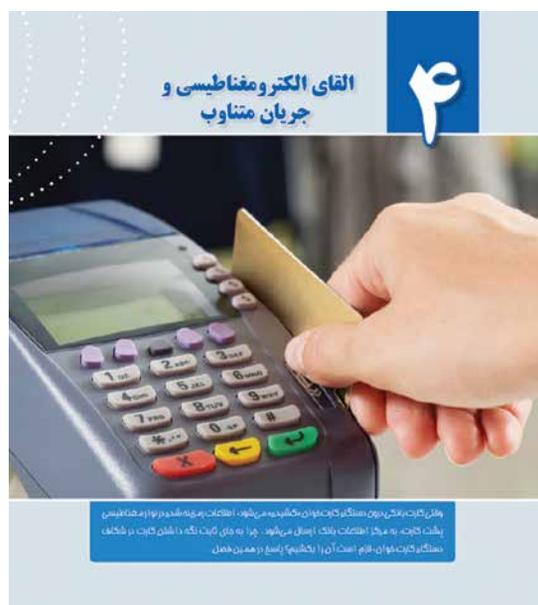


فصل چهارم

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

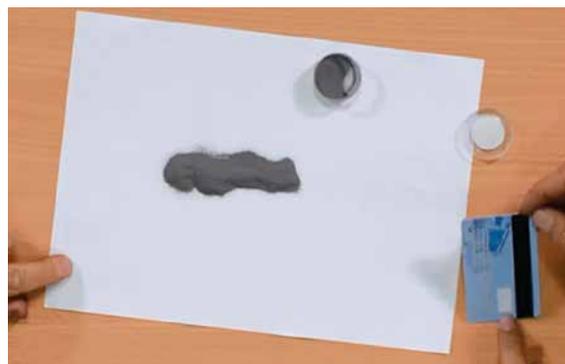
هدف‌های فصل

- 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 اورستد کشف شد. در سال ۱۸۳۱ فاراد، پس از آزمایش‌های فراوان، مشاهده کرد که عبور آهنربا از یک پیچیدگی سبب برقراری جریان الکتریکی در پیچ می‌شود. این اثر که امروزه به قانون القای الکترومغناطیسی فاراد شناخته می‌شود، اساس کار مولدها، ترمولوله، جریان 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: سیم‌کشی، سیم، کلید، کواکوستر، آهنربای میانی، سلفه با پیچ و سیم رابط.
شرح آزمایش:
۱- در سیم سلفه را به کواکوستر ببندید.
۲- یکی از قطب‌های آهنربا را وارد سلفه کنید تا شکل روبرو مشاهده شود. در هنگام انجام این کار، یادداشت کنید.
۳- اکنون آهنربا را از سلفه 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 سلفه را 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 پیچیدگی، قطعه کواکوستر 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 سلفه را که به باتری در مدار بسته است، از مدار خارج کرد. فاراد مشاهده کرد که با عبور آهنربا از درون سلفه، در قطب‌های سلفه، یک جریان القایی تولد شد. این سلفه، قطعه کواکوستر متحرک می‌شود.

۱-۴-۱ 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 ۱-۴۱، 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 پیچیهایی 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 پیچه 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 محول، 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 درون میدان مغناطیسی بگذاشتیم، تغییر درجه اشکال (۲-۳) یا پیچه ای را درون میدان مغناطیسی بگذاشتیم، تغییر درجه اشکال (۳-۳) مشاهده می شود که در هنگام انجام این کارها، جریانی در پیچه القا می شود.

۳-۳ تغییر مساحت پیچه در میدان مغناطیسی. جریانی در پیچه القا می شود.

۳-۴ با حرکت دادن آهنربا درون میدان مغناطیسی، بازتابی در میدان مغناطیسی و سطح پیچه تغییر می کند. این تغییر بازتابی در پیچه جریانی در پیچه می آورد.

