



مرحله ۱ (از لحظه ورود قاب به میدان مغناطیسی تا ورود کامل آن به میدان): در این حالت شار عبوری از صفر به $a^2 B$ افزایش می‌یابد:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi = AB \cos \theta = (ax) \times B \cos 0^\circ = aBx \\ \text{لحظه ورود : } x = 0 \Rightarrow \Phi = 0 \\ \text{لحظه ورود کامل : } x = a \Rightarrow \Phi = a^2 B \end{array} \right.$$

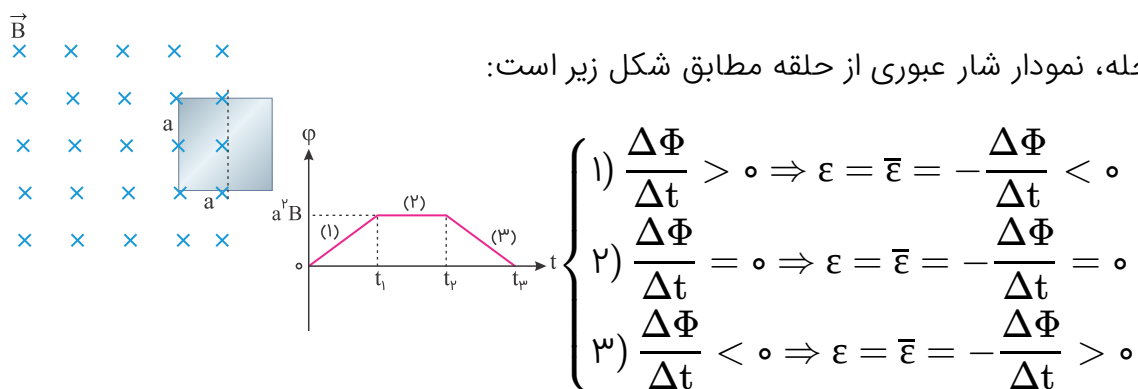
مرحله ۲ (بازه زمانی که قاب در میدان مغناطیسی قرار دارد): در این حالت شار عبوری از حلقه ثابت بوده و برابر $a^2 B$ است.

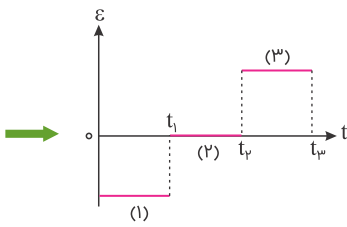
$$\Phi = AB \cos \theta = a^2 B \cos 0^\circ = a^2 B$$

مرحله ۳ (از لحظه خروج قاب از میدان مغناطیسی تا خروج کامل آن از میدان): در این حالت شار عبوری از $a^2 B$ در لحظه خروج به صفر می‌رسد (پس از خروج از میدان مغناطیسی).

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{لحظه خروج : } \Phi = AB \cos \theta = a^2 B \times \cos 0^\circ = a^2 B \\ \text{خروج کامل از قاب : } \Phi = 0 \end{array} \right.$$

باتوجه به این سه مرحله، نمودار شار عبوری از حلقه مطابق شکل زیر است:





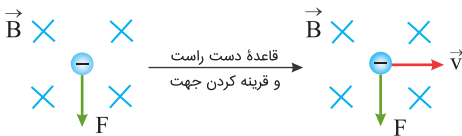
گزینه ۲

۲

گام اول: بزرگی نیروی محرکه القایی در قسمت MN از رابطه $\varepsilon = Bv\ell$ به دست می‌آید. بنابراین اندازه سرعت میله برابر است با:

$$\varepsilon = |\Delta V| = Bv\ell \Rightarrow 20 = (10^3 \times 10^{-1}) \times v \times 0.2 \Rightarrow v = 1 \text{ m/s}$$

گام دوم: از آنجا که پتانسیل نقطه M از نقطه N بیشتر است، بارهای منفی میله با حرکت آن در میدان به طرف نقطه N رانده شده‌اند، پس به بارهای منفی درون میله نیرویی به سمت پایین وارد شده است. طبق قاعده دست راست و قرینه کردن جهت نیرو (بار الکترون منفی است) جهت حرکت میله را تعیین می‌کنیم:



بنابراین میله به سمت راست حرکت کرده است.

