

خروج در جهت‌های مختلف است.

یعنی جهت جریان القایی قطب‌هایی القا می‌کند که مخالف قطب‌های آهنربای بیرونی است از این رو در هر دو حالت نیروی ربایش بین صفحه‌ی رسانا و آهنربا به وجود می‌آید و باعث کندشدن حرکت نوسانی و در نهایت توقف صفحه‌ی رسانا می‌شود.

جریان الکتریکی سیم‌لوله‌ی ۱، شار مغناطیسی که از سیم‌لوله‌ی ۲ می‌گذرد. تغییر شار مغناطیسی عبوری از سیم‌لوله‌ی ۲ (ج) آیا در هنگام کاهش مقاومت الکتریکی در سیم‌لوله‌ی (۱)، در سیم‌لوله‌ی (۲) جریان الکتریکی القایی خواهیم داشت؟ جهت آن را تعیین کنید.

(ج) اگر با یک رثوستا، جریان الکتریکی در سیم‌لوله‌ی (۱) را به طور متناوب کم و زیاد کنیم چه تغییری در جهت جریان الکتریکی القایی و نیروی محرکه القایی در سیم‌لوله‌ی (۲) خواهیم داشت؟

پاسخ: الف) به طرف چپ

ب) به طرف، چپ و چون در حال افزایش است طبق قانون لنز یک میدان مغناطیسی به طرف راست در آن به وجود می‌آید و جریان الکتریکی القایی در سیم‌لوله‌ی ۲ از چپ، ساعتگرد و در مقاومت از A به سوی B خواهد بود.

پ) خیر، زیرا با ثابت ماندن شار مغناطیسی در مدار، دیگر جریان الکتریکی القایی نخواهیم داشت.

ت) آهنربای میله‌ای به صورت افقی در سمت چپ سیم‌لوله ۲ قرار گرفته و طرف راست آن قطب N بوده و به سیم‌لوله نزدیک می‌شود.

ث) جریان الکتریکی سیم‌لوله‌ی (۱) افزایش می‌یابد.

شار عبوری از سیم‌لوله‌ی (۲) افزایش می‌یابد و در نتیجه تغییر شار بیشتری خواهیم داشت. (ج) ضمن این تغییر نیروی محرکه القایی و جریان الکتریکی القایی در سیم‌لوله‌ی ۲ به وجود می‌آید.

ج) از دید ناظری که در سمت چپ سیم‌لوله‌ی (۲) قرار می‌گیرد، جهت جریان الکتریکی القایی را ساعتگرد می‌بیند. (ج) جهت‌ها برعکس خواهند شد.

مثال: قطر یک آنتن حلقه‌ای تلویزیون UHF برابر با ۱۱ cm است. میدان مغناطیسی سیگنال تلویزیونی بر صفحه‌ی حلقه عمود است و در هر لحظه اندازه‌ی آن با آهنگ $\frac{T}{s} = 0.16$ تغییر می‌کند. نیروی محرکه القایی الکتریکی در این آنتن چقدر است؟

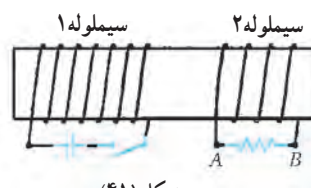
پاسخ: ۱/۵ mV

تمرین: در مثال‌های (۲-۵) و (۳-۵) کتاب و تمرین (۲-۵) با استفاده از قانون لنز، جهت نیروی محرکه القایی را تعیین کنید.

پرسش:

الف) در شکل زیر ضمن بستن کلید الف) جهت میدان مغناطیسی در هسته‌ی آهنی چیست؟

ب) جهت میدان مغناطیسی عبور کننده از سیم‌لوله‌ی (۲) و جهت جریان الکتریکی القایی در آن را تعیین کنید.



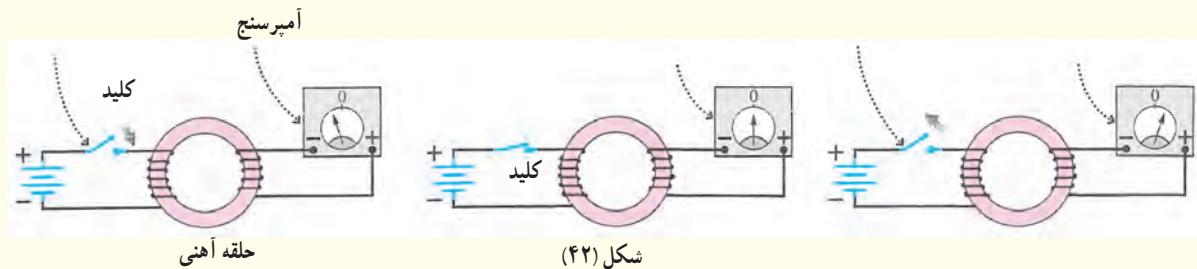
شکل (۴۱)

پ) اگر کلید همچنان بسته بماند آیا جریان القایی در سیم‌لوله‌ی ۲ ادامه می‌یابد؟ به چه دلیل؟

ت) سیم‌لوله‌ی ۱ را هنگام بسته شدن کلید با حرکت یک آهنربای میله‌ای جایگزین کنید و قطب‌های N و S آن را تعیین کنید.

ث) اگر مقاومت الکتریکی در سیم‌لوله‌ی (۱) را با قراردادن یک رثوستا کاهش دهیم طی این عمل تغییر کمیت‌های زیر را پیش‌بینی کنید:

پرسش : در شکل های (۴۲) با توجه به باز و بسته شدن کلید در سیملوله سمت چپ جهت جریان الکتریکی در سیملوله سمت راست را توجیه کنید.



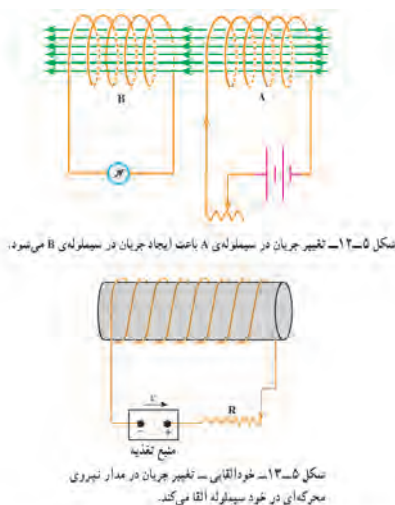
۵-۵- خود القایی

راهنمای تدریس : با انجام فعالیت ۱۵ و فعالیت ۱۶

دانش آموزان با مفهوم پدیده خود القایی آشنا می شوند و با انجام فعالیت ۱۷ و فعالیت ۱۸، رابطه ی $\epsilon_L = -L \frac{dI}{dt}$ را به دست می آورند.

هدف : آشنایی با مفهوم پدیده خود القایی به عنوان

مفهومی بسط یافته از قانون القای فارادی



می گذرد. در نتیجه، شار مغناطیسی ثابت Φ از سیملوله می گذرد. حال اگر مقاومت روستا را به تدریج کاهش دهیم، جریان در سیملوله افزایش می یابد. در مدتی که جریان در حال افزایش است، شار مغناطیسی که از سیملوله می گذرد افزایش پیدا می کند. بنابر قانون فارادی این تغییر شار باعث ایجاد نیروی محرکه ی القایی در خود مدار می شود. روشن است که در تمام مدتی که جریان ثابتی از مدار می گذرد، چون شار مغناطیسی تغییر نمی کند نیروی محرکه ی القایی وجود ندارد. به این پدیده که تغییر جریان در یک مدار باعث ایجاد نیروی محرکه ی القایی در همان مدار می شود خود القایی می گویند. در این مثال، جهت این نیروی محرکه ی القایی چنان است که می خواهد مانع افزایش شار مغناطیسی ای شود که منبع تغذیه ایجاد می کند. افزایش شار مغناطیسی به دلیل افزایش شدت جریانی است که از مدار می گذرد، در نتیجه نیروی محرکه ی القایی در واقع در جهتی است که با افزایش شدت جریان

مثال ۵-۷

سیملوله ای با ۵۰۰ دور و مقاومت الکتریکی 1.5Ω و مساحت سطح مقطع 2.5 cm^2 در یک میدان مغناطیسی یکنواخت قرار دارد. برای اینکه جریانی به سمت 1 mA در سیملوله القا شود، میدان مغناطیسی با چه آهنگی باید تغییر کند؟ فرض کنید سطح مقطع سیملوله بر میدان مغناطیسی عمود است.

حل: زاویه ی بین میدان و خط عمود بر سطح سیملوله صفر است، در نتیجه داریم:

$$\Phi = B \cdot A$$

چون مساحت هر حلقه ی سیملوله ثابت است، تغییر Φ در اثر تغییر در بزرگی میدان مغناطیسی است. در نتیجه تغییر شار مغناطیسی برابر است با:

$$\Phi = A \cdot \Delta B$$

از سوی دیگر، با توجه به رابطه ی ۵-۴ اندازه ی جریان القایی برابر است با:

$$I = \frac{N}{R} \frac{\Phi}{\Delta t} = \frac{N}{R} \frac{A \Delta B}{\Delta t}$$

$$= \frac{N A}{R} \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

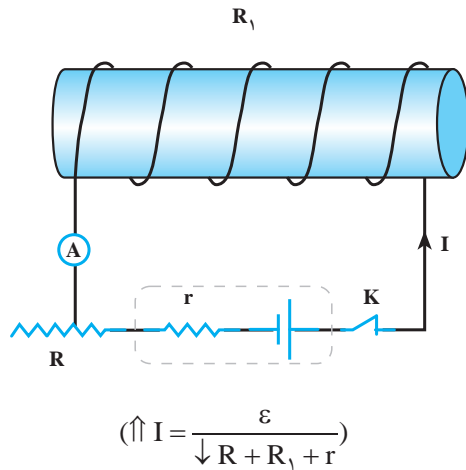
$$\therefore \Delta B = \frac{I R}{N A} = \frac{5 \times 10^{-3} \times 1.5 \times 10^{-2}}{500 \times 2.5 \times 10^{-4}} = 6 \times 10^{-2} \text{ T/s}$$

۵-۵- خود القایی

در آزمایش ها و فعالیت هایی که از ابتدای این فصل تا این جا انجام داده اید، همواره یک عامل خارجی باعث تغییر شار مغناطیسی و در نتیجه، القای نیروی محرکه و جریان الکتریکی در مدار شده است. برای مثال در شکل ۵-۱۲ باعث تغییر شار مغناطیسی در سیملوله ی B است و ایجاد نیروی محرکه ی القایی در مدار B می شود. در ادامه به بررسی این موضوع می پردازیم که: تغییر جریان الکتریکی در یک مدار حتی در خود مدار نیروی محرکه ای را القا می کند. برای این کار مداری مطابق شکل ۵-۱۳ در نظر بگیرید.

