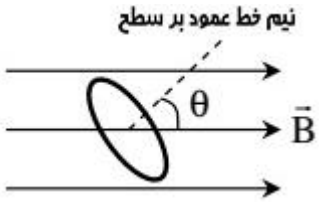
القای الکترومغناطیسی

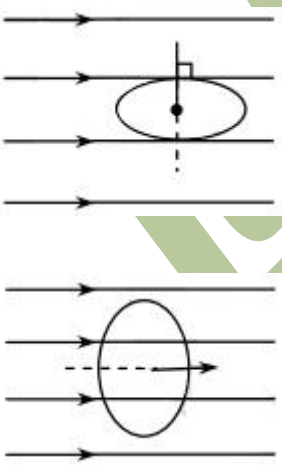
اگر بخواهیم خیلی ساده و سریع بحث رو شروع کنیم باید بگیم که ، تعداد خطوط میدان مغناطیسی گذرنده از یک سطح بسته را **شار مغناطیسی** گذرنده از اون سطح می نامیم . شار مغناطیسی با علامت (فی) φ نشان داده می شود.



$\varphi = BA\cos\theta$ که $\rightarrow$ $\begin{cases} B : \text{میدان مغناطیسی} \\ A : \text{مساحت سطح} \\ \theta : \text{زاویه ی بین خطوط میدان و نیم خط فرضی عمود بر سطح بسته} \end{cases}$

نکات :

1. واحد φ در SI $\leftarrow$ $T.m^2$ است که به اون wb (وبر) میگن!
2. شار مغناطیسی یک کمیت اسکالر است .
3. اگر زاویه ای که سطح بسته با خطوط میدان می سازد را α بنامیم ، آنگاه $\alpha + \theta = 90^0$ است . (در پیشتر تست ها به جای زاویه ی بین خطوط میدان و نیم خط عمود بر سطح ، زاویه ی بین سطح بسته با خطوط میدان را می دهد!)
4. حالت های خاص با توجه به زاویه ی θ :



اگر سطح بسته موازی با خطوط میدان باشد $\leftarrow$ $(\theta = 90$ و $\alpha = 0)$ $\leftarrow$ $\varphi = 0$

اگر سطح بسته عمود بر خطوط میدان باشد $\leftarrow$ $(\theta = 0$ یا $\theta = 180$ و $\alpha = 90)$ $\leftarrow$ $\varphi_{max} = BA$

قوانین القای الکترومغناطیس :

① **قانون فارادی :** هرگاه شار مغناطیسی عبوری از یک مدار بسته ، تغییر کند ، نیرو محرکه ای در آن القا می شود که بزرگی آن با آهنگ تغییر شار مغناطیسی متناسب است. با توجه به رابطه شار مغناطیسی ($\varphi = BA\cos\theta$) تغییر شار می تواند توسط سه عامل ایجاد شود که به صورت زیر است:

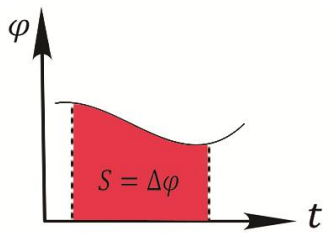
عوامل تغییر شار مغناطیسی :
$1-$ تغییر زاویه $\leftarrow \Delta\varphi = BA(\cos\theta_2 - \cos\theta_1)$
$2-$ تغییر مساحت $\leftarrow \Delta\varphi = B(A_2 - A_1)\cos\theta$
$3-$ تغییر میدان مغناطیسی $\leftarrow \Delta\varphi = (B_2 - B_1)A\cos\theta$

طبق قانون فارادی نیرومحرکه القایی با استفاده از روابط زیر بدست می آید :

متوسط $\bar{\varepsilon} = -N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ ، لحظه ای $\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt}$

که خب این نیرومحرکه القایی باعث بوجود آمدن یک جریان القایی میشه که از روابط زیر قابل محاسبه هستند:

متوسط $\bar{I} = \frac{\bar{\varepsilon}}{R} = -\frac{N}{R}\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ ، لحظه ای $I = \frac{\varepsilon}{R} = -\frac{N}{R}\frac{d\varphi}{dt}$



نکته : مساحت زیر نمودار $\varepsilon - t$ تغییرات شار مغناطیسی را نشان می دهد

آقای فارادی مقدار مقدار جریان القایی را توانست محاسبه کند ، اما برای جهت آن توضیحی نداشت؛ برای تشخیص جهت جریان القایی باید از جناب لنز کمک بگیریم !

② **قانون لنز :** جهت جریان القایی به گونه ای است که شاری که ایجاد می کند با تغییرات شار مغناطیسی خارجی گذرنده از مدار مخالفت کند . یعنی :

1- اگر شار مغناطیسی خارجی که از حلقه می گذرد در حال زیاد شدن باشد ، جریان القایی ، شاری ایجاد می کند که با شار اصلی مخالفت کند و مانع زیاد شدن آن شود (B القایی با B اصلی مخالف است)

2- اگر شار مغناطیسی خارجی که از حلقه می گذرد در حال کم شدن باشد ، جریان القایی ، شاری ایجاد می کند که با شار اصلی هم جهت باشد و مانع کم شدن آن شود . (B القایی با B اصلی هم جهت است)

تست – میدان مغناطیسی $B = 0.3\vec{i} + 0.4\vec{j}$ بر سطح حلقه ای به شکل مستطیل به ابعاد $5cm$ و $4cm$ عمود است . شار مغناطیسی گذرنده از این حلقه چند میلی وبر است ؟ (قلمچی 95)

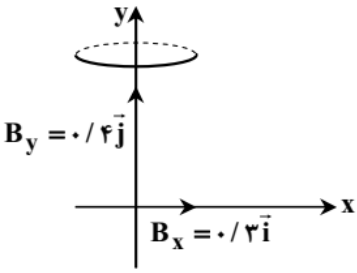
1) 0.4 2) 1 3) 1.4 4) 0.6

حل : میدان مغناطیسی بر سطح حلقه عمود است ، یعنی شار بیشینه است . کافی است اندازه میدان مغناطیسی را بدست آوریم که اون هم اعداد فیثاغورثی هست و به راحتی می توان گفت که اندازه میدان 0.5 تسلا است .

$$\varphi_{max} = BA = 0.5 \times (20 \times 10^{-4}) = 10^{-3}wb = 1m\,wb$$

تست – اگر بردار میدان مغناطیسی یکنواختی در SI بصورت $B = 0.3\vec{i} + 0.4\vec{j}$ باشد و حلقه ای به مساحت $200cm^2$ که سطح آن موازی با محور x و عمود بر محور y است در این میدان قرار داشته باشد . بزرگی میدان مغناطیسی در آن محیط و شار مغناطیسی عبوری از حلقه در SI از راست به چپ کدام اند ؟ (سراسری ریاضی 92)

