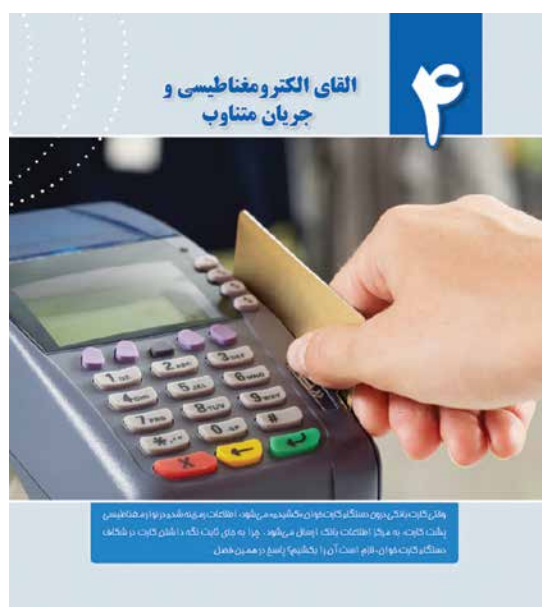


فصل چهارم

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

هدف‌های فصل

- آشنایی با پدیده القای الکترومغناطیسی و کاربردهای آن در زندگی روزمره (مثل تولید جریان متناوب)
- شناخت عامل‌های مؤثر بر اندازه جریان القایی و چگونگی تعیین جهت آن
- آشنایی با اثر خودالقاوری و ضریب خودالقاوری سیملوله.
- آشنایی با پدیده القای متقابل
- آشنایی با جریان متناوب و ویژگی‌های آن
- آشنایی با اساس کار مبدل‌ها و انواع آنها



راهنمای تدریس : ابتدا توجه دانش‌آموزان را به تصویر ورودی فصل و متن زیر آن جلب کنید تا زمینه مناسب برای ورود به فصل فراهم شود.

برای بررسی بیشتر این موضوع، مطابق آزمایش پیشنهادی که در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ آمده است، ابتدا به کمک دانش‌آموزان بررسی کنید که نوار سیاه‌رنگ پشت کارت‌های بانکی، یک نوار مغناطیسی با خاصیت آهنربایی نسبتاً ضعیف است.





در ادامه دانش‌آموزان با جزئیات بیشتری می‌توانند به پرسش زیر تصویر پاسخ دهند و دلیل کشیده شدن کارت بانکی را درون دستگاه کارت‌خوان توضیح دهند.

افزون بر مثال مربوط به کارت‌خوان، می‌توانید به کاربردهای دیگری از پدیده القای الکترومغناطیسی اشاره کنید. مثلاً در فروشگاه‌های بزرگ لباس برای جلوگیری از به سرقت رفتن لباس‌ها امروزه در ورودی فروشگاه دروازه‌هایی تعبیه می‌شود و روی هر یک از لباس‌ها هم یک قطعه فلزی نصب می‌کنند. اگر لباسی که فروشنده قطعه محافظ آن را جدا نکرده باشد از دروازه بگذرد آژیر به صدا درمی‌آید. در ورودی فرودگاه یا مکان‌های مهم امنیتی که می‌خواهند وجود اشیای خاص فلزی مثل انواع اسلحه‌های سرد و گرم را ردیابی کنند به جای بازدید بدنی افراد را از دروازه یک دستگاه آشکارساز فلز عبور می‌دهند. در این‌گونه مواقع از افراد می‌خواهند تا قبل از ورود به دستگاه وسایل فلزی همراه خود را تحویل دهند.

در فصل قبل، با اثر مغناطیسی جریان الکتریکی آشنا شده که در سال ۱۸۲۰ میلادی توسط اورتند کشف شد. در سال ۱۸۳۱ فاراد، پس از آزمایش‌های فراوان، مشاهده کرد که عبور آهنربا از یک پیچ، سبب برقراری جریان الکتریکی در پیچ می‌شود. این اثر که امروزه به قانون القای الکترومغناطیسی فاراد شناخته می‌شود، اساس کار مولدها، ترمه‌ها و ترانس‌های الکتریکی است. در این فصل، پس از آشنایی با این قانون، به چگونگی تولد جریان متناوب خواهیم پرداخت.

۱-۴ پدیده القای الکترومغناطیسی
در این بخش، به بررسی القای نوری، حرکت الکتریکی در یک مدار بسته خواهیم پرداخت. این پدیده را القای الکترومغناطیسی می‌نامند. انجام آزمایش زیر با این پدیده بیشتر آشنا می‌شوید.

آزمایش ۱-۴
هدف: بررسی پدیده القای الکترومغناطیسی.
وسایل: سیم‌های موثره نازک، کلاونومتر، آهنربای میله‌ای، سوسوله با پیچ و سیم رابط.
شرح آزمایش:
۱- در سیم سوسوله را به کلاونومتر ببندید.
۲- یکی از قطب‌های آهنربا را وارد سوسوله کنید تا شکل روبرو مشاهده شود. هنگام انجام این کار، یادداشت کنید.
۳- اکنون آهنربا را از سوسوله خارج کنید. مشاهدات خود را هنگام انجام این کار، یادداشت کنید.
۴- مراحل بالا را برای قطب دیگر آهنربا تکرار کنید.
۵- آزمایش را در حالی انجام دهید که آهنربا ثابت باشد و سوسوله به آن نزدیک یا از آن دور شود. آیا نتیجه آزمایش تغییری می‌کند؟ توضیح دهید.

در سال ۱۸۳۱ میلادی، مایکل فاراد، دانشمند انگلیسی و تقریباً هم‌زمان با او جوزف هنری، دانشمند آمریکایی، با انجام آزمایش‌هایی مشابه آزمایش ۱-۴، دریافته که هنگام دور و نزدیک کردن آهنربا به پیچ، قطعه فلزی کلاونومتر متحرک می‌شود و عبور جریانی را از مدار نشان می‌دهد؛ درست مانند وقتی که در مدار، باتری وجود دارد. شکل ۱-۴۱. این پدیده را القای الکترومغناطیسی و جریان تولد شده را جریان الکتریکی القایی می‌نامند.

شکل ۱-۴۱. فاراد برای بررسی پدیده القای الکترومغناطیسی، به نظر افتاد که آهنربای الکتریکی سوسوله را که به باتری در مدار بسته است، از مدار خارج کرد. فاراد مشاهده کرد که با عبور آهنربا از درون سوسوله و تغییر مدار مغناطیسی بر سطح آن سوسوله، قطعه فلزی متحرک می‌شود.

۱-۴- پدیده القای الکترومغناطیسی

راهنمای تدریس : مطابق الگوی کتاب، ابتدا به کمک آزمایش دانش‌آموزان را با پدیده القای الکترومغناطیسی فاراد آشنا کنید. این آزمایش را به شکل‌های مختلف و با ابزارهای متفاوتی می‌توان انجام داد که تعدادی از این روش‌ها در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های کتاب فیزیک ۲ موجود است و از طریق سایت گروه فیزیک می‌توانید به آنها دسترسی داشته باشید. از آنجا که آهنرباهای دائم به شکل فعلی در اختیار فاراد نبوده، مطابق شکل ۱-۴، وی از آهنربای الکتریکی برای مشاهده و بررسی این پدیده استفاده کرد.

آشکارسازهای فلز در ورودی فرودگاه یا ساختمان های دولتی



در هنگام ورود به یک فرودگاه معمولاً چمدان ها و وسایل را از دستگاه پرتو X عبور می دهیم و خودمان از آشکارساز فلز می گذریم. آشکارسازهای فلز در همه فرودگاه ها معمولاً از نوع PI (Pulse Induction) است. در این نوع آشکارسازها پیچیده هایی از سیم در دو طرف دروازه به عنوان فرستنده و گیرنده گذاشته می شوند که در آنها متناوباً جریان هایی فرستاده می شود. هر تب جریان الکتریکی که تغییرات چند میکروثانیه ای دارد میدان مغناطیسی کوچک و متغیری تولید می کند. تغییر میدان مغناطیسی روی پیچیده مقابل جریان دیگری القا می کند. این جریان القایی را تب بازتابی می نامیم که فقط حدود ۳۰ میکروثانیه دوام دارد. سپس تب بعدی ارسال و این فرآیند دوباره تکرار می شود. در این آشکارسازها معمولاً در هر ثانیه حدود ۱۰۰ تب فرستاده می شود. البته تعداد تب های ارسالی بسته به کارخانه سازنده می تواند از ۲۵ تا ۱۰۰۰ تب در ثانیه باشد.

اگر وسیله ای فلزی در بین دروازه های این آشکارسازها قرار گیرد میدان مغناطیسی متغیر روی آن جریانی القا می کند که سوی آن به گونه ای است که میدان مغناطیسی اولیه را تضعیف کند و تجهیزات الکترونیکی این تغییر میدان را ثبت و مدار آژیر را فعال می کنند. چنانچه یک کلاف سیم برق کشی در اختیار داشته باشید، دوسر کلاف را به یک گالوانومتر حساس یا میلی ولت سنج وصل کنید. در حضور یک میدان مغناطیسی نسبتاً قوی (ایجاد شده توسط آهنربای دائم یا آهنربای الکتریکی) حالت های مختلف شکل ۲-۴ و شکل ۳-۴ (کتاب درسی) را انجام دهید تا دانش آموزان با عوامل متفاوتی که می توانند منجر به ایجاد نیروی محرکه القایی یا جریان القایی به طور عملی آشنا شوند و قانون القای الکترومغناطیسی فاراده را تحقیق کنید.

قانون القای الکترومغناطیسی و تغییر القایی

پس از آن دیدیم که با بستن مدار، میدان در محل سلف، جریان در آن القا می شود. به جز این روش، به روش های دیگری نیز می توان در پیچه یا سلف، جریان الکتریکی القا کرد. اگر مساحت سطحی آهنربا را تغییر دهیم یا آهنربا را درون میدان مغناطیسی بچرخانیم (شکل ۱-۳) یا پیچه ای را درون میدان مغناطیسی بچرخانیم (شکل ۲-۳)، مشاهده می شود که در هنگام انجام این کارها، جریانی در پیچه القا می شود.

۱-۳ شکل تغییر مساحت پیچه در میدان مغناطیسی \vec{B} جریان در پیچه القا می کند.

۲-۳ شکل با چرخاندن پیچه درون میدان مغناطیسی \vec{B} ، در پیچه در میدان مغناطیسی و در پیچه تغییر می کند. این تغییر در جهت القای جریان در پیچه می شود.

۳-۴ قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

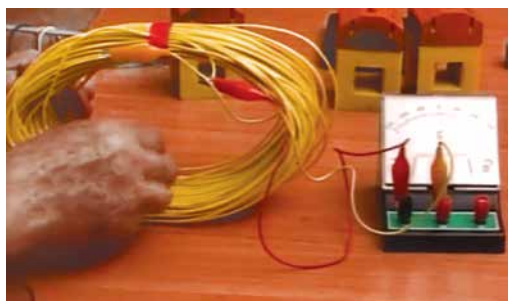
پس از آن دیدیم که با زلاقی شدن مغناطیس، میدان مغناطیسی در محل یک پیچه، تغییر مساحت پیچه در حضور میدان مغناطیسی یا چرخش پیچه درون میدان مغناطیسی، جریان الکتریکی در آن القا می شود. عاقل ایستنی و متفاوت در ایجاد جریان القایی در همه این آزمایش ها، **تغییر شار مغناطیسی** عبوری از پیچه است.

شار مغناطیسی، کمیتی برداری است و برای میدان مغناطیسی بکار می آید که از پیچه ای با مساحت سطح A می گذرد. به صورت زیر تعریف می شود:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos\theta$$

همان طور که در شکل ۳-۴ دیده می شود، θ زاویه بین بردار میدان مغناطیسی و نیم خط عمود بر سطح حلقه است (این نیم خط را به طور خط چین روی شکل نشان داده ایم).

یکای شار مغناطیسی، وبر (Wb) است که با توجه به رابطه $1 \text{ وبر} = 1 \text{ و} \cdot \text{م}^2 = 1 \text{ و} \cdot \text{م}^2 \cdot \text{ا} = 1 \text{ و} \cdot \text{م}^2 \cdot \text{ا}$



۴-۲- قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

راهنمای تدریس: با انجام فعالیت‌های ساده‌ای مطابق شکل‌های الف و ب، می‌توانید دانش‌آموزان را با مفهوم شار و کمیت‌های وابسته به آن آشنا کنید.

نیم‌خط عمودی از این سطح نیز به انتخاب این جهت بستگی دارد. برای مثال، در شکل ۴-۳، نیم‌خط عمود را در طرفی از سطح رسم کرده‌ایم که زاویه بین آن و جهت میدان \vec{B} کمتر از 90° است و در نتیجه شار عبوری از سطح مثبت می‌شود. اگر نیم‌خط عمود را در طرف دیگر سطح انتخاب کنیم، در این صورت زاویه آن با جهت میدان \vec{B} بیشتر از 90° خواهد شد و شار عبوری از سطح منفی می‌شود. هر دو انتخاب به یک اندازه مفید، ولی در حل یک مسئله، همواره باید یکی را انتخاب کنیم و با بقیه آن را غیر تغییر.