فرض کنید که روستا با بیشترین مقاومت در مدار قرار گرفته است و جریان ثابتی از مدار

فعالیت ۱۵



در شکل ۴۳ ابتدا خطوط میدان مغناطیسی در سیملوله را رسم و سپس به تدریج مقاومت R را کم می کنیم.
الف) جریان گذرنده از سیملوله چگونه تغییر می کند؟

پاسخ:

شکل (۴۳)

$$\left(\uparrow I = \frac{\varepsilon}{R + R_1 + r} \right)$$

ب) میدان مغناطیسی که از سیملوله می گذرد، چگونه تغییر می کند؟ ($\uparrow B = \mu_0 n I$)

پ) شار مغناطیسی گذرنده از سیملوله چگونه تغییر می کند؟ ($\uparrow \phi = AB \cos \theta$)

ت) آیا در مدار نیروی محرکه ی القایی تولید می شود؟ پاسخ: براساس قانون القای فارادی به علت تغییر شار

جواب مثبت است)

ث) جهت جریان القایی (I') را با توجه به قانون لنز به دست آورید (در خلاف جهت)

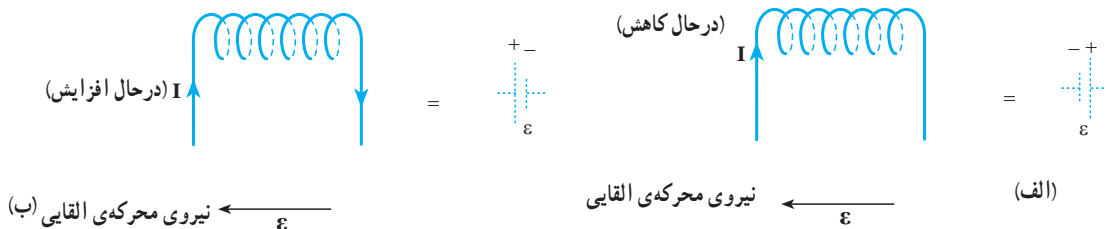
ج) اگر بخواهیم نیروی محرکه ی القایی با نیروی محرکه ی باتری هم ارز باشد، چگونه باید این باتری را در جای

سیملوله قرار دهیم؟

پاسخ: اگر افزایش یابد (خطی)، نیروی محرکه ی الکتریکی القا شده در جهتی خواهد بود که با افزایش جریان

مخالفت می کند و اگر جریان (خطی) کاهش یابد، نیروی محرکه ی الکتریکی القا شده در خلاف جهت این کاهش اثر

می کند.



شکل (۴۴)

فعالیت ۱۶



فعالیت ۱۵ را برای حالتی که مقاومت R را زیاد کنیم انجام دهید.

بعد از انجام این دو فعالیت از دانش آموزان می خواهیم پدیده ی خودالقایی و نیروی محرکه ی خودالقایی را

توضیح دهند (در صورت نیاز راهنمایی‌های لازم انجام می‌شود).

اگر ضریب تناسب را با نماد λ نشان دهیم، داریم:

$$\Phi = \lambda I$$

این شار مغناطیسی متغیر در هر حلقه‌ی سیم‌بسته (یا بیجه) نیروی محرکه‌ای القا می‌کند که به‌صورت زیر است:

$$\mathcal{E}_1 = \frac{d\Phi}{dt}$$

با:

$$\mathcal{E}_1 = \lambda \frac{dI}{dt}$$

در نتیجه اگر سیم‌بسته دارای N حلقه باشد، نیروی محرکه‌ی القا شده در سیم‌بسته برابر خواهد بود با:

$$\mathcal{E}_L = N\mathcal{E}_1$$

$$\mathcal{E}_L = N\lambda \frac{dI}{dt}$$

اگر $N\lambda = L$ قرار دهیم، نیروی محرکه‌ی خودالقای سیم‌بسته به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\mathcal{E}_L = L \frac{dI}{dt} \quad (5-5)$$

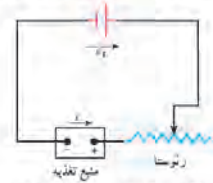
L از مشخصات ساختمانی سیم‌بسته است (به تعداد حلقه‌ها، طول سیم‌بسته و... بستگی دارد) و ضریب خودالقای یا القابیدگی سیم‌بسته نام دارد. یکای خودالقای «هاری» نام دارد که آنرا با نماد L نمایش می‌دهند. یک هاری ضریب خودالقای سیم‌بسته‌ای است که هرگاه جریانی که از آن عبور می‌کند با آهنگ یک آمپر بر ثانیه تغییر کند، نیروی محرکه‌ای برابر یک ولت در آن القا شود.

به هر قسمتی از یک مدار که خاصیت خودالقای داشته باشد، القاگر می‌گویند. پیچ و سیم‌بسته در مدار با جریان متغیر القاگرند.

مثال ۵-۷

از سیم‌بسته‌ای به ضریب خودالقای $2H$ ، جریان متغیری می‌گذرد که با زمان به‌صورت $I = 3 - t$ تغییر می‌کند (I برحسب آمپر و t برحسب ثانیه است). بزرگی نیروی محرکه‌ی القا شده را محاسبه کنید.

مقایسه می‌کند. به عبارت دیگر در این حالت نیروی محرکه‌ی القایی معادل نیروی محرکه‌ی باتری‌ای عمل می‌کند که در جهت مخالف منبع تغذیه مانند شکل ۱۴-۵ در مدار قرار گرفته باشد.



شکل ۱۴-۵ خودالقای باعث می‌شود که سیم‌بسته مانند پیل \mathcal{E} در مدار عمل کند.

فعالیت ۲-۵

با بحث در گروه خود، نتیجه‌ی آزمایشی را بررسی کنید که در آن مشابه آزمایش بالا عمل شود؛ با این تفاوت که به جای کاهش مقاومت مدار، آنرا افزایش دهند. دلیل وجود نیروی محرکه‌ی القایی و جهت آنرا نیز مورد بحث قرار دهید.

به این ترتیب، دریافتیم که:

هرگاه جریانی که از یک سیم‌بسته (یا یک بیجه) می‌گذرد، تغییر کند، در آن نیروی محرکه‌ای به‌وجود می‌آید که با عامل تغییر جریان مخالفت می‌کند و به آن نیروی محرکه‌ی خودالقای گفته می‌شود. این پدیده را خودالقای می‌نامند. ضریب خودالقای (یا القابیدگی): در پدیده‌ی خودالقای، در اثر عبور یک جریان الکتریکی متغیر از سیم‌بسته، میدان مغناطیسی متغیری به‌وجود می‌آید. بزرگی این میدان در هر لحظه متناسب با جریانی است که در آن لحظه از سیم‌بسته می‌گذرد (به عنوان مثال رابطه‌های ۲-۷ و ۲-۹ را ملاحظه کنید)، یعنی:

$$B \propto I$$

این میدان مغناطیسی متغیر، شار مغناطیسی متغیری را از سیم‌بسته عبور می‌دهد که با میدان مغناطیسی متناسب است و در نتیجه با شدت جریانی که از سیم‌بسته می‌گذرد متناسب است، یعنی:

$$\Phi \propto B \propto I$$

۱۹۰

فعالیت ۱۷

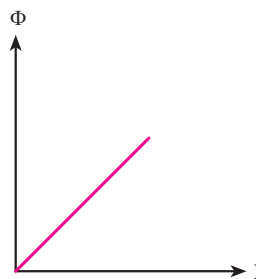


در فعالیت ۱۵ شار مغناطیسی که از سیم‌بسته می‌گذرد را بر حسب جریان به دست آورید و سپس نمودار تغییرات شار را بر حسب جریان رسم کنید.

$$\phi = AB \cos \theta = \mu_0 n I \cos \theta = \mu_0 n A I$$

$$b = \mu_0 n A \Rightarrow \phi = b I$$

پاسخ:



شکل (۴۵)

فعالیت ۱۸

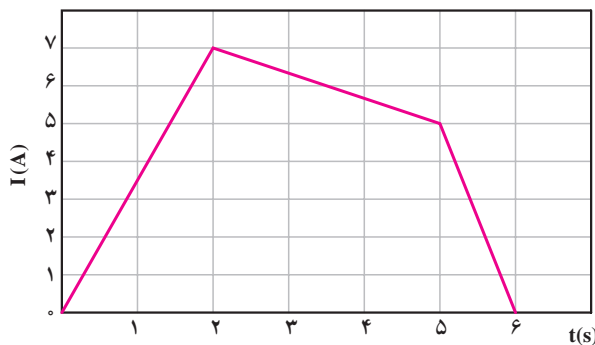


در فعالیت ۱۷، با استفاده از قانون القای فارادی نیروی محرکه‌ی القایی را به دست آوردید.

پاسخ: $\varepsilon_L = -N \frac{d\phi}{dt}$ و $\phi = bI$

$$\varepsilon_L = -N \frac{d}{dt}(bI) = -Nb \frac{dI}{dt}$$

$$Nb = L \Rightarrow \varepsilon_L = -L \frac{dI}{dt}$$



شکل (۴۶)

الف)

$$\text{شیب خط} = \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{7-0}{2-0} = \frac{7}{2} = 3.5 \frac{\text{A}}{\text{s}}$$

$$\varepsilon_L = -L \frac{dI}{dt} = -4/6 \times 3.5 = -16/11 \text{ V}$$

شیب خط = شیب خط مماس

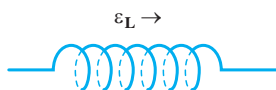
$$= \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{5-7}{5} = -\frac{2}{5} \text{ A/S},$$

$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt} = -4/6 \times -\frac{2}{5} = 2/15 \text{ V}$$

شیب خط = شیب خط مماس

$$= \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{0-5}{6-5} = -5 \text{ A/S},$$

$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt} = -4/6 \times -5 = 20/3 \text{ V}$$



شکل (۴۷)

پس از انجام فعالیت‌های ارائه شده ضریب خودالقایی را براساس فعالیت‌های انجام شده و متن کتاب معرفی می‌کنیم.
توجه: اگر جریانی که از یک القاگر (پیچ‌های مسطح یا سیم‌لوله) می‌گذرد برحسب زمان تغییر کند، نیروی محرکه‌ی القایی در القاگر به وجود می‌آید. اندازه‌ی خود جریان هیچ اثری روی نیروی محرکه‌ی القا شده ندارد بلکه در این‌جا آهنگ تغییر جریان اهمیت دارد.