1) صفر – صفر 2) 0.5 و 6×10^{-3} 3) 0.7 و 8×10^{-3} 4) 0.5 و 8×10^{-3}



حل : اندازه میدان که با توجه به نکته اعداد فیثاغورثی که قبلا گفتیم ، در همان نگاه اول باید بفهمیم که 0.5 تسلا است و گزینه های 2 یا 4 جواب صحیح تست هستند . و از طرفی با توجه به اینکه سطح حلقه عمود بر محور y است ، فقط مولفه های قائم میدان ($0.4\vec{j}$) از حلقه عبور میکنند ، بنابراین داریم :

$$\varphi = AB_y = 200 \times 10^{-4} \times 0.4 = 8 \times 10^{-3}\ wb$$

تست – سیملوله ای به طول $20cm$ دارای 100 حلقه است. حلقه ها به دور یک میله ی آهنی به شعاع مقطع $2cm$ و به تراوایی مغناطیسی 300 ، به صورت منظم پیچیده شده اند. وقتی جریان $0.5A$ از سیملوله می گذرد ، شار مغناطیسی گذرنده از آن چند وبر است؟ ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ و $\pi^2 \cong 10$) (سراسری ریاضی 92 خارج کشور)

1) 8×10^{-7} 2) 4×10^{-7} 3) 12×10^{-5} 4) 24×10^{-7}

حل :

تست – آهنگ تغییر شار مغناطیسی از جنس کدام کمیت فیزیکی است ؟ (سراسری تجربی 91)

1) میدان مغناطیسی 2) نیرو محرکه الکتریکی 3) شدت جریان الکتریکی 4) نیروی الکترومغناطیسی

حل : این تست رو نزنی **فارادی** خیلی ناراحت میشه ازت !

تست – قابی رسانا به شکل مربع به ضلع $20cm$ در یک میدان مغناطیسی یکنواخت به گونه ای قرار گرفته است که خطوط میدان با سطح قاب زاویه 30 درجه می سازند. اگر مقاومت الکتریکی قاب 0.1Ω باشد ، میدان مغناطیسی با آهنگ چند تسلا بر ثانیه تغییر کند تا جریان $0.5A$ در قاب القا شود؟ (گزینه دو 95)

1) $\frac{2.5\sqrt{3}}{3}$ 2) 2.5 3) $\frac{5\sqrt{3}}{3}$ 4) 5

حل: می دانیم که یکی از راه های تغییر شار مغناطیسی ، تغییر میدان مغناطیسی است ، دقت داشته باشید که در رابطه ی شار از زاویه 30 درجه استفاده نکنید!!!! !

$$A = 400 \times 10^{-4} = 4 \times 10^{-2} m^2 \quad و \quad (\alpha = 30^0 \rightarrow \theta = 60^0) \quad و \quad R = 0.1\Omega \quad و \quad I = 0.5A$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \left|-\frac{N}{R}\frac{d\varphi}{dt}\right| = \frac{N}{R}\frac{d\varphi}{dt} = \frac{N}{R}\frac{(dB)A\cos 60^0}{dt} \Rightarrow 0.5 = \frac{1}{0.1}A\cos 60^0 \frac{dB}{dt}$$

$$0.5 = \frac{1}{0.1}(4 \times 10^{-2})\left(\frac{1}{2}\right)\frac{dB}{dt} \quad \rightarrow \quad \frac{dB}{dt} = \frac{10}{4} = 2.5\ \frac{T}{s}$$

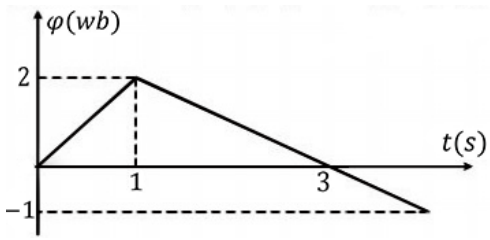
تست – معادله شار مغناطیسی عبوری از یک سیملوله که شامل 100 حلقه است ، در SI به صورت $\varphi = \frac{2}{3} \times 10^{-2} \cos 100\pi t$ است. بیشینه نیروی محرکه القایی و همچنین نیروی محرکه در لحظه $t = \frac{1}{600} s$ ، به ترتیب کدام است ؟ ($\pi \cong 3$) (سراسری ریاضی 93 خارج کشور)

1) 2 ولت و $\sqrt{3}$ ولت 2) 2000 ولت و $1000\sqrt{3}$ ولت 3) 200 ولت و $100\sqrt{3}$ ولت 4) 200 ولت و 100 ولت

حل : یه چیزی همیشه یادتون باشه ! اونم اینکه مقدار بیشینه ی یک کمیت سینوسی یا کسینوسی برابر است با ضریب سینوس یا کسینوس در رابطه ی مورد نظر . با جایگذاری در رابطه ی القای فارادی داریم :

$$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt} = -N\left(\frac{2}{3} \times 10^{-2} \times (-100\pi)\sin 100\pi t\right) = 200 \sin 100\pi t \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_{max} = 200 \text{ ولت} \\ \varepsilon\left(t = \frac{1}{600} s\right) = 200 \sin\frac{\pi}{6} = 100 \text{ ولت} \end{cases}$$

تست – نمودار تغییرات شار مغناطیسی بر حسب زمان که از یک حلقه می گذرد ، به صورت شکل زیر است . نیرومحرکه القا شده در لحظه $t = 3s$ چند ولت است ؟ (سراسری تجربی 94)

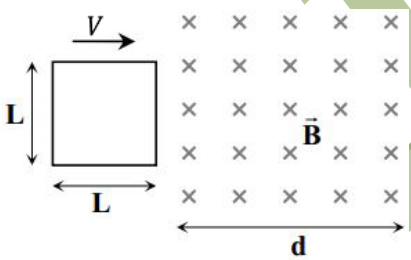


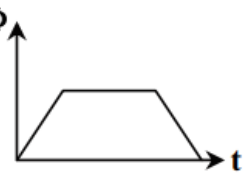
1) صفر 2) 0.5 3) 1 4) 1.5

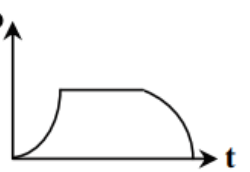
حل: با توجه به رابطه ی فارادی ، نیرومحرکه القایی در لحظه $t = 3s$ برابر است با شیب خط مماس بر منحنی $\varphi - t$ در لحظه $t = 3s$.

