش می‌باشد، پس طبق قانون لنز جریان ساعتگرد در حلقه برقرار می‌شود تا با کاهش شار کاهش مغناطیسی مخالفت کند.

I



پیچه‌ای که دارای ۱۰۰۰ حلقه است، عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی که اندازه‌ی آن  $0.04\text{ T}$  و جهت آن از راست به چپ است، قرار دارد. میدان مغناطیسی در مدت  $0.01\text{ s}$  تغییر کرده و به  $0.04\text{ T}$  در خلاف جهت اولیه می‌رسد.

اگر سطح هر حلقه‌ی پیچه  $50\text{ cm}^2$  باشد، به ۲ سوال بعدی پاسخ دهید.

۱۴- اندازه‌ی نیروی محرکه‌ی القایی متوسط در پیچه را حساب کنید.

$$N = 1000$$

$$\theta = 0$$

$$B_1 = 0.04\text{ T}$$

$$\Delta t = 0.01\text{ s}$$

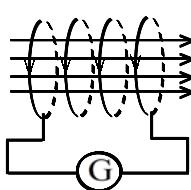
$$B_2 = -0.04\text{ T}$$

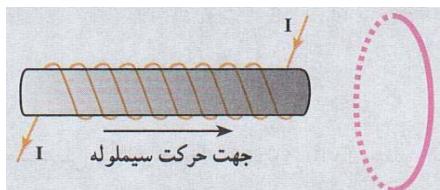
$$A = 50\text{ cm}^2 = 50 \times 10^{-4}\text{ m}^2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} |\bar{\epsilon}| = \left| -N \left( \frac{B_2 - B_1}{\Delta t} \right) A \cos \theta \right| \\ |\bar{\epsilon}| = \left| -1000 \left( \frac{-0.04 - 0.04}{0.01} \right) \times (50 \times 10^{-4}) \right| \end{array} \right. \Rightarrow |\bar{\epsilon}| = 40\text{ V}$$

۱۵- جهت جریان القایی را تعیین کنید.

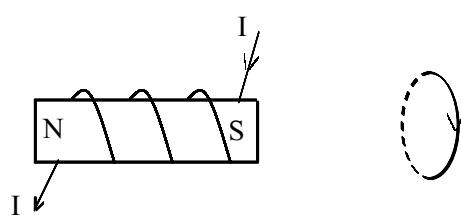
وقتی میدان مغناطیسی از  $0.04\text{ T}$  به صفر می‌رسد، جریان القایی در پیچه مطابق شکل در قسمت جلو حلقه رو به پایین از صفر تا  $I$  می‌رسد تا آثار مغناطیسی حاصل از آن با کاهش شار مغناطیسی مخالفت کند و وقتی میدان مغناطیسی از صفر تا  $-0.04\text{ T}$  می‌رسد، جریان در همان جهت قبلی ادامه خواهد داشت تا آثار مغناطیسی آن با افزایش میدان مغناطیسی در جهت منفی مخالفت کند.





۱۶- در شکل زیر اگر سیم‌وله را در جهت نشان داده شده در شکل به حلقه نزدیک کنیم جریان القایی در حلقه در چه جهتی است؟

سیم‌وله حامل جریان است و طبق قانون دست راست طرف راست آن قطب **S** و طرف چپ آن قطب **N** است. وقتی سیم‌وله با سرعت  $V$  به طرف حلقه می‌رود، شار مغناطیسی در حلقه تغییر می‌کند و در مدار نیروی محرکه القایی و جریان القایی برقرار می‌شود. جهت جریان القایی در حلقه طبق قانون لنز در جهتی است که آثار مغناطیسی آن با نزدیک شدن سیم‌وله مخالفت می‌کند. پس در طرف چپ حلقه قطب **S** و در طرف راست قطب **N** تشکیل می‌شود تا با نزدیک شدن قطب **S** سیم‌وله مخالفت کند. حال با مشخص بودن قطب **S** و **N** می‌توان با استفاده از قاعده دست راست جهت جریان القایی را در حلقه تعیین کرد مطابق شکل می‌باشد.