توجه: ضریب خود القایی به ساختمان القاگر بستگی دارد و به مقدار جریان گذرنده یا آهنگ تغییر جریان بستگی ندارد. همانند ظرفیت یک خازن ($\varepsilon = \phi \varepsilon_0 \frac{A}{d}$) که به بار ذخیره شده بر روی آن و اختلاف پتانسیل دو سر خازن بستگی ندارد.

مثال: جریان I که از القاگری با ضریب خودالقایی ۴۱۶ هانری می‌گذرد مطابق نمودار شکل (۴۶) برحسب زمان t تغییر می‌کند. مقاومت القاگر ۱۲Ω است. نیروی محرکه‌ی القایی را در بازه‌های زمانی الف) $t=0$ تا $t=2$ ms ب) $t=2$ ms تا $t=5$ ms ج) $t=5$ ms تا $t=6$ ms محاسبه کنید.

پاسخ: حاصل ضرب شیب خط مماس بر منحنی جریان-زمان در ضریب خودالقایی با علامت منفی برابر با نیروی محرکه‌ی خودالقایی است. بنابراین کافی است شیب خط را در هر بازه‌ی زمانی حساب کنیم.

کاهش است (جهت میدان مغناطیسی به سمت راست در حال کاهش است).

(ث) درست. در این حالت شار گذرنده در حال افزایش است (جهت میدان مغناطیسی به سمت چپ است). براساس قانون القای فارادی و قانون لنز نیروی محرکه القایی ایجاد شده و جریان القایی به طرف راست است.

(ج) نادرست

مثال: در شکل مثال قبل، اگر جریان با آهنگ 25 kA/s

تغییر کند و نیروی محرکه‌ی خودالقایی 17 V در دو سر آن القا شود، ضریب خودالقایی سیملوله چه مقدار است؟

پاسخ:

$$\varepsilon_L = -L \frac{dI}{dt} \rightarrow |\varepsilon_L| = \left| L \frac{dI}{dt} \right| \rightarrow 17 \text{ V} = L \times 25000 \text{ A/s}$$

$$\Rightarrow L = \frac{17}{25000} \text{ H}$$

مثال: شکل (۴۷) جهت نیروی محرکه‌ی القایی را در یک پیچه نشان می‌دهد. کدام یک از عبارتها در مورد مقدار و جهت جریان پیچه درست بیان شده است؟ (الف) ثابت و به سمت راست. (ب) ثابت و به سمت چپ (پ) در حال افزایش و به سمت راست. (ت) در حال کاهش و به سمت راست. (ث) در حال افزایش و به سمت چپ (ج) در حال کاهش و به سمت چپ. پاسخ: (الف) نادرست. زیرا اگر جریان ثابت باشد، ε_L به وجود نمی‌آید.

(ب) نادرست. زیرا اگر جریان ثابت باشد، ε_L به وجود نمی‌آید.

(پ) نادرست اگر جریان به سمت راست و در حال زیاد شدن باشد، جریان القایی و نیروی محرکه‌ی القایی به طرف چپ تولید می‌شد (براساس قانون لنز)

(ت) درست. در این حالت جهت جریان القایی و نیروی محرکه‌ی القایی به طرف راست است، زیرا شار گذرنده در حال

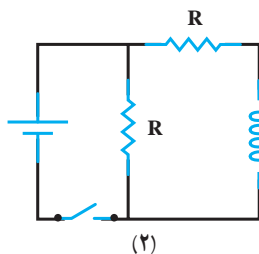
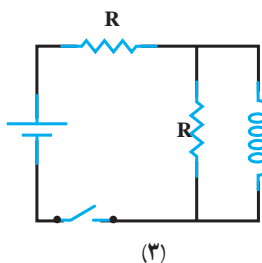
دانشتنی

مدار LR

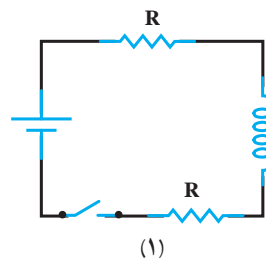
در این دانستنی؛ علت تأخیر رسیدن جریان الکتریکی در مدار تک حلقه، شامل مقاومت، القاگر و مولد، به مقداری که در قانون اهم پیش‌بینی شده است ($I=V/R$)، بررسی می‌شود.

جریان در باتری (الف) درست پس از بستن کلید و (ب) پس از مدت طولانی، از بزرگ به کوچک بنویسید.

مثال: شکل (۴۸)، سه مدار با مولدها، القاگرها و مقاومت‌های یکسان را نشان می‌دهد. مدارها را به ترتیب بزرگی



شکل (۴۸)



پاسخ: (الف) بلافاصله پس از بستن کلید، اثر خودالقایی

(ب) پس از مدتی طولانی که جریان در شاخه‌ها به مقدار ثابتی می‌رسد، مقاومت ناشی از اثر خودالقایی به صفر می‌رسد و مقاومت سیملوله فقط ناشی از مقاومت اهمی آن است که بسیار

در سیملوله بسیار زیاد است و سیملوله مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهد، بنابراین جریانی که از سیملوله می‌گذرد نزدیک به صفر است. پس یکی از مدار (۲) یا (۳) جواب است. با اندکی

ناچیز است، در این حالت مقاومت معادل مدارها به ترتیب $2R$ ، $\frac{R}{2}$ و R است. بنابراین باز هم جریان گذرنده از مدار (۲) بیشترین مقدار است.

محاسبه‌ی ضریب خودالقایی یک سیملوله

راهنمای تدریس: ابتدا با انجام فعالیت ۱۹ یا فعالیت

۲۰ تراوایی نسبی مغناطیسی را درس می‌دهیم. سپس با انجام

فعالیت ۳ به رابطه‌ی $L = K \frac{\mu N^2 A}{l}$ می‌رسیم.

حل: داریم

$$|e| = L \left| \frac{dI}{dt} \right|$$

را از رابطه‌ی جریان برحسب زمان که در مسئله داده شده محاسبه می‌کنیم.

$$\frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt} (4t - 3) = 4 \text{ A/s}$$

در نتیجه، به دست می‌آوریم

$$|e| = 0.4 \times 4 = 1.6 \text{ V}$$

محاسبه‌ی ضریب خودالقایی سیملوله: در فصل ۴ دیدیم که میدان مغناطیسی حاصل از عبور جریانی به شدت I از سیملوله‌ای به طول l که دارای N حلقه است، در داخل سیملوله یکنواخت و موازی با محور سیملوله است و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$B = \mu_0 \frac{NI}{l}$$

علاوه بر این دیدیم که اگر سیملوله دارای هسته‌ای باشد، میدان مغناطیسی سیملوله تقویت می‌شود. میدان مغناطیسی سیملوله‌ای که هسته داشته باشد، در داخل سیملوله از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$B = k\mu_0 \frac{NI}{l} \quad (۵-۶)$$

که در آن k ضریبی است که به جنس هسته داخل سیملوله بستگی دارد و به آن تراوایی نسبی مغناطیسی هسته می‌گویند. با توجه به آن که میدان مغناطیسی در داخل سیملوله یکنواخت و موازی با محور سیملوله است، شمار مغناطیسی حاصل از آن که از سیملوله می‌گذرد برابر است با:

$$\Phi = AB = k\mu_0 \frac{N^2 A I}{l} \quad (۵-۷)$$

تروی محرکه‌ی خودالقایی برابر است با:

$$\mathcal{E}_L = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (۵-۸)$$

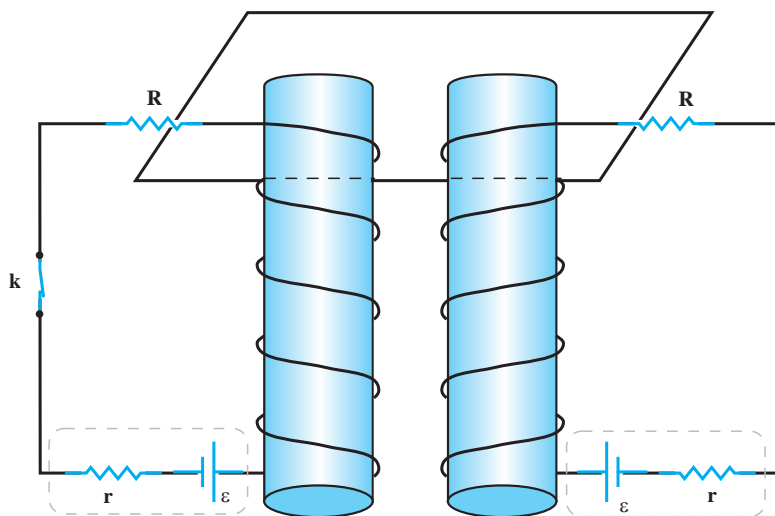
با قرار دادن \mathcal{E}_L از رابطه‌ی ۵-۷ در رابطه‌ی ۵-۸ به دست می‌آوریم:

۱۹۲



فعالیت ۱۹

دو سیملوله‌ی کاملاً یکسان (مثلاً هر دو 120° دور) که در یکی هوا و دیگری هسته‌ی آهنی قرار دارد را مطابق شکل پایین به دو منبع تغذیه‌ی کاملاً یکسان و یک مقاومت وصل می‌کنیم و سپس آن‌ها را در نزدیکی یکدیگر قرار می‌دهیم و بر روی آن‌ها یک صفحه‌ی شیشه‌ای یا مقوایی می‌گذاریم و با نمک پاش براده‌های آهن را بر روی صفحه می‌پاشیم.

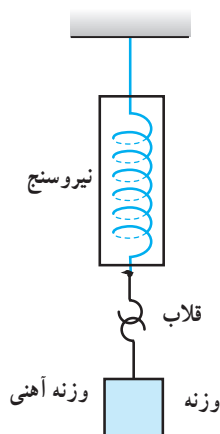


شکل (۴۹)

– تراکم براده‌های آهن در بالای کدام سیملوله بیش‌تر است؟
 پ: در بالای سیملوله‌ای که دارای هسته آهنی است]
 – از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ (پ: میدان مغناطیسی سیملوله‌ی دارای هسته‌ی آهنی قوی‌تر است).



فعالیت ۲۰ (معادل فعالیت ۱۹)

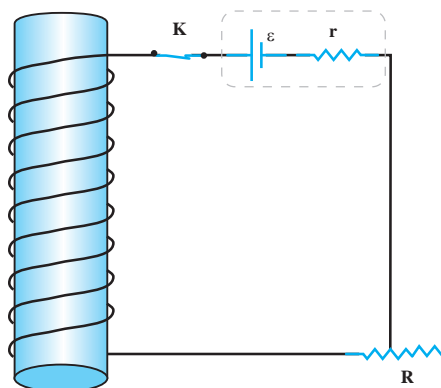


یک وزنه آهنی نسبتاً سبک را به نیروسنجی وصل کرده و وزن آن را اندازه گیری می کنیم و سپس زیر آن یک سیملوله که درون آن هواست (بدون هسته ی فلزی) قرار می دهیم و کلید K را می بندیم و عدد نیروسنج را می خوانیم و کلید را باز می کنیم و آزمایش را بار دیگر با سیملوله ی دارای هسته ی آهنی انجام داده و عدد نیروسنج را می خوانیم.