۳-۴ قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

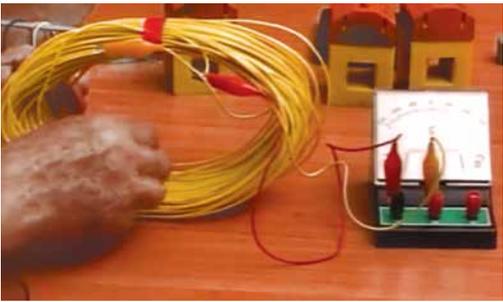
پس از آن دیدیم که با زلاقی شدن مغناطیس، میدان مغناطیسی در محل یک پیچه، تغییر مساحت پیچه در حضور میدان مغناطیسی یا جریانی که درون میدان مغناطیسی، جریان الکتریکی در آن القا می شود. عاقل اساسی و مشترک در ایجاد جریان القایی در همه این آزمایش ها، تغییر در **تعداد خطوط مغناطیسی** عبوری از پیچه است.

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

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

همانطور که در شکل ۳-۴ دیده می شود، زاویه θ 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 Φ تسلا مترمربع، و (Wb) است که با توجه به رابطه $1 \text{ تسلا} = 1 \text{ T} = 1 \text{ Wb} / \text{m}^2$



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 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.

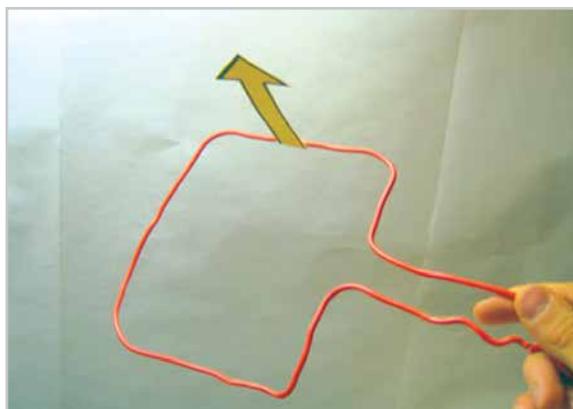
الف) مطابق شکل الف، سطح حلقه رسانایی، به شکل مربع با ضلع 10 cm ، عمود بر میدان مغناطیسی یکجانبه به بزرگی 15 T قرار دارد. شار عبوری از این حلقه را بدست آورید.
ب) اگر حلقه را چرخانیم به طوری که سطح حلقه موازی با خط‌های میدان مغناطیسی شود، شار مغناطیسی عبوری از آن چقدر می‌شود؟
ج) شار مغناطیسی عبوری از حلقه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

پاسخ | 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:

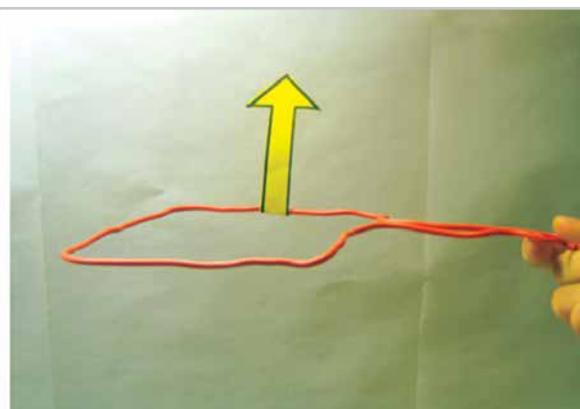
$$A = 10 \times 10 = 100\text{ cm}^2 = 10^{-2}\text{ m}^2 \quad B = 15\text{ T} \quad \Phi = 1.5\text{ Tm}$$
 ب) وقتی مطابق شکل ب، حلقه می‌چرخد و موازی با خط‌های میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، زاویه بین میدان \vec{B} و نیم‌خط عمود بر سطح حلقه برابر 90° می‌شود. از آنجا که $\cos 90^\circ = 0$ است، در این 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 1.5 Tm و 0 است. به این ترتیب، تغییر شار عبوری از سطح حلقه برابر $\Delta\Phi = 0 - 1.5\text{ Tm} = -1.5\text{ Tm}$ 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. نتایج با توجه به نسبت تغییر شار $(\Delta\Phi/\Phi)$ برابر است با:

$$\frac{\Delta\Phi}{\Phi} = \frac{-1.5\text{ Tm}}{1.5\text{ Tm}} = -1$$

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 القای شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید.

بنا را اگر سطح شکل بی و بدون تغییر \vec{B} مساحت سطح حلقه را به 100cm^2 رسانید، شار مغناطیسی عبوری از حلقه را در این وضعیت به دست آورید.