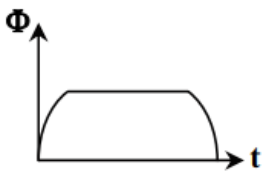
$$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt} = (-\frac{d\varphi}{dt}\Big|_{t=3s}) = -\frac{\Delta\varphi\left(\text{در بازه 1 تا 3 ثانیه}\right)}{\Delta t} = -\frac{\varphi(3) - \varphi(1)}{3-1} = -\frac{0-2}{2} = 1 \text{ ولت}$$

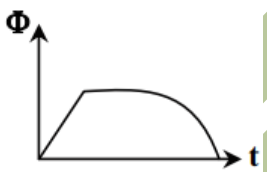
تست – یک قاب مربعی با ابعاد $L \times L$ مطابق شکل در ابتدای یک میدان مغناطیسی که دارای میدان یکنواخت B است ، قرار دارد و با سرعت V در حال حرکت است . کدام نمودار ، شار عبوری از قاب را برحسب زمان به درستی نمایش می دهد؟ (شبیه گزینه دو 95)



1) 

2) 

3) 

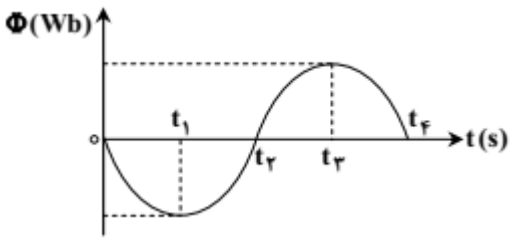
4) 

حل : در هنگام وارد شدن قاب به درون میدان مغناطیسی ، با توجه به ثابت بودن سرعت ، شار مغناطیسی عبوری از حلقه به صورت خطی افزایش می یابد.

$$\Delta\varphi = B(\Delta A) = B\,(L\Delta x) = B\,(LV\Delta t) = BLV\,(\Delta t) \quad \rightarrow \quad \Delta\varphi = (BLV)\Delta t$$

با قرار گرفتن کامل حلقه در میدان مغناطیسی ، شار عبوری از حلقه تا زمانی که حلقه شروع به خارج شدن از ناحیه میدان مغناطیسی کند ، ثابت می ماند. و در نهایت با خارج شدن حلقه از ناحیه میدان مغناطیسی ، شار عبوری به صورت خطی کاهش می یابد. بنابراین تفاسیر گزینه 1 جواب درست تست است.

تست – نمودار تغییرات شار مغناطیسی که از سطح یک مدار بسته می گذرد ، به صورت شکل زیر است . در کدام لحظه یا لحظه های زیر ، نیرو محرکه القایی منفی و مقدار آن بیشینه است ؟ (سراسری تجربی 94 خارج کشور)

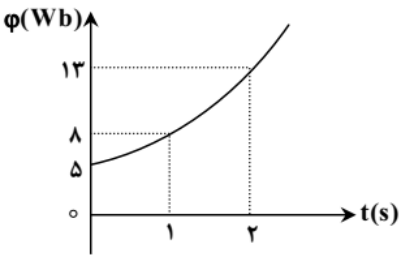


1) t_2 2) t_3

3) t_2 و t_4 4) صفر و t_4

حل : با توجه به قانون القای فارادی ($\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt}$) برای اینکه در یک لحظه نیرو محرکه القایی منفی باشد ، باید در آن لحظه $\frac{d\varphi}{dt}$ مثبت باشد ، یعنی شیب خط مماس بر نمودار در لحظه مورد نظر باید مثبت باشد . بنابراین گزینه 1 جواب صحیح تست است .

تست– نمودار شار مغناطیسی گذرنده از یک حلقه به صورت سهمی روبه رو است. بزرگی نیرومحرکه القایی در لحظه $t = 0$ چند ولت است ؟ (سراسری تجربی 90)



1) 1 2) 2

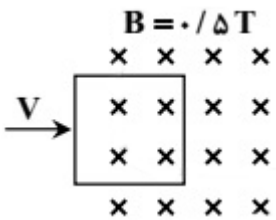
3) 2.5 4) 5

حل : برای بدست آوردن نیرو محرکه القایی باید شیب خط مماس بر نمودار را در نقطه مورد نظر بدست آوریم ، که برای این کار در این سوال باید ابتدا معادله $\varphi(t)$ را بدست آوریم . صورت سوال مشخص کرده است که این نمودار یک سهمی است . پس داریم

$$\varphi(t) = at^2 + bt + c \implies \begin{cases} t=0 & \to 5 = c \\ t=1 & \to 8 = a + b + 5 \\ t=2 & \to 13 = 4a + 2b + 5 \end{cases} \to \begin{cases} 3 = a + b \\ 8 = 4a + 2b \end{cases} \to \begin{cases} a = 1 \\ b = 2 \\ c = 5 \end{cases}$$

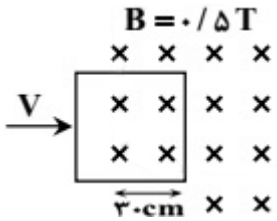
$$\varphi(t) = t^2 + 2t + 5 \implies \frac{d\varphi}{dt} = 2t + 2 \quad \to |\varepsilon| = \left| -(\frac{d\varphi}{dt} \mid_{t=0}) \right| = 2$$

تست – مطابق شکل ، یک سیم پیچ مربع شکل با 20 دور سیم که طول هر ضلع آن $40cm$ است ، با سرعت 3 متر بر ثانیه در یک میدان مغناطیسی درون سو ، به سمت راست حرکت می کند. بزرگی نیروی محرکه القا شده در سیم پیچ در لحظه ای که $30cm$ از آن در میدان وارد شده است ، چند ولت است؟ (سراسری تجربی 92)

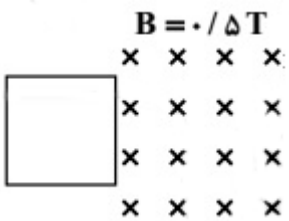


1) 6 2) 8 3) 12 4) 16

حل : باید در دو حالت شار مغناطیسی را بدست آوریم ، حالتی که هنوز حلقه سیم پیچ وارد میدان مغناطیسی نشده ، و حالتی که 30 سانتی متر از آن وارد میدان شده باشد



حالت دوم : $\varphi = BA = 0.5 \times 30 \times 40 \times 10^{-4} = 6 \times 10^{-2}\ wb$

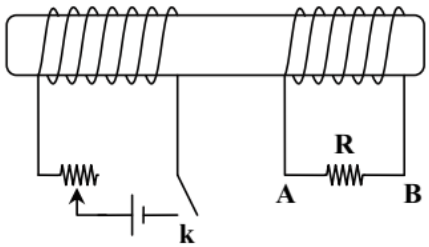


حالت اول : $\varphi = 0$

از طرفی برای بدست آوردن مدت زمانی که حلقه این مسافت 30سانتی متر را طی کرده است از رابطه سرعت استفاده میکنیم :

$$\Delta x = v\Delta t \;\rightarrow\; 0.3 = 3\Delta t \;\rightarrow\; \Delta t = 0.1s \qquad \Longrightarrow \qquad |\bar{\varepsilon}| = \left|-N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}\right| = 20 \times \frac{6\times 10^{-2} - 0}{0.1} = 12 \text{ ولت}$$

تست – در شکل مقابل ابتدا کلید K را می بندیم ، سپس لغزنده رئوستا را به سمت چپ حرکت می دهیم. در حین بستن کلید و در حین حرکت لغزنده رئوستا ، جهت جریان القایی در مقاومت R به ترتیب چگونه است ؟ (گزینه دو 95)



1) از A به B – از A به B 2) از A به B – از B به A

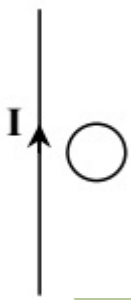
3) از B به A – از B به A 4) از B به A – از A به B

حل : با بستن کلید K شار مغناطیسی درون سیملوله دوم (سمت راستی) زیاد می شود و جهت میدان اصلی (میدان ناشی از سیملوله اول) از راست به چپ ($\leftarrow$) است ، پس طبق قانون لنز ، میدان القایی در سیملوله دوم باید از سمت چپ به راست ($\rightarrow$) تولید شود ، که با استفاده از قاعده دست راست جهت جریان از A به B خواهد بود .