الف) مطابق شکل الف، سطح حلقه رسانایی، به شکل مربع با ضلع 10 cm ، عمود بر میدان مغناطیسی یکجانبه به بزرگی 15 T قرار دارد. شار عبوری از این حلقه را بدست آورید.
ب) اگر حلقه را چرخانیم به طوری که سطح حلقه موازی با خط‌های میدان مغناطیسی شود، شار مغناطیسی عبوری از آن چقدر می‌شود؟
ج) شار مغناطیسی عبوری از حلقه را وقتی از وضعیت شکل الف به وضعیت شکل ب می‌برید بدست آورید. شار آن تغییر شار مغناطیسی در بازه زمانی 0.1 s را بداد. باید آنگاه تغییر شار $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ را بداد کنید.

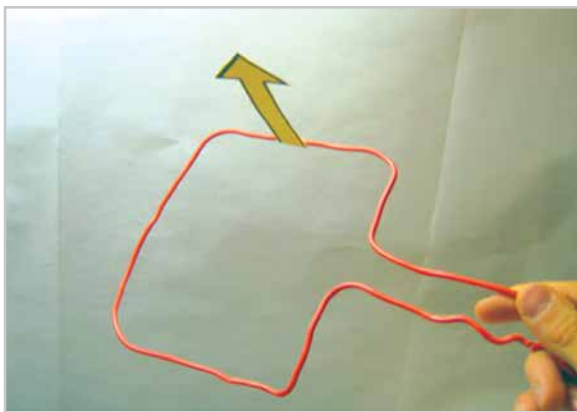
ب) شار (الف) وقتی مطابق شکل الف، سطح حلقه عمود بر خط‌های میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، زاویه بین میدان \vec{B} و نیم‌خط عمود بر سطح حلقه برابر صفر می‌شود. به این ترتیب، شار عبوری از سطح حلقه برابر است با:

$$A = 10 \times 10 = 100 \text{ cm}^2 = 10^{-2} \text{ m}^2 \quad B = 15 \text{ T} \quad \Phi = B \cdot A \cdot \cos(0^\circ) = 15 \times 10^{-2} = 1.5 \text{ Wb}$$

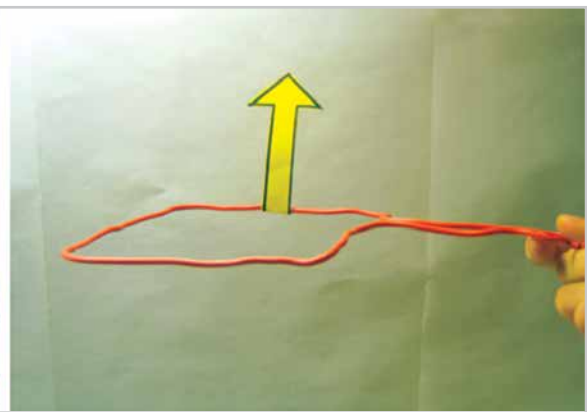
ج) شار مغناطیسی عبوری از حلقه، به حلقه موازی با خط‌های میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد. زاویه بین میدان \vec{B} و نیم‌خط عمود بر سطح حلقه برابر 90° می‌شود. از آنجا که $\cos 90^\circ = 0$ است، در این شرایط، هیچ شاری از سطح حلقه عبور نمی‌کند. میدان‌طور که دیدیم شار عبوری از سطح حلقه در وضعیت شکل الف و وضعیت شکل ب به ترتیب برابر $\Phi_1 = 1.5 \text{ Wb}$ و $\Phi_2 = 0$ است. به این ترتیب، تغییر شار عبوری از سطح حلقه برابر $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = 0 - 1.5 = -1.5 \text{ Wb}$ می‌شود. علامت منفی نشان می‌دهد در حین چرخش حلقه از وضعیت شکل الف به وضعیت شکل ب، شار مغناطیسی عبوری از سطح آن کاهش یافته است. لذا با توجه به نتیجه قسمت ب، آنگاه تغییر شار $\Delta\Phi = -1.5 \text{ Wb}$ برابر است با:

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{-1.5 \text{ Wb}}{0.1 \text{ s}} = -15 \text{ Wb/s}$$

در شکل الف، سطح حلقه بر جریان آب خروجی عمود است، در شکل ب نیم‌خط عمود بر سطح حلقه با امتداد جریان آب، زاویه می‌سازد و در شکل پ از دو حلقه با سطح متفاوت استفاده شده است. همان‌طور که در «قسمت توجه» نیز اشاره شده است برای رسم نیم‌خط عمود بر یک سطح دو جهت وجود دارد که انتخاب هر کدام به یک اندازه مفید است ولی در حل یک مسئله، همواره باید به انتخاب یک جهت پایبند باشیم. شکل زیر می‌تواند درک خوبی از نیم‌خط عمود بر سطح حلقه برای دانش‌آموزان فراهم کند.



(ب)



(الف)

تمرین ۱-۴ الف

الهام حلقه‌ای به مساحت 250cm^2 درون میدان مغناطیسی یکواخت درون سویی به اندازه 0.33A قرار داده شکل الف را مشاهده کنید. شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید. آیا اگر سطح شکل بی و بدون تغییر \vec{B} ، مساحت سطح حلقه را به 100cm^2 برسانید، شار مغناطیسی عبوری از حلقه را در این وضعیت به دست آورید. آیا اگر این تغییر شار در بازه زمانی 0.25s رخ داده باشد، آهنگ تغییر شار $(\Delta\Phi/\Delta t)$ را پیدا کنید.

پرسش ۱-۴

کدام یک از یکای زیر معادل یکای وولت بر ثانیه (Wb/s) است؟

A V W VA

اکنون که با تعریف و مفهوم شار مغناطیسی آشنا شدید دوباره بنگاه می‌کنیم به پدیده القای الکترومغناطیسی که در بخش قبل بررسی کردیم. همانطور که گفتیم عامل مشترک در تمامی پدیده‌هایی که منجر به تولد جریان القایی در مدار می‌شود، تغییر شار مغناطیسی عبوری از پیچ یا مسووله است. بنابراین فرایند، هرگاه شار مغناطیسی‌ای که از مدار مسدود می‌گردد تغییر کند، نیروی محرک‌ای در آن القا می‌شود که نوبتی آن با آهنگ تغییر شار مغناطیسی متناسب است؛ حتی هرچه آهنگ تغییر شار مغناطیسی بیشتر باشد، نیروی محرک‌القایی و در نتیجه جریان القایی تولد شده در مدار بیشتر خواهد بود. مثلاً در آزمایش‌های مربوط به شکل‌های ۳-۲ و ۳-۱ هرچه حرکتی که سیم تغییر شار مغناطیسی می‌شود، سریع‌تر انجام شود، عمده‌ی القاوتولدت بیشتر متصرف می‌شود و این نشان می‌دهد که جریان القایی بزرگ‌تری بوجود آمده است.

قانون فارادی پیچ با مسووله‌ای که از آن دور شده تشکیل شده باشد با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (3-4)$$

در این رابطه که نیروی محرک‌القایی متوسط و ولت $\Delta\Phi/\Delta t$ آهنگ تغییر شار مغناطیسی و محسوب وولت بر ثانیه (Wb/s) است. اگر مقاومت پیچ یا مسووله برابر R باشد، جریان القایی متوسط در آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} \quad (3-5)$$

همانطور که از رابطه ۳-۲ دیده می‌شود، هرچه مقاومت پیچ یا مدار که در آن شار مغناطیسی تغییر می‌کند، بیشتر باشد، جریان کوچک‌تری در آن القا می‌شود.

تمرین ۳-۲

پیچ‌ای شامل ۲۰۰ دور که مساحت هر حلقه‌آن 250cm^2 است، مطابق شکل زیر در معرض تغییرات یک آهن‌ربای الکتریکی قرار گرفته است که میدان مغناطیسی یکواخت تولد می‌کند. سطح‌های میدان را سطح پیچ می‌فهمند. اگر اندازه میدان در بازه زمانی 0.05s از 1T به 0.8T افزایش یابد.

الف) نیروی محرک‌القایی متوسط ایجاد شده در پیچ چقدر است؟
 ب) آیا این مقاومت پیچ 10Ω باشد، جریان القایی متوسط که از پیچ می‌گذرد چقدر است؟
 پاسخ: الف) شار مغناطیسی متوسط در سطح حلقه‌های پیچ را محاسبه کنید. ب) پیچ به داده‌های مسئله ابریز:

$N = 200$ دور $A = 250\text{cm}^2$ $\Phi_1 = 1\text{T} \times 250 \times 10^{-4}\text{m}^2 = 2.5 \times 10^{-2}\text{Wb}$
 $\Phi_2 = 0.8\text{T} \times 250 \times 10^{-4}\text{m}^2 = 2 \times 10^{-2}\text{Wb}$
 $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = (2 \times 10^{-2} - 2.5 \times 10^{-2})\text{Wb} = -0.5 \times 10^{-2}\text{Wb}$
 به این ترتیب، تغییر شار مغناطیسی برابر است با:

$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = (2 \times 10^{-2} - 2.5 \times 10^{-2})\text{Wb} = -0.5 \times 10^{-2}\text{Wb}$
 با قرار دادن این مقدار و داده‌های بالا در رابطه ۳-۴ داریم:

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -200 \times \frac{-0.5 \times 10^{-2}\text{Wb}}{0.05\text{s}} = 2\text{V}$$

پس با توجه به رابطه ۳-۵، جریان القایی متوسط در پیچ برابر است با:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{2\text{V}}{10\Omega} = 0.2\text{A}$$

۳-۳ مثال

تغییرات شار مغناطیسی که از یک حلقه می‌گذرد و محسوب زمان در نمودار شکل الف نشان داده شده است. نمودار نیروی محرک‌القایی در حلقه را بر حسب زمان در هر یک از بازه‌های زمانی $(0, 1)$ ، $(1, 2)$ ، $(2, 3)$ و $(3, 4)$ رسم کنید.

پاسخ: همان‌طور که در نمودار شار مغناطیسی و محسوب زمان دیده می‌شود، مقدار لحظه‌ای آهنگ تغییر شار با مقدار متوسط آن برابر است. به این ترتیب، در تمامی لحظات این بازه زمانی، نیروی محرک‌القایی با نیروی محرک‌القایی متوسط برابر است.

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -1 \times \frac{(1 - 0)\text{Wb}}{1\text{s}} = -1\text{V}$$

در بازه زمانی $1 \leq t \leq 2$ شار ثابت مانده است. در نتیجه نیروی محرک‌القایی در تمامی لحظات این بازه زمانی برابر صفر است. در بازه زمانی $2 \leq t \leq 3$ شار به صورت خطی کاهش یافته و برآیند صفر شده است. بنابراین سیمه آنچه در مورد بازه زمانی صفر تا 1 گفتیم، نیروی محرک‌القایی در تمام لحظات این بازه با مقدار متوسط نیروی محرک‌القایی در این بازه زمانی برابر و مساوی 1V است. نمودار نیروی محرک‌القایی و محسوب زمان در شکل ب رسم شده است.

تمرین ۱-۴ الف

$$A_1 = 25\text{cm}^2 = 2/5 \times 10^{-2}\text{m}^2$$

$$B = 0.3\text{T}, \Phi_1 = ?, \theta = 0$$

$$\Phi_1 = BA_1 \cos\theta$$

$$= (0.3\text{T})(2/5 \times 10^{-2}\text{m}^2) \cos 0^\circ$$

$$= 7/5 \times 10^{-3}\text{Wb}$$

ب)

$$A_2 = 1/5 \times 10^{-2}\text{m}^2, \Phi_2 = ?$$

$$\Phi_2 = BA_2 \cos\theta = 3/5 \times 10^{-3}\text{Wb}$$

ب)

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{(3/5 - 7/5) \times 10^{-3}\text{Wb}}{0.2\text{s}} = -2/25 \times 10^{-3}\text{Wb/s}$$

پرسش ۱-۴

هدف از این پرسش این است که قبل از معرفی رابطه قانون القای فاراده، دانش آموزان با یکای آهنگ تغییرات شار (Wb/s) که از جنس نیروی محرک‌الکتريکی است (با یکای ولت) آشنا شوند.

تمرین ۲-۴

$$\Delta t = 0.04 \text{ s}, A = 100 \text{ cm}^2$$

$$B_1 = 0.28 \text{ T} \text{ رو به بالا}$$

$$B_2 = 0.17 \text{ T} \text{ رو به پایین}$$

(جهت بالا را مثبت فرض کرده ایم.)