گزینه ۲

۳

باتوجه به رابطه شار مغناطیسی داریم:

$$\Delta\Phi = A\Delta B \Rightarrow \Delta B = \frac{\Delta\Phi}{A}$$

$$A = \pi r^2 = 3 \times (0.2)^2 = 3 \times 0.04 = 0.12 = 12 \times 10^{-2} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\Rightarrow \Delta B = \frac{0.06}{12 \times 10^{-2}} = 0.5 \text{ T}$$

تغییرات میدان مغناطیسی بر واحد زمان را آهنگ تغییر میدان مغناطیسی گویند. پس داریم:

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{0.5}{0.4} = 1.25 \text{ (T/s)}$$

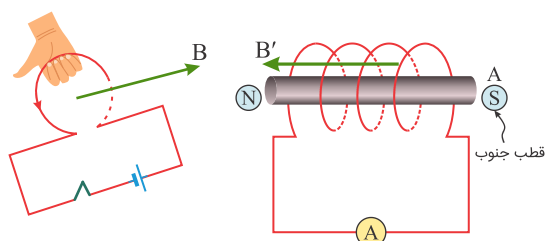
گزینه ۱

۴

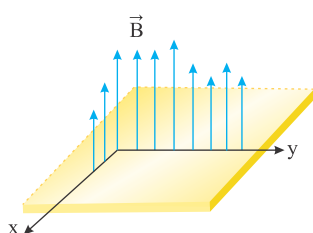
$$\begin{cases} \bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \\ \bar{\varepsilon} = R\bar{I} \end{cases} \Rightarrow R\bar{I} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \Rightarrow R \frac{\Delta q}{\Delta t} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \Rightarrow |\Delta q| = N \frac{\Delta\Phi}{R}$$

$$\Rightarrow |\Delta q| = 2 \times \frac{-0.5 - 0.5}{0.5} \Rightarrow |\Delta q| = 0.4 \text{ C}$$

در شکل زیر، زمان وصل کلید نشان داده شده است. به دلیل افزایش جریان هنگام وصل کردن کلید، شار مغناطیسی گذرنده از سیملوله نیز افزایش یافته و میدان القایی در این سیملوله (یعنی B') در خلاف جهت B رسم شده است. توجه کنید که این میدان، باید از S به N باشد. یعنی سر A به قطب جنوب تبدیل می‌شود. هنگام قطع کلید، شار مغناطیسی گذرنده از سیملوله کاهش می‌یابد و B' هم‌جهت با B می‌شود. در این صورت، سر A به قطب N (شمال) تبدیل می‌شود.



باتوجه به شکل زیر، قاب در صفحه xy قرار گرفته است و میدان مغناطیسی بر این قاب عمود است. بنابراین شار عبوری از قاب بیشینه است. باتوجه به این موضوع داریم:



$$A = 30 \times 40 = 1200 \text{ cm}^2 = 1200 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$B = 0.4 \text{ T}$$

$$\theta = 0^\circ \text{ (زاویه بردار میدان مغناطیسی با نیم‌خط عمود بر قاب)}$$

$$\Phi = AB \cos \theta = (1200 \times 10^{-4}) \times (0.4) \times \cos 0^\circ = 4/8 \times 10^{-2} \text{ (Wb)}$$

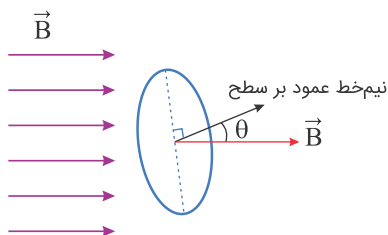
شار مغناطیسی را می‌توانیم از رابطه $\Phi = BA \cos \theta$ به دست آوریم. دقت کنید که θ زاویه بین میدان و نیم‌خط عمود بر صفحه است.
نکته: θ متمم زاویه بین میدان و سطح حلقه است.

$$\left. \begin{aligned} \Phi &= BA \cos \theta \\ \theta &= 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Phi = 700 \times 10^{-4} \times (0.4 \times 0.3) \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\Phi = 42\sqrt{3} \times 10^{-4} \text{ Wb} = 4/2\sqrt{3} \text{ mWb} = \frac{21}{5}\sqrt{3} \text{ mWb}$$

مواد فرومغناطیس نرم به راحتی آهنربا شده و به راحتی هم این خاصیت را از دست می‌دهند.