با حرکت لغزنده رئوستا به سمت چپ ، R کم می شود و در نتیجه جریان I زیاد می شود که باعث افزایش شار مغناطیسی می شود ، طبق همان فرآیند حالت قبل ، در این حالت نیز جهت جریان از A به B است .

نکته آهنربایی:

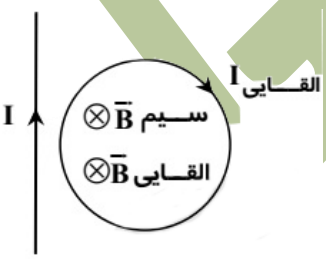
تست – در شکل روبه رو ، حلقه رسانا و سیم راست در یک صفحه قرار دارند. اگر حلقه را ..... و یا شدت جریان I را ..... ، جریان القایی در حلقه ساعتگرد خواهد شد. (سراسری تجربی 93)



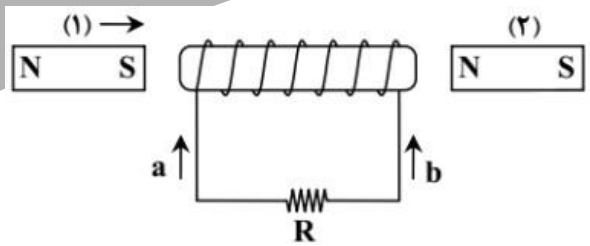
1) از سیم دور کنیم – کاهش دهیم 2) از سیم دور کنیم – افزایش دهیم

3) به سیم نزدیک کنیم – کاهش دهیم 4) به سیم نزدیک کنیم – افزایش دهیم

حل : با استفاده از قانون دست راست ، میدان مغناطیسی ناشی از سیم راست درون حلقه به صورت درون سو $\otimes$ می باشد ، و همچنین میدان مغناطیسی در داخل حلقه با جریان ساعتگرد هم درون سو $\otimes$ است. پس بنابراین باید شار عبوری از حلقه در حال کاهش باشد تا میدان القایی در داخل حلقه ، هم جهت با میدان اصلی باشد. برای کاهش شار عبوری از حلقه ، می توانیم حلقه را از سیم دور کنیم یا جریان عبوری از سیم را کم کنیم .



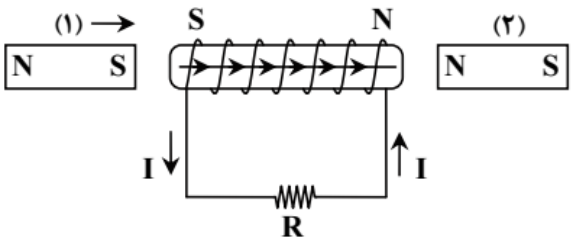
تست – در شکل مقابل ، آهنربای (2) ساکن است و آهنربای (1) را در جهت نشان داده شده حرکت می دهیم . آهنربای الکتریکی ایجاد شده ، آهنربای (2) را جذب می کند یا دفع و جهت جریان القایی کدام است ؟ (گزینه دو 95)



1) جذب می کند a – 2) جذب می کند b –

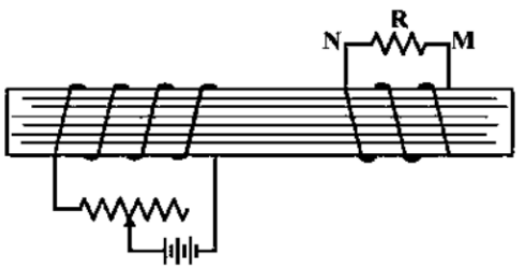
3) دفع می کند a – 4) دفع می کند b –

حل : در اثر حرکت آهنربا ، شار مغناطیسی گذرنده از سیملوله بیشتر می شود ، بنابراین جریان القایی باید در جهتی باشد که با افزایش شار مقابله کند . جهت میدان اصلی از راست به چپ (←) است بنابراین جهت میدان القایی باشد از چپ به راست (→) باشد. برای اینکه جهت میدان القایی به این صورت باشد ، باید جهت جریان در سیملوله هم جهت با b باشد. در این صورت قطب های آهنربای الکتریکی ایجاد شده به صورت شکل مقابل است . واضح است که آهنربای الکتریکی ایجاد شده ، آهنربای (2) را دفع می کند.



نکته طلایی آهنربایی : گفتیم برای استفاده از این نکته ، باید سیملوله ها و پیچه ها را به شکل آهنربا در نظر بگیریم و قطب های آنها را طوری تعیین کنیم که مانع از تغییر موقعیت آنها نسبت به یکدیگر شویم . وقتی آهنربای (1) به سمت سیملوله حرکت میکند ، باید سیملوله با ایجاد قطب های مخالف مانع از حرکت آهنربای (1) شود. یعنی قطب S سیملوله در سمت چپ و قطب N آن در سمت راست قرار می گیرد. به این ترتیب به راحتی جهت جریان هم تعیین می شود.

تست – در شکل زیر دو سیملوله روی یک هسته آهنی و جدا از هم پیچیده شده اند. لغزنده رئوستا را از نقطه ای که ثابت مانده بود در مدت Δt به سمت چپ حرکت می دهیم . اگر جریان القایی عبوری از مقاومت R قبل از حرکت لغزنده I_1 و ضمن حرکت لغزنده I_2 باشد ، I_1 و I_2 به ترتیب چگونه اند؟ (سراسری ریاضی 94 خارج کشور)



1) $I_1 = 0$ و I_2 در جهت N به M

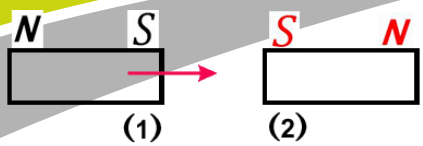
2) $I_1 = 0$ و I_2 در جهت M به N

3) I_1 مقدار ثابت و در جهت M به N و I_2 هم جهت با I_1 و بیشتر از آن

4) I_1 مقدار ثابت و در جهت N به M و I_2 خلاف جهت با I_1 و کمتر از آن

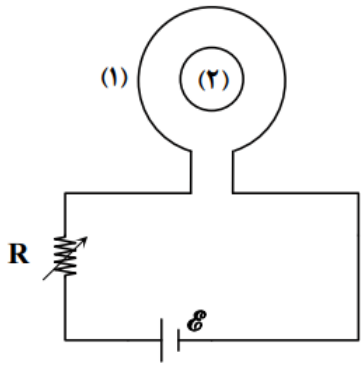
حل: اولا که قبل از حرکت لغزنده رئوستا ، تغییر شار مغناطیسی نداریم ، پس $I_1 = 0$ است . با حرکت لغزنده رئوستا مقاومت سیملوله اصلی کاهش پیدا می کند ، پس جریان I افزایش پیدا می کند و باعث افزایش شار مغناطیسی عبوری از سیملوله دوم می شود. بنابراین جریان القایی در سیملوله دوم شاری در خلاف جهت شار اصلی تولید می کند ، که با توجه به قاعده دست راست جهت جریان مورد نظر باید از N به M باشد.