(الف)

$$\bar{\mathcal{E}} = ?$$

$$\bar{\mathcal{E}} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

تغییرات شار ناشی از تغییرات جهت و اندازه میدان است.

به این ترتیب

$$\Phi_1 = B_1 A \cos \theta_1 = (0.28 \text{ T})(100 \text{ m}^2) \cos 0^\circ = 28 \text{ Wb}$$

$$\Phi_2 = B_2 A \cos \theta_2 = (0.17 \text{ T})(100 \text{ m}^2) \cos 180^\circ = -17 \text{ Wb}$$

$$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -17 \text{ Wb} - 28 \text{ Wb} = -45 \text{ Wb}$$

$$\bar{\mathcal{E}} = -\frac{(-45 \text{ Wb})}{0.04 \text{ s}} = 1125 \text{ V}$$

(ب)

$$I = |\bar{\mathcal{E}}|/R = (1125 \text{ V})/(10 \Omega) = 112.5 \text{ A} = 112.5 \text{ mA}$$

مثال ۳-۴

شکل روبرو، رسانای U شکلی را درون میدان مغناطیسی یکسان \vec{B} به اندازه 0.18 T نشان می‌دهد. میدان \vec{B} عمود بر صفحه شکل و رو به بیرون است. میله‌ای فلزی 10 cm طولی را به طول رسانای U وصل می‌کنیم و آن را در جهت راست و معادلی با شکل می‌دهیم. میله را با تندی ثابت 0.2 m/s به طرف راست حرکت می‌دهیم. بزرگی نیروی محرکه القایی متوسط را پیدا کنید.

پاسخ: با حرکت میله فلزی و به دلیل افزایش سطح حلقه، شار مغناطیسی تغییر می‌کند. میدان مغناطیسی در سطح حلقه یکسان است. پس شار مغناطیسی را از رابطه $\Phi = BA \cos \theta$ محاسبه می‌کنیم. جهت عمود و سطح حلقه را حسب \vec{B} می‌گیریم. بزرگی زاویه نیمه عمود با میدان \vec{B} صفر است (0°) و در نتیجه $\Phi = BA$. از قانون القای فارادی داریم:

$$\bar{\mathcal{E}} = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta(BA)}{\Delta t} = -B \frac{\Delta A}{\Delta t}$$

روای محاسبه ΔA آنست که توجه کنید که میله فلزی 10 cm در مدت Δt مسافت $v \Delta t$ را طی می‌کند. شکل روبروی و سطح حلقه به مقدار $\Delta A = l \Delta x$ افزایش می‌یابد. به این ترتیب، نیروی محرکه القای متوسط را می‌توانیم با:

$$\bar{\mathcal{E}} = -B \frac{\Delta A}{\Delta t} = -Blv$$

با قرار دادن مقادیر داده شده، در رابطه بالا داریم:

$$\bar{\mathcal{E}} = -(0.18 \text{ T})(0.10 \text{ m})(0.2 \text{ m/s}) = -0.036 \text{ V}$$

و بزرگی آن برابر است با:

$$|\bar{\mathcal{E}}| = 0.036 \text{ V}$$

توجه کنید که به علت مثبت بودن تندی میله فلزی، نیروی محرکه القایی مثبت است. در این حالت، رسانای U شکل با سهم لغزنده، یک موثر جریان مستقیم است.

تمرین ۳-۴

میدان مغناطیسی بین قطب‌های آهنربای الکتریکی شکل روبرو که در سطح عمود عمود است با زمان تغییر می‌کند و در مدت 0.04 s از 0.18 T رو به بالا، به 0.17 T رو به پایین می‌رسد. در این حالت:

(الف) بزرگی نیروی محرکه القایی متوسط در حلقه را بدست آورید.

(ب) آیا اگر مقاومت حلقه 10Ω باشد، جریان القایی متوسط در حلقه را پیدا کنید.

پرسش ۲-۴

دانش‌آموزان با توجه به آشنایی با پدیده القای الکترومغناطیسی فاراده به سادگی می‌توانند به این پرسش پاسخ دهند. با هر بار عبور آهنربا از جلوی پیچه، جریانی در آن القا می‌شود. تندرسنج با شمارش تعداد تیپ‌های جریان در واحد زمان، تندی دوچرخه را گزارش می‌دهد.

تندی سنج در پیچته‌های مسیله‌ای شامل یک آهنربای کوچک و یک پیچه است. آهنربا به یکی از ودهای چرخ محور و پیچه به دو شاخ فرمان متصل است. شکل روی‌رو. دو سر پیچه با سیم‌های رسانا به نمایشگر تندی‌سنج که در واقع نوعی رایانه کوچک است وصل شده است. به نظر شما تندی‌سنج در پیچته چگونه کار می‌کند؟ این موضوع را در گروه خود به گفتگو بگذارید و نتیجه را به کلاس درس ارائه دهید.

فشاری و کثرت

کارت‌های انباری و دستگاه‌های کارت‌خوان
تواری مغناطیسی پشت کارت‌های انباری دارای تعداد بسیار زیادی ذره فرود مغناطیسی است که نوعی جیب خاص آنها را به هم متصل می‌کند. داده‌ها را که بصورت دودویی، با خطوط یک به رمز در آورده‌اند. در تواری مغناطیسی پشت کارت‌خوان می‌تواند شکل القای واقعی کارت انباری درون دستگاه کارت‌خوان کشیده می‌شود. میدان مغناطیسی ناشی از تواری مغناطیسی روی پیچه قرار داده شده در دستگاه کارت‌خوان اثر می‌گذارد و جریان القایی را در پیچه القا می‌کند شکل بعداً. این جریان بسیار کوچک توسط دستگاه دیگری قوت و داده‌های ذخیره شده در تواری مغناطیسی پشت کارت، رمزگشایی می‌شود. پس از رمزگشایی داده‌ها دستور مورد نظر انجام می‌شود.

سهام‌نامه تنظیم حد تندی خودرو^۱
در بسیاری از خودروهای امروزی، سامانه‌ای وجود دارد که به کمک آن می‌توان تندی خودرو را روی مقدار دلخواهی تنظیم کرد. در این وضعیت، بدون آنکه لازم باشد راننده بای خود را روی پدال گاز قرار دهد، خودرو با تندی تعیین شده به حرکتش ادامه می‌دهد. اساس کار این سامانه، جریان القایی است. وقتی محور محرک خودرو می‌چرخد آهنربایی که روی آن قرار دارد، شار مغناطیسی متغیری را از پیچه می‌گذراند و چرخش در آن القا می‌کند.
دوره‌های القای را با تعداد نیمه‌های جریان را در هر نوبت می‌شمارد و به این روش تندی خودرو را اندازه می‌گیرد. سپس با مغناطیسی تندی انبارگری شده با تندی تنظیم شده توسط راننده، سوخت مورد نیاز را به موتور تزریق می‌کند. با هنگامی که راننده ترمز نکند، حرکت خودرو با تندی تعیین شده توسط این سامانه تنظیم می‌شود.

دانستنی برای معلم

نمایشگر SIDS

مراقبت از کودکان بیمار کاری بس دشوار است. سندروم مرگ ناگهانی کودک^۱ نوعی بیماری است که در آن در هنگام خواب کودک تنفس او بدون هیچ دلیل آشکاری قطع می‌شود. یکی از وسایل اعلام خطر در این موارد مانند شکل زیر از دو پیچه تشکیل شده است که با سینه کودک تماس دارند. یکی از پیچه‌ها حامل جریان متناوب است و میدان مغناطیسی متغیر حاصل از آن از پیچه گیرنده در طرف دیگر سینه می‌گذرد.
بالا و پایین رفتن سینه در اثر تنفس یا هر حرکت دیگری مقدار جریان القایی در پیچه گیرنده را تغییر می‌دهد که این تغییرات را نمایشگری نشان می‌دهد. حال اگر تنفس قطع شود و تغییرات جریان به دستگاه ثبت نرسد، دستگاه طوری تنظیم شده است که با تولید صوت اعلام خطر کند.



^۱ Sudden Infant Death Syndrome

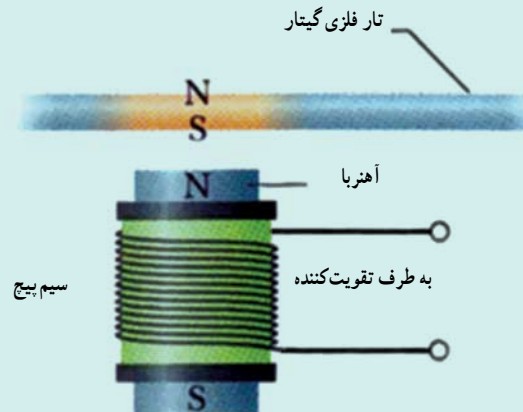
گیتار الکتریکی

صدای یک گیتار آکوستیکی ناشی از نوسان تارهای آن و تشدید صوت در بدنه توخالی آن است. در حالی که در گیتار الکتریکی این اتفاق رخ نمی‌دهد. در گیتار الکتریکی نوسان تارهای فلزی به سیگنال الکتریکی تبدیل شده و توسط یک مدار الکتریکی تقویت می‌شود. سپس سیگنال تقویت شده به بلندگوها فرستاده می‌شود.

اساس کار در گیتار الکتریکی به این صورت است که سیم پیچی به دور یک هسته مغناطیسی پیچیده شده است. این مجموعه در مجاورت تار گیتار قرار می‌گیرد. میدان مغناطیسی آهنربا در بخشی از تار فلزی واقع در بالای آهنربا یک قطب شمال و یک قطب جنوب به وجود می‌آورد. پس، این بخش از تار نیز خود دارای میدان مغناطیسی می‌شود. وقتی به تار آن زخمه زده می‌شود و آن را به نوسان در می‌آورد حرکت تار نسبت به پیچه سبب تغییر شار میدان مغناطیسی عبوری از پیچه و القای جریان می‌شود. هنگام ارتعاش تار و دور و نزدیک شدن آن به پیچه جهت جریان القایی با همان بسامد نوسان تار تغییر می‌کند و سیگنالی با این بسامد به تقویت کننده و بلندگو منتقل می‌کند.

می‌توان این پرسش را مطرح کرد.

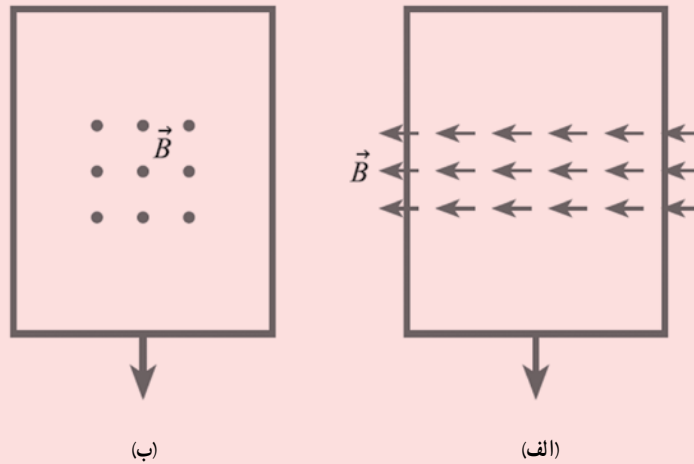
پرسش : به نظر شما تغییر کدام کمیت در گیتار الکتریکی جریان الکتریکی القایی را به وجود می‌آورد؟



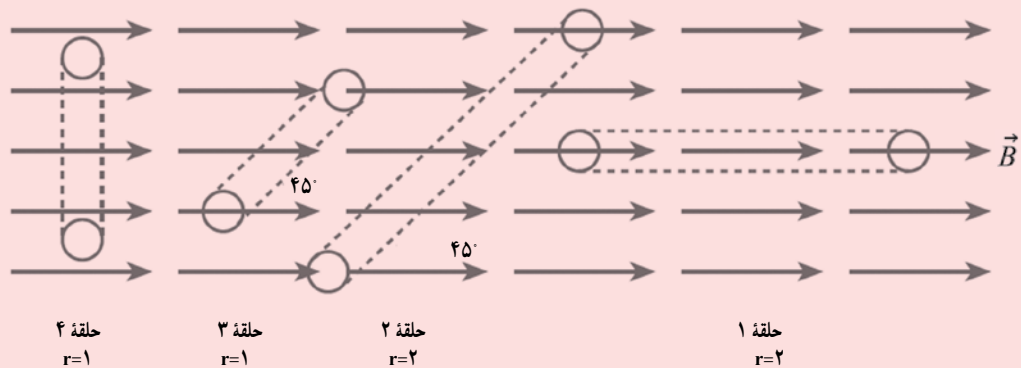
پاسخ : تغییر اندازه بردار مغناطیسی چون با تکان‌های سیم گیتار، مقدار بردار در مکان‌های مختلف فرق می‌کند.