بنا اگر این تغییر شار در بازه زمانی 0.2s رخ داده باشد، آنگاه 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؟

Ω A V W/A

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 پدیده‌های که در این بخش بررسی کردیم، تغییر شار مغناطیسی عبوری از سطح مسطح است. بنابراین فراداده، هرگاه شار مغناطیسی‌ای که از مدار مسطح‌ای می‌گذرد تغییر کند، نیروی محرک‌ای در آن القا می‌شود که بزرگی آن با آنگاه تغییر شار مغناطیسی متناسب است؛ حتی هرچه آنگاه تغییر شار مغناطیسی بیشتر باشد، نیروی محرک‌القایی و در نتیجه جریان القایی تولید 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 القاگراوتر بیشتر متحرک می‌شود و این نشان می‌دهد که جریان القایی بزرگ‌تری بوجود آمده است.

قانون فارادی می‌گوید که تغییر شار مغناطیسی در مدار مستقیم‌الخطی در آن رابطه زیر بیان می‌شود:

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

در این رابطه که نیروی محرک‌القایی متوسط و ولت $\Delta\Phi/\Delta t$ آنگاه تغییر شار مغناطیسی و ریسب وولت بر ثانیه (Wb/s) است. اگر مقاومت بیجه یا سیم‌کشی مدار 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 بیجه یا مدار که در آن شار مغناطیسی تغییر می‌کند، بیشتر باشد، جریان کوچکی‌تری در آن القا می‌شود.

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

$A_2 = 10\text{cm}^2 = 10^{-2} \text{m}^2, \Phi_2 = ?$

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

ب

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

تمرین ۳-۲

بچه‌ای شکل ۳-۱ در کلاس مساحت حلقه‌ای 250cm^2 است. سطح شکل زیر بر همین سطح یک آهن‌ربای الکتریکی قرار گرفته است که میدان مغناطیسی یکواخت تولید می‌کند. سطح‌های میدان را سطح بیجه می‌نامند. اگر اندازه میدان در بازه زمانی 0.2s از 0.1T به 0.3T افزایش یابد.

الهام نیروی محرک‌القایی متوسط ایجاد شده در بیجه چقدر است؟

بنا اگر مقاومت بیجه 10Ω باشد، جریان القایی متوسط که از بیجه می‌گذرد چقدر است؟

پاسخ: القای متوسط عبور و سطح حلقه‌ای بیجه را محاسبه می‌کنیم. بیجه به داده‌های مسئله داریم:

$A = 250\text{cm}^2 = 2.5 \times 10^{-2} \text{m}^2$ $\theta = 0^\circ$ $\Delta t = 0.2\text{s}$

$R = 10\Omega$ $\mathcal{E} = ?$ $I = ?$

$\Phi_1 = BA_1 \cos\theta = (0.1\text{T})(2.5 \times 10^{-2} \text{m}^2) \cos 0^\circ = 2.5 \times 10^{-3} \text{Wb}$

$\Phi_2 = BA_2 \cos\theta = (0.3\text{T})(2.5 \times 10^{-2} \text{m}^2) \cos 0^\circ = 7.5 \times 10^{-3} \text{Wb}$

به این ترتیب، تغییر شار مغناطیسی برابر است با:

$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = (7.5 \times 10^{-3} \text{Wb}) - (2.5 \times 10^{-3} \text{Wb}) = 5 \times 10^{-3} \text{Wb}$

بنابراین دان این مدار و داده‌های بالا در رابطه ۳-۲ داریم:

$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -(1) \frac{5 \times 10^{-3} \text{Wb}}{0.2\text{s}} = -2.5 \times 10^{-2} \text{V}$

بنا با توجه به رابطه ۳-۲، جریان القایی متوسط در بیجه برابر است با:

$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{-2.5 \times 10^{-2} \text{V}}{10\Omega} = -2.5 \times 10^{-3} \text{A}$

تمرین ۳-۳

تغییرات شار مغناطیسی که از یک حلقه می‌گذرد و ریسب و زمان در نمودار شکل الف نشان داده شده است. نمودار نیروی محرک‌القایی در حلقه را و ریسب و 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 ریسب و زمان دیده می‌شود، مقدار لحظه‌ای آنگاه 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.