نکته طلایی آهنربایی



گفتیم افزایش شار در سیملوله را با نزدیک کردن آهنربای معادل آن به دیگر آهنربای معادل شبیه سازی میکنیم ، باید قطب های آهنربای دوم طوری قرار بگیرند که مانع از حرکت آهنربای اولی شوند. با تعیین قطب های آهنربای دوم (سیملوله دوم) میتوانیم به راحتی جهت جریان را هم تعیین کنیم .

تست – حلقه 1 به همراه مقاومت متغیر R به باتری متصل است و حلقه کوچکتر شماره 2 درون آن قرار دارد. مقاومت متغیررا افزایش دهیم . کدام مطلب در مورد جهت جریان القایی در حلقه 2 درست است ؟ (گزینه دو 95)

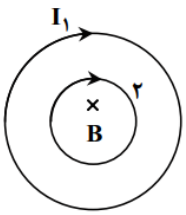


1) پادساعتگرد است

2) ساعتگرد است

3) ابتدا ساعتگرد و سپس پادساعتگرد

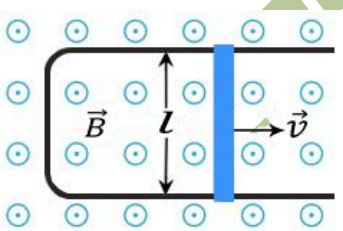
4) جریانی القا نمی شود



حل : جهت جریان در حلقه (1) ساعتگرد و در حال کاهش است ، بنابراین میدان مغناطیسی درون حلقه (2) درون سو ⊗ و در حال کاهش است . پس طبق قانون لنز جهت جریان القا شده در حلقه (2) باید به گونه ای باشد که با کاهش میدان مخالفت کند. پس باید میدان مغناطیسی درون سو ⊗ ایجاد شود. پس باید جریان ساعتگرد در حلقه (2) ایجاد شود.

میله ی رسانای متحرک در میدان مغناطیسی :

اگر مطابق شکل، سیم راستی به طول l را با سرعت V در میدان مغناطیسی B به حرکت درآوریم ، در این صورت نیروی محرکه القایی دو سر سیم از رابطه ی زیر محاسبه می شود.



$$\bar{\varepsilon} = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = -\frac{\Delta(BA)}{\Delta t} = -B\frac{\Delta A}{\Delta t} = -B\frac{l\,\Delta x}{\Delta t} = -Blv$$

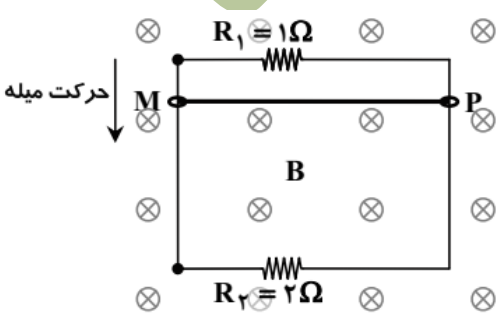
$$|\bar{\varepsilon}| = Blv \quad \text{(پلوار !)}$$

برای بدست آوردن جهت جریان هم از قانون لنز استفاده می کنیم . به این ترتیب که در این شکل داریم :

اگر V به سمت راست باشد شار افزایش می یابد ، پس جهت جریان باید طوری باشد که میدان ایجاد شده با میدان اصلی مخالف باشد . یعنی جریان ساعتگرد

اگر V به سمت چپ باشد شار کاهش می یابد ، پس جهت جریان باید طوری باشد که میدان ایجاد شده در جهت میدان اصلی باشد . یعنی جریان پادساعتگرد

تست – اگر میدان مغناطیسی یکنواخت $0.05T$ عمود بر صفحه کاغذ به صورت درون سو برقرار باشد و میله ی فلزی MP به طول 40 سانتی متر را با سرعت $20\frac{m}{s}$ در جهت نشان داده شده حرکت دهیم ، جریان گذرنده از مقاومت های R_1 و R_2 کدام خواهد بود ؟ (گزینه دو 95)



1) $I_1 = I_2 = \frac{2}{15}A$ و هر دو به طرف راست (→)

2) $I_1 = I_2 = \frac{2}{15}A$ و هر دو به طرف چپ (←)

3) $I_1 = 0.4\ A$ و $I_2 = 0.4\ A$ و هر دو به طرف راست $(\rightarrow)$

4) $I_1 = 0.4\ A$ و $I_2 = 0.4\ A$ و هر دو به طرف چپ $(\leftarrow)$

حل: در مستطیل بالایی ← با توجه به جهت حرکت میله ، شار مغناطیسی در حال افزایش است . بنابراین طبق قانون لنز میدان القایی باید به صورت برون سو ⊙ باشد. با قاعده دست راست مشخص است که جهت جریان در مقاومت R_1 به طرف چپ $(\leftarrow)$ است.

$$|\bar{\varepsilon}| = BlV = 0.05 \times 0.4 \times 20 = 0.4 \text{ ولت} \quad \Longrightarrow \quad I_1 = \frac{\varepsilon}{R_1} = 0.4\ A$$

در مستطیل بالایی ← با توجه به جهت حرکت میله ، شار مغناطیسی در حال کاهش است . بنابراین طبق قانون لنز میدان القایی باید به صورت درون سو ⊗ باشد. با قاعده دست راست مشخص است که جهت جریان در مقاومت R_2 به طرف چپ $(\leftarrow)$ است.

$$|\bar{\varepsilon}| = BlV = 0.05 \times 0.4 \times 20 = 0.4 \text{ ولت} \quad \Longrightarrow \quad I_2 = \frac{\varepsilon}{R_2} = 0.2\ A$$

بنابراین گزینه 4 جواب درست تست است

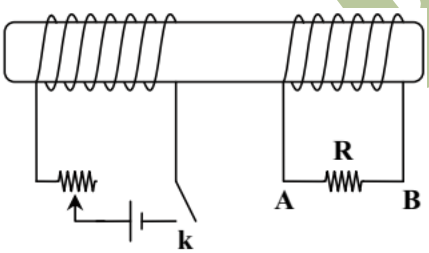
تست – یک میله فلزی به طول $30cm$ در یک میدان مغناطیسی یکنواخت با سرعت $2\frac{m}{s}$ در راستای عمود بر خطوط میدان حرکت می کند و میله نیز بر خطوط میدان عمود است . اگر اندازه میدان مغناطیسی 0.05 تسلا باشد نیرو محرکه القا شده در این میله چند میلی ولت است ؟ (سراسری تجربی 95 خارج کشور)

1) 15 2) 30 3) 45 4) 60

حل : حق دارید که با خوندن سوال یکم گیج بشید! انصافا بد طراحی شده ! ولی منظورش همین بحث خودمونه

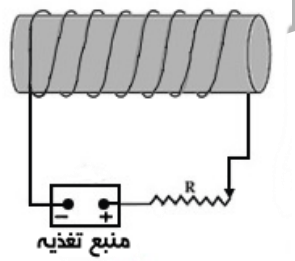
$$|\bar{\varepsilon}| = BlV = 0.05 \times 0.3 \times 2 = 6\ m \text{ ولت}$$

پدیده خودالقایی یا خودالقاوری :

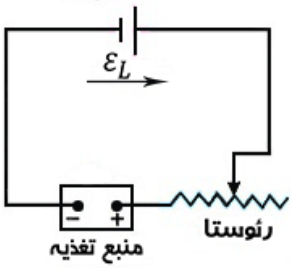


بیاید با یه شکلی که قبلا بررسی کردیم شروع کنیم ، در شکل روبه رو با حرکت لغزنده رئوستا ، جریان در سیملوله سمت چپ تغییر میکند، با تغییر جریان در سیملوله سمت چپ ، میدان مغناطیسی درون سیملوله تغییر کرده و به تبع آن شار مغناطیسی گذرنده از سیملوله سمت راست تغییر میکند . طبق قانون فارادی یک نیرو محرکه القایی در سیملوله سمت راست ایجاد می شود .