پرسش‌های پیشنهادی بخش‌های ۱-۴ و ۲-۴

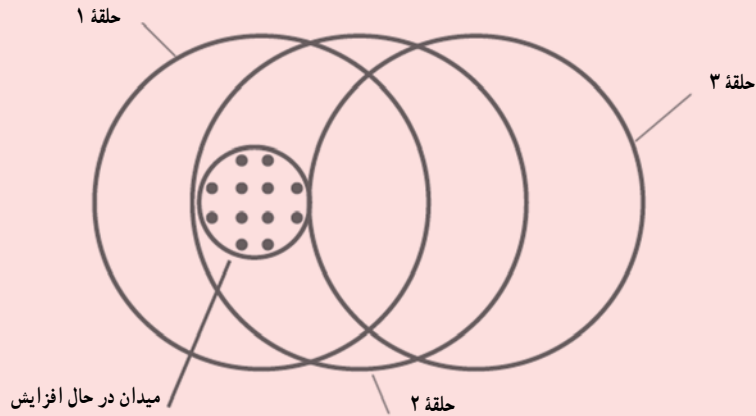
۱ در شکل‌های الف و ب دو حلقهٔ رسانا در جهت نشان داده شده و با وجود میدان مغناطیسی یکنواختی کشیده می‌شوند. در کدام حالت جریان القایی در حلقه ایجاد می‌شود؟ توضیح دهید.



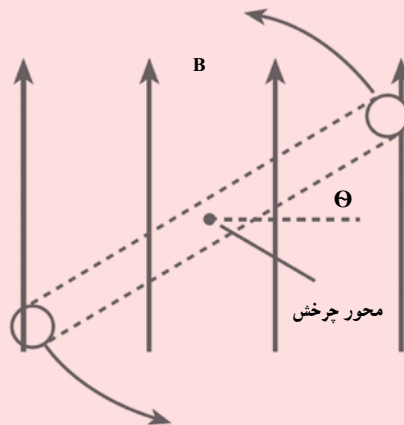
۲ شکل زیر چهار حلقهٔ دایره‌ای را عمود بر صفحه کاغذ و با وجود میدان مغناطیسی یکنواختی نشان می‌دهد. شعاع حلقه‌های ۱ و ۲ دو برابر حلقه‌های ۳ و ۴ است. شار عبوری از هر حلقه را از بیشترین تا کمترین مقدار به ترتیب بنویسید.



۳ سه حلقهٔ رسانای مشابه مطابق شکل زیر نسبت به هم قرار دارند و میدان مغناطیسی در حال افزایشی در ناحیهٔ نشان داده شده وجود دارد. حلقه‌ها را به ترتیب از بیشترین تا کمترین نیروی محرکهٔ القایی ایجاد شده در آنها بنویسید.



۴ یک حلقهٔ دایره‌ای با سرعت ثابت حول محوری که از مرکز آن می‌گذرد، مطابق شکل زیر از زاویهٔ صفر تا 360° درجه می‌چرخد. این حلقه عمود بر صفحهٔ کاغذ است و میدان مغناطیسی یکنواختی به طرف بالا وجود دارد.
 الف) در چه زاویه یا زاویه‌هایی شار عبوری از حلقه بیشینه است؟
 ب) در چه زاویه یا زاویه‌هایی شار عبوری از حلقه کمینه است؟



۴-۳- قانون لنز

راهنمای تدریس : قانون لنز هرچند بیان ساده و روشنی دارد با این وجود بررسی‌های مختلف نشان داده است که دانش‌آموزان در کاربرد آن و تعیین جهت جریان القایی در یک مولد معمولاً دچار اشتباه می‌شوند.

در کتاب‌های درسی از دو رهیافت نزدیک به هم برای بیان این قانون و چگونگی تعیین جهت جریان القایی استفاده می‌شود که یک رهیافت آن در شکل ۴-۵ آمده است.

رهیافت دیگر، که در ادامه توضیح داده شده است نیز به همان اندازه رهیافت کتاب مفید است. مطابق رهیافت دوم، وقتی آهنربایی مثلاً با قطب N به حلقه‌ای رسانا نزدیک می‌شود، سمتی از حلقه که روبه‌روی آهنرباست، مانند قطبی همنام با آهنربا رفتار می‌کند و می‌خواهد با نزدیک شدن آهنربا مخالفت کند (شکل الف). همچنین هنگام دور شدن آهنربا از حلقه، سمتی از حلقه که روبه‌روی آهنرباست، مانند قطبی ناهمنام با آهنربا رفتار می‌کند و می‌خواهد با دور شدن آهنربا از حلقه مخالفت کند (شکل ب).

عنوان: آزمایش مشاهده جریان القایی با آهنربای متحرک (۱۸۳۱ میلادی)

راگنر اشمید (مخترک) مغناطیسی فرا جیمینی (TMS) ردیف برای روسی هنگامی که در این روش، پدیده‌ای روی سر شخص بسیار قرار داده می‌شود که جریان الکتریکی مغزی از آن می‌گذرد و در نتیجه میدان مغناطیسی مغزی تولید می‌کند. این میدان مغناطیسی، سبب ایجاد توی مغز حرکت القایی و جریان القایی در ناحیه‌ای از مغز می‌شود که در نتیجه قرار دارد. پزشک با مشاهده واکنش مغز (مثلاً اینکه کدام عضله‌ها به علت واکنش بخش خاصی از مغز حرکت می‌کنند) می‌تواند شرایط نصب دستگاه مغناطیسی را بیازماید.

۳-۴ قانون لنز

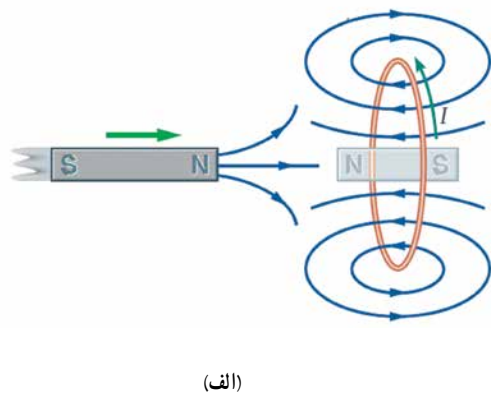
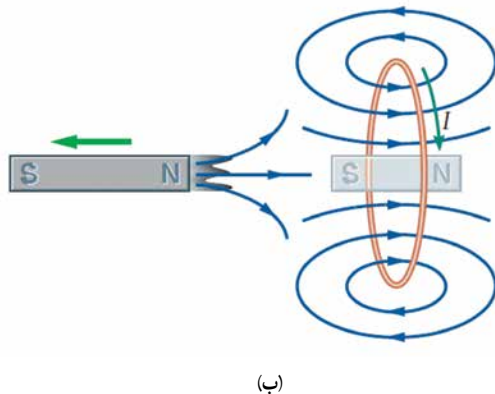
مدت کوتاهی پس از آنکه فرادان قانون القایی الکترومغناطیسی را ارائه کرد، هاینریش لیزر، دانشمند روس تبار، در سال ۱۸۴۴ میلادی روشی را برای تعیین جهت جریان القایی در یک پدیده یا در هر مدار بسته دیگری پیشنهاد کرد. این روش که بعدها به قانون لنز شهرت یافت، مابقی از آن است که: **جریان حاصل از توی مغز حرکت القایی در یک مدار یا پدیده در جهتی است که اثر مغناطیسی ناشی از آن را با عاملی به وجود آورده جریان القایی، یعنی عبور شار مغناطیسی، مخالفت می‌کند.**

علاصت مغزی در رابطه ۳-۴ نشان دهنده همین مخالفت است. توضیح دقیق‌تر این مطلب فراتر از سطح این کتاب است. در اینجا تنها به ذکر مثال‌های از چگونگی استفاده از قانون لنز برای تعیین جهت جریان القایی اکتفا می‌کنیم.

شکل ۳-۴ آهنربای را نشان می‌دهد که قطب N آن در حال نزدیک شدن به یک حلقه رساناست. در این وضعیت اندازه Φ در محل حلقه افزایش می‌یابد و در نتیجه شار گذرنده از حلقه زیاد می‌شود. بنا به قانون لنز، جهت جریان القایی ایجاد شده در حلقه چنان است که میدان مغناطیسی ناشی از آن با افزایش شار مخالفت کند. بنابراین، میدان مغناطیسی حلقه در خلاف سوی میدان مغناطیسی آهنربا می‌شود. با توجه به فاصله دست راست و از روی جهت میدان مغناطیسی حلقه، جهت جریان در حلقه تعیین می‌شود. همچنین اگر مطابق شکل ۳-۵ ب، قطب N آهنربا را از حلقه برداریم، جهت جریان القایی در جهت معکوس خواهد بود که میدان مغناطیسی تولید شده توسط حلقه، همسر با میدان آهنربا می‌شود و به این ترتیب با کاهش شار مغزی از حلقه، مخالفت می‌کند.

توجه: اگر آهنربای متحرک را در حلقه قرار دهیم و آهنربا را به سمت چپ یا راست حرکت دهیم، جهت جریان القایی در حلقه تغییر می‌کند. جهت مغناطیسی حلقه در جهت مخالف جهت حرکت آهنربا خواهد بود. جهت مغناطیسی حلقه در جهت مخالف جهت حرکت آهنربا خواهد بود.

۱۱۷



همان‌طور که دیده می‌شود، رهیافت کتاب مبتنی بر مخالفت با تغییر شار است، درحالی‌که رهیافت دوم مبتنی بر مخالفت با حرکت آهنرباست.

لازم است دانش‌آموزان توجه کنند که قانون لنز برای مدارهای بسته‌ای که به هر دلیل در آنها جریان القا می‌شود کاربرد دارد

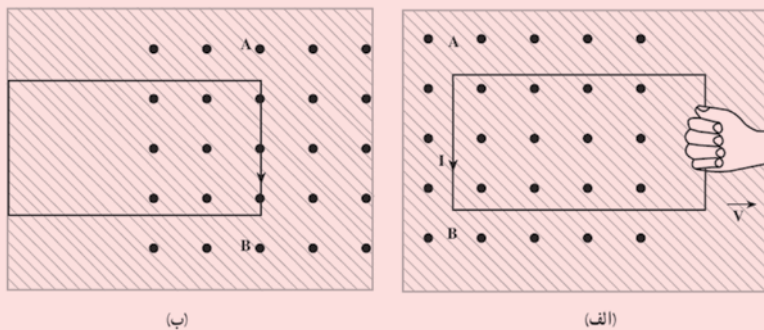
(شکل الف)، در حالی که اگر مدار بسته نباشد، مشابه (حلقه ناکامل) شکل ب، نه جریانی در مدار القا می‌شود و نه می‌توان از قانون لنز برای تعیین جهت آن استفاده کرد.



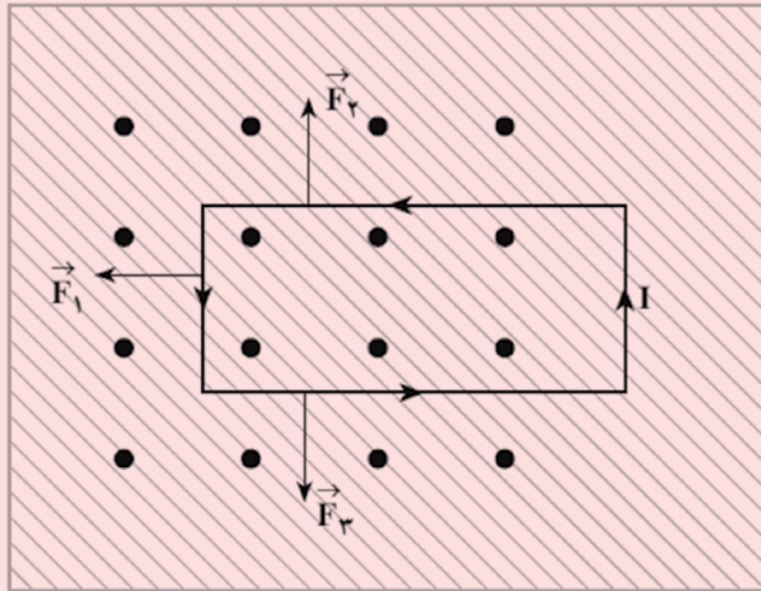
دانستنی برای معلم

بررسی میکروسکوپی قانون لنز با استفاده از قانون پایستگی انرژی

یک حلقه مستطیل شکل را که در صفحه‌ای عمود بر میدان مغناطیسی یکنواخت B (شکل زیر) قرار دارد، در نظر بگیرید و فرض کنید که شخصی این حلقه را از چپ به راست می‌کشد. اگر مسئله را از دید یک ناظر بیرونی (مثلاً سوار بر آهنربا) بررسی کنیم، متوجه می‌شویم که از دید این ناظر، بر حامل‌های بار مثبت، نیرویی طبق رابطه $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$ وارد می‌شود. از قاعده دست راست در می‌یابیم که امتداد اثر این نیرو در شاخه AB رو به پایین است. از آنجا که جهت قراردادی جریان، جهت حرکت بارهای مثبت فرضی است پس با کشیدن حلقه به سمت راست، جریانی پاد ساعتگرد در حلقه تولید می‌شود. جالب آنکه اگر حلقه را از راست به چپ به درون هل دهیم در حلقه جریان ساعتگرد ایجاد می‌شود. حال بیایید مسئله را از دید ناظری سوار بر حلقه بررسی کنیم؛ از آنجا که این ناظر، حرکت حلقه را مشاهده نمی‌کند، باید برقراری جریان را، که چیزی واقعی است و نباید به ناظرها وابسته باشد، طوری دیگر توجیه کند. این ناظر بالاخره مجبور می‌شود به این نتیجه منطقی برسد که چون در نبود حرکت حلقه نیرویی که می‌تواند بارها را در حلقه به حرکت درآورد، نیرویی الکتریکی است، پس یک میدان مغناطیسی متغیر میدان الکتریکی ای تولید می‌کند که بارها را در جهت پادساعتگرد به حرکت درمی‌آورد.