بیشینه شار مغناطیسی عبوری از یک حلقه برابر $\Phi_{\max} = AB$ است. باتوجه به این موضوع، نسبت شار مغناطیسی گذرنده از سطح حلقه به بیشینه شار مغناطیسی عبوری از آن برابر است با:



$$\left\{ \begin{aligned} \Phi &= AB \cos \theta \\ \Phi_{\max} &= AB \end{aligned} \right. \Rightarrow \frac{\Phi}{\Phi_{\max}} = \cos \theta$$

باتوجه به اینکه زاویه بین بردار میدان مغناطیسی و نیم‌خط عمود بر سطح حلقه برابر 30° است، می‌توان نوشت:

$$\frac{\Phi}{\Phi_{\max}} = \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

حضور میدان مغناطیسی خارجی، می‌تواند سبب القای دوقطبی‌های مغناطیسی در خلاف سوی میدان خارجی در مواد دیامغناطیسی شود.

جریان القایی از رابطه $I = \frac{N}{R} \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ بدست می‌آید، همان شیب نمودار است که چون نمودار خطی است شیب نمودار در تمام بازه های زمانی ثابت است در نتیجه داریم :

$$\frac{I_2}{I_1} = 1$$

حالا از رابطه $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ نسبت بار القایی را محاسبه می‌کنیم:

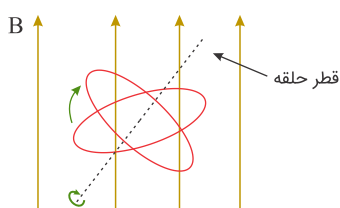
$$\frac{I_{(0,3s)}}{I_{(3,9s)}} = \frac{\Delta q_{(0,3s)}}{\Delta q_{(3,9s)}} \times \frac{\Delta t_{(3,9s)}}{\Delta t_{(0,3s)}} \Rightarrow 1 = \frac{\Delta q_{(0,3s)}}{\Delta q_{(3,9s)}} \times \frac{9-3}{3-0} \Rightarrow \frac{\Delta q_{(0,3s)}}{\Delta q_{(3,9s)}} = \frac{1}{2}$$

گزینه ۱: اگر حلقه در راستای یک قطرش حرکت داده شود، شار مغناطیسی گذرنده از حلقه تغییری نکرده است و چون تغییر شار نداریم، بنابراین جریان القایی در حلقه به وجود نمی‌آید.

گزینه ۲: منظور از حرکت انتقالی حلقه در راستای محورش، شار مغناطیسی گذرنده از حلقه می‌باشد ولی جریان القایی با چنین حرکتی نخواهیم داشت.

گزینه ۳: چرخش حلقه حول محورش، چیزی را تغییر نمی‌دهد. در این حالت شار مغناطیسی گذرنده از حلقه تغییر نمی‌کند.

گزینه ۴: وقتی حلقه حول یکی از قطرهایش می‌چرخد، شار مغناطیسی گذرنده از آن تغییر می‌کند و به همین دلیل، در این حالت جریانی در حلقه القا خواهد شد.



این ماده دارای حوزه‌های مغناطیسی است؛ بنابراین فرو مغناطیس است.

از طرفی حجم حوزه‌ها در شکل (الف) بیشتر است، یعنی حوزه‌ها نسبت به شکل (ب) رشد کرده‌اند؛ بنابراین میدان مغناطیسی خارجی در شکل (الف) قوی‌تر است.

برای تعیین جهت جریان القایی، از قانون لنز استفاده می‌کنیم. برای درک هرچه بهتر شما، توضیحات مربوط به قانون لنز را در سه گام ارائه می‌دهیم:

گام اول: با نزدیک شدن آهنربا به سیملوله، خطوط میدان مغناطیسی بیشتری از سیملوله عبور کرده و شار عبوری از سیملوله افزایش می‌یابد. باید توجه داشت که سیملوله به باتری خاصی متصل نبوده و در حالت عادی جریانی از آن عبور نکرده و عملاً سیملوله فاقد خاصیت آهنربایی است.

گام دوم: با افزایش شارژ عبوری از سیملوله، طبق قانون لنز، سیملوله باید در خود جریان القایی را به گونه‌ای تولید کند که آهنربا را دفع کرده و به نوعی مانع از افزایش شار عبوری شود. به همین دلیل سیملوله که خود می‌تواند تبدیل به یک آهنربا شود قطب هایش را به صورت مقابل می‌کند تا نیروی دافعه $S - S$ ، مانع از نزدیک شدن آهنربا به سیملوله شود.