۱۷- پیچه‌ای با سطح مقطع  $30\text{cm}^2$  دارای  $1000$  حلقه است و در ابتدا بر میدان مغناطیسی زمین عمود است. اگر در مدت  $0.02\text{s}$  پیچه بچرخد و موازی میدان مغناطیسی زمین قرار بگیرد، نیروی محرکه‌ی متوسط القایی در آن چه قدر است؟ (اندازه‌ی میدان زمین را  $0.05\text{G}$  در نظر بگیرید.)

$$A = 30\text{cm}^2 = 30 \times 10^{-4}\text{m}^2$$

$$N = 1000$$

$$\theta_1 = 0$$

$$\theta_2 = \frac{\pi}{2}$$

$$B = 0.05\text{G} = 0.05 \times 10^{-4}\text{T}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -N \frac{BA(\cos\theta_2 - \cos\theta_1)}{\Delta t} \\ \Delta t = 0.02\text{s} \Rightarrow \bar{\varepsilon} = -1000 \times \frac{0.05 \times 10^{-4} \times (30 \times 10^{-4})(0 - 1)}{0.02} = \bar{\varepsilon} = 7.5 \times 10^{-3}\text{V} \end{array} \right.$$

۱۸- اگر شار مغناطیسی عبوری از حلقه‌ای مطابق رابطه‌ی زیر (در SI) تغییر کند:

$$\Phi_B = (4t^2 + 3t - 1) \times 10^{-3}$$

بزرگی نیروی محرکه‌ی القایی در لحظه‌ی  $t = 2s$  چه قدر است؟

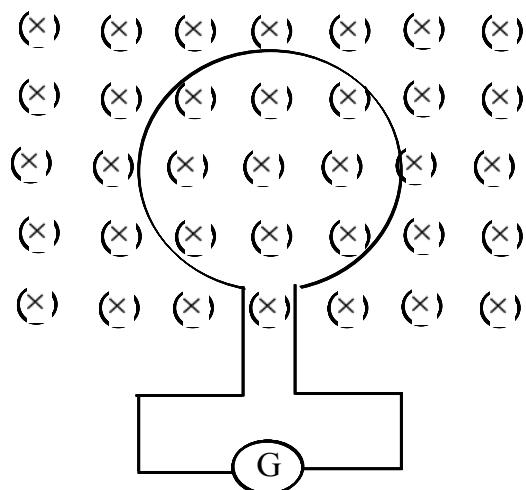
مشتق شار مغناطیسی نسبت به زمان برابر نیروی محرکه‌ی القایی لحظه‌ای است، پس:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon = \frac{d\phi}{dt} \\ \phi_B = (4t^2 + 3t - 1) \times 10^{-3} \Rightarrow \frac{d\phi}{dt} = (8t + 3) \times 10^{-3} \end{array} \right.$$

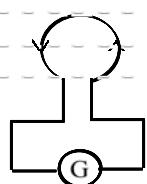
$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon = (8t + 3) \times 10^{-3} \\ t = 2s \Rightarrow \varepsilon = (8 \times 2 + 3) \times 10^{-3} = 1/9 \times 10^{-2} V \end{array} \right.$$

نیروی محرکه در لحظه  $t = 2s$  برابر  $1/9 \times 10^{-2}$  ولت می‌باشد.

۱۹- حلقه‌ای مطابق شکل زیر درون یک میدان مغناطیسی یکنواخت قرار دارد. اگر اندازه‌ی میدان افزایش یابد، جهت جریان القایی را روی حلقه مشخص کنید.



میدان مغناطیسی درون سو و حلقه عمود بر میدان مغناطیسی است. هرگاه میدان مغناطیسی درون سو افزایش یابد، شار مغناطیسی عبوری از حلقه افزایش می‌یابد و در مدار جریان القایی برقرار می‌شود که آثار مغناطیسی آن با افزایش میدان مغناطیسی مخالفت می‌کند، در این صورت جریان القایی پاد ساعتگرد می‌باشد.

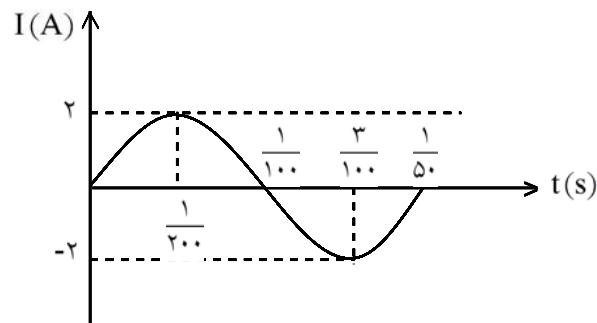


جريان متناوبی که بیشینه‌ی آن  $2A$  و دوره‌ی آن  $0.02s$  است از یک رسانای ۵ اهمی می‌گذرد. به ۲ سوال بعدی پاسخ دهید.

