فصل چهارم

القای الکترومغناطیسی

۱ – شار مغناطیسی:

به منظور بررسی کمّی پدیده‌ی القای الکترومغناطیسی کمیتی تعریف می‌شود به نام «شار مغناطیسی میدان یکنواخت گذرنده از یک سطح»، به صورت مقابل:

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

که در آن **A** مساحت سطح مورد نظر و **B** اندازه‌ی میدان مغناطیسی یکنواخت می‌باشد. θ هم زاویه‌ی بین بردار میدان مغناطیسی $(\vec{B})$ و نیم‌خط عمود بر آن سطح است.

نکته‌ی ۱: شار مغناطیسی کمیتی عددی است نه برداری، یعنی برخلاف شدت میدان مغناطیسی $(\vec{B})$ که جهت داشت، شار مغناطیسی فاقد هرگونه جهتی است و صرفاً با یک عدد مشخص می‌شود.

نکته‌ی ۲: واحد شار مغناطیسی در **SI**، وِبر **(Wb)** است:

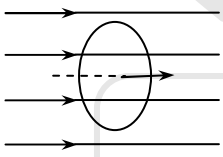
$$1Wb = 1T \times 1m^2 = 1T \cdot m^2$$

یک وبر شاری است که از یک مدار بسته با مساحت محصور $1(m^2)$ در میدان مغناطیسی $1(T)$ که با نیم خط عمود بر صفحه همراستاست می‌گذرد.

نکته‌ی ۳: هنگامی که‌یک صفحه را در یک میدان مغناطیسی یکنواخت قرار دهیم، بیش‌ترین شاری که از آن می‌گذرد، هنگامی است که صفحه بر میدان عمود باشد در این حالت نیم‌خط عمود بر صفحه، موازی با میدان است $(\theta = 0$ یا $\theta = 180^\circ)$ و $|\cos\theta| = 1$ و $\Phi_{max} = BA$

نکته‌ی ۴: اگر صفحه‌ی مورد نظر موازی با خطوط میدان باشد، آن‌گاه شاری که از آن می‌گذرد، صفر است:

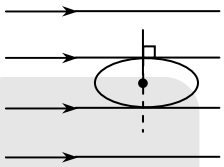
$$\Phi = BA\cos 90^\circ = 0$$



$\theta = 0$ یا $\theta = 180^\circ$

$\Rightarrow \Phi = BA = \Phi_{max}$

(الف)

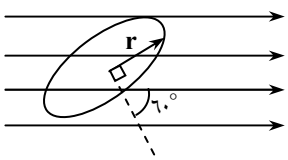


$\theta = 90^\circ$

$\Rightarrow \Phi = 0$

(ب)

مثال: شار گذرنده از یک قرص دایروی که شعاع آن $10cm$ و زاویه‌ی خط عمود بر آن با خطوط میدان 60° است، وقتی که اندازه‌ی میدان **2T** باشد، چند وبر است؟

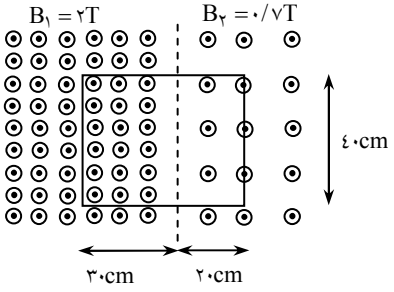


پاسخ:

$$\Phi = AB\cos\theta = B \times (\pi r^2)\cos 60^\circ = 2 \times \pi \times (0/1)^2 \times \frac{1}{2} = \pi \times 10^{-2} Wb$$

توجه داشتیم که $r = 10cm = 0/1m$

مثال: شار مغناطیسی گذرنده از حلقه‌ی مقابل چقدر است؟



پاسخ:

برای محاسبه‌ی شار گذرنده از سطح این حلقه، شار عبوری در هر قسمت را حساب کرده و آن‌ها را با هم جمع می‌کنیم تا شار گذرنده از سطح به‌دست آید:

$$\begin{cases} B_1 = 2T \\ A_1 = 30cm \times 40cm \end{cases} \Rightarrow \Phi_1 = A_1B_1 = 0/12m^2 \times 2T = 0/24wb$$

$$\begin{cases} B_2 = 0/7T \\ A_2 = 20cm \times 40cm \end{cases} \Rightarrow \Phi_2 = A_2B_2 = 0/08m^2 \times 0/7T = 0/056wb$$

$$\Rightarrow \Phi_{\text{کل}} = \Phi_1 + \Phi_2 = 0/296\,wb$$

۲- نیروی محرکه‌ی القایی و جریان القایی:

قانون القای فارادی: هرگاه شار گذرنده ازیک مدار بسته تغییر کند در آن مدار نیروی محرکه‌ای القا می‌شود که این نیروی محرکه باعث جاری شدن جریانی در مدار می‌شود. اندازه‌ی این نیروی محرکه از رابطه‌ی مقابل محاسبه می‌شود:

اگر مدار شامل N دور باشد: $|\mathscr{E}| = \left|N\frac{d\phi}{dt}\right|$

که ϕ شار گذرنده از سطح بسته شده توسط مدار است.

$\Phi_{\text{کل}}$، کل شار مغناطیسی گذرنده از مدار است و $\frac{d\Phi_{\text{کل}}}{dt}$ مشتق آن نسبت به زمان است. علامت قدر مطلق نشان می‌دهد که این رابطه بیانگر اندازه‌ی نیروی محرکه‌ی القایی است. در مورد مداری که دارای N حلقه است و شار مغناطیسی از هر N حلقه‌ی آن عبور می‌کند:

$$\Phi_{\text{کل}} = N \times \Phi_{\text{یک حلقه}} \Rightarrow \mathscr{E} = \left|N\frac{d\Phi_{\text{یک حلقه}}}{dt}\right|$$

پس از محاسبه‌ی اندازه نیروی محرکه‌ی القا شده در مدار، می‌توانیم با استفاده از قانون اهم جریان القایی در مدار را محاسبه کنیم:

$$I_{\text{القایی}} = \frac{\mathscr{E}}{R}$$ R کل مقاومت مدار است

مثال: شار گذرنده ازیک حلقه با مقاومت 20Ω با زمان (در SI) به صورت $\Phi = t^2 + 4t$ تغییر می‌کند. جریانی که در مدار القا می‌شود، با زمان چگونه تغییر می‌کند؟ جریان در لحظه‌ی $t = 3s$ چقدر است؟

پاسخ: از روابط فوق استفاده می‌کنیم:

$$\Phi = t^2 + 4t$$

$$|\mathscr{E}| = \left|\frac{d\Phi}{dt}\right| = 2t + 4 \quad (V)$$

$$I_{\text{القایی}} = \frac{\mathscr{E}}{R} = \frac{2t+4}{20}\ A$$

$$t = 3s \Rightarrow I_{\text{القایی}} = \frac{2\times 3 + 4}{20} = 0/5A$$

نکته‌ی ۱: با توجه به تعریف شار، روشن است که تغییرات آن ناشی از سه عامل زیر است:

۱) تغییر میدان مغناطیسی

۲) تغییر مساحت سطح

۳) تغییر زاویه‌ی خط عمود بر آن سطح با خطوط میدان

نکته‌ی ۲: رابطه‌ی $|\mathscr{E}| = \left|N\frac{d\Phi}{dt}\right|$، نیروی محرکه‌ی القایی را در هر لحظه به دست می‌دهد (مثلا در لحظه‌ی $t = 1s$) اگر بخواهیم متوسط نیروی محرکه‌ی القا شده دریک بازه‌ی زمانی را حساب کنیم $(\bar{\mathscr{E}})$، از رابطه‌ی زیر استفاده می‌کنیم:

$$|\bar{\mathscr{E}}| = \left|\frac{\Delta\Phi_{\text{کل}}}{\Delta t}\right| = \left|N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|$$

که $\Delta\Phi$ تغییرات شار گذرنده از مدار در مدت Δt ثانیه مورد نظر است.

مثال: یک پیچه‌ی مسطح با ۲۰ حلقه و شعاع $5\ cm$ را به طور قائم، داخل میدان مغناطیسی یکنواختی با شدت $0/04\ T$ قرار می‌دهیم.