حال با توجه به اینکه می‌دانیم بر یک رسانای حامل جریان در میدان مغناطیسی، نیروی برابر $\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B}$ وارد می‌شود، آنگاه با استفاده از قاعده دست راست در می‌یابیم که بر اضلاع مستطیل، نیروهایی مطابق شکل زیر وارد می‌شوند. بدیهی است که \vec{F}_2 و \vec{F}_3 یکدیگر را خنثی می‌کنند و بنابراین، این فقط \vec{F}_1 است که در برابر حرکت مقاومت می‌کند. توجه کنید که اگر حلقه را به طرف داخل میدان حرکت می‌دادیم، جهت جریان ساعتگرد و در نتیجه جهت نیروی \vec{F}_1 ، خلاف جهت قبلی و دوباره در جهت مخالفت با عامل به وجود آورنده آن می‌شد.



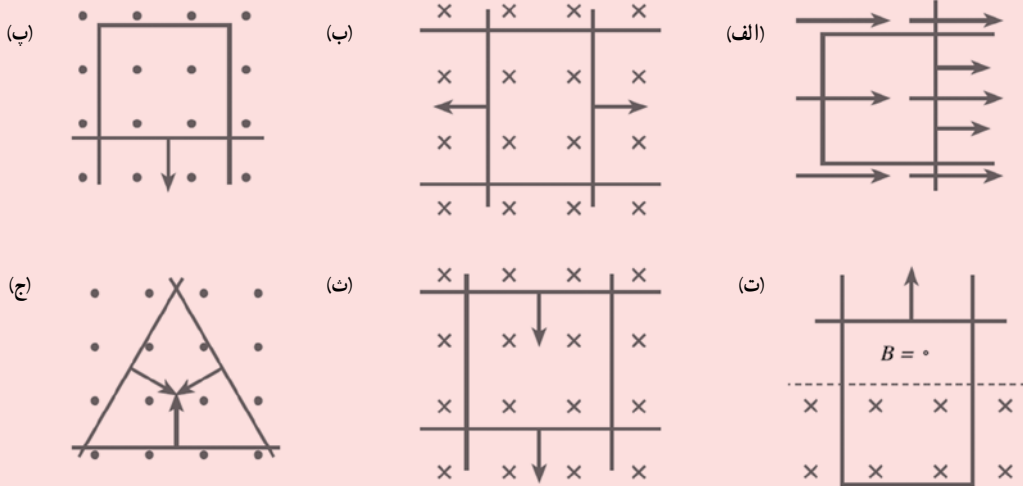
حال می‌خواهیم ثابت کنیم که قانون لنز در واقع چیزی جز پایستگی انرژی نیست. دیدیم که ناظر سوار بر حلقه وجود جریان را به نیروی الکتریکی نسبت می‌دهد. بدیهی است که مقدار این نیرو باید با نیروی مغناطیسی که ناظر سوار بر آهنربا محاسبه می‌کرد، برابر باشد: $qE = qvB$ ، و از آنجا $E = vB$ به دست می‌آید. از طرفی، اختلاف پتانسیل دو سر میله AB از رابطه $\mathcal{E} = El$ به دست می‌آید که با در نظر گرفتن رابطه بالا به $\mathcal{E} = vBl$ خواهد انجامید. می‌دانیم که جریان موجود در مدار را می‌توان از رابطه $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$

که R مقاومت مدار است، محاسبه کرد؛ چون $\mathcal{E} = vBl$ است، پس $I = \frac{vBl}{R}$ و از آنجا $F = IlB = \frac{l^2 B^2 v}{R}$ خواهد شد.

بنابراین، عاملی که حلقه را می‌کشد، با توان ثابت $P = Fv = \frac{B^2 l^2 v^2}{R}$ کار انجام می‌دهد. حال اگر آهنگ تولید انرژی در مدار از رابطه $P = I^2 R$ محاسبه کنیم، دوباره به رابطه بالا می‌رسیم. به عبارت دیگر، قانون لنز چیزی جز تبدیل کار مکانیکی به انرژی گرمایی نیست. کار انجام شده روی سیستم، درست برابر با انرژی داخلی القا شده در سیم است؛ زیرا اینها تنها انرژی‌هایی هستند که در سیستم به یکدیگر تبدیل می‌شوند.

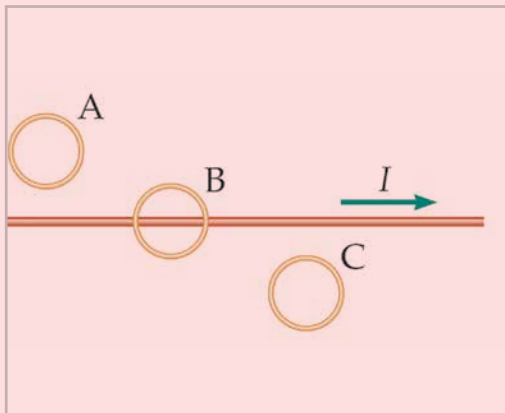
پرسش‌های پیشنهادی بخش ۴-۳

۱ در شکل زیر یک یا چند قسمت از حلقه‌های رسانا با سرعت ثابتی درون میدان مغناطیسی یکنواختی حرکت می‌کنند. جهت جریان القایی را در هر حلقه تعیین کنید.

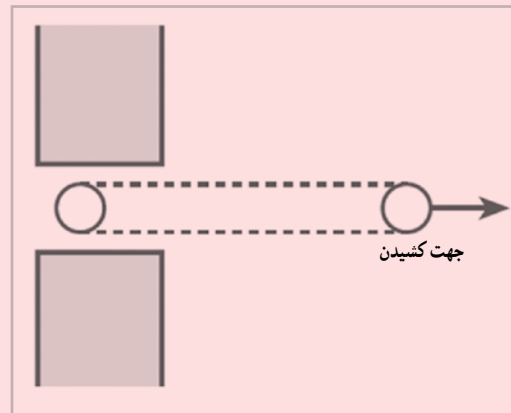


۲ در شکل چ مقطع حلقه‌ای نشان داده شده است که در حال کشیده شدن از بین قطب‌های دو آهنرباست. جهت جریان القایی را در هر مقطع حلقه با علامت \bullet یا \times مشخص کنید.

۳ جریان عبوری از سیم راست افقی در حال افزایش است (شکل ح). جهت جریان القایی را در هر یک از حلقه‌ها تعیین کنید.



(ح)



(ج)

توجه

همان طور که نتیجه مثال ۴-۵ نیز نشان می‌دهد $1H$ برای ضریب القاوری یک القاگر عدد بسیار بزرگی است و برای سیمولوله‌ای با حدود 2000 دور و طول $6m$ ، این ضریب از مرتبه میلی هانری (mH) است. این موضوع در بخش اول تمرین ۴-۳ مورد توجه قرار گرفته است.

مثال ۳-۳

ضریب القاوری سیمولوله‌ای بدون هسته‌ای به طول $40cm$ و سطح مقطع $1cm^2$ را پیدا کنید که شامل 2000 حلقه تزیین به هر است.

پاسخ: با توجه به داده‌های مسئله داریم:

$$A=1cm^2 \quad \ell=40cm \quad N=2000 \quad L=?$$

با قراردادن مقادیر بالا در رابطه $L=\frac{\mu_0 N^2 A}{\ell}$ داریم:

$$L=\frac{4\pi \times 10^{-7} (2000)^2 (1 \times 10^{-4})}{0.4} = 4 \times 10^{-2} H = 40mH$$

تمرین ۳-۳

۱- تعداد حلقه‌های سیمولوله‌ای بدون هسته، به طول $40cm$ و سطح مقطع $1cm^2$ چقدر باشد تا ضریب القاوری آن $1H$ شود؟
 ۲- دو سیمولوله بدون هسته با سطح مقطع و تعداد دور یکسان را در نظر بگیرید. اگر طول یکی از سیمولوله‌ها دو برابر دیگری باشد، ضریب القاوری‌اش چند برابر دیگری است؟

حیاتی است بدانید: القاگرها و القاوری‌ها

حالتی که در آنجا این بخش دیدیم القاگرها با تغییرات سریع جریان در مدار مخالفت می‌کنند. به همین دلیل نقش مهمی در لایحه‌های تقویرسان (همپن) دارند. در این لایحه، جریان الکتریکی از القاگرهایی که فضای درون لایحه را پر کرده است می‌گذرد و گاز را برده و به لایحه تبدیل می‌کند. لایحه یک رسانای غرضی است و هرچه بیشتر برده شود مقاومت آن کمتر می‌شود. اگر گاز به حد کافی باقی بماند اصل خود، جریان می‌تواند بسیار زیاد شود و به مدار عبوری لایحه تقویرسان آسیب برساند. برای جلوگیری از این مسئله، یک القاگر را به طور متوالی با لایحه تقویرسان می‌بندند تا مانع افزایش زیاد جریان شود. متعادل کننده همین باعث می‌شود تا لایحه تقویرسان بتواند با ولتاژ متناوب کار کند.

القای متقابل: شکل ۳-۳۱ اسباب آزمون ساده‌ای را برای بررسی القای متقابل نشان می‌دهد. جریان عبوری از پیچه ۱ در میدان مغناطیسی \vec{B} را به وجود می‌آورد. این میدان \vec{B} در سیمولوله‌های ۲ و ۳ القا می‌کند که در مجاورت آن قرار دارد. با تغییر دادن مقاومت ولت‌ساز و تغییر جریان در پیچه ۱، میدان مغناطیسی پیچه ۱ در نتیجه شار عبوری از پیچه ۲ نیز تغییر می‌کند. طبق قانون فاراد،

تمرین ۳-۴

۱

$$N = ? , \ell = 2/\lambda m$$

$$A = 10^{-4} cm^2 , L = 1H$$

$$L = \mu_0 \frac{AN^2}{\ell}$$

$$1H = (4\pi \times 10^{-7} T \cdot m/A) = \frac{(10^{-4} \times 10^{-4} m^2) N^2}{2/\lambda \times 10^{-2} m}$$

$$\Rightarrow N^2 = \frac{2/\lambda}{4\pi \times 10^{-9}} = 2/2 \times 10^9$$

در این صورت $N = 15000$ دور خواهد شد که تعداد دور بالایی است.

۲

$$N_1 = N_2 \text{ و } \ell_1 = 2\ell_2 \text{ و } L_1/L_2 = ?$$

با توجه به رابطه ضریب القاوری سیمولوله به سادگی خواهیم داشت $L_1 = \frac{1}{3} L_2$.

مثال ۳-۴

این تغییر شار، نیروی محرکه‌ای را در پیچه ۲ القا می‌کند که به ایجاد جریان القایی در آن پیچه می‌انجامد. همین تغییر جریان در پیچه ۲، سبب ایجاد نیروی محرکه القایی در پیچه ۱ می‌شود. این فرآیند، القای متقابل نامیده می‌شود و به کمک آن می‌توان انرژی را از یک پیچه به پیچه دیگر منتقل کرد.

در برخی از مدارهایی که از جریان القاگر به وجود آمده است، تغییرات جریان در یک القاگر می‌تواند نیروی محرکه ناشی از آن را در القاگرهای مجاور القا کند. به همین دلیل، در برخی از مدارهای الکتریکی، القای متقابل می‌تواند مزاحم باشد. برای فرجه کمتر کردن آن از خواص، لایحه‌های القاگرهای مجاور را به طور عمود بر یکدیگر قرار داد شکل ۳-۳۲. در این صورت، اثر القای متقابل تا حد امکان کوچک می‌شود. القای متقابل القاگرهای مجاور به سادگی نیز دارد. مثلاً در مدارهایی که در پایان همین فصل با آنها آشنا خواهید شد، القای متقابل، نقش مهمی در مدار ولتاژ خروجی مدل ایفا می‌کند.