حالا یه سوال ...



اگر اصلا سیملوله سمت راست را حذف کنیم و در نظر نگیریم ، آیا تغییر جریان در یک سیملوله باعث تغییر شار مغناطیسی در همان سیملوله هم می شود؟ جواب سوال "بله " است. پس قانون القای فارادی را می توانیم برای همان سیملوله هم در نظر بگیریم دیگه، نه؟ یعنی :



در یک سیملوله که مطابق شکل ، درون مدار بسته شده و در مسیر آن یک رئوستا قرار دارد ، با تغییر مقاومت ، جریان در سیملوله تغییر می کند . با تغییر جریان ، میدان مغناطیسی در سیملوله تغییر میکند ، بنابراین شار عبوری از سیملوله تغییر میکند. تغییر شار عبوری از سیملوله باعث ایجاد یک نیرومحرکه القایی در خود مدار می شود ، که می خواهد مانع از تغییر شار عبوری از سیملوله شود. به این پدیده خودالقایی یا خود-القاوری گویند.

ضریب خود القاوری :

همانطوری که ویژگی های ظاهری و فیزیکی یک خازن را با ظرفیت (C) نشان دادیم ، ویژگی های ظاهری و فیزیکی القاگر (سیملوله یا پیچه) را هم با ضریب خودالقاوری (L) نشان می دهیم . ضریب خودالقاوری (L) هم مثل ظرفیت خازن ، فقط به ویژگی های ظاهری القاگر بستگی دارد.

$$L = \frac{K\,\mu_0\,A\,N^2}{l}$$ (ضریب خود – القاوری سیملوله)

(کُماندو اِلم !)
- K (ضریب مغناطیسی هسته سیم پیچ)
- l (طول سیم پیچ)
- A (سطح مقطع سیم پیچ)

برای بدست آوردن نیرو محرکه خودالقایی از روابط زیر استفاده می کنیم :

متوسط $\varepsilon = -L\,\frac{\Delta I}{\Delta t}$ و لحظه ای $\varepsilon = -L\,\frac{dI}{dt}$

همچنین انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی یک القاگر از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$u = \frac{1}{2}LI^2$$

نکات :

1. یکای اندازه گیری ظریب خود-القاوری (L) در SI ، اُهم-ثانیه است که به احترام جوزف هانری ، **هانری** نامیده و با نماد H نشان داده می شود.
2. ضریب خودالقاوری (L) فقط به ویژگی های ظاهری القاگر بستگی دارد.
3. تغییر شار ← نیرو محرکه القایی
   تغییر جریان ← نیرو محرکه خود – القاوری
4. $u\ \alpha\ LI^2$ یا $\frac{u2}{u1} = \frac{L2}{L1} \times (\frac{I2}{I1})^2$
5. $u_{max} = \frac{1}{2}L(I_{max})^2$

تست – ضریب خودالقایی سیملوله ای $0.05\ H$ است و جریان الکتریکی که از آن میگذرد، در SI بصورت $I = 0.04\sin(500\pi t)$ است. بزرگی نیرو محرکه خودالقایی در سیملوله درلحظه ی $t = 0.01s$ چند ولت است ؟ $(\pi = 3.14)$ (سراسری ریاضی 92)

1) 1.57 2) 3.14 3) 15.7 4) 31.4

حل : فقط با یه جایگذاری ساده سروکار داریم :

$$\varepsilon = \left|-L\frac{dI}{dt}\right| = |-0.05 \times (20\pi\cos(500\pi t))|\ \Big|_{t=0.01} \quad \rightarrow \varepsilon = \pi = 3.14$$ لحظه ای

تست – از سیملوله ای به ضریب خودالقایی 0.05 هانری ، جریان $i = 8\cos 50t$ می گذرد (در SI) . بیشینه ی نیروی محرکه القایی ایجاد شده در سیملوله چند ولت است ؟ (سراسری تجربی 91)

1) 5 2) 10 3) $10\sqrt{2}$ 4) 20

حل: می دانیم که در معادلات سینوسی یا کسینوسی ، مقدار بیشینه همان ضریب سینوس یا کسینوس است ، بنابراین داریم :

$$\varepsilon = -L\frac{dI}{dt} = 0.05 \times (400\sin 50t) = 20\sin 50t \quad \Longrightarrow \varepsilon_{max} = 20$$ ولت

تست – شعاع مقطع سیملوله ای $2cm$ و طول آن $10cm$ است ، اگر تعداد دورهای سیملوله 100 دور باشد و جریان $10A$ از آن عبور کند ، انرژی ذخیره شده در سیملوله چند میلی ژول است ؟ $(\pi = 3$ و $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7})$ (سراسری ریاضی 94 خارج کشور)

1) 1.44×10^{-3} 2) 7.2×10^{-3} 3) 1.44 4) 7.2

حل :
$$L = \frac{\mu_0 AN^2}{l} = \frac{4\pi \times 10^{-7}\,(\pi R^2)(100)^2}{0.1} = \frac{4\pi \times 10^{-7}\,(\pi \times 4 \times 10^{-4})\,(10^4)}{0.1} = 16\pi^2 \times 10^{-6}\ H$$

$$u = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2}\,(16\pi^2 \times 10^{-6})(10)^2 = 7.2 \times 10^{-3} = 7.2mj$$

تست – ضریب خودالقایی سیملوله ی A ، 2 برابر ضریب خودالقایی سیملوله ی B است و جریان الکتریکی عبوری از آن نیز دو برابر جریان الکتریکی سیملوله ی B است. انرژی ذخیره شده در سیملوله ی A چند برابر انرژی ذخیره شده در سیملوله ی B است؟ (سراسری ریاضی 92 خارج کشور)

1) 2 2) $2\sqrt{2}$ 3) 4 4) 8

حل :
$$\begin{cases} L_A = 2L_B \\ I_A = 2I_B \end{cases} \quad \Longrightarrow \quad \frac{u_A}{u_B} = \frac{L_A}{L_B} \times \left(\frac{I_A}{I_B}\right)^2 \quad \rightarrow \quad \frac{u_A}{u_B} = 2 \times (2)^2 = 8$$

تست – شدت جریان الکتریکی ثابتی از یک سیملوله می گذرد. اگر زمان عبور این جریان دو برابر شود ، انرژی ذخیره شده در سیملوله چند برابر می شود ؟ (سنجش 95)

1) 1 2) 2 3) $\sqrt{2}$ 4) 4

حل: گزینه یک . با نوشتن رابطه انرژی ذخیره شده در سیملوله به راحتی مشخص است که زمان تاثیری در انرژی ذخیره شده در القاگر ندارد!