– در هر مرحله نیروسنج برآیند نیروهایی را نشان می دهد؟
(در مرحله ی اول وزن وزنه و در مرحله های بعد وزن وزنه ها و نیروی مغناطیسی)

– در کدام مرحله نیروسنج عدد بزرگ تری را نشان می دهد؟
(عدد نیروسنج در مرحله ی اول > عدد نیروسنج در مرحله ی دوم > عدد نیروسنج در مرحله سوم)

– از مقایسه ی مرحله ی دوم و سوم چه نتیجه ای می گیرید؟
(نیروی مغناطیسی در مرحله ی سوم بیشتر از نیروی مغناطیسی در مرحله ی دوم است. به عبارت دیگر وقتی در سیملوله هسته ی آهنی قرار دارد، میدان مغناطیسی قوی تری برقرار می شود).



شکل (۵۰)

– بعد از انجام این فعالیت تراوایی مغناطیسی را معرفی می کنیم، رابطه ی $(n=N/l) B = K\mu_0 NI$ را می نویسیم و مقدار k را برای بعضی مواد مختلف می دهیم.

جدول (۱)

تراوایی نسبی مغناطیسی	نام ماده
۱	هوا
$1/256 \times 10^{-6}$	آلمینیم
$8/75 \times 10^{-4}$	فولاد
$1/256 \times 10^{-6}$	مس
$1/25 \times 10^{-4}$	نیکل
$1/256 \times 10^{-6}$	آب

نیروی محرکه ی القایی است که در بخش بعد در مورد آن بیش تر سخن می گوئیم.
نیروی محرکه ی القایی در پیچچه: هر پیچچه را می توان به صورت چند حلقه سیم که به طور متوالی به هم بسته شده اند، در نظر گرفت. تغییر شار مغناطیسی در هر حلقه ی پیچچه نیروی محرکه ای القا می کند. نیروی محرکه ی القایی کل، برابر مجموع نیروی محرکه ی القا شده در حلقه هاست. به بیان دیگر، نیروی محرکه ی القایی در هر پیچچه با تعداد دورهای پیچچه (N) نیز نسبت مستقیم دارد؛ یعنی:

$$\mathcal{E} = N \frac{d\Phi}{dt} \quad (3-5)$$

اگر شار مغناطیسی که از پیچچه ی با N حلقه می گذرد در بازه ی زمانی Δt به اندازه ی $\Delta\Phi$ تغییر کرده باشد، آنگاه متوسط تغییر شار مغناطیسی در بازه ی زمانی Δt برابر $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ خواهد بود. نیروی محرکه ی القایی متوسط (که با \mathcal{E} نمایش داده می شود) ایجاد شده در این پیچچه از رابطه ی زیر بدست می آید:

$$\mathcal{E} = N \frac{d\Phi}{dt} \quad (4-5)$$

مثال ۲-۵

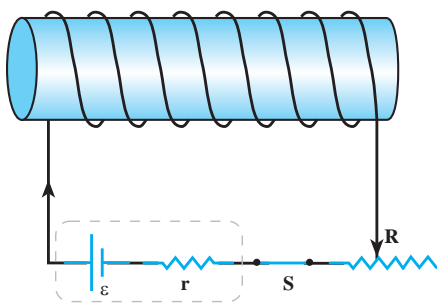
پیچچه ای شامل ۲۰۰ دور سیم با مساحت سطح مقطع ۲ سانتی متر مربع مطابق شکل ۷-۵ در میدان مغناطیسی یکواختی قرار گرفته است؛ به گونه ای که خط های میدان بر سطح آن عمود است. بزرگی میدان مغناطیسی در بازه ی زمانی ۳/۲ میلی ثانیه و بدون تغییر جهت از ۸۸۲/۰ به ۲۲۲/۰ می رسد. اندازه ی نیروی محرکه ی القایی متوسط چه قدر است؟

شکل ۷-۵

حل: ابتدا شاری را که در دو حالت اولیه و نهایی از پیچچه می گذرد، محاسبه می کنیم.

$$\Phi_1 = B_1 A \cos \theta = (1/8 \times 10^{-4} \times 10^{-4}) \times \cos 0^\circ = 3/6 \times 10^{-8} \text{ Wb}$$

$$\Phi_2 = B_2 A \cos \theta = (1/22 \times 10^{-4} \times 10^{-4}) \times \cos 0^\circ = 4/4 \times 10^{-8} \text{ Wb}$$



شکل (۵۱)

$$\varphi = AB \cos \theta \quad \text{و} \quad B = k\mu \cdot \frac{N}{l} I$$

$$\varphi = k\mu \cdot \frac{N}{l} \cdot A \cdot I \quad \text{و} \quad \varepsilon_L = -N \frac{d\varphi}{dt} = -k\mu \cdot \frac{N^2 A}{l} \frac{dI}{dt} = -\varepsilon_L$$

$$-k\mu \cdot \frac{N^2 A}{l} \frac{dI}{dt} = -L \frac{dI}{dt} \Rightarrow L = k\mu \cdot \frac{N^2 A}{l}$$

فعالیت ۲۱



از دانش آموزان می خواهیم شاری را که از یک سیملوله که در آن ماده ای با ضریب تراوایی مغناطیسی k قرار دارد را برحسب جریان گذرنده از سیملوله بنویسند و سپس با استفاده از قانون القای فارادی، نیروی محرکه ی القایی (خودالقایی) را به دست آورده و درمقایسه با رابطه ی

پاسخ:

توجه: این آزمایش را می توان باترانس (Choke) لامپ های

مहतایی به جای سیملوله و یک لامپ نتون با یک منبع تغذیه ی ضعیف چند ولتی انجام داد و همان نتیجه را به دست آورد.

آزمایش ۲-۵

هدف: مشاهده ی پدیده ی خودالقایی در هنگام قطع جریان در مدارهایی که دارای سیملوله ی موازی با لامپ هستند.



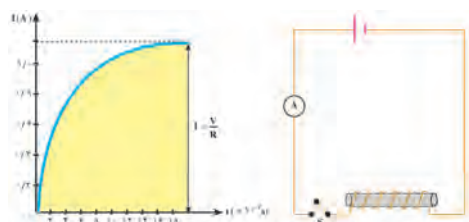
دیده ام که تغییر جریان در یک القاگر باعث ایجاد نیروی محرکه ی القایی در آن می شود. ایجاد نیروی محرکه القایی باعث می شود جریان به سرعت به مقدار نهایی خود نرسد. برای مثال مداری مانند شکل ۱۶-۵ الف در نظر بگیرید که در آن یک سیملوله با تعداد دور نسبتاً زیاد به دو سر یک باتری بسته شده است. هنگامی که کلید S را می بندیم، جریان به طور آتی به مقداری که از قانون اهم ($I = \frac{V}{R}$) به دست می آید نمی رسد، بلکه با زمان تغییر می کند. منحنی تغییر جریان با زمان به صورت منحنی شکل ۱۶-۵ ب است.

این اثر را می توانیم به این صورت توجیه کنیم که به هنگام بستن کلید، جریان از صفر روبه

فعالیت ۳-۵

توضیح دهید چرا پس از باز کردن کلید k ، با این که مولد از مدار حذف شده است لامپ برای لحظاتی پرنور می شود؟

پاسخ: وقتی کلید k را باز می کنیم، منبع تغذیه از مدار حذف می شود و جریان در مدت بسیار کوتاه به صفر می رسد، بنابراین طبق رابطه ی $\varepsilon_L = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ ، نیروی محرکه ی خودالقایی نسبتاً بزرگی در دو سر سیملوله تولید می شود و این نیروی محرکه سبب جریان زیاد القایی می شود که همه ی آن از لامپ (شاخه ی بالایی) می گذرد زیرا با باز شدن کلید k ، شاخه ی پایینی از مدار حذف و بنابراین لامپ برای لحظاتی کوتاه بسیار پرنور می شود.



(الف) جسی به مقاومت R را به صورت یک سیمولر بسته ایم

شکل ۵-۶: در خودالقایی در مدار شامل سیمولر (اعداد روی شکل مربوط به یک آزمایش خاص است)

افزایش می گذارد و نیروی محرکه‌ی خودالقایی در جهت مخالف نیروی محرکه‌ی مولد در سیمولر القا می شود. در نتیجه جریان در مدار کمتر از حالتی است که خودالقایی در مدار وجود نداشته باشد. یعنی جریان کمتر از مقداری است که از رابطه‌ی $I = \frac{V}{R}$ بدست می آید. با گذشت زمان و نزدیک شدن جریان به I ، آهنگ تغییر جریان کمتر می شود. بنابراین نیروی محرکه‌ی خودالقایی نیز کوچک تر می شود. هنگامی که جریان برابر I می شود، دیگر جریان تغییر نمی کند و نیروی محرکه‌ی خودالقایی به صفر می رسد.

فعالیت ۳-۵

با توجه به مطالب بالا نتیجه‌ی آزمایش ۵-۶ را توجیه کنید.

۵-۶: انرژی ذخیره شده در القاگر

هنگامی که در دو سر القاگری اختلاف پتانسیل برقرار نبود، از طرف مولد به القاگر انرژی داده می شود. بخشی از این انرژی در مقاومت R تلف می شود و بقیه‌ی آن در میدان مغناطیسی سیمولر ذخیره می شود. این انرژی از رابطه‌ی زیر بدست می آید:

$$U = \frac{1}{2} L I^2$$

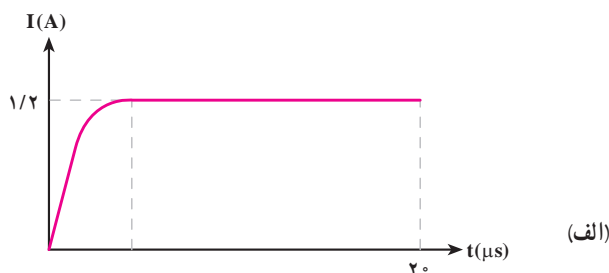
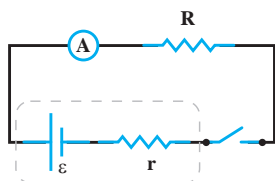
(۱۱-۵)

۱۹۵

فعالیت ۲۲

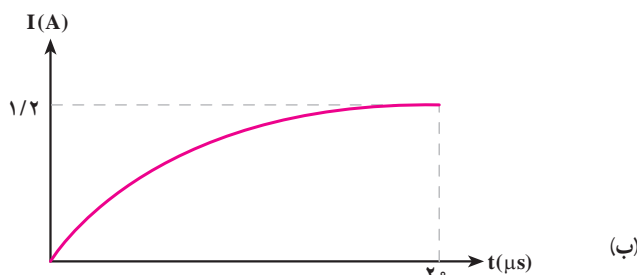
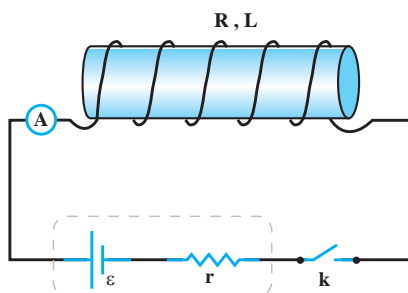


نمودار جریان - زمان برای دو مدار شکل (۵۲) از لحظه‌ی بستن کلید رسم شده است، علت اختلاف این دو نمودار را توضیح دهید. مقاومت سیمولر برابر R است.