$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -(1) \frac{(1 \times 10^{-3} \text{Wb}) - (0)}{1\text{s}} = -1 \times 10^{-3} \text{V}$

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 $1 \times 10^{-3} \text{V}$ است. نمودار نیروی محرک‌القایی و ریسب و زمان در شکل ب رسم شده است.

پرسش ۱-۴

هدف از این پرسش این است که قبل از معرفی رابطه قانون القای فاراده، دانش‌آموزان با یکای آنگاه تغییرات شار (Wb/s) که از جنس نیروی محرک‌القایی الکتریکی 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)

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

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

تغییرات شار ناشی از تغییرات جهت و اندازه میدان است.

به این ترتیب

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

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

$$\begin{aligned} \Delta \Phi &= \Phi_2 - \Phi_1 = -17 \text{ Wb} - 28 \text{ Wb} \\ &= -45 \text{ Wb} \end{aligned}$$

$$\bar{\mathcal{E}} = -\frac{(-45 \times 10^{-2} \text{ Wb})}{0.04 \text{ s}} = 1.125 \text{ V}$$

(ب)

$$I = |\bar{\mathcal{E}}|/R = (1.125 \text{ V})/(1 \Omega) = 1.125 \text{ A} = 1.125 \text{ mA}$$

مثال ۳-۴

شکل روبرو، رسانای U شکلی را درون میدان مغناطیسی یکسان \vec{B} به اندازه 0.17 T نشان می‌دهد. میدان \vec{B} عمود بر صفحه شکل و رو به بیرون است. میله‌ای فلزی آسمی لغزنده به طول $l = 0.2 \text{ cm}$ بین دو بازوی رسانای قرار دارد و مداری را تشکیل می‌دهد. میله را با تندی ثابت $v = 2 \text{ m/s}$ 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. ایستاده بودن میله حلقه را محسوب می‌کنیم. بزرگی زاویه تقریباً متوسط عمود با میدان \vec{B} صفر است ($\theta = 0$) 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 لغزنده در مدت Δt مسافت $v \Delta t$ را طی می‌کند. شکل روبروی از سطح حلقه به مقدار $\Delta A = l \Delta x$ افزایش می‌یابد. به این ترتیب، نیروی محرکه القای متوسط را می‌توانیم بنویسیم:

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

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

$$\bar{\mathcal{E}} = -(0.17 \text{ T})(2 \times 10^{-2} \text{ m})(2 \text{ m/s}) = -0.68 \text{ V}$$

بزرگی آن برابر است با:

$$|\bar{\mathcal{E}}| = 0.68 \text{ V}$$

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

تمرین ۳-۴

میدان مغناطیسی بین قطب‌های آهنربای الکتریکی شکل روبرو که بر سطح عمود عمود است با زمان تغییر می‌کند و در مدت 0.04 s از 0.28 T رو به بالا، به 0.17 T رو به پایین می‌رسد. در این مدت:

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

ب) آیا اگر مقاومت حلقه 1Ω 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 دو چرخه را گزارش می‌دهد.

شماره ۳۲

تندی سنج بویچه‌های سیم‌بندی شده شامل یک آهنربای کوچک و یک پیچه است. آهنربا به یکی از بویچه‌های جریخ طول و پیچه به دو شاخ فرمان متصل است. شکل روی برد. دو سر پیچه با سیم‌های رسانا به نمایشگر تندی سنج که در واقع نوعی رایانه کوچک است وصل شده است. به نظر شما تندی سنج بویچه چگونه کار می‌کند؟ این موضوع را در گروه خود به گفتگو بگذارید و نتیجه را به کلاس درس ارائه دهید.

فشاری و کثرت

کارت‌های آنتناری و دستگاه‌های کارت‌خوان
توابع مغناطیسی پشت کارت‌های آنتناری 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 توابع مغناطیسی پشت کارت‌خوان می‌تواند شکل القای واقعی کارت آنتناری درون دستگاه کارت‌خوان کشیده می‌شود. میدان مغناطیسی ناشی از توابع 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 توابع مغناطیسی پشت کارت، رمزگشایی می‌شود. پس از رمزگشایی داده‌ها، دستور مورد نظر انجام می‌شود.