تست – معادله جریان الکتریکی عبوری از یک سیملوله در SI به صورت $I = 2\sqrt{2}\sin(300t)$ است. اگر پیشینه انرژی مغناطیسی ذخیره شده در سیملوله 0.8 ژول باشد ، معادله ی نیروی محرکه خود القایی سیملوله در SI کدام است ؟ (قلمچی 96)

1) $\varepsilon = 120\sqrt{2}\cos(300t - \pi)$ 2) $\varepsilon = 120\sqrt{2}\,sin(300t - \pi)$

3) $\varepsilon = 120\,sin\,300t$ 4) $\varepsilon = 120\,cos\,300t$

حل: ابتدا ضریب خودالقایی را باید بدست اوریم

$$u_{max} = \frac{1}{2}L(I_{max})^2 \implies 0.8 = \frac{1}{2}\,L\,\left(2\sqrt{2}\right)^2 \implies L = 0.2\ H$$

سپس نیرومحرکه خودالقایی را محاسبه می کنیم

$$\varepsilon = -L\frac{dI}{dt} = -0.2\ \times (600\sqrt{2}\cos(300t)) = 120\sqrt{2}\cos(300t - \pi)$$

تست – انرژی ذخیره شده در یک القاگر در مدت 0.5 ثانیه از 10 ژول به صفر می رسد. اگر ضریب خودالقایی این القاگر $0.2H$ باشد. در این مدت نیروی محرکه القایی متوسط دو سر القاگر چند ولت است ؟ (قلمچی 96)

1) 4 2) 0.4 3) 2.5 4) 10

حل : ابتدا باید ΔI را بدست آوریم

$$\begin{cases} u_1 = 10 \rightarrow u_1 = \frac{1}{2}LI_1{}^2 \rightarrow 10 = \frac{1}{2}\times\frac{2}{10}\times I_1{}^2 \rightarrow I_1 = 10A \\ u_2 = \frac{1}{2}LI_2{}^2 \rightarrow 0 = \frac{1}{2}LI_2{}^2 \rightarrow I_2 = 0 \end{cases}$$

$$\implies \varepsilon = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} = -0.2\ \frac{I_2 - I_1}{0.5} = 4 \text{ ولت}$$

تست – ضریب خودالقایی یک سیملوله بدون هسته با 100 دور حلقه ، $4mH$ است. اگر جریان عبوری از سیملوله $10mA$ باشد، شار مغناطیسی عبوری از هر حلقه ی آن چند وبر است؟ (قلمچی 96)

1) 4×10^{-5} 2) 4×10^{-3} 3) 4×10^{-7} 4) 25

حل : بچه ها توی سوالات این فصل سعی کنید قبل از هر چیزی اون خواسته نهایی سوال رو بدونید که چی هست ! در اینجا خواسته نهایی سوال ، شار مغناطیسی است که داریم :

$$\varphi = BA = \mu_0\frac{NI}{l}\,A = \mu_0 NI\left(\frac{A}{l}\right)$$

با توجه به رابطه ی بدست آمده برای شار مغناطیسی ، بخش مجهول که باید بدست بیاریم $\frac{A}{l}$ است . که با توجه به رابطه ی ضریب خودالقایی داریم :

$$L = \frac{\mu_0 AN^2}{l} = \mu_0 N^2\left(\frac{A}{l}\right) \rightarrow 4\times10^{-3} = 4\pi\times10^{-7}\times(100)^2\left(\frac{A}{l}\right) \rightarrow \frac{A}{l} = \frac{1}{\pi}$$

بعد از بدست آوردن $\frac{A}{l}$ و جایگذاری آن در رابطه شار مغناطیسی خواهیم داشت :

$$\varphi = BA = \mu_0 \frac{NI}{l} A = \mu_0 NI \left(\frac{A}{l}\right) = 4\pi \times 10^{-7} \times 100 \times 10 \times 10^{-3} \times \frac{1}{\pi} = 4 \times 10^{-7}\ wb$$

جریان متناوب :

یکی از ویژگی های مهم القای الکترومغناطیسی تولید جریان متناوب است . میدانیم که شار عبوری از یک پیچه در حالت عادی $\varphi = ABcos\ \theta$ است ، و همچنین میدانیم که یکی از ساده ترین راه های تغییر شار مغناطیسی ؛ تغییر θ است.

حال تصور کنید (مطابق شکل) یک پیچه درون یک میدان مغناطیسی یکنواخت قرار گرفته باشد و با سرعت زاویه ای ثابت ω بچرخد ، یعنی زاویه ی θ مُدام و به صورت متناوب در حال تغییر است ، بنابراین شار عبوری از پیچه به صورت متناوب در حال تغییر است ، که رابطه ی شار در این حالت به صورت $\varphi = ABcos\ \omega t$ و $\omega = \frac{2\pi}{T}$ است.

میدانیم ک طبق قانون القای فارادی ، تغییر شار مغناطیسی باعث ایجاد نیرو محرکه القایی می شود که از رابطه ی زیر بدست می آید:

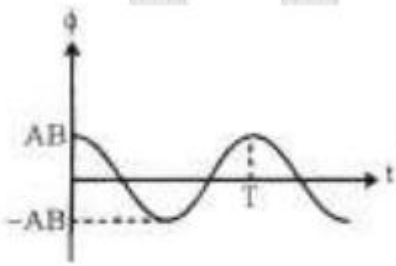
$$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt} \implies \varepsilon = NAB\omega \sin\omega t \rightarrow \varepsilon = \varepsilon_{max} \sin\omega t \quad \text{که:} \quad \varepsilon_{max} = NAB\omega$$

اگر مقاومت کل مدار پیچه برابر R باشد ، آنگاه داریم :

$$I = \frac{\varepsilon}{R} \implies I = \frac{NAB\omega}{R} \sin\omega t \rightarrow I = I_{max} \sin\omega t \quad \text{که:} \quad I_{max} = \frac{NAB\omega}{R}$$

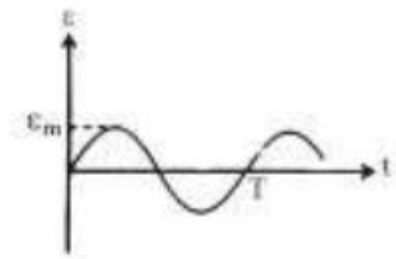
در کتاب درسی جدید روابط $\varepsilon_{max} = NAB\omega$ و $I_{max} = \frac{NAB\omega}{R}$ حذف شده اند و بنابراین محاسبه آنها نمی تواند مورد سوال قرار گیرد.