(الف) نمودار جریان - زمان مدار شکل ۵۲-الف وقتی کلید k بسته می شود، جریان در زمان بسیار کوتاه به مقدار پیش بینی شده‌ی $I = \frac{V}{R} = 1/2 A$

می رسد. (انحنای کم در این جا مربوط به این حالت است که تک حلقه نیز بالای L بسیار ناچیز است)



(ب) نمودار جریان - زمان مدار شکل ۵۲-ب وقتی کلید k بسته می شود، جریان به تدریج و پس از گذشت $20 \mu s$ به مقدار پیش بینی شده‌ی

$$I = \frac{V}{R} = 1/2 A \text{ می رسد.}$$

شکل (۵۲)

۵-۶- انرژی ذخیره شده در القاگر

راهنمای تدریس: با انجام فعالیت ۱ دانش‌آموزان پی‌به‌ذخیره‌شدن انرژی در سیملوله پی‌می‌برند. بعد از انجام این فعالیت ۹۰ مقدار انرژی ذخیره شده در سیملوله را آموزش می‌دهیم.

انتظار می‌رود دانش‌آموزان با بحث و تبادل نظر بتوانند به توضیح مناسبی برسند. در صورتی که به نتیجه نرسیدند می‌توانیم از آن‌ها بخواهیم مطالب مربوط به صفحه‌های ۱۹۴ و ۱۹۵ را مطالعه و برای یک دیگر توضیح دهند و در صورت نیاز راهنمایی‌های لازم صورت گیرد.

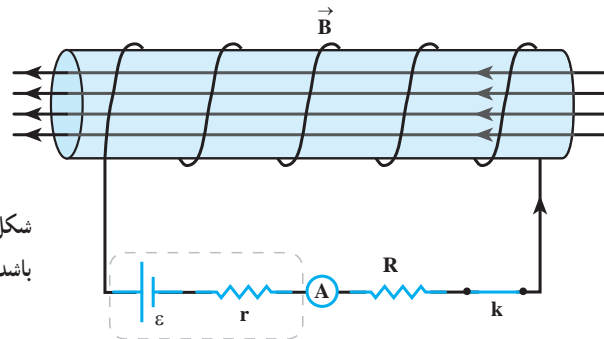


فعالیت ۲۳

در آزمایش ۵-۲، وقتی کلید k قطع می‌شود، شاخه‌ی پایینی (منبع تغذیه) از مدار حذف می‌شود. اما برای لحظاتی لامپ پرنور می‌گردد و سپس خاموش می‌شود. لامپ این انرژی را از کجا می‌آورد؟
پاسخ: با توجه به این که پس از قطع کلید k ، در مدار فقط لامپ و سیملوله باقی می‌مانند بنابراین انرژی لازم جهت پرنورتر شدن لامپ باید از سیملوله تأمین شود یعنی در سیملوله انرژی ذخیره شده است.

این مدت مولد به مدار انرژی می‌دهد و این انرژی در سیملوله به نوع دیگری تبدیل می‌شود که به آن انرژی ذخیره شده در سیملوله گویند و از رابطه‌ی $U = \frac{1}{2}LI^2$ به دست می‌آید. این انرژی در میدان مغناطیسی حاصل از عبور جریان از القاگر ذخیره شده است (شکل ۵۳).

در این جا برای دانش‌آموزان توضیح می‌دهیم که وقتی دو سر القاگر به مولد وصل شود، قسمتی از انرژی مولد در سیملوله ذخیره و بقیه‌ی آن در مقاومت R تبدیل به انرژی درونی می‌شود. در فعالیت ۲۲ دیدیم وقتی دو سر القاگر به ولتاژ V وصل می‌شود جریان بلافاصله به I نمی‌رسد، بلکه مدتی طول می‌کشد تا به مقدار تعادلی خود برسد (تاخیر زمانی دارد). در



شکل (۵۳) در هر منطقه‌ای که میدان مغناطیسی وجود داشته باشد در آن منطقه انرژی مغناطیسی ذخیره شده است.

تمرین ۵-۵

که در آن IA ، حجم سیملوله است.

مثال: در مثال بالا انرژی ذخیره شده در واحد حجم را به دست آورید.

$$u = \frac{U}{V} = \frac{U}{A \cdot l} = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

توجه: این یک مفهوم عام است که هر جا میدان مغناطیسی وجود داشته باشد، در آن منطقه چگالی انرژی وجود دارد.

$$U = \frac{1}{2}LI^2 \text{ و } L = \mu_0 \frac{N^2 A}{l}$$

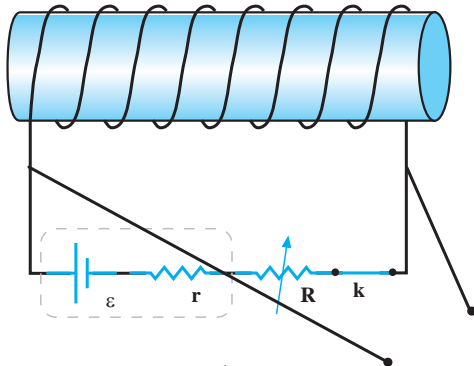
$$U = \frac{1}{2} \mu_0 \frac{N^2 A}{l} I^2$$

مثال: انرژی ذخیره شده در یک سیملوله‌ی بدون هسته

را برحسب میدان مغناطیسی درون سیملوله بنویسید.

$$U = \frac{1}{2} \mu_0 \frac{N^2 A}{l} I^2 = \frac{IA}{2\mu_0} \left(\mu_0 \frac{N}{l} I \right)^2 = \frac{IA}{2\mu_0} B^2$$

فعالیت ۲۴



شکل (۵۴)

مداری مانند شکل روبه‌رو طراحی و دوسر سیملوله را با دست بگیرید و کلید k را قطع و وصل کنید. نتیجه‌ی مشاهدات خود را بیان کنید و علت آن را توضیح دهید.

$$U = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} \times 53 \times 10^{-3} \text{ H} \times 34^2 / 2 \text{ A}^2$$

$$= 31 \text{ J}$$

تمرین: انرژی مغناطیسی ذخیره‌شده در یک القاگر هنگام عبور جریان 60000 A از آن 25 mJ است. الف) ضریب خودالقایی این القاگر را به دست آورید. ب) برای آن که انرژی ذخیره‌شده چهار برابر شود، چه جریانی لازم است؟

مثال: ضریب خودالقایی پیچ‌ای 53 mH و مقاومت آن 35Ω اهم است.

الف) هرگاه دوسر پیچ‌ای را به نیروی محرکه‌ی 12 V وصل کنیم، پس از رسیدن جریان به مقدار تعادل چه انرژی‌ای در میدان مغناطیسی ذخیره می‌شود؟
ب)

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{12 \text{ V}}{35 \Omega} = 34 / 3 \text{ A}$$

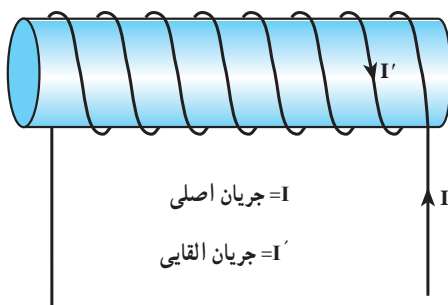
دانستنی



محاسبه‌ی انرژی ذخیره‌شده در القاگر

در این دانستنی؛ نحوه‌ی محاسبه‌ی انرژی ذخیره‌شده در القاگر با کمک ریاضیات پایه (حساب دیفرانسیل و انتگرال) آورده شده است.

کاربرگ



شکل (۵۵)

۱- در شکل روبه‌رو الف) وقتی مقاومت رئوستا کاهش می‌یابد، جهت جریان خودالقایی را مشخص نمایید.
ب) اگر در اثر تغییر مقاومت، جریان با آهنگ 5 A/s در القاگر تغییر کند و القاییدگی سیملوله 8 mH باشد، اندازه‌ی نیروی محرکه‌ی خودالقایی در دوسر سیملوله چند ولت است؟
پ) اگر مقاومت رئوستا را ثابت کنیم و سپس کلید s را باز نماییم، در دوسر کلید باز، جرقه‌ای زده می‌شود. علت را توضیح دهید.

۲- سیملوله‌ای شامل ۱۵۰۰ دور، سطح مقطع ۱۰ cm^2 و طول ۱۲۰ cm را در نظر بگیرید. اگر تراوایی نسبی مغناطیسی هسته‌ی درون سیملوله برابر ۶۰۰ باشد.

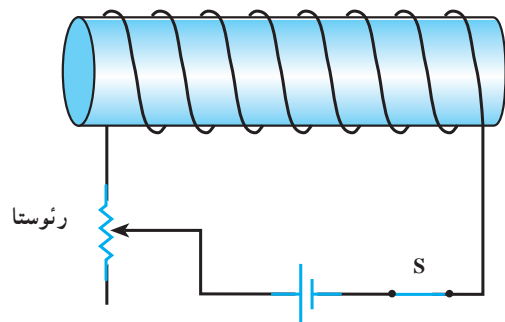
الف) القایدگی سیملوله چه مقدار است؟

ب) اگر از سیم جریان ۴ A عبور کند، انرژی ذخیره شده در آن چه مقدار است؟

۳- جریانی به معادله‌ی $I = 5t^2 - t$ (در SI) از سیملوله‌ای به ضریب خودالقایی ۴ H می‌گذرد. در چه لحظه‌ای بزرگی نیروی محرکه‌ی القایی در سیملوله برابر $۷/۶$ ولت است؟

پاسخ:

۱- الف) وقتی مقاومت رئوستا کاهش می‌یابد، جریان در مدار افزایش می‌یابد، بنابر قانون لنز، جهت جریان القایی به گونه‌ای است که با افزایش جریان مخالفت کند، پس جهت جریان القایی در سیملوله رو به بالا است.