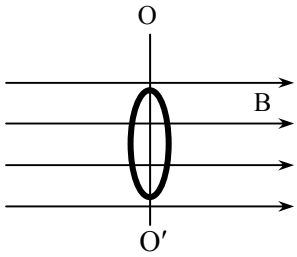
الف) کل شار گذرنده از این سطح چقدر است؟

ب) اگر این پیچه را حول محور OO' ، 90° بچرخانیم، شارگذرنده از سطح چه تغییری می‌کند؟

ج) اگر چرخش پیچه $2ms$ طول کشیده باشد، متوسط نیروی محرکه ای که در پیچه القا شده است چند ولت است؟

پاسخ:

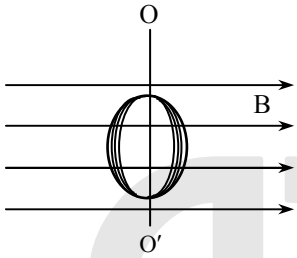
الف)



$$\Phi = NB\times A = NB\times \pi r^2 = 20\times 0/04\times \pi\times (0/05)^2 = 2\pi\times 10^{-3}\ Wb$$

ب)

وقتی این پیچه را حول oo' 90° بچرخانیم، مطابق شکل، موازی با خطوط میدان قرار می‌گیرد و هیچ شاری از آن نمی‌گذرد.



$$\Delta\Phi_{\text{کل}} = \Phi_{\text{کل}2} - \Phi_{\text{کل}1} = 0 - 2\pi\times 10^{-3}\ Wb = -2\pi\times 10^{-3}\ Wb$$

ج)

$$\bar{\mathscr{E}} = \left|-\frac{\Delta\Phi_{\text{کل}}}{\Delta t}\right| = \frac{2\pi\times 10^{-3}}{2\times 10^{-3}} = \pi\ (V)$$

۳- جهت جریان القایی (قانون لنز):

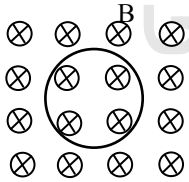
جهت جریان القایی به‌گونه‌ای است که شاری که ایجاد می‌کند با تغییرات شار خارجی گذرنده از مدار مخالفت کند.

یعنی:

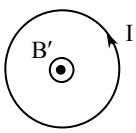
اگر شار مغناطیسی خارجی که از حلقه می‌گذرد در حال زیاد شدن باشد، جریان القایی شاری ایجاد می‌کند که از شار اصلی کم شده و مانع زیاد شدن آن شود.

اگر شار مغناطیسی خارجی که از حلقه می‌گذرد در حال کم شدن باشد، جریان القایی شاری ایجاد می‌کند که به شار اصلی کمک کند و از کم شدن آن جلوگیری کند.

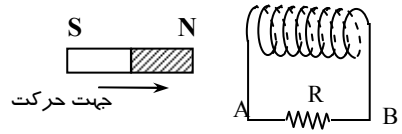
مثال: حلقه‌ای در یک میدان مغناطیسی قرار گرفته است. اگر شدت این میدان را زیاد کنیم، جهت جریان القایی در حلقه چگونه خواهد بود؟



پاسخ: با زیاد کردن شدت میدان، شاری که از سطح حلقه می‌گذرد، زیاد می‌شود. باید به‌گونه‌ای جریان القایی ایجاد شود که با این تغییر شار مخالفت کند. در واقع باید جریانی ایجاد شود که از زیاد شدن $\mathbf{B}$ در جهت داخل صفحه بکاهد، یعنی میدانی که این جریان ایجاد می‌کند، (B') باید به سمت بیرون صفحه باشد پس جهت جریان مطابق شکل خواهد بود.



مثال: اگر مطابق شکل یک آهنربا را به سمت سیملوله حرکت دهیم، جریان در چه جهتی در سیملوله برقرار می‌شود؟

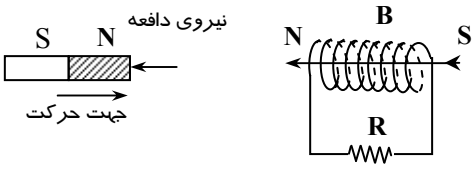


پاسخ:

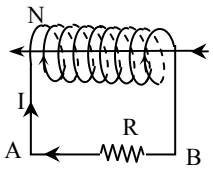
گفتیم که جریان القایی در سیملوله به‌گونه‌ای برقرار می‌شود که با تغییر شار مخالفت کند. حال داریم:

* حرکت آهنربا است که باعث تغییر شار می‌شود. پس اگر با حرکت آهنربا مخالفت شود با تغییر شار مخالفت شده است.