گام سوم: با کمک قانون دست راست و باتوجه به قطب‌های سیملوله، جریان القایی در میلی آمپرسنج از B به A است (انگشت شست دست راست نشان دهنده جریان، خم شدن انگشتان دست راست از S به N نشان دهنده جهت میدان مغناطیسی است)

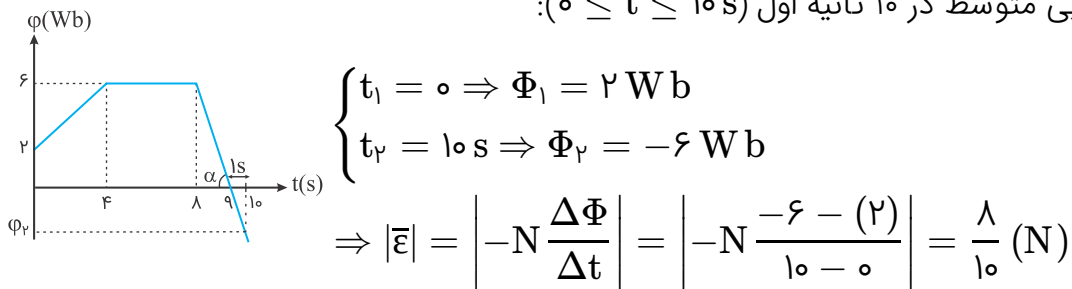
در صورت سؤال گفته شده، ناگهان یک میدان مغناطیسی برون سو در فضا ایجاد شود، می‌توان نتیجه گرفت که ابتدا میدان مغناطیسی خارجی برابر صفر بوده و سپس به یک مقدار معین افزایش یافته است. با افزایش میدان، شار مغناطیسی گذرنده از مدار نیز افزایش می‌یابد و مدار، برای مخالفت با افزایش شار، میدان درون سویی B' را پدید می‌آورد. در شکل زیر، جهت جریان القایی در میله ab را تعیین کرده‌ایم. برای این منظور،

باید چهار انگشت دست راست را طوری نگه‌دارید که وقتی آن‌ها را جمع می‌کنید، مثل B' به مدار وارد شوند. با داشتن جهت جریان القایی در میله ab و جهت میدان مغناطیسی B ، جهت نیروی وارد بر این میله را، بازهم به کمک دست راست تعیین کنیم.

نکته: میدان مغناطیسی یک جسم، می‌تواند به خود آن جسم نیرو وارد کند. در اینجا میدان B' ، توسط جریان القاشده در میله ab پدید آمده است و نمی‌تواند به این میله نیرویی وارد کند.

با استفاده از نمودار $(\Phi - t)$ داده شده، هم مقدار نیروی محرکه القایی متوسط و هم مقدار نیروی محرکه القایی لحظه‌ای را به دست می‌آوریم.

محاسبه نیروی محرکه القایی متوسط در ۱۰ ثانیه اول $(0 \leq t \leq 10 \text{ s})$:



نیروی محرکه القایی در لحظه $t = 9 \text{ s}$:

باتوجه به شیب نمودار $(\Phi - t)$ در لحظه $t = 9 \text{ s}$ ، مقدار نیروی محرکه القایی در این لحظه را به دست می‌آوریم:

$$|\text{شیب نمودار}| = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = \tan \alpha = \frac{6}{1} = 6 \Rightarrow |\epsilon| = \left| -N \frac{d\Phi}{dt} \right| = 6 (N)$$

$$\frac{\bar{\epsilon}}{\epsilon} = \frac{\frac{8}{10}}{6} = \frac{2}{15}$$

توضیح داده شده مربوط به مواد دیامغناطیس است که به طور ذاتی فاقد خاصیت مغناطیسی هستند و بیسموت از آن نوع است.