شکل (۵۶)

ب)
$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt} \rightarrow |\varepsilon| = \left| -L \frac{dI}{dt} \right|$$

$$= 0.08\text{ H} \times 5\text{ A/s} = 0.4\text{ V}$$

پ) وقتی کلید s را باز می‌کنیم، در مدت کوتاهی شارمغناطیسی از یک مقدار مشخص به صفر می‌رسد، در نتیجه نیروی محرکه خودالقایی بزرگی در دو سر کلید به وجود می‌آید. در حالتی که ولتاژ این نیروی محرکه خودالقایی از ولتاژ فروشکست بیشتر باشد بین دو سر کلید جرقه زده می‌شود.

۲- الف)

$$k = \mu_0 \frac{N^2 A}{l} = 4\pi \times 10^{-7} \frac{1500^2 \times 100 \times 10^{-4}}{120 \times 10^{-2}}\text{ H}$$

$$= 0.23\text{ H}$$

ب)
$$U = \frac{1}{2} LI^2$$

$$U = \frac{1}{2} \times 0.23 \times 4^2\text{ J} = 1.9\text{ J}$$

۳-

$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt} \text{ و } |\varepsilon| = \left| -L \frac{dI}{dt} \right| \Rightarrow t = 0.44\text{ s}$$

دانشتنی



جوزف هنری

در این دانستنی؛ زندگی علمی جوزف هنری آمریکایی و نقش وی در پدیده‌ی القای فارادی، خاصیت خودالقایی و ... آورده شده است.

۷-۵- جریان متناوب

— ایجاد انگیزه : به پایانه‌های آرمیچر یک LED وصل

می‌کنیم محور آرمیچر را به سرعت می‌چرخانیم (LED روشن می‌شود) از دانش‌آموزان در مورد تبدیل انرژی انجام شده سؤال می‌کنیم و نیز اساس کار آرمیچر.

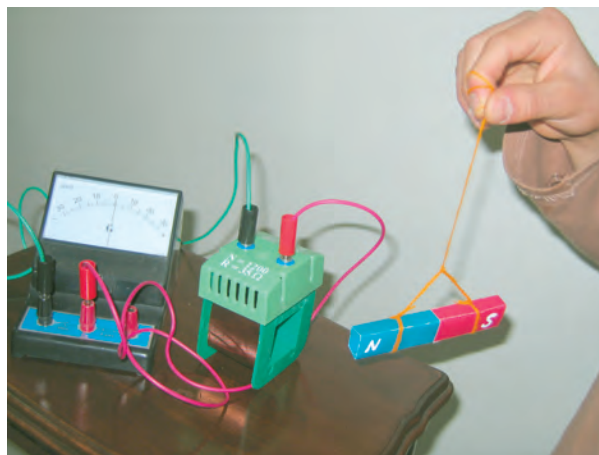
پاسخ : در آرمیچر انرژی جنبشی به انرژی الکتریکی تبدیل شده است. در واقع در این حالت آرمیچر یک مولد جریان الکتریسته است. در دیواره‌های آرمیچر آهنربا وجود دارد و در وسط آن سیم‌پیچی است که وقتی ما سیم‌پیچ را به دوران درمی‌آوریم در دو سر آن نیروی محرکه‌ای القا می‌شود.

راهنمای تدریس : با یادآوری بحث نیروگاه‌های تولید برق همراه با دانش‌آموزان روش‌های تغییر شارژ را مرور می‌کنیم و توضیح می‌دهیم که در نیروگاه‌ها هم باید شار مغناطیسی در سیم‌پیچ‌ها تغییر کند و این اساس کار توربین‌هاست. و برای تشریح طرز کار توربین بحث را با چند فعالیت پیشنهادی آغاز می‌کنیم.

آزمایش پیشنهادی

وسایل لازم : سیم‌لوله، آهنربای میله‌ای، سیم‌های رابط، نخ، گالوانومتر. با داخل و خارج کردن آهنربا به سیم‌لوله تولید نیروی محرکه‌ای القایی کنید طوری که دائماً گالوانومتر ایجاد جریان را نشان دهد. لحظاتی که جریان به صفر می‌رسد را تعیین کنید.

۲- آهنربا را مطابق شکل از نخ بیاویزید تا به حالت افقی بماند. سپس آهنربا را در جلوی سیم‌لوله قرار دهید و با پیچاندن نخ آهنربا را در جلوی سیم‌لوله دوران دهید. آیا نیروی محرکه القا می‌شود؟ آیا باز هم لحظاتی هست که نیروی محرکه صفر باشد؟



شکل (۵۷)

این انرژی در میدان مغناطیسی حاصل از عبور جریان از القاگر ذخیره می‌شود.

مثال ۹-۵

سیم‌لوله‌ای با ضریب خودالقایی 0.4 H و مقاومت 5Ω - مفروض است - سیم‌لوله را مطابق شکل ۵-۱۵ به یک باتری ۶ ولتی وصل می‌کنیم. چه مقدار انرژی در سیم‌لوله ذخیره می‌شود؟

حل : پس از آنکه جریان در سیم‌لوله به مقدار نهایی خود رسید، داریم :

$$I = \frac{V}{R} = \frac{6}{5} = 1.2\text{ A}$$

با استفاده از رابطه‌ی ۵-۱۶ انرژی ذخیره شده در القاگر برابر است با :

$$U = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2}(0.4)(1.2)^2 = 0.288\text{ J}$$

تمرین ۵-۵

رابطه‌ای برای انرژی ذخیره شده در یک سیم‌لوله‌ی بدون هسته بر حسب ویژگی‌های سیم‌لوله به‌دست آورید.

۷-۵- جریان متناوب

یکی از کاربردهای مهم القای الکترومغناطیسی، تولید جریان متناوب است. دیدیم که برای ایجاد نیروی محرکه‌ی القایی باید شار عبوری از مدار تغییر کند، و شار مغناطیسی‌ای که از یک پیچه می‌گذرد از رابطه‌ی $\Phi = \mu_0 n I A \cos \alpha$ محاسبه می‌شود، که در آن α زاویه‌ی بین نیم خط عمود بر سطح پیچه و میدان مغناطیسی است.

ساده‌ترین راه برای تغییر شار، تغییر زاویه‌ی α است. به همین لحاظ متداول‌ترین روش تولید جریان القایی، تغییر زاویه‌ی α است.

شکل ۵-۱۷ الف پیچهای را نشان می‌دهد که می‌تواند در میدان مغناطیسی یکنواخت حول محور x دوران کند. محور y را منطبق بر راستای میدان مغناطیسی انتخاب کرده‌ایم. شکل‌های ۵-۱۷ ب و پ نشان می‌دهند که چگونه زاویه‌ی α با چرخش پیچه حول محور x تغییر می‌کند.

چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟
 پاسخ: حتی اگر حرکت آهنربا دائمی باشد باز هم نیروی محرکه‌ی القایی مقدار ثابتی ندارد و بین دو مقدار بیشینه‌ی مثبت و منفی تغییر می‌کند و در لحظاتی صفر می‌شود.
 از دانش‌آموزان سؤال می‌کنیم که حرکت دادن رفت و برگشتی آهنربا ساده‌تر است یا دوران آن؟
 پاسخ: دوران دادن آهنربا ساده‌تر است پس برای تولید برق در نیروگاه‌ها با چرخاندن پره‌های توربین می‌توانیم سیم پیچ‌ها را بچرخانیم و تولید نیروی محرکه کنیم و برای چرخاندن پره‌های توربین از روش‌های متعددی مثل ریختن آب روی آن‌ها (در پشت سد) وزش باد (نیروگاه‌های بادی) و یا استفاده از بخار آب پرفشار با دمای بسیار زیاد استفاده می‌شود.
 برای تولید بخار آب از انرژی سوخت فسیلی و یا هسته‌ای استفاده می‌شود (نیروگاه‌های حرارتی)




فعالیت خارج از کلاس

در مورد اساس کار توربین‌ها، انواع آن‌ها و چگونگی تولید برق اطلاعات جمع‌آوری کنید و در کلاس گزارش دهید.



فعالیت ۲۵

هدف: بررسی آهنگ تغییر شار مغناطیسی وقتی قابی در میدان مغناطیسی یکنواخت دوران می‌کند.
 وسایل لازم: سیم مفتول (حداقل به طول 40° تا 50° سانتی‌متر)
 از گروه‌ها می‌خواهیم سیم را به شکل  درآورند و آن را طوری نگه دارند تا خطوط میدان فرضی که به موازات سطح زمین انتخاب شده‌اند بر سطح قاب عمود باشند. (یعنی $\theta = 0^\circ$). در مورد شار عبوری سؤال می‌کنیم. با دوران قاب حول محور آن، میزان تغییرات شار و آهنگ تغییر شار را بررسی و تحلیل کنید.

پاسخ: وقتی قاب بر خطوط عمود قرار می‌گیرد شار عبوری بیشینه است. اگر قاب را با سرعت ثابت دوران دهیم (طوری که زمان لازم برای هر دوران مقدار ثابتی بماند) شار عبوری تغییر می‌کند. چون θ تغییر می‌یابد. اگر قاب با سرعت ثابت بچرخد تغییرات θ با آهنگ ثابت انجام می‌شود اما می‌دانیم حتی اگر آهنگ تغییرات θ یکنواخت باشد $\cos \theta$ با آهنگ ثابتی تغییر نخواهد کرد.

$$\left(\cos 0^\circ = 1, \cos 5^\circ = 0.99 \right. \\ \left. \Delta \cos \theta = -0.01 \text{ و } \Delta \theta = 5^\circ \right)$$

هرگاه قاب 90° دوران کرده باشد شار عبوری از آن صفر خواهد بود. اما در این وضعیت آهنگ تغییر شار بیشینه است.

$$\left(\cos 85^\circ = 0.09, \cos 90^\circ = 0 \right. \\ \left. \Delta \cos \theta = -0.09 \text{ و } \Delta \theta = 90^\circ - 85^\circ = 5^\circ \right)$$

دانش‌آموزان با انجام این آزمایش در می‌یابند که حتی وقتی قاب با سرعت ثابت دوران می‌کند آهنگ تغییر شار ثابت نیست یعنی نیروی محرکه‌ی القایی هم ثابت نخواهد بود و به تبع آن جریان القایی در قاب نیز ثابت نخواهد بود.