انرژی ذخیره شده در القاگر: وقتی توسط باری جریان در القاگر قرار شود، مولکول‌های القاگری می‌دهد. بخشی از این انرژی در مقاومت الکتریکی سیمولوله القاگر به صورت گرما تلف و بقیه آن در میدان مغناطیسی القاگر ذخیره می‌شود. مقدار انرژی ذخیره شده در میدان القاگر با ضریب القاوری L ، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$U = \frac{1}{2} LI^2 \quad (3-3)$$

لازم است رفتار مغناطیسی و القاگر را به لحاظ انرژی تبیین کنیم (شکل ۳-۳۳). هنگام عبور جریان از مغناطیسی، انرژی وارد آن می‌شود، جریان چه باقی‌مانده چه تغییر کند، این انرژی در مغناطیسی به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود. در حالی که در یک القاگر آرماتی (با مغناطیسی صلب) تنها وقتی انرژی وارد القاگر می‌شود که در آن افزایش یابد. این انرژی تلف نمی‌شود بلکه در میدان مغناطیسی القاگر ذخیره شده و هنگام کاهش جریان آزاد می‌شود. هنگام عبور جریان I_1 از یک القاگر آرماتی (سیم‌پیچ بدون مغناطیسی)، انرژی به آن وارد می‌شود و از آن خارج نمی‌شود.

مثال ۳-۵

مشخصان صحت ر.د. علاقه‌مند راه‌های موزی را برای ذخیره انرژی الکتریکی تولیدی در ساعت‌های تک‌مصرف (کامپیوتری) مانند تا با استفاده از آن نیاز نشانگان را در ساعت‌های مصرف (برج بل) تعیین کنند. یک ایده فرضی استفاده از یک القاگر بزرگ است. ضریب القاوری این القاگر چقدر باشد تا بتواند $10^6 Wh$ انرژی الکتریکی را در پیچه حامل جریان $2000A$ ذخیره کند؟

پاسخ: مقدار انرژی ذخیره شده مورد نیاز $10^6 Wh$ و جریان $2000A$ داده شده است. از معادله $U = \frac{1}{2} LI^2$ ضریب القاوری را بدست می‌آوریم:

$$U = 10^6 Wh = (10^6 \times 3600 J) = 3.6 \times 10^9 J$$

$$U = \frac{1}{2} LI^2 \Rightarrow L = \frac{2U}{I^2} = \frac{2(3.6 \times 10^9)}{(2000)^2} = 1.8 \times 10^3 H$$

تمرین ۴-۴

$$\ell = 22 \text{ cm}, A = 0.44 \text{ cm}^2$$

$$N = 2000 \text{ دور}, I = 1/7 \text{ A}$$

$$L = \mu \cdot \frac{AN^2}{\ell}$$

$$= (4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m} / \text{A})$$

$$= \frac{(0.44 \times 10^{-4} \text{ m}^2)(2000)^2}{22 \times 10^{-2} \text{ m}}$$

$$\Rightarrow L \approx 10^{-3} \text{ H} = 1 \text{ mH}$$

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

$$= \frac{1}{2} (1 \times 10^{-3} \text{ H})(1/7 \text{ A})^2$$

$$\Rightarrow v = 1/44 \times 10^{-3} \text{ J} = 1/44 \text{ mJ}$$

همان طور که نتیجه صفحه قبل نشان می‌دهد، ضریب القایی لازم، بسیار بیشتر از ضریب القایی یک القاگر معمولی (در حد میلی‌هاری است) که در آزمایشگاه از آن استفاده می‌کنیم. اکنون بر این همان‌طور که در فصل ۹ دریم، سیم‌های معمولی که بتوانند جریان ۲۰۰۸ را از خود عبور دهند، باید قطر بسیار بزرگی داشته باشند. در نتیجه اندازه یک القاگر ۱۸-۱۱ که از سیم‌های معمولی ساخته شده باشد، و بتواند چنین جریانی را تحمل کند، باید خیلی بزرگ (به اندازه یک اتاق بزرگ) باشد. با توجه به فناوری‌های موجود این ایده غیرعملی است و توجه اقتصادی ندارد.

تمرین ۴-۳

سیلندر آرماتی بدون هسته‌ای به طول ۲۲ cm و با حلقه‌های به مساحت ۰.۴۴ cm² - شامل ۲۰۰۰ حلقه تزیینک به هر است و جریان ۱/۷ A از آن می‌گذرد. ضریب القایی و انرژی ذخیره شده در سیلندر را حساب کنید.

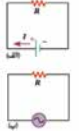
فناوری و کاربرد انرژی از برای استفاده از آهن



انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی ناشی از مژگی در دستگاه‌های احتراق خودرویی یا موتور جت‌ها دارد. پیچ اولیه با حدود ۲۵۰ دور به پاری خودرو بسته شده است و میدان مغناطیسی قوی‌ای تولید می‌کند. این پیچ، درون یک پیچ ثانویه با ۲۵۰۰ دور سیم‌خوابی تازک قرار گرفته است. برای جرقه زدن نسیم، جریان در پیچ اولیه قطع می‌شود و میدان مغناطیسی به سرعت به صفر می‌رسد و توری محرکه الکتریکی ده‌ها هزار ولت در پیچ ثانویه القا می‌کند. در نتیجه انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی همرا با جریانی لحظه‌ای از پیچ ثانویه به طرف نسیم می‌رود و جرقه‌ای تولید می‌کند که سبب احتراق مخلوط سوخت و هوا در سیلندرهای موتور می‌شود (شکل رویه‌ای).

۵-۳ جریان متناوب

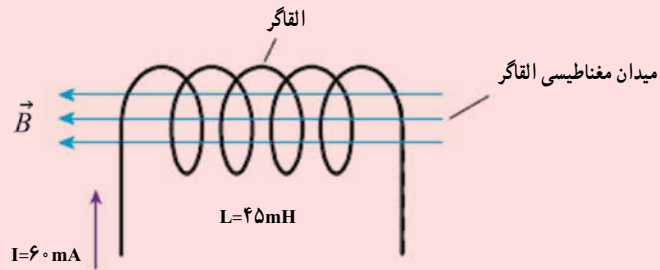
در اواخر قرن نوزدهم، به‌تازگی دانشی بین توماس ادیسون و جورج وستینگ‌هاوس درباره بهترین روش انتقال انرژی الکتریکی از محل تولد تا محل مصرف صورت گرفت. ادیسون موفق جریان مستقیم (DC) بود، در حالی که وستینگ‌هاوس از جریان متناوب (AC) حمایت می‌کرد. سرانجام، وستینگ‌هاوس پیروز شد و پس از آن دستگاه‌های انتقال و توزیع برق و بیشتر وسایل خانگی با جریان متناوب به کار افتادند.



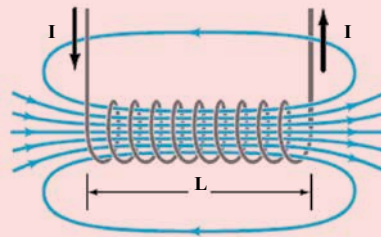
شکل ۵-۳ دو مدار ساده جریان مستقیم و جریان متناوب را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینید جهت جریان در مدار جریان مستقیم معین است، در حالی که در مدار جریان متناوب به دلیل تغییر مسافت، که در آن جریان با گذشت زمان، نمی‌توان جهت معینی را برای جریان در نظر گرفت. شماتی نموده‌های تغییر می‌کند. در مدار ساده جریان متناوب، جهت جریان در هر لحظه معکوس می‌شود. جهت جریان متناوب با گذشت زمان در دایره از جهت ایران، جریان متناوب تولید می‌کند که جهت معین از زمان است و به زمان به قدر معینی تغییر می‌کند. همین دلیل، جریان متناوب سیم‌یابی شده می‌شود (شکل ۵-۳).

پرسش های پیشنهادی بخش ۴-۴

۱ انرژی ذخیره در القاگر شکل زیر چقدر است؟



۲ سطح مقطع و طول سیملوله شکل زیر به ترتیب 2 cm^2 و 8 cm است. اگر تعداد حلقه های این سیملوله برابر 1000 باشد، ضریب خودالقایی آن را پیدا کنید.



۳ ضریب خودالقایی القاگری 1 mH است. چه جریانی باید از این القاگر بگذرد تا 2 mJ انرژی در آن ذخیره شود؟

دانستنی برای معلم

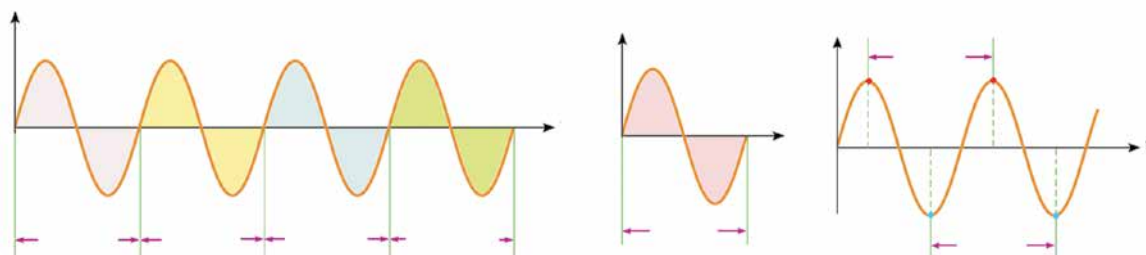
به طور سنتی، کارخانه‌های ریخته‌گری از کوره‌های آتش برای ذوب فلزها استفاده می‌کنند. ولی، بسیاری از کارخانه‌های ریخته‌گری امروزی برای پرهیز از آلودگی‌های ناشی از این کوره‌ها، از کوره‌های القایی استفاده می‌کنند که در آنها فلزها با جریان سیم‌های عایقی گرم می‌شوند که به دور ظرفی که فلزها را در خود جای داده است، پیچیده شده‌اند.



۴-۵- جریان متناوب

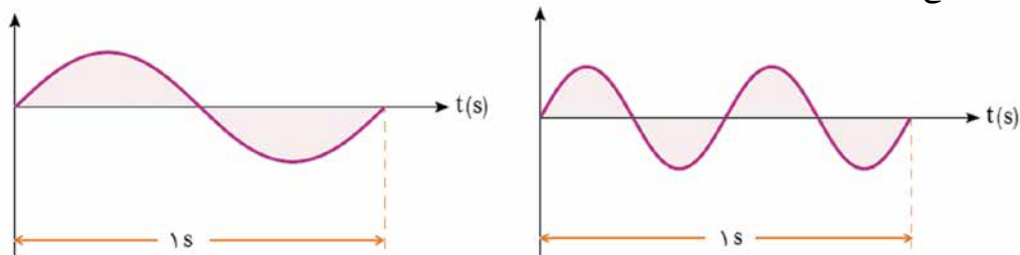
راهنمای تدریس: همان‌طور که در کتاب نیز اشاره شده است، بهتر است با تاریخچه‌ای از بحث‌های علمی در خصوص مزیت جریان متناوب و جریان مستقیم ارائه کنید؛ حتی فیلم‌های مستندی در این خصوص نیز تولید شده است که مشاهده آنها می‌تواند انگیزه مناسبی در دانش‌آموزان ایجاد کند.

از آنجا که دانش آموزان در دوره اول متوسطه با مفاهیم مرتبط با نوسان و موج آشنایی پیدا نکرده‌اند، لذا در این قسمت نگاهی اجمالی به برخی از مفاهیم اولیه مورد نیاز در این بخش داشته باشید. با رسم شکل‌هایی مشابه شکل‌های زیر، مفهوم چرخه و دوره تناوب را برای دانش آموزان معرفی کنید.



مفهوم بسامد را نیز می‌توانید در ادامه همین قسمت به دانش آموزان معرفی کنید. تعداد چرخه‌ها در یکای زمان، بسامد نامیده

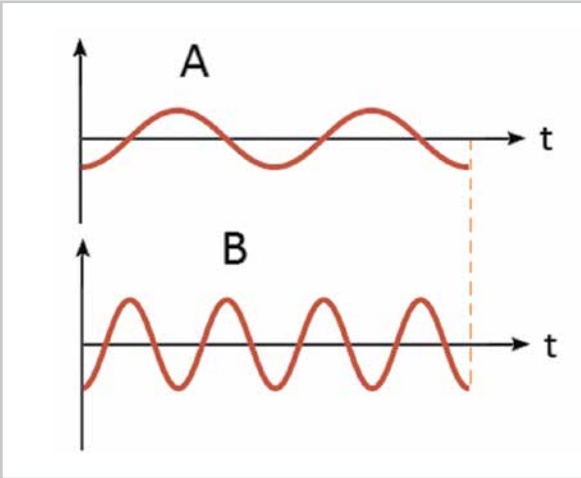
می‌شود و وارون دوره تناوب است ($f = \frac{1}{T}$). یکای بسامد چرخه بر ثانیه یا عکس ثانیه (S^{-1}) است که هرتز (Hz) نامیده می‌شود. شکل زیر دو موج سینوسی با بسامد متفاوت را نشان می‌دهد.