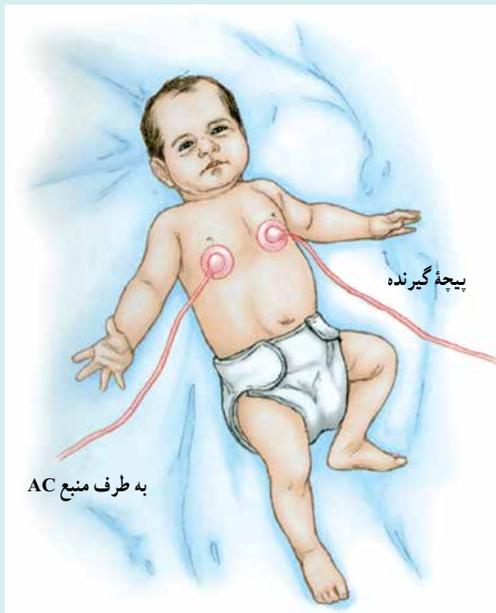
سهام‌نامه تنظیم حد تندی خودرو^۱
در بسیاری از خودروهای امروزی، سامانه‌ای وجود دارد که به کمک آن می‌توان تندی خودرو را روی مقدار دلخواهی تنظیم کرد. در این وضعیت، بدون آنکه لازم باشد راننده بای خود را روی پدال گاز قرار دهد، خودرو با تندی تعیین شده به حرکتش ادامه می‌دهد. اساس کار این سامانه، جریان القایی است. وقتی محور محرک خودرو می‌چرخد آهنربایی که روی آن قرار دارد، شار مغناطیسی متغیری را از پیچه می‌گذراند و جریانی 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 مقایسه تندی اندازه‌گیری 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.

۱- China Chong Speed Limit System
۲- Chong patent
۱۱۶

دانستنی برای معلم

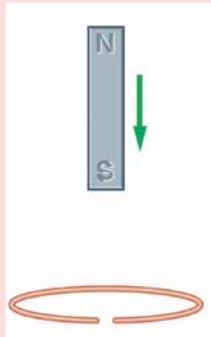
نمایشگر SIDS

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.

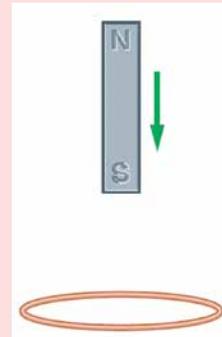


بالا و پایین رفتن سینه در اثر تنفس یا هر حرکت دیگری مقدار جریان القایی در پیچه گیرنده را تغییر می‌دهد که این تغییرات را نمایشگری نشان می‌دهد. حال اگر تنفس قطع شود و تغییرات جریان به دستگاه ثبت نرسد، دستگاه طوری تنظیم شده است که با تولید صوت اعلام خطر کند.

(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.



(ب)

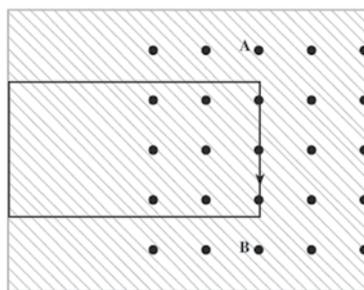


(الف)

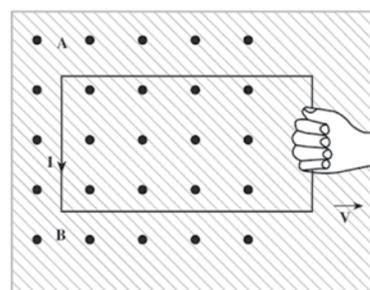
دانستنی برای معلم

بررسی میکروسکوپیق 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.



(ب)



(الف)

پرسش ۳-۴

الف) با توجه به قانون لنز، آهنربا در حال دور شدن از پیچه است؛ یعنی رو به پایین حرکت می کند.

ب) جهت میدان \vec{B} ناشی از سیم حامل جریان I ، در محل حلقه برون سو است. چون جریان I در حال افزایش است، بنابه قانون لنز باید جهت جریان در حلقه، ساعتگرد باشد تا با افزایش شار عبوری از حلقه، مخالفت کند.