به خاطر تغییر میدان مغناطیسی در محل حلقه، شار مغناطیسی عبوری از آن تغییر و در آن جریان القایی به وجود می‌آید. چون قاب عمود بر خطوط میدان مغناطیسی قرار دارد، نیم‌خط عمود بر قاب با خطوط میدان زاویه 0° یا 180° می‌سازد. اگر $\theta = 0$ باشد، داریم:

$$\Phi = AB \cos \theta = AB \cos 0^\circ = AB$$

$$|\varepsilon| = \left| -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = \left| N \frac{A \Delta B}{\Delta t} \right| = NA \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right|$$

$\frac{\Delta B}{\Delta t}$ برابر شیب نمودار $B - t$ است، بنابراین:

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{0/12}{6-2} = \frac{0/12}{4} = 0/03 \text{ T/s}$$

$$|\varepsilon| = 1 \times (40 \times 10^{-4}) \times (3 \times 10^{-2}) = 1/2 \times 10^{-4} \text{ V}$$

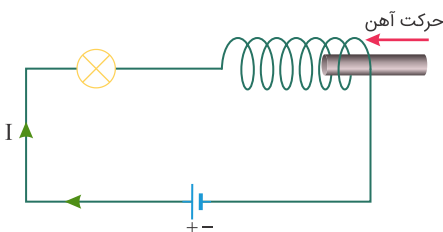
توان مصرفی در مقاومت را می‌توان از روابط $P = RI^2$ یا $P = \frac{V^2}{R}$ حساب کرد.

$$P = \frac{\varepsilon^2}{R} \Rightarrow P = \frac{(1/2 \times 10^{-4})^2}{0/04} = 3/6 \times 10^{-7} \text{ W}$$

حالا انرژی مصرفی را حساب می‌کنیم:

$$U = Pt = 3/6 \times 10^{-7} \times 60 = 2/16 \times 10^{-5} \text{ J}$$

از آنجایی که آهن در یک میدان مغناطیسی، خود به یک آهنربا تبدیل می‌شود، وقتی آن را وارد سیملوله می‌کنیم، سبب افزایش شار مغناطیسی گذرنده از سیملوله می‌شود. این موضوع سبب می‌شود که سیملوله با افزایش شار مخالفت کند و برای ابراز این مخالفت، همانند یک باتری در خلاف جهت باتری اصلی مدار عمل می‌کند. در نتیجه جریان در مدار کاهش یافته و نور لامپ هم کم می‌شود. وقتی هسته آهنی را داخل سیملوله نگه می‌داریم، شار مغناطیسی، دیگر تغییر نمی‌کند و به همین دلیل نیروی محرکه القایی در دو سر سیملوله از بین می‌رود و نور لامپ به مقدار اولیه بازمی‌گردد.



نیروی محرکه القایی متوسط از رابطه $\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ به دست می‌آید. همان شیب نمودار است. در بازه $(0, 4\text{ s})$ شیب نمودار ثابت و برابر 4 Wb/s است. پس بزرگی نیروی محرکه القایی در ثانیه سوم که روی این خط قرار می‌گیرد برابر است با:

$$|\bar{\varepsilon}_{(3\text{ s}, 4\text{ s})}| = \left| -N \frac{\Delta\Phi_{(3\text{ s}, 4\text{ s})}}{\Delta t} \right| = |-1 \times 4| = 4\text{ V}$$

با استفاده از معادله خط، شار لحظه $t = 4\text{ s}$ را به دست می‌آوریم:

$$0 \leq t \leq 4\text{ s} \Rightarrow \Phi = 4t - 4 \xrightarrow{t=4\text{ s}} \Phi_{4\text{ s}} = 4(4) - 4 = 12\text{ Wb}$$

در بازه $(4\text{ s}, 7\text{ s})$ ، $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ که برابر با شیب خط است را به دست می‌آوریم:

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Phi_{7\text{ s}} - \Phi_{4\text{ s}}}{7 - 4} = \frac{0 - 12}{7 - 4} = -4\text{ Wb/s}$$

آهنگ تغییر شار دو ثانیه سوم $(4\text{ s} \leq t \leq 6\text{ s})$ نیز برابر شیب خط به دست آمده است. بنابراین بزرگی نیروی محرکه القایی در بازه $(4\text{ s}, 6\text{ s})$ برابر است با:

$$|\bar{\varepsilon}_{(4\text{ s}, 6\text{ s})}| = \left| -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = |-1 \times -4| = 4\text{ V}$$

درنتیجه نسبت خواسته شده برابر است با:

$$\frac{|\bar{\varepsilon}_{(3\text{ s}, 4\text{ s})}|}{|\bar{\varepsilon}_{(4\text{ s}, 6\text{ s})}|} = \frac{4}{4} = 1$$