از آنجا که دانش آموزان در این پایه تحصیلی با مفهوم مشتق در درس ریاضی خود آشنا نشده‌اند، لذا رابطه ۴-۶ بدون اثبات و صرفاً به صورت نتیجه‌گیری از قانون القای الکترومغناطیسی فاراده به دانش آموزان معرفی شود.

پرسش پیشنهادی

نسبت دوره تناوب و بسامد دو نمودار جریان متناوب A و B را به ترتیب به دست آورید.



اگر مقادیر کل مدار به هم برابر باشد، با توجه به رابطه $\omega = 2\pi f$ ، جریانی که در پیچه القا می‌شود برابر است با:

$$i = I_m \sin \frac{2\pi}{T} t$$

در این رابطه I_m بیشترین جریانی القا شده در پیچه و برابر $\frac{NAB\omega}{R}$ می‌باشد. رابطه $\omega = 2\pi f$ همچنین نشان می‌دهد که جریانی القا شده در پیچه به‌طور مستقیم تغییر می‌کند، به همین سبب به آن **جریان متناوب** می‌گویند. نمودار این جریان و حسب زمان، در یک دوره در شکل ۱۳۴-۱ رسم شده است.

شکل ۱۳۴-۱ تولید جریان متناوب سینوسی در مدت یک دور، را نشان می‌دهد. در $t = 0$ سطح پیچه بر خطوط میدان مغناطیسی عمود است و جریانی در مدار وجود ندارد. هنگامی که $t = \frac{T}{4}$ (الف)، پیچه یک چهارم دور می‌چرخد تا در وضعیت شکل ۱۳۴-۲ پ قرار گیرد. در حین این چرخش، شار شعری از پیچه تغییر می‌کند و جریانی از صفر به مقدار بیشینه مثبت می‌رسد. اوج جریانی از مقدار بیشینه مثبت به صفر می‌رسد. این دو چرخش، پس از آن پیچه از وضعیت شکل ۱۳۴-۲ پ به وضعیت شکل ۱۳۴-۳ ت می‌رسد. در حین این چرخش، جریانی از صفر به مقدار بیشینه منفی می‌رسد. اوج جریانی از صفر به مقدار بیشینه منفی می‌رسد. این دو چرخش، سرانجام پیچه یک دور می‌چرخد و به آن وضعیت شکل ۱۳۴-۴ برمی‌گردد. در این وضعیت شکل ۱۳۴-۴ ت می‌رسد و در نتیجه جریانی از مقدار بیشینه منفی به صفر می‌رسد. این حرکت به‌طور متناوب (یادری) توسط پیچه ادامه می‌یابد و جریانی متناوب تولید می‌شود.

شکل ۱۳۴-۱ تا ۱۳۴-۴ تولید جریان متناوب سینوسی در یک چرخش کامل

در نورنگاهای تولید برق، برای تولید جریانی متناوب از مولدهای خاصی استفاده می‌شود که به آنها **مولدهای متناوب جریانی متناوب** می‌گویند. در مولدهای متناوب پیچیده سائلی اند و آهنربای الکتریکی در آنها می‌چرخد (شکل ۱۳۵-۱). در نورنگاهای تولید برق در ایران، آهنربای الکتریکی در هر نیمه ۵۰ دور درون پیچه می‌چرخد. این نسبت را بسامد برق تولید شده می‌نامند و بصورت ۵۰ Hz بیان می‌کنند. بکای ۵۰ بسامد $50 \times 10^3 \text{ Hz}$ (هرتز) است.

جریان متناوب
از طرف خطوط انتقال
از طرف آهنربای الکتریکی

شکل ۱۳۵-۱ القای در مولدهای متناوب با چرخش آهنربای الکتریکی بین پیچه و جریانی متناوب تولید می‌شود. بر اساس این روش مولدهای متناوب تولید برق

شکل ۱۳۵-۲ نمودار جریان متناوب سینوسی را نشان می‌دهد که یک نمودار جریان متناوب سینوسی است. معادله جریانی در حسب زمان را بنویسید.

پاسخ: چون ربع چرخه در $t = 0.01 \text{ s}$ طی شده است، دوره تناوب برابر $T = 4 \times 0.01 \text{ s}$ است. همچنین با توجه به نمودار، بیشترین جریانی $I_m = 2 \text{ A}$ است. در نتیجه از رابطه $i = I_m \sin \frac{2\pi}{T} t$ داریم:

$$i = 2 \sin \frac{2\pi}{0.04} t = (2 \sin 50\pi t) \text{ A}$$

نتیجه نهایی بحسب بکاهای ۵۰ نوشته شده است.

تمرین ۴-۵

معادله جریانی - زمان یک مولد جریانی متناوب بحسب بکاهای ۵۰ بصورت $i = (2 \sin 50\pi t) \text{ A}$ است. الف) جریانی در لحظه $t = 2 \times 10^{-3} \text{ s}$ را $I = 0.8 \text{ A}$ چقدر است؟ ب) دوره تناوب جریانی را با دست آورید و نمودار جریانی - زمان را در یک دور کامل رسم کنید.

تمرین ۴-۵

الف) دانش‌آموزان به سادگی می‌توانند با جایگذاری زمان t در معادله جریانی - زمان مولد، جریانی را در هر لحظه دلخواه پیدا کنند. برای مثال در لحظه $t = 2 \text{ ms}$ داریم

$$I = (2 \times 10^{-2}) \sin 250\pi \times 2 \times 10^{-3}$$

$$= 2 \times 10^{-2} \sin \frac{\pi}{2} = 2 \times 10^{-2} \text{ A}$$

$$= 20 \text{ mA}$$

ب) دانش‌آموزان با مقایسه معادله داده شده با شکل کلی معادله می‌توانند دوره تناوب را به دست آورند که برابر

$$T = \frac{1}{125} \text{ s}$$

فعالیت ۱-۴

انتظار می‌رود دانش‌آموزان با آشنایی مختصری که از دیود و یسکو بودن انتقال جریان الکتریکی در آن به دست آورده‌اند به سادگی بتوانند نمودار شکل (ب) را برای مدار شکل (پ) دوباره رسم کنند.

نتیجه را می‌توانند به صورت نمودار شکل (الف) یا نمودار شکل (ب) رسم کنند.

مسئله ۳

فعالیت ۱-۳

در فصل ۲ دیدیم که دیود جریان را در یک جهت از خود عبور می‌دهد و در جهت دیگر مانع عبور جریان می‌شود. همین دلیل آن را یکسو کننده جریان می‌نامند. نمودار شکل (پ) تغییرات جریان و ولتاژ را برای مدار شکل الف نشان می‌دهد. پس از گذشتن دیود از گروه خود، نمودار تغییرات جریان و ولتاژ را برای مدار شکل ب رسم کنید.

مدل‌ها ۱، یکی از مدل‌های مهم توزیع توان الکتریکی در شبکه آن است که افزایش و کاهش ولتاژ در، بسیار آسانتر از شبکه است. برای انتقال توان الکتریکی در فاصله‌های دور، تا جایی که امکان دارد باید از ولتاژهای بالا و جریان‌های کم استفاده کنیم. این کار علاوه بر توان را در خط‌های انتقال کاهش می‌دهد. همچنین با توجه به کاهش جریان می‌توان از سیم‌های با قطر کوچک‌تری استفاده کرد و مصرف مواد اولیه ساخت سیم صرفه‌جویی کرد.

خط‌های انتقال توان الکتریکی به طور معمول از ولتاژهایی در حدود ۸۷-۲۰۰ استفاده می‌کنند. شکل (۱۸-۳) از طرف دیگر، ملاحظات ایمنی و الزامات قانونی در ساخت و نصبی خانگی و صنعتی، ولتاژهای به نسبت پایین‌تری را در محل مصرف انرژی ضروری می‌کند. ولتاژ استاندارد برای سیم‌کشی خانگی در ایران و بسیاری از کشورهای دیگر ۲۲۰-۲۳۰ است. تبدیل ولتاژ مورد نیاز با استفاده از مدل‌ها صورت می‌گیرد.

مثال ۳-۱: قبل از انتقال توان الکتریکی از تورگوشه مدل‌های اولیه، ولتاژ را تا حدود ۲۰-۳۰ افزایش می‌دهد. در آنجا سیم، مدل‌های کاهنده، ولتاژ را کاهش می‌دهد تا توان الکتریکی با امنیت بیشتر به محل مصرف برسد.

۱۲۶

تمرین ۶-۴

مشابه مثال ۸-۴ است و دانش‌آموزان به سادگی می‌توانند این تمرین را حل کنند ($V_1 \approx 370 \text{ V}$).

تلفات الکتریکی در سیم‌ها و اتصالات

مسئله ۳-۱

شکل ۱۹-۳ مدل‌های شل دو پیچ به تعداد دورهای متفاوت را نشان می‌دهد که دور یک هسته آهنی (مغناطیس نرم) پیچیده شده‌اند. در عمل پیچ اول با ۱۲ دور و ولتاژ ۱۲ بسته شده است و پیچ ثانویه با ۳۶ دور و ولتاژ ۳۶ را آزمون می‌کنند. برای یک مدل آزمایشی که تفاوت پیچ‌های اول و دوم آن تا جزی است، رابطه زیر برقرار است:

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} \quad (۱۸-۲)$$

که روی یک هسته آهنی پیچیده شده‌اند.

مسئله ۳-۲

شکل زیر به یک مدل ۲۲۰-۷ یا ۱۲۰-۷ را نشان می‌دهد. پیچ اولیه ۸۰۰۰ دور دارد. با فرض آزمون بودن مدل، تعداد دورهای پیچ ثانویه را پیدا کنید.

پاسخ: با توجه به رابطه داریم:

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} \Rightarrow \frac{220}{8000} = \frac{7}{N_2} \Rightarrow N_2 = 256$$

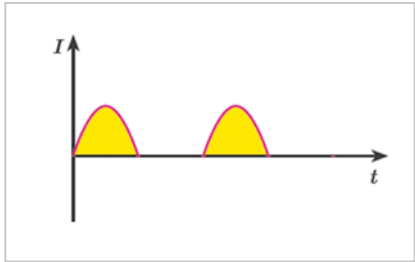
با جای گذاری این مقدار در رابطه داریم:

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} \Rightarrow \frac{220}{8000} = \frac{7}{256} \Rightarrow V_2 = 736$$

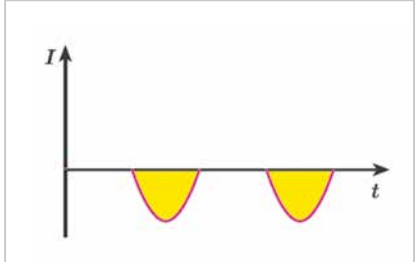
تمرین ۳-۳

برخی از وسایل برقی، مانند شست‌وکار برقی، برای کار کردن نیاز به ولتاژهای بالا از مرتبه چند هزار ولت دارند. شکل زیر مدلی را نشان می‌دهد که ولتاژ لازم را برای کار یک دستگاه شست‌وکار برقی فراهم می‌کند. اگر تعداد دور اولیه مدل ۳۶۰۰ و تعداد دور ثانویه ۳۶۰۰۰ باشد، مدل چه ولتاژی را برای کار کردن دستگاه شست‌وکار برقی می‌کند؟

۱۲۷



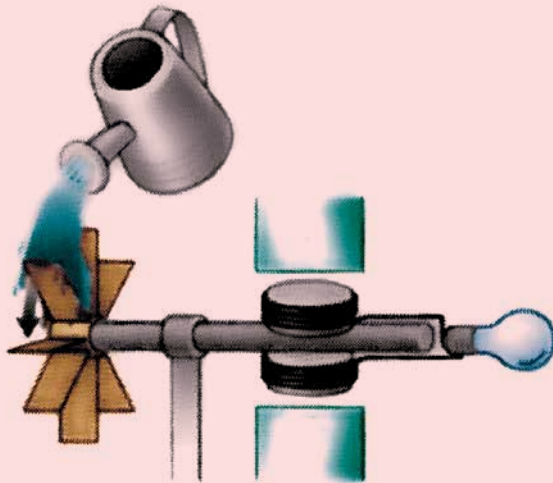
(الف)



(ب)

پرسش‌ها و تمرین‌های پیشنهادی بخش ۴-۵

- ۱ الف) برای افزایش روشنایی لامپ به وسیله مولد ساده شکل زیر سه راه پیشنهاد کنید.
 ب) تبدیل‌های انرژی زیر را در یک نیروگاه برق آبی کامل کنید. انرژی تولید شده توسط ژنراتور → انرژی
 توربینی → انرژی آب



- ۲ پیچۀ یک مولد جریان متناوب در هر 1 ms یک دور می‌چرخد. این پیچه در هر یک از زمان‌های $1\ \mu\text{s}$ و $1\ \text{s}$ چه زاویه‌ای بر حسب رادیان می‌چرخد؟
 ۳ معادله جریان متناوبی در SI به صورت $I = 2 \times 10^{-1} \sin 2 \cdot \pi t$ است.
 الف) دوره تناوب این جریان چقدر است؟
 ب) در چه لحظه‌ای برای اولین بار جریان بیشینه می‌شود؟
 پ) در لحظه $t = 75\text{ ms}$ جریان چقدر است؟
 ۴ معادله نیروی محرکه القایی در مداری به مقاومت $1\ \Omega$ در SI به صورت زیر است

$$\varepsilon = 0.4 \cos 2 \cdot \pi t$$

- الف) زمان تناوب را حساب کنید.
 ب) در چه لحظه‌ای برای اولین بار نیروی محرکه القایی بیشینه می‌شود؟
 پ) جریان بیشینه را در مدار پیدا کنید.
 ت) معادله جریان را در مدار بنویسید.
 ث) در چه لحظه‌هایی برای اولین و دومین بار مقدار جریان عبوری از مدار بیشینه می‌شود؟

راهنمای پاسخ‌یابی پرسشی‌ها و مسئله‌های فصل ۴

۱-۳ و ۳-۲ بهمنه القای الکترومغناطیسی و قانون القای الکترومغناطیسی فاراده
 دو سیم‌لوله با حلقه‌های با مساحت یکسان ولی با تعداد دور متفاوت را مطابق شکل‌های زیر به ولت‌سنج حساسی وصل کرده‌ایم. دریافت خود را از این شکل‌ها پی‌ریزید. (آهنرباها مشابه و با تندی یکسانی به طرف سیم‌لوله‌ها حرکت می‌کنند.)