۳-۴ الف) الف
الف) با توجه به جهت جریان القا در مدار شکل الف، توضیح دهید که آیا آهنربا رو به بالا حرکت می کند یا رو به پایین.
ب) شکل ب سیم بلند و مستطیلی را نشان می دهد که جریان عبوری از آن در حال افزایش است. جهت جریان القا را در حلقه رسانای مجاور سیم تعیین کنید.

۳-۴ الف) ب
ب) جهت میدان \vec{B} ناشی از سیم حامل جریان I ، در محل حلقه برون سو است. چون جریان I در حال افزایش است، بنابه قانون لنز باید جهت جریان در حلقه، ساعتگرد باشد تا با افزایش شار عبوری از حلقه، مخالفت کند.

۳-۴ الف) الف
الف) با توجه به جهت جریان القا در مدار شکل الف، توضیح دهید که آیا آهنربا رو به بالا حرکت می کند یا رو به پایین.
ب) شکل ب سیم بلند و مستطیلی را نشان می دهد که جریان عبوری از آن در حال افزایش است. جهت جریان القا را در حلقه رسانای مجاور سیم تعیین کنید.

۳-۴ الف) ب
ب) جهت میدان \vec{B} ناشی از سیم حامل جریان I ، در محل حلقه برون سو است. چون جریان I در حال افزایش است، بنابه قانون لنز باید جهت جریان در حلقه، ساعتگرد باشد تا با افزایش شار عبوری از حلقه، مخالفت کند.

۳-۴ پرسش

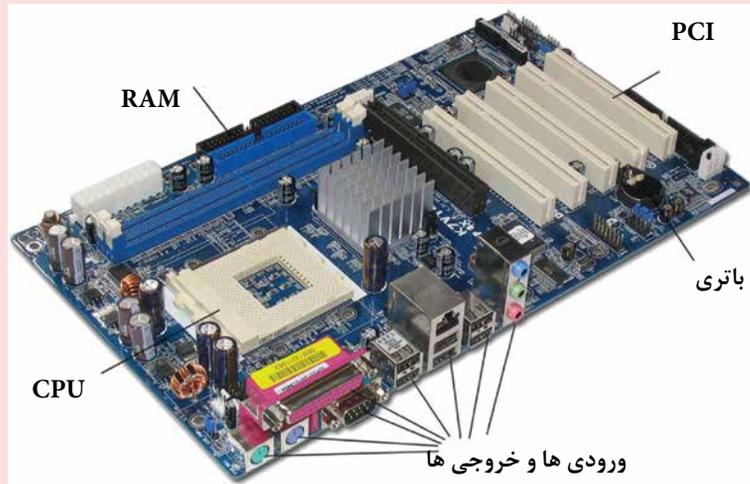
الف) با توجه به قانون لنز، آهنربا در حال دور شدن از پیچه است؛ یعنی رو به پایین حرکت می کند.

ب) جهت میدان \vec{B} ناشی از سیم حامل جریان I ، در محل حلقه برون سو است. چون جریان I در حال افزایش است، بنابه قانون لنز باید جهت جریان در حلقه، ساعتگرد باشد تا با افزایش شار عبوری از حلقه، مخالفت کند.

۴-۴- القاها

راهنمای تدریس : تا اینجا دانش آموزان آزمایش های مربوط به القای الکترومغناطیسی را با پیچه های مختلف (که نوعی القاگر هستند) انجام داده اند هر چند برای آنها، نام القاگر به کار نبرده اند.

در این بخش شکل ۴-۶ دانش آموزان را با انواع مختلف القاگر آشنا کنید. به این منظور، انواع القاگر که در آزمایشگاه موجود است را به کلاس درس ببرید و در اختیار دانش آموزان قرار دهید تا با انواع القاگر آشنا شوند و در صورت لزوم به کاربرد آنها در مدارهای مختلف نیز می توانید اشاره کنید.



به عنوان یک فعالیت ساده می توانید، مادربرد^۱ یک رایانه را به کلاس درس ببرید و ضمن اینکه دانش آموزان با برخی از قطعات آن که تاکنون با آنها آشنا شده اند (مقاومت و خازن) با القاگرهای تعبیه شده روی مادربرد نیز آشنا شوند.