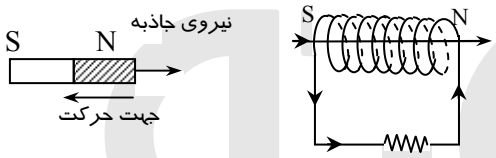
هنگامی که از سیملوله جریان (القایی) می‌گذرد، تبدیل به آهنربای الکتریکی می‌شود. اگر قطب‌های این آهنربای الکتریکی به‌گونه‌ای باشند که قطب N آن در مجاورت قطب N آهنربا باشد، بر آن نیروی دافعه وارد کرده و با نزدیک شدن آهنربا (و افزایش شار گذرنده از سیملوله) مخالفت می‌کند.



نکته: اگر چهار انگشت دست راست را در جهت جریان در سیملوله قرار دهیم انگشت شست نشان‌دهنده قطب N است. (مطابق شکل)



* اگر می‌خواستیم آهنربا را از سیملوله دور کنیم، قطب‌های آهنربای ناشی از سیملوله باید با این حرکت مخالفت می‌کرد: پس نیرویی جاذبه بر آن وارد می‌کرد. (به شکل روبه‌رو توجه کنید):



توجه:

معمولاً قانون لنز و قانون فارادی را با هم به‌صورت زیر بیان می‌کنند:

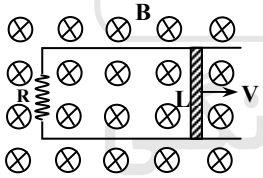
$$\mathscr{E} = -N\frac{d\Phi}{dt} \quad \text{یا} \quad \bar{\mathscr{E}} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

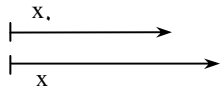
یعنی یک علامت منفی وارد روابط فوق می‌شود.

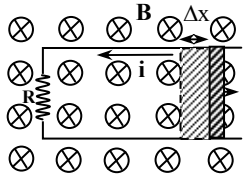
این علامت منفی خیلی معنای ریاضی ندارد و بیشتر تأکیدی است بر این که نیروی محرکه‌ی القایی می‌خواهد با تغییر شار مخالفت کند.

۴- میله‌ی متحرک در میدان مغناطیسی:

مطابق شکل از یک سیم بدون روکش ریلی ساخته‌ایم و میله‌ی به طول l را بر روی این ریل قرار داده‌ایم. سمت دیگر ریل را هم با یک مقاومت به هم متصل کرده‌ایم. اگر این میله را با سرعت V حرکت دهیم، در مدار جریان القایی به وجود می‌آید. زیرا با حرکت دادن میله، سطح حلقه و در نتیجه شار گذرنده از آن زیاد می‌شود. پس همانند قسمت قبل جریانی برقرار می‌شود که با این افزایش شار مخالفت کند.



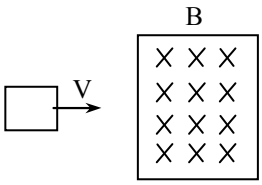




$$\mathscr{E} = \left|-\frac{d\Phi}{dt}\right| = \left|-\frac{d(AB)}{dt}\right| = \left|-B\frac{dA}{dt}\right| = \left|-BL\frac{dx}{dt}\right| = |-BLV| = BVL$$

$$I_{\text{القایی}} = \frac{\mathscr{E}}{R} = \frac{BVL}{R}$$

مثال: حلقه‌ای فلزی به شکل مربع مطابق شکل مقابل با سرعت ثابت وارد میدان مغناطیسی یکنواختی شده و از طرف دیگر خارج می‌شود. نمودار تغییرات شاری که از حلقه می‌گذرد و نیروی محرکه القا شده در آن را برحسب زمان رسم کنید.