- ۲۰- در چه لحظه‌هایی شدت جریان بیشینه خواهد بود. در این لحظه‌ها نیروی محرکه‌ی القایی چه قدر است؟  
ابتدا زمان تناوب را به دست می‌آوریم تا بتوانیم نمودار جریان - زمان را رسم کنیم.

$$\begin{aligned} I_m &= 2A \\ T &= 0.02s \\ R &= 5\Omega \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} \omega = \frac{2\pi}{T} \\ T = 0.02s \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{0.02} = 100\pi \text{ rad/s} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I = I_m \sin \omega t \\ I_m = 2A \Rightarrow I = 2 \sin 100\pi t \end{array} \right.$$



با توجه به نمودار و معادله شدت جریان - زمان در لحظه‌های  $\frac{1}{200}$  و  $\frac{3}{200}$  شدت جریان ماکزیمم است، یعنی در لحظه  $\frac{1}{200}$  برابر  $(+2A)$  و در لحظه  $\frac{3}{200}$  می‌باشد. در این مدار نیروی محرکه القایی با شدت جریان الکتریکی هم فاز است و در لحظه‌هایی که شدت جریان ماکزیمم است، نیروی محرکه القایی نیز ماکزیمم است. در روش دیگر می‌توان گفت وقتی  $t = \frac{1}{100\pi}$  گردد، شدت جریان و نیروی محرکه القایی ماکزیمم است.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sin 100\pi t = \pm 1 \\ \sin \frac{\pi}{2} = 1 \Rightarrow 100\pi t = \frac{\pi}{2} \Rightarrow t = \frac{1}{200} s \\ \sin \frac{3\pi}{2} = -1 \Rightarrow 100\pi t = \frac{3\pi}{2} \Rightarrow t = \frac{3}{200} s \end{array} \right.$$

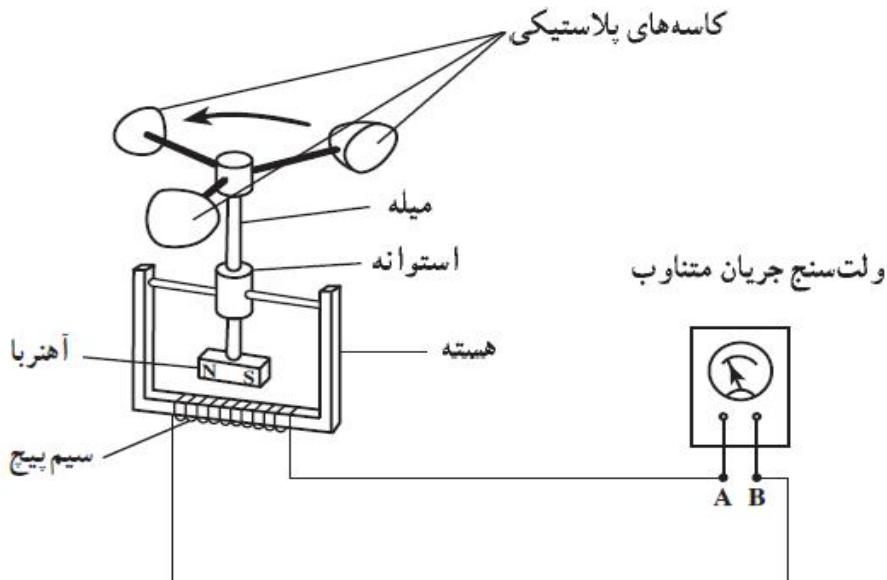
- ۲۱- در لحظه‌ی  $t = \frac{1}{400} s$ ، شدت جریان چه قدر است؟

برای به دست آوردن شدت جریان در لحظه  $t = \frac{1}{400} s$  مقدار آن را در معادله شدت جریان - زمان قرار می‌دهیم.

$$\left\{ \begin{array}{l} I = 2 \sin 100\pi t \\ t = \frac{1}{400} s \Rightarrow I = 2 \sin 100\pi \times \frac{1}{400} \end{array} \right.$$

$$I = 2 \sin \frac{\pi}{4} \Rightarrow I = 2 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = \sqrt{2} A$$

- ۲۲- شکل زیر، ساختمان یک بادسنجد را نشان می‌دهد. اگر این بادسنجد را روی بام خانه نصب کنیم، به هنگام وزیدن باد، میله‌ی آن می‌چرخد و ولتسنج عددی را نشان می‌دهد.
- الف) چرا چرخش میله سبب انحراف عقربه‌ی ولتسنج می‌شود؟
- ب) آیا با افزایش سرعت باد، عددی که ولتسنج نشان می‌دهد تغییر می‌کند؟ چرا؟
- پ) برای بهبود و افزایش دقیقت کار دستگاه، دو پیشنهاد ارائه دهید.



- الف) طبق قانون لنز، با چرخش آهنربا، میدان مغناطیسی اطراف سیم پیج تغییر می‌کند و سیم پیج با ایجاد جریانی (اختلاف پتانسیل القایی) با آن مخالفت می‌کند.
- ب) بله، هرچه سرعت چرخش آهنربا بیشتر شود، تغییرات میدان به زمان بیشتر می‌شود.
- پ) استفاده از آهنربای قوی‌تر و خم کردن سر هسته‌ی آهنی به سمت آهنربا.