فعالیت ۲۶

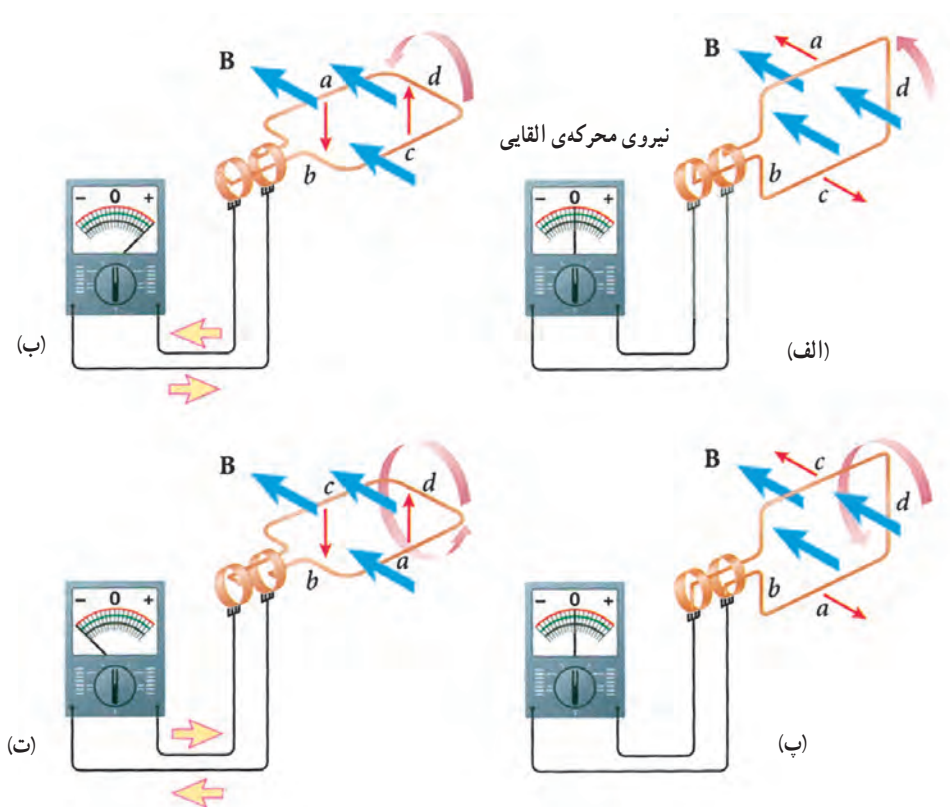


در یک دوران کامل قاب روی مقدار و جهت جریان القایی قاب بحث کنید.
پاسخ: جهت جریان در طول مدتی که میدان از $+B_{\max}$ بر $-B_{\max}$ تغییر می‌کند ثابت است اما مقدار آن متناسب با آهنگ تغییر B است که ثابت نیست.

فعالیت ۲۷



با توجه به شکل‌های زیر در هر مرحله تغییرات شار مغناطیسی و نیروی محرکه‌ی القایی را بررسی کنید.



شکل (۵۸)

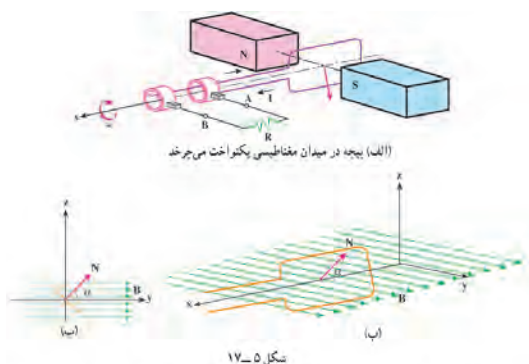
پاسخ: در شکل الف که سطح حلقه بر خط‌های میدان عمود است، با دوران قاب ضلع‌های a و c موازی خط‌های میدان حرکت می‌کنند. هیچ خطی را قطع نمی‌کنند و نیروی محرکه‌ی القایی در آن‌ها صفر است. ضلع‌های b

و d همواره عمود بر خط‌های میدان هستند اما آن‌ها نیز در تمام وضعیت‌ها هیچ خط میدان را قطع نمی‌کنند. بنابراین هیچ‌گاه در آن‌ها نیروی محرکه‌ای القا نمی‌شود. با دوران قاب ضلع‌های a و c طوری قرار می‌گیرند که با حرکت آن‌ها خط‌های میدان قطع می‌شوند (شکل ب) و بر الکترون‌های آزاد در هریک از این سیم‌ها نیرو وارد می‌شود و با جابه‌جاشدن الکترون‌های آزاد در امتداد سیم‌های a و c، نیروی محرکه‌ای در دو سر آن‌ها القا می‌شود. در وضعیت شکل ب که حرکت ضلع‌های a و c عمود بر خط‌های میدان است بیشترین نیروی محرکه القا می‌شود. تا این که قاب ضمن دوران به وضعیت (پ) می‌رسد و باز هم نیروی محرکه‌ی القایی صفر می‌شود. و دوباره در وضعیت (ت) نیروی محرکه‌ی القایی بیشینه می‌شود. اما چون در این حالت جهت حرکت ضلع‌های a و c نسبت به وضعیت (ب) برعکس شده است پس در وضعیت (ت) جهت نیروی محرکه‌ی القایی برعکس وضعیت (ب) است. در هر دوران کامل قاب دو بار نیروی محرکه‌ی القایی به صفر (وضعیت‌های الف و پ) می‌رسد و دو بار نیز بیشینه می‌شود (وضعیت‌های ب و ت) که جهت آن‌ها هم وارون یکدیگر است و به این ترتیب نیروی محرکه‌ی القایی در اثر دوران این قاب متناوباً بین صفر و بیشینه‌های مثبت و منفی تغییر می‌کند.

راهنمای تدریس : با توضیح مختصری راجع به حرکت

یکنواخت دورانی و دوره‌ای بودن آن کمیت‌هایی چون دوره و سرعت زاویه‌ای را تدریس می‌کنیم و از دانش‌آموزان می‌خواهیم با توجه به رابطه‌های شار مغناطیسی و نیروی محرکه‌ی القایی مرحله مرحله جایگزینی‌های لازم را انجام دهند تا به رابطه‌ی زیر برسند.

$$\varepsilon = \frac{NAB\omega \sin \omega t}{\varepsilon_{Men}} = \varepsilon_{Men} \sin \omega t$$



شکل ۱۷-۵

اگر زمان یک دور چرخش بیجه T نایه باشد، بیجه در مدت $\frac{1}{T}$ دور خواهد چرخید. هر دور کامل برابر 2π رادیان است. در نتیجه اگر بیجه در لحظه‌ی $t=0$ در وضعیت عمود بر میدان مغناطیسی (0°) باشد، پس از گذشت t نایه در وضعیت زیر خواهد بود:

$$\text{رادیان } (17-5) \quad \alpha = 2\pi \frac{t}{T}$$

T یعنی زمان چرخش یک دور کامل را «دوره» یا «زمان تناوب» می‌نامند. $\frac{2\pi}{T}$ را با ω نمایش می‌دهند و به آن بسامد زاویه‌ای می‌گویند. در نتیجه داریم:

$$\Phi = AB \cos \alpha \quad (17-5)$$

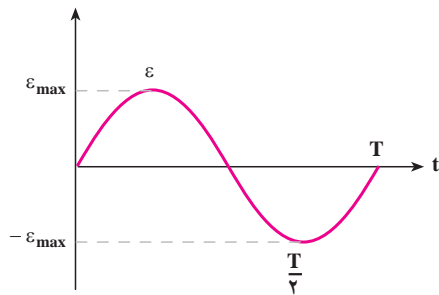
که در لحظه‌ی t از بیجه عبور می‌کند برابر است با:

$$\Phi = AB \cos \omega t$$

نیروی محرکه‌ی القا شده در بیجه به قانون فارادی از رابطه‌ی ۱۳-۵ محاسبه می‌شود:

$$\varepsilon = N \frac{d\Phi}{dt} = NAB \frac{d(\cos \omega t)}{dt} \quad (17-5)$$

فعالیت ۲۸



شکل (۵۹)

نمودار تغییرات نیروی محرکه‌ی القایی برحسب زمان را در بازه‌ی زمانی یک دوره رسم و آن را تحلیل کنید.

پاسخ: می‌دانیم بیش‌ترین مقدار سینوس یک و کم‌ترین مقدار آن منفی یک است و نمودار آن تناوبی. پس داریم:
همان‌طور که انتظار داشتیم نیروی محرکه‌ی القایی که به این روش تولید می‌شود در هر دوره دو بار صفر و دو بار هم بیشینه‌ولی در سوی مخالف هم می‌شود.

(ب)

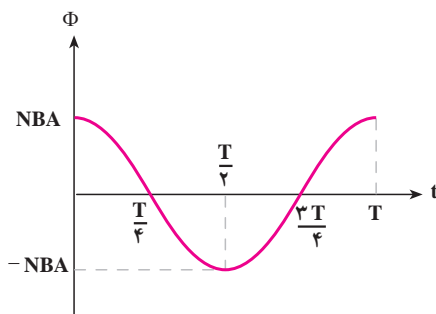
تمرین ۵-۶

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt} = NBA\omega \sin \omega t = \varepsilon_{\max} \sin \omega t$$

پاسخ:

$$\phi = NBA \cos(\omega t)$$

(الف)



شکل (۶۰)

یعنی نیروی محرکه‌ای که در پیچه القا می‌شود با زمان تغییر می‌کند. بیش‌ترین مقدار این نیروی محرکه مربوط به زمانی است که برای آن $\sin \omega t = 1$ باشد و برابر است با $\varepsilon_m = NBA\omega$. در نتیجه می‌توانیم بنویسیم:

$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t \quad (۱۵-۵)$$

این رابطه نشان می‌دهد که نیروی محرکه‌ی القا شده به‌طور دوره‌ای تغییر می‌کند.

تمرین ۵-۷

(الف) نمودار تغییرات شاربی که از مدار پیچه در شکل ۵-۱۷ الف می‌گذرد را برحسب زمان در طول یک دوری چرخش پیچه رسم کنید.
(ب) نمودار تغییرات نیروی محرکه‌ی القا شده در پیچه در شکل ۵-۱۷ الف را برحسب زمان در طول یک دوری چرخش پیچه رسم کنید.