آزمایش ۴-۲، که آزمایشی ساده و مفید برای دیدن پدیده خود-القاوری است به چندین روش در مجموعه فیلم های مربوط به آموزش مجازی فیزیک ۲ آمده است که توصیه می شود آن را مشاهده کنید.

اثبات ضریب القاوری مربوط به

سیملوله، جزو اهداف این کتاب نیست و صرفاً مطابق رابطه ۴-۴ باید گزارش شود و دانش آموزان باید به عوامل دخیل در مقدار این کمیت آشنا شوند.

^۱ Motherboard

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 ۳-۲

ضریب القاوری سیمولوله آرمی بدون هسته‌ای به طول $40cm$ و سطح مقطع $1cm^2$ را پیدا کنید که شامل 2000 حلقه تزویج 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 $1cm^2$ چه تعداد 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؟

حیوان است بدانید: القاگرها در آسبهای القاوری‌شان

حالتی تصور که در ابتدای این بخش دیدیم القاگرها با تغییرات سریع جریان در مدار مخالفت می‌کنند. به همین دلیل نقش مهمی در آسب‌های القاوری‌شان دارند. در این آسب‌ها، جریان الکتریکی از القاگرهایی که فضای درون آسب را پر کرده است می‌گذرد و گاز را برده و به پلاسمای تبدیل می‌کند. پلاسمای یک رسانای غرضی است و هرچه بیشتر برده شود مقاومت آن کمتر می‌شود. اگر گاز به حد کافی پلاسمای به کار آید، سیمولوله‌ها در مدار بسیار زیاد شود و به مدار عبوری آسب القاوری‌شان تبدیل می‌شود. برای جلوگیری از این مسئله، یک القاگر را به طور متوالی با آسب القاوری‌شان می‌کنند تا مانع افزایش زیاد جریان شود. متعادل کننده همچنین باعث می‌شود تا آسب القاوری‌شان بتواند با ولتاژ متناوب کار کند.

القای متقابل: شکل ۳-۳ آسب‌های القاوری‌ساز 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 ولوسا 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 ۳-۳

این تغییر شار، نیروی محرکه‌ای را در پیچه ۲ القا می‌کند که به ایجاد جریان 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 تشکیل آن می‌توان از روی زاویه پیچه به پیچه دیگر متعلق کرد.

در برخی از مدارهایی که از چندین القاگر به وجود آمده است، تغییرات جریان در یک القاگر می‌تواند نیروی محرکه القاوری 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، باید سطح سطح‌های القاگرهای مجاور را به طور عمود بر یکدیگر قرار داد (شکل ۳-۴). در این صورت، اثر القای متقابل تا حد امکان کوچک می‌شود. القای متقابل کاربردهای مفیدی بسیاری نیز دارد. مثلاً در مدارهایی که در پایان همین فصل با آنها آشنا خواهید شد، القای متقابل، نقش مهمی در مدار ولتاژ خروجی مدل آدا می‌کند.

انرژی ذخیره شده در القاگر وقتی توسط باری جریان در القاگر فرار شود، موثر به القاگر انرژی می‌دهد. بخشی از این انرژی در مقاومت الکتریکی سیم‌های 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:

$$U = \frac{1}{2} LI^2 \quad (3-7)$$

لازم است رفتار مغناطیسی و القاگر را به لحاظ انرژی تبدیل بگیریم (شکل ۳-۵). هنگام عبور جریان از مغناطیسی، انرژی وارد آن می‌شود، جریان چه بالا باشد چه تغییر کند، این انرژی در مغناطیسی به انرژی گرما تبدیل می‌شود. در حالی که در یک القاگر آرمی (با مغناطیسی صلب) تنها وقتی انرژی وارد القاگر می‌شود که در آن افزایش باشد. این انرژی تلف نمی‌شود بلکه در میدان مغناطیسی القاگر ذخیره شده و هنگام کاهش جریان آزاد می‌شود. هنگام عبور جریان بالا از یک القاگر آرمی (سیم‌پیچ بدون مغناطیسی)، انرژی به آن وارد می‌شود و از آن خارج نمی‌شود.