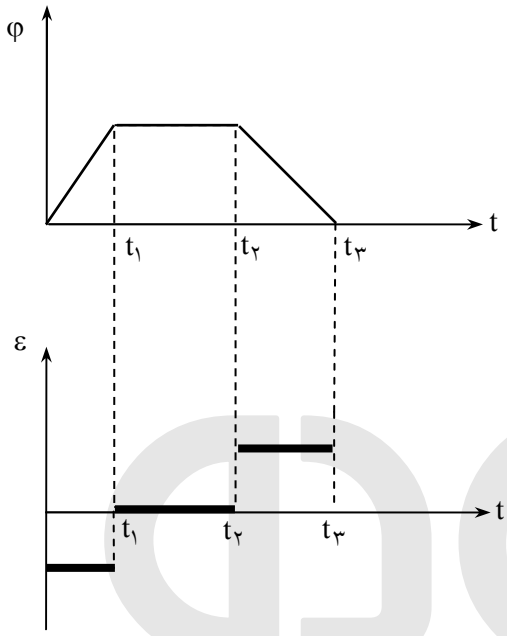
پاسخ:

زمان مورد نظر را به سه قسمت تقسیم می‌کنیم:

۱) از لحظه $t=0$ تا $t=t_1$ که حلقه فلزی به طور کامل وارد میدان می‌شود شارمغناطیسی رو به داخل صفحه در حلقه افزایش می‌یابد و طبق رابطه $\mathscr{E}=-\frac{d\Phi}{dt}$ نیروی محرکه‌ای در حلقه القا می‌شود.

۲) از لحظه $t=t_1$ تا $t=t_2$ حلقه داخل میدان یکنواخت بوده و لذا شار مغناطیسی گذرنده از آن ثابت است و نیروی محرکه‌ای در آن القا نمی‌شود.

۳) از لحظه $t=t_2$ تا $t=t_3$ حلقه شروع به خارج شدن از میدان کرده و کاملاً خارج می‌شود که شار مغناطیسی رو به داخل صفحه در حلقه کاهش‌یافته و نیروی محرکه‌ای مطابق نمودار در آن القاء می‌شود.



$$\mathscr{E}=-\frac{d\Phi}{dt}$$

۵- خودالقایی:

گفتیم هرگاه ازیک پیچه‌یا سیملوله شار مغناطیسی متغیر با زمان بگذرد، در آن پیچه‌یا سیملوله نیروی محرکه‌ی القایی به وجود می‌آید. این شار مغناطیسی ممکن است ناشی از یک آهنربا یا مدار حامل جریان دیگری باشد و ممکن است ناشی از میدان خود پیچه یا سیملوله (که خود حاوی جریان است) باشد. به عبارت دیگر اگر جریانی که از یک پیچه یا سیملوله می‌گذرد تغییر کند، میدان مغناطیسی آنها هم تغییر می‌کند، در نتیجه شار مغناطیسی این میدان، که از خود آن پیچه یا سیملوله هم می‌گذرد، تغییر می‌کند و در آن پیچه یا سیملوله نیرو محرکه و جریان القایی به وجود می‌آید.

مثال: از یک سیملوله جریان متغیر I می‌گذرد. نیروی محرکه‌ی القایی در این سیملوله را بر حسب I و سایر متغیرهای سیملوله تعیین کنید.

پاسخ: طبق رابطه‌ی القای فارادی داریم:

$$\mathscr{E}=\left|-N\frac{d\Phi}{dt}\right|$$

که Φ شار گذرنده از هر حلقه است: (A مساحت سطح مقطع سیملوله است.) $\Phi=BA$

$$B=\mu_0\frac{N}{l}I$$

$$\mathscr{E}=\left|N\frac{d(BA)}{dt}\right|=\left|NA\frac{dB}{dt}\right|=\left|NA\frac{d(\mu_0\frac{N}{l}I)}{dt}\right|=\left|\frac{N^2\mu_0 A}{l}\frac{dI}{dt}\right|$$

نکته‌ی: مشاهده می‌کنید که اندازه‌ی نیروی محرکه‌ی القایی در هر لحظه با مشتق جریان گذرنده از سیملوله نسبت به زمان متناسب است:

$$\mathscr{E}\propto\frac{dI}{dt}\Rightarrow\boxed{\mathscr{E}=L\frac{dI}{dt}}$$

این ضریب تناسب را ضریب خودالقایی سیملوله می‌گویند و با L نمایش می‌دهند، که طبق مثال فوق برای یک سیملوله برابر است با:

$$\boxed{L=\frac{\mu_0 N^2 A}{l}}$$

ضریب خود القایی سیملوله به جریان گذرنده از سیملوله ربطی ندارد و به مشخصات ساختمانی سیملوله وابسته است.