مقایسه نمودارهای $\varphi - t$ و $\varepsilon - t$ و $I - t$:



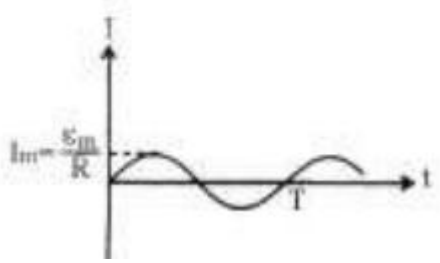
در شکل مقابل نمودارهای مورد نظر را در کنار یکدیگر مشاهده میکنید و نکات مربوط به این نمودارها نیز در به صورت زیر هستند

نکات :



1. مدت زمانی که طول می کشد تا پیچه به اندازه 2π رادیان بچرخد برابر دوره (T) است.

2. در نمودارهای نشان داده شده ، شروع حرکت از زمانی است که خطوط میدان بر سطح پیچه عمود باشد . یعنی $(\theta = 0\ ,\ \alpha = 90)$



3. نمودارهای I و ε هم فاز هستند، یعنی با هم صفر می شوند و با هم بیشینه و کمینه می شوند.

4. زمانی که φ بیشینه یا کمینه است ، I و ε صفر هستند . و زمانی که I و ε بیشینه یا کمینه باشند ، φ صفر است.

تست – در یک مولد جریان متناوب ، اگر بیشینه نیرو محرکه القایی 120 ولت باشد و پیچه در هر ثانیه 25 دور بگردد ، در چه لحظه ای سطح پیچه با خطوط میدان زاویه 30^0 می سازد(برای اولین بار) ، و اندازه ولتاژ القایی در این لحظه چند ولت است؟

1) $t=\frac{1}{150}s\ ,\varepsilon=60\sqrt{3}$ 2) $t=\frac{1}{300}s\ ,\varepsilon=60\sqrt{3}$ 3) $t=\frac{1}{150}s\ ,\varepsilon=60$ 4) $t=\frac{1}{300}s\ ,\varepsilon=60$

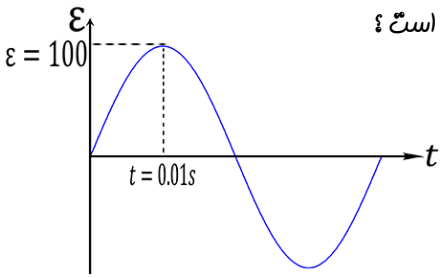
حل: ابتدا باید ω را بدست آوریم، با توجه به صورت تست ، بسامد برابر 25 است پس : $\omega=2\pi f=2\pi(25)=50\pi$

دقت داشته باشید که صورت سوال زاویه ی سطح حلقه با خطوط میدان ، یعنی α را داده است . پس :

$$\theta+\alpha=90\ \rightarrow\ \alpha=\frac{\pi}{6}\ \rightarrow\ \theta=\frac{\pi}{3}\ \Longrightarrow\ \omega t=\frac{\pi}{3}\rightarrow 50\pi t=\frac{\pi}{3}\ \rightarrow\ t=\frac{1}{150}s$$

$$\varepsilon=\varepsilon_{max}\sin\omega t\ =120\left(\sin\frac{\pi}{3}\right)=60\sqrt{3}\ \text{ولت}$$

تست- شکل مقابل نمودار $\varepsilon-t$ را برای یک حلقه که درون یک میدان مغناطیسی یکنواخت با سرعت زاویه ای ω درحال چرخش است نشان می دهد. اگر مقاومت این حلقه 5 اهم باشد ، جریان القایی در $t_1=0.02s$ و $t_2=0.035s$ به ترتیب کدام است ؟



1) 0 و $-10\sqrt{3}$ 2) 0 و $10\sqrt{3}$ 3) 0 و $10\sqrt{2}$ 4) 0 و $-10\sqrt{2}$

حل : روش اول $\frac{T}{4}=0.01s\ \rightarrow\ T=0.04s\ \rightarrow\ \omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{2\pi}{0.04}=50$

$$I=\frac{\varepsilon}{R}=\frac{\varepsilon_{max}}{R}\sin\omega t=\frac{100}{5}\sin 50\pi t=20\sin 50\pi t$$

$$\begin{cases} t_1=0.02s\ \rightarrow\ I_1=20\sin(50\pi\frac{2}{100}) \ \rightarrow\ I_1=20\sin\pi\ \rightarrow\ I_1=0 \\ t_2=0.035s\ \rightarrow\ I_2=20\sin(50\pi\frac{35}{1000}) \ \rightarrow\ I_2=20\sin(\frac{7\pi}{4})\ \rightarrow\ I_2=-10\sqrt{2} \end{cases}$$

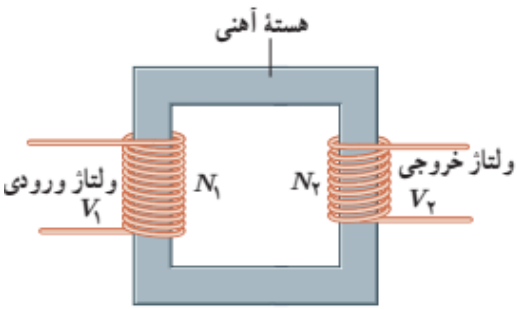
اما خب یه چیزی ! با توجه به نکته ❸ خیلی واضح بود که I_1 صفر میشه و I_2 هم باید منفی باشه ! اصلا حساب کتاب نمی خواست!

مبدل ولتاژ:

همانطور که میدانیم در انتقال توان الکتریکی از توان الکتریکی AC استفاده می شود، یکی از دلایل مهم این موضوع این است که افزایش و کاهش ولتاژ AC بسیار ساده تر از ولتاژ DC است. جدول زیر ولتاژ را در مراحل مختلف خط انتقال نشان می دهد.

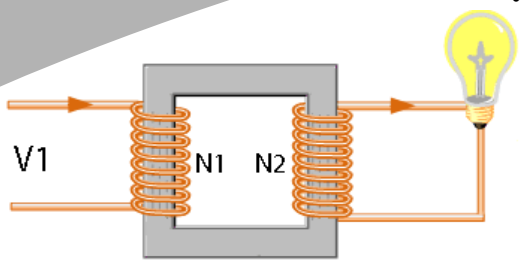
نیروگاه	خط انتقال	سیم کشی خانگی
12 KV	400 KV	220 V

این تغییر ولتاژها توسط مبدل انجام می شود . شکل مقابل یک مبدل شامل دو پیچه با تعداد دورهای متفاوت را نشان می دهد که دور یک هسته آهنی پیچیده شده است. رابطه ی ولتاژهای ورودی و خروجی به ترتیب زیر است



$$\frac{V_2}{V_1}=\left|\frac{I_2}{I_1}\right|=\frac{N_2}{N_1}$$

تست- در مبدل شکل مقابل اگر مقاومت لامپ رشته ای 10 اهم باشد چند آمپر جریان از آن عبور می کند؟ ($V_1 = 300$ ، $N_1 = 45$ ، $N_2 = 15$)



1) 90 2) 45 3) 10 4) 5

حل : فقط با یک تناسب ساده میشه به جواب تست رسید

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \rightarrow \frac{V_2}{300} = \frac{15}{45} \rightarrow V_2 = 100 \text{ ولت} \Longrightarrow \mathrm{I} = \frac{100}{10} = 10A$$

حمید رستمی