۱-۳-۱ دو سیم‌لوله مشابه را مطابق شکل‌های زیر به ولت‌سنج حساسی وصل کرده‌ایم. دریافت خود را از شکل‌های زیر پی‌ریزید. (آهنرباها مشابه ولی با تندی متفاوتی به طرف سیم‌لوله حرکت می‌کنند.)

۱-۳-۲ شکل داده شده ساختار یک بانستنج را نشان می‌دهد. اگر این بانستنج را روی یک خانه نصب کنید، به هنگام زمین‌لرزه، آیا می‌تواند ولت‌سنج عددی را نشان می‌دهد. (نشان بدهد چرا چنین می‌تواند سبب معرفی نظریه ولت‌سنج می‌شود؟ آیا آیا با افزایش تندی بار عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد تغییر می‌کند؟ چرا؟)

۱-۳-۳ قانون لنز
 ۱- یک آهنربا را مطابق شکل رویه‌رو و به یک حلقه رسانا نزدیک می‌کنیم. جهت جریان القایی را در حلقه مشخص کنید.
 ۲- دو آهنربای سیم‌ای مشابه را مطابق شکل، به‌طور قائم از ارتفاع معینی نزدیک سطح زمین و ما می‌کنیم به‌طوری‌که یکی آنها از حلقه رسانای عبور می‌کند. اگر سطح زمین در محل

بسیار بی‌نظمی است. برای بهبود و افزایش وقت کار دستگاه دو پیشنهاد ارائه دهید.
 کاسه‌های یکسان
 سیم
 آهنربا
 ولت‌سنج
 حلقه

۱-۳-۱ حلقه‌های بی‌جهتی که دارای ۱۰۰۰ حلقه است، عمود بر میدان مغناطیسی یکسانی که اندازه آن ۰.۴-۲ و جهت آن از راست به چپ است، قرار دارد. میدان مغناطیسی در مدت ۰.۱-۱۰ تغییر می‌کند و به ۰.۴-۲ در خلاف جهت اولیه می‌رسد. اگر سطح هر حلقه پیچیده ۰.۰۰۱-۵ باشد، اندازه تندی محرکه القایی متوسط در پیچچه را حساب کنید.
 ۱-۳-۲ مساحت هر حلقه بی‌جهتی ۰.۰۰۱-۳ و پیچچه متشکل از ۱۰۰۰ حلقه است. در ابتدا سطح پیچچه را بر میدان مغناطیسی زمین عمود است. اگر در مدت ۰.۱-۲ پیچچه چرخد و سطح حلقه موازی میدان مغناطیسی زمین شود، تندی محرکه متوسط القایی در آن چقدر است؟ اندازه میدان زمین را ۰.۵-۱۰-۵ در نظر بگیرید.

۱ دانش‌آموزان باید به شرایط یکسان آزمایش و بیشتر بودن تعداد دور مدار شکل (ب) توجه کنند و توضیح دهند که چرا ولت‌سنج حساس در مدار شکل (ب) عدد بزرگ‌تری را می‌خواند.

۲ دانش‌آموزان باید به شرایط یکسان آزمایش و حرکت سریع‌تر آهنربا به طرف مدار شکل (ب) توجه کنند و توضیح دهند که چرا ولت‌سنج حساس در مدار شکل (ب) عدد بزرگ‌تری را می‌خواند.

۳ الف) با چرخش میله، آهنربای درون فضای پیچچه می‌چرخد. دانش‌آموزان باید بر همین اساس و با توجه قانون القای الکترومغناطیسی فاراده به این پرسش پاسخ دهند.

ب) با توجه به آنچه در پرسش ۲ قسمت (ب) دیدند به سادگی می‌توانند به این پرسش پاسخ دهند. یا به رابطه قانون القای الکترومغناطیسی فاراده و وجود Δt در مخرج این رابطه توجه کنند.

پ) استفاده از آهنربای قوی‌تر و پیچچه با تعداد دور بیشتر. همچنین استفاده از ولت‌سنج حساس‌تر می‌تواند به بهبود نتیجه اندازه‌گیری بینجامد.

۴ اگر نیم‌خط عمود بر سطح پیچچه را به سمت راست فرض کنیم در این صورت

$$\Phi_1 = B_1 A \cos \theta_1 = (0.4 \text{ T})(5 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \cos 0^\circ = 2 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\Phi_2 = B_2 A \cos \theta_2 = (0.4 \text{ T})(5 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \cos 180^\circ = -2 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -2 \times 10^{-4} - 2 \times 10^{-4} = -4 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

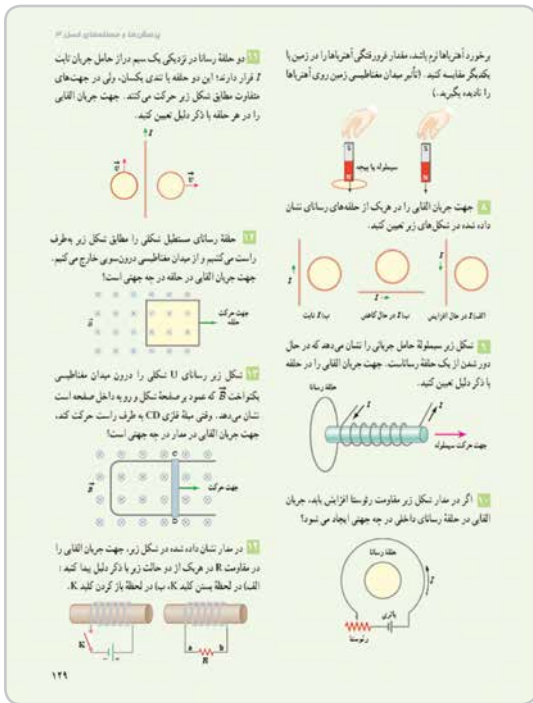
دانش‌آموزان باید توجه کنند برای محاسبه Φ_2 ، باید جهت نیم‌خط عمود بر پیچچه که به سمت راست انتخاب شده بود را تغییر ندهند.

$$|\mathcal{E}| = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = |-1000 \cdot \frac{(-4 \times 10^{-4} \text{ Wb})}{1 \times 10^{-2} \text{ s}}| = 40 \text{ V}$$

۵ در این مسئله نیز نیم‌خط عمود بر پیچچه را عمود بر خطوط میدان مغناطیسی زمین فرض کنیم بنابراین $\theta_1 = 0^\circ$ است. در حالتی که پیچچه می‌چرخد و سطح حلقه‌های آن موازی میدان مغناطیسی زمین می‌شود $\theta_2 = 90^\circ$ می‌شود. ادامه مسئله مشابه مسئله ۴ حل می‌شود.

۶ جریان القایی در جهت ساعتگرد است.

۷ دانش‌آموزان باید با توجه به قانون القای الکترومغناطیسی فاراده و قانون لنز، توضیح قانع‌کننده‌ای ارائه دهند که چرا آهنربایی که از حلقه‌های رسانا عبور می‌کند، فرورفتگی کمتری هنگام برخورد با زمین نرم ایجاد می‌کند.



ب) در حالتی که حلقه وارد میدان می‌شود یا از آن در حال خارج شدن است.

در حالت ورود: پادساعتگرد، دانش‌آموزان برای پاسخ خود باید دلایل کافی ارائه دهند.

در حالت خروج: ساعتگرد، دانش‌آموزان برای پاسخ خود باید دلایل کافی ارائه دهند.

۱۶) در حالت ۱: روبه بالا (پادساعتگرد)

در حالت ۲: جریانی القا نمی‌شود.

در حالت ۳: رو به پایین (ساعتگرد)

۱۷) دانش‌آموزان باید به رابطه $U = \frac{1}{2} L I^2$ و همچنین عوامل دخیل در ضریب القاوری سیملوله

خود را ارائه دهند. در این مدار فرض شده است که باتری غیرقابل تعویض است و نیروی محرکه آن ثابت است.

۸ الف) ساعتگرد، ب) پادساعتگرد، پ) جریانی القا نمی‌شود.

۹ پادساعتگرد، دانش‌آموزان باید به جهت حرکت سیملوله، جهت جریان و جهت میدان ایجاد شده در سیملوله توجه کنند و سرانجام با توجه به قانون لنز جهت جریان القایی را در حلقه تشخیص دهند.

۱۰ دانش‌آموزان باید توجه داشته باشند که چون نیروی محرکه باتری ثابت است، با افزایش مقاومت رئوستا، جریان عبوری از مدار کاهش می‌یابد، با توجه به تعیین جهت میدان مغناطیسی در محل حلقه رسانا، و همچنین کاهش جریان در مدار، جهت جریان القایی در حلقه رسانا پادساعتگرد است.

۱۱ در حلقه سمت راست، جریان به صورت ساعتگرد القا می‌شود.

در حلقه سمت چپ، جریانی القا نمی‌شود. دانش‌آموزان باید به فرض دراز بودن سیم، که در صورت مسئله آمده است توجه داشته باشند.

۱۲ ساعتگرد، دانش‌آموزان باید دلیل کافی برای پاسخ خود ارائه دهند.

۱۳ پادساعتگرد، دانش‌آموزان باید دلیل کافی برای پاسخ خود ارائه دهند.

۱۴ الف) b به a. دانش‌آموزان باید دلیل کافی برای پاسخ خود ارائه دهند.

ب) a به b. دانش‌آموزان باید دلیل کافی برای پاسخ خود ارائه دهند.

۱۵ الف) با توجه به تعریف شار و عوامل مرتبط با آن، انتظار می‌رود دانش‌آموزان به سادگی بتوانند به این پرسش پاسخ دهند.

$$\begin{aligned} \Phi &= B A \cos \theta \\ &= (2 \times 10^{-2} \text{ T})(100 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \cos 90^\circ \\ &= 2 \times 10^{-4} \text{ Wb} \end{aligned}$$

فرض شده است که نیم خط عمود بر حلقه، در جهت درون سواست.

۱۸ الف) با جایگذاری مقادیر داده شده در رابطه $L = \mu_0 \frac{NA^2}{l}$ به سادگی این ضریب محاسبه می‌شود.

ب) دانش‌آموزان باید از رابطه $U = \frac{1}{2} LI^2$ استفاده کنند. در ضمن باید توجه کنند که در این رابطه، یکای انرژی باید برحسب ژول (J) نوشته شود.

۱۹ الف) دانش‌آموزان باید از رابطه ۴-۷، برای حل این مسئله استفاده کنند. با جایگذاری مقادیر داده شده داریم

$$I = (2 \text{ A}) \sin \frac{2\pi}{0.2 \text{ s}} t = (2 \text{ A}) \sin 10\pi t$$

$$\text{در } t = \frac{1}{4} \text{ s} \text{ داریم}$$

$$I = (2 \text{ A}) \sin 10\pi \left(\frac{1}{4} \text{ s}\right) = (2 \text{ A}) \sin \frac{\pi}{2} = 2 \text{ A}$$

به این ترتیب در لحظه $t = \frac{1}{4} \text{ s}$ برای اولین بار، جریان به بیشینه خود می‌رسد. با توجه به مقاومت رسانا داریم:

$$\varepsilon_m = RI_m = (5\pi)(2 \text{ A}) = 10 \text{ V}$$

$$\text{ب) } \sqrt{2} \text{ A}$$

۲۰ دانش‌آموزان باید از رابطه ۴-۸ استفاده کنند. در این صورت بیشینه ولتاژ مولد برابر ۴/۵ ولت به دست می‌آید.