نکته‌ی ۲: به سیملوله و پیچه که بر اثر تغییر جریان در آن‌ها نیروی محرکه القا می‌شود، القاگر یا خودالقا می‌گویند.

نکته‌ی ۳: اگر در داخل سیملوله هسته‌ای (فرومغناطیس) قرار دهیم، میدان در داخل سیملوله از رابطه‌ی $B = k\mu_0 \frac{N}{l} I$ به‌دست می‌آید که k یک ضریب ثابت است به نام تراوایی نسبی مغناطیسی و به جنس هسته بستگی دارد. در این حالت ضریب خودالقایی سیملوله از رابطه‌ی مقابل به‌دست می‌آید:

$$L = k\mu_0 \frac{N^2 A}{l}$$

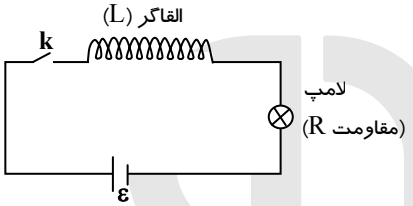
نکته‌ی ۴: ضریب خودالقایی (L) را بر حسب واحدی به‌نام هانری (H) بیان می‌کنند:

$$\mathscr{E} = -L\frac{dI}{dt} = -N\frac{d\Phi}{dt}$$ (وبر = ثانیه × ولت = آمپر × هانری)

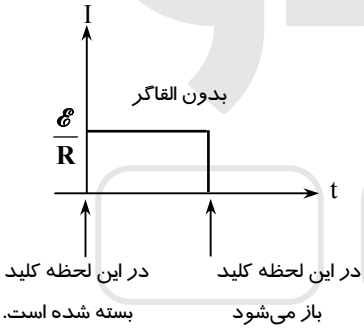
نکته‌ی ۵: همان‌گونه که در میدان الکتریکی خازن انرژی ذخیره می‌شود، در میدان مغناطیسی القاگر هم می‌توانیم انرژی ذخیره کنیم.
در یک القاگر به ضریب خودالقایی L که جریان I از آن می‌گذرد به اندازه ی U انرژی ذخیره می‌شود.

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

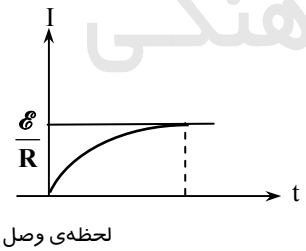
مثال: در مدار شکل مقابل ابتدا کلید k را می‌بندیم؛ سپس پس از گذشت مدتی این کلید را باز می‌کنیم. جریانی که از مدار می‌گذرد چگونه تغییر می‌کند؟



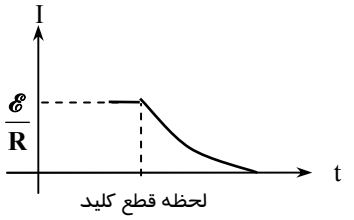
پاسخ: اگر در این مدار القاگری نبود با بستن کلید k بلافاصله اختلاف پتانسیل $\mathscr{E}$ به دو سر مقاومت R وصل می‌شد و از آن جریان $\frac{\mathscr{E}}{R}$ عبور می‌کرد. همچنین با باز کردن کلید بلافاصله جریانی که از مدار می‌گذرد، قطع می‌شود.
اما هنگامی که در مدار القاگر است چه اتفاقی می‌افتد؟



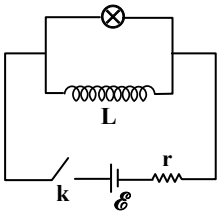
دیدید که با بستن کلید، جریان می‌خواهد از صفر تا $\frac{\mathscr{E}}{R}$ تغییر کند آن هم در یک مدت زمان خیلی کوتاه. این به معنی آن است که شار گذرنده از القاگر تغییر زیادی می‌خواهد بکند، پس القاگر با این تغییر شار مخالفت می‌کند. در نتیجه جریان گذرنده از مدار به جای آن که ناگهان از صفر تا $\frac{\mathscr{E}}{R}$ تغییر کند، به‌صورت پیوسته از صفر به $\frac{\mathscr{E}}{R}$ می‌رسد.