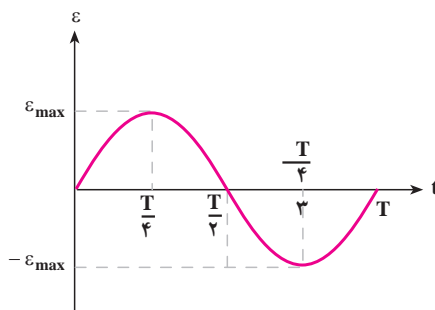
اگر مقاومت مدار برابر R باشد، جریان حاصل از این نیروی محرکه از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

$$i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\varepsilon_m}{R} \sin \omega t \quad (۱۶-۵)$$

این رابطه نشان می‌دهد که جریان نیز با زمان تغییر می‌کند. بیش‌ترین مقدار جریانی که از مدار می‌گذرد، مربوط به زمانی است که $\sin \omega t = 1$ باشد، و برابر است با $i_m = \frac{\varepsilon_m}{R}$. در نتیجه می‌توانیم بنویسیم:

$$i = i_m \sin \omega t \quad (۱۷-۵)$$

رابطه‌ی ۵-۱۷ نشان می‌دهد که جریان الکتریکی تولید شده در مدار پیچه به‌طور سینوسی تغییر می‌کند. به یک چنین جریانی، جریان متناوب می‌گوییم. نمودار تغییرات جریان متناوب در یک دوری کامل در شکل ۵-۱۸ رسم شده است.



شکل (۶۱)

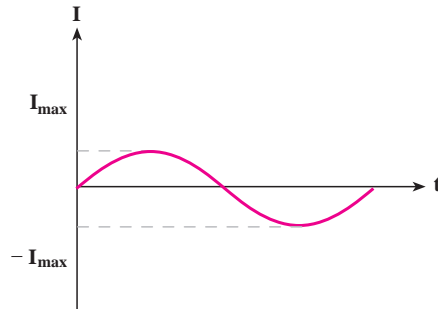
فعالیت ۴-۵

بایست در گروه خود و با استفاده از نمودار شکل ۱۸-۵ جهت جریان متناوب را در هر بازه‌ی زمانی برابر $\frac{1}{4}$ دوره مورد بررسی قرار دهید، و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.

در صنعت برای ایجاد جریان متناوب از مولدهای مخصوصی استفاده می‌شود که به آن‌ها «مولدهای صنعتی جریان متناوب» گفته می‌شود. در مولدهای صنعتی، بیهانه‌ها را ساکن گرفته و آهنربا را در مقابل آن‌ها می‌چرخانند.

در ادامه‌ی این تمرین با استفاده از قانون اهم از دانش‌آموزان می‌خواهیم معادله‌ی جریان القایی را بنویسند و نمودار آن را نیز برحسب زمان رسم کنند.

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\varepsilon_{\max}}{R} \sin \omega t = I_{\max} \sin \omega t$$



شکل (۶۲)

فعالیت ۴-۵

پاسخ: با توجه به نمودار شکل ۱۸-۵ جریان در بازه‌ی زمانی صفر تا $\frac{T}{4}$ مثبت و در بازه‌ی $\frac{T}{4}$ تا T منفی است. یعنی جهت جریان در نیم دوره‌ی اول برعکس جهت آن در نیم دوره‌ی بعدی است.

به همین دلیل جریان برق شهر را متناوب می‌گوییم.



فعالیت خارج از کلاس

تحقیق کنید به جز انرژی آب پشت سد، با دو سوخت فسیلی و هسته‌ای به چه روش‌هایی می‌توان سیم پیچ‌ها و آهنربا را نسبت به هم حرکت داد و برق تولید کرد.

پاسخ تمرین‌های فصل پنجم

۱- جهت جریان در سطح بالایی حلقه ساعتگرد است زیرا سطح بالایی حلقه از دور شدن قطب N جلوگیری می‌کند و S می‌شود.

۲- به علت قانون لنز، هنگام عبور آهنربا از درون حلقه‌های یک پیچه، پیچه با حرکت آن مخالفت می‌کند و سرعت سقوط آهنربا کاهش می‌یابد از این رو، مقدار کمتری در زمین فرو می‌رود.

۳- جهت جریان القایی در میله از C به سمت D است.

۴- خارج کردن پیچه از میدان مغناطیسی یعنی کم شدن شار عبوری از پیچه، جهت جریان القایی در پیچه پادساعتگرد است.

۵- در این مسئله سه مرحله می‌توان در نظر گرفت :

(الف) حلقه در حال وارد شدن به میدان است.

(ب) حلقه در داخل میدان حرکت می‌کند.

(پ) حلقه در حال خارج شدن از میدان است.

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta x_1}{V} = \frac{0.05}{2} = 0.025 \text{ s}$$

(الف)

در مرحله‌ی اول شار از صفر شروع و به مقدار بیشینه می‌رسد.

$$\phi_1 = BA \cos \theta = 0.02 \times (3 \times 10^{-4}) \times 1 = 3 \times 10^{-6} \text{ Wb}$$

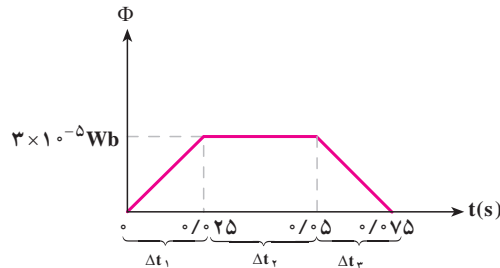
$$\Delta t_2 = \frac{\Delta x_2}{V} = \frac{0.05}{2} = 0.025 \text{ s}$$

$$\phi_2 = 3 \times 10^{-6} \text{ Wb}$$

در مرحله‌ی دوم شار ثابت است.

$$\Delta t_3 = \Delta t_1 = 0.025 \text{ s}$$

در مرحله‌ی سوم شار از مقدار $3 \times 10^{-6} \text{ Wb}$ شروع شده و به مقدار صفر می‌رسد.

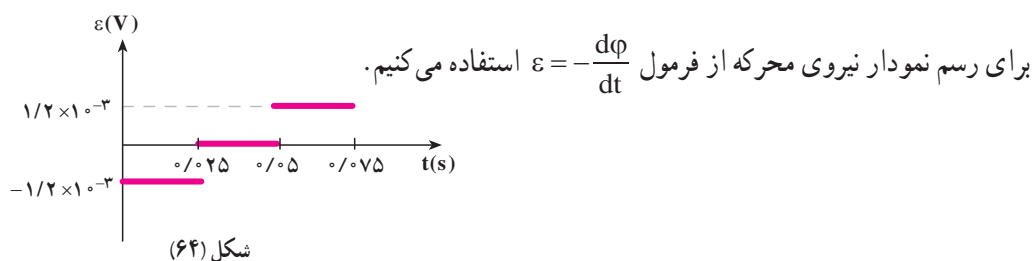


شکل (۶۳)

$$\varepsilon = \left| -\frac{\Delta \phi}{\Delta t} \right| = B l v$$

هنگام وارد شدن به میدان مغناطیسی

$$\varepsilon = 0.02 \times (3 \times 10^{-2}) \times 2 = 1.2 \times 10^{-3} \text{ V}$$



۶- الف) جهت جریان القایی در حلقه ساعتگرد است.

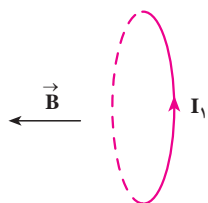
ب) جهت جریان القایی در حلقه ساعتگرد است.

$$\varepsilon = \left| -N \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot A \cdot \cos \theta \right| \quad \text{۷- الف)}$$

$$\varepsilon = \left| -1000 \cdot \frac{-0.04 - 0.04}{0.01} \times 50 \times 10^{-4} \right| = 40 \text{ V}$$

ب) در مرحله‌ی اول اندازه‌ی B به صورت زیر تغییر می‌کند.

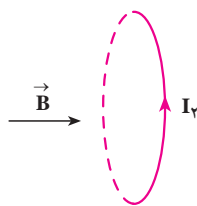
$$0.04 \longrightarrow 0$$



شکل (۶۵)

و جهت جریان طوری است که از کم شدن مقدار میدان مغناطیسی جلوگیری کند.

بنابراین از سمت چپ پادساعتگرد است.



شکل (۶۶)

در مرحله‌ی دوم اندازه‌ی B از صفر به ۰.۰۴ می‌رسد و جهت جریان طوری

است که از زیاد شدن مقدار میدان مغناطیسی جلوگیری می‌کند. بنابراین از سمت چپ،

پادساعتگرد است.

۸- جهت جریان القایی در حلقه، از سمت چپ ساعتگرد است.

$$\overline{\varepsilon} = \left| -NBA \frac{(\cos \theta_2 - \cos \theta_1)}{\Delta t} \right| \quad \text{۹-}$$

$$\overline{\varepsilon} = \left| -1000 \times 0.01 \times 50 \times 10^{-4} \times \frac{\cos 90^\circ - \cos 0^\circ}{0.02} \right|$$

$$\overline{\varepsilon} = 7.5 \times 10^{-3} \text{ V}$$

$$\varepsilon = \left| -\frac{d\varphi}{dt} \right| \Rightarrow \varepsilon = (8t + 3) \times 10^{-3} \quad \text{۱۰-}$$

$$t = 2 \rightarrow \varepsilon = 1.9 \times 10^{-2} \text{ V}$$

۱۱- جهت جریان القایی در حلقه، پاد ساعتگرد است.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{\frac{1}{2}} = 4\pi \quad (۱۲-الف)$$

$$I = I_m \sin \omega t \longrightarrow I = 2 \sin 4\pi t$$

$$\sin 4\pi t = 1 \longrightarrow \begin{cases} 4\pi t = \frac{\pi}{2} \rightarrow t = \frac{1}{8} \text{ s} \\ 4\pi t = \frac{3\pi}{2} \rightarrow t = \frac{3}{8} \text{ s} \end{cases}$$

$$I = 2 \sin(4\pi \times \frac{1}{8}) = \sqrt{2} \text{ A} \quad (ب)$$

۱۳- دینام دارای یک سیم پیچ متحرک است که با پا زدن روی دوچرخه در میدان مغناطیسی ناشی از یک آهنربا حرکت می کند و در آن جریان القایی ایجاد و لامپ های دوچرخه روشن خواهد شد.

۱۴- الف) چرخش میله باعث حرکت آهنربا می شود و شار عبوری از سیم پیچ تغییر می کند و در سیم پیچ و جریان الکتریکی القایی ایجاد می شود و این جریان سبب انحراف عقربه ی ولت سنج می گردد.

ب) بله. افزایش سرعت باد، باعث افزایش سرعت تغییر شار مغناطیسی عبوری از سیم پیچ می شود و نیروی محرکه القایی افزایش می یابد و عددی که ولت سنج نشان می دهد نیز زیاد می شود.

پ) استفاده از سیم پیچ با تعداد دورهای بیشتر، استفاده از آهنربای قوی تر، مناسب است.