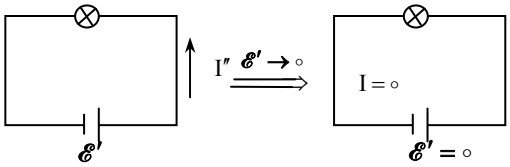
وقتی که جریان مدار تقریباً ثابت می‌شود (ثابت $I =$ یا $\frac{dI}{dt} = 0$)، دیگر ولتاژی در دو سر القاگر نخواهد بود و القاگر مانند یک سیم عمل کرده و تمام $\mathscr{E}$ دو سر R قرار می‌گیرد و $I = \frac{\mathscr{E}}{R}$ می‌شود. با قطع کردن کلید هم جریان مدار ناگهان صفر نمی‌شود. چون القاگر با این کاهش ناگهانی جریان مخالف است و جریانی هم‌جهت با جریان اولیه در مدار جاری می‌کند. در نتیجه تغییرات جریان باز هم حالت پیوسته پیدا می‌کند.



مثال: در مدار شکل مقابل به هنگام وصل کردن و قطع کردن کلید روشنایی لامپ چگونه تغییر می‌کند؟



پاسخ: در هنگام وصل کردن کلید جریان می‌خواهد ناگهان زیاد شود. القاگر با این افزایش ناگهانی مخالفت کرده و لذا در ابتدا تمام جریان I از لامپ که‌یک مقاومت محدود است می‌گذرد و لامپ روشن می‌شود. کم‌کم قسمتی از جریان هم از القاگر می‌گذرد و جریان لامپ کم می‌شود و نهایتاً که مقاومت القاگر صفر می‌شود، لامپ اتصال کوتاه شده و تمام جریان مدار از القاگر می‌گذرد و جریان لامپ صفر می‌شود و لامپ خاموش می‌شود. در هنگام قطع کلید دیگر مولد در مدار نخواهد بود ولی القاگر نقش مولد را بازی می‌کند. پس دوباره در هنگام قطع کلید جریانی از لامپ می‌گذرد وکم‌کم که ε' صفر می‌شود دوباره این جریان هم صفر می‌شود و لامپ خاموش می‌شود.



۶- جریان متناوب:

اگر شار گذرنده ازیک پیچه با N حلقه به‌صورت $\Phi = AB\cos\omega t$ تغییر کند،آن‌گاه در دو سر آن پیچه نیروی محرکه‌ای القا می‌شود، به‌صورت زیر:

$$\mathscr{E} = -N\frac{d\Phi}{dt} = NAB\omega\sin\omega t$$

اگر $NAB\omega$ را برابر با ε_m در نظر بگیریم خواهیم داشت: $\boxed{\mathscr{E}_m = NAB\omega} \Rightarrow \boxed{\mathscr{E} = \mathscr{E}_m Sin\omega t}$

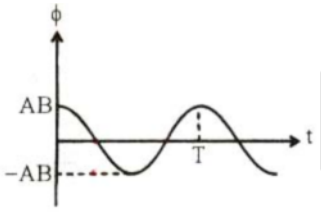
از رابطه‌ی فوق مشاهده می‌کنید که نیروی محرکه‌ی القا شده در این پیچه با زمان به‌صورت سینوسی تغییر می‌کند، و در زمان‌هایی که $\sin\omega t = ۱$ می‌شود، به حداکثر مقدار خود که همان $\mathscr{E}_m$ است، می‌رسد.

اگر این ولتاژ متغیر را به دو سر یک مقاومت اعمال کنیم، از آن مقاومت جریان متغیری عبور خواهد کرد؛ زیرا طبق قانون اهم:

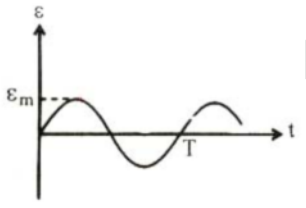
$$I = \frac{\mathscr{E}}{R} = \frac{\mathscr{E}_m}{R} Sin\omega t$$

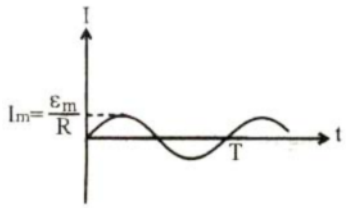
و چنان‌چه I_m را برابر $\frac{\mathscr{E}_m}{R}$ در نظر بگیریم، خواهیم داشت: $I = I_m \sin\omega t$

مشاهده می‌کنید که جریان هم با زمان به‌صورت سینوسی تغییر می‌کند. چنین جریانی، جریان متناوب نامیده می‌شود. دلیل آن را می‌توانید در شکل‌های زیر بیابید.



نمودارهای Φ و $\mathscr{E}$ و I برحسب t به‌صورت متناوبند و شکل آن‌ها هر T ثانیه تکرار می‌شود. به T دوره‌ی تناوب می‌گوییم و مقدار آن برحسب ω برابر است با: $T = \frac{۲\pi}{\omega}$.



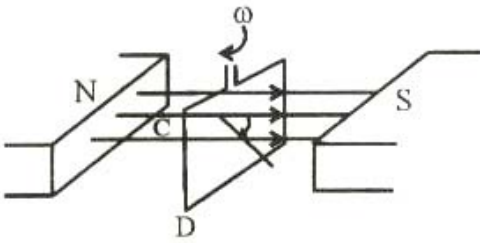


نکته: همان‌گونه که از نمودارهای فوق درمی‌یابیم، هنگامی که Φ برابر با $\pm AB$ باشد $\mathscr{E}$ و I صفرند و هنگامی که $\mathscr{E}$ و I بیش‌ترین و یا کم‌ترین مقدار اندازه‌ی خودشان را دارند Φ صفر است.

پریود یا دوره یا زمان تناوب: مدت زمانی که طول می‌کشد تا پیچه ۲π رادیان بچرخد که با T نمایش می‌دهند.

بسامد چرخش: تعداد چرخشی که درمدت‌یک ثانیه انجام می‌شود و با f نمایش می‌دهند. $f = \frac{۱}{T}$

مثال: در شکل مقابل، یک مولد جریان متناوب نشان داده شده است. سرعت زاویه‌ای پیچه (که از ۲۰ حلقه شکیل شده است) $\omega = ۱۰\pi \frac{rad}{s}$ است و در لحظه‌ی $t = ۰$، به‌صورت عمود بر خطوط میدان قرار دارد. اگر مساحت حلقه‌ها $۱۰cm^۲$ و شدت میدان مغناطیسی $۰/۰۵T$ باشد. مطلوبست:



الف) دوره‌ی (زمان تناوب) چرخش پیچه

ب) کل شاری که از پیچه در لحظه‌ی t می‌گذرد. (معادله‌ی شار برحسب زمان)

ج) حداکثر نیروی محرکه‌ای که در مدار القا می‌شود.

پاسخ:

الف)

$$T = \frac{۲\pi}{\omega} = \frac{۲\pi}{۱۰\pi} = \frac{۱}{۵}s$$

ب)

در لحظه‌ی $t = ۰$ زاویه‌ی بین نیم‌خط عمود بر پیچه و خطوط میدان صفر بوده است. هر یک ثانیه که بگذرد، این زاویه به اندازه‌ی ω تغییر می‌کند. پس اگر t ثانیه بگذرد، این زاویه به اندازه‌ی ωt تغییر می‌کند و از صفر به ωt می‌رسد.

فرمول شار را هم که می‌دانید: (t: زاویه‌ی بین خطوط میدان و نیم‌خط عمود بر حلقه در زمان)

$$\Phi_{\text{هر حلقه}} = BA\cos\alpha = BA\cos\omega t$$

$$\Phi_{\text{کل}} = N \times \Phi_{\text{هر حلقه}} = NBA\cos\omega t$$

مشاهده می‌کنید که در هر زمانی یک مقدار برای کل Φ به‌دست می‌آید. (کل Φ برحسب t به‌صورت متناوب تغییر می‌کند.)

ج)

$$\mathscr{E} = -\frac{d\Phi_{\text{کل}}}{dt} = -NBA\frac{d(\cos\omega t)}{dt} = NBA\omega\sin\omega t$$

$$\mathscr{E}_m = NBA\omega = ۲۰ \times ۰/۰۵ \times ۰/۰۰۱ \times ۱۰\pi = ۰/۰۱\pi V = ۰/۰۳۱۴ V$$

مؤسسه آموزشی فرهنگی