مثال ۳-۴

مختصصان صنعت برق، علاقه‌مند راه‌های موثری را برای ذخیره انرژی الکتریکی تولیدی در ساعت‌های کم‌صرف (کابری) می‌دانند تا با استفاده از آن نیاز کشورشان را در ساعت‌های مصرف (باز) تأمین کنند. یک ایده فرضی استفاده از یک القاگر بزرگ است. ضریب القاوری این القاگر چقدر باشد تا بتواند $10^9 kWh$ انرژی الکتریکی را در پیچه حامل جریان $2000A$ ذخیره کند؟

پاسخ: مقدار انرژی ذخیره شده مورد نیاز $10^9 kWh$ و جریان $2000A$ داده شده است. از معادله $U = \frac{1}{2} LI^2$ ضریب القاوری را بدست می‌آوریم:

$$U = 10^9 kWh = (10^9 \times 3600) J = 3.6 \times 10^{12} J$$

$$U = \frac{1}{2} LI^2 \Rightarrow L = \frac{2U}{I^2} = \frac{2(3.6 \times 10^{12})}{(2000)^2} = 1.8 \times 10^6 H$$

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. افزون بر این همان‌طور که در فصل ۹ دیدیم 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 ۳-۳

سیلندر آرماتی بدون هسته‌ای به طول ۲۲ cm و با حلقه‌هایی به مساحت ۰.۴۴ cm^۲ - 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 صرفه‌جویی در مصرف انرژی

انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی ناشی از جریانی در سیم‌های القاگر خودرودهای یا موتور بزرگی دارد. پیچ اولیه با حدود ۲۵۰ دور به انرژی خودرود بسته شده است و میدان مغناطیسی قوی‌ای تولید می‌کند. این پیچ، درون یک پیچ ثانویه با ۲۵۰۰ دور سیم‌خوابی قرار گرفته است. برای بهره‌بردن از این میدان در پیچ اولیه قطع می‌شود و میدان مغناطیسی به سرعت به سلف می‌رسد و انرژی محرک الکتریکی در پیچ ثانویه القا می‌کند. در نتیجه انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی همراهِ با جریانی لحظه‌ای از پیچ ثانویه به طرف سلف می‌رود و جریانی تولید می‌کند که سبب القای مغناطیسی سلف و همراهِ در سیم‌های موتور می‌شود (شکل روی‌بر).



۵-۳ جریان متناوب

در اواخر قرن نوزدهم، بهت‌های دائمی بین توماس ادیسون و جورج وستینگ‌هاوس درباره بهترین روش انتقال انرژی الکتریکی از محل تولید 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 شبکه‌های 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 تغییر جهت معنی‌دار برای جریان در نظر گرفت. تمامی نیروگاه‌های تغییر می‌تواند در آن مدار جریان مستقیم را به جریان متناوب تبدیل کند. تمامی نیروگاه‌های متناوب که در آن مدار جریان مستقیم را به جریان متناوب تبدیل می‌کنند که باعث می‌شود انرژی از زمان است و به زمان به قدر مساوی تغییر می‌کند. همین دلیل، جریان متناوب سیم‌های تولید می‌شود (شکل ۵-۳).

تولید جریان متناوب یکی از کاربردهای مهم از القای الکترومغناطیسی، تولید جریان متناوب است. پیش از این دیدیم که برای تولید نیروی محرکه القایی باید شار مغناطیسی را به تغییر گذراند. همین دیدیم که در حضور میدان مغناطیسی یکبارگشت شاری که از بیچه می‌گذرد از رابطه $\Phi = B \cos \theta$ محاسبه می‌شود که در آن θ زاویه بین سطح عمود و سطح عمود بیچه و میدان مغناطیسی است. واضح‌ترین روش برای تغییر شار و در نتیجه تولید جریان القایی، تغییر زاویه θ است. شکل ۱۳-۴ مدار بیچه‌ای را نشان می‌دهد که می‌تواند در میدان مغناطیسی یکبارگشت دور محور θ بچرخد.

هر دور چرخش بیچه معادل 2π رادیان است. اگر بیچه به‌طور یکبارگشت بچرخد و هر دور چرخش آن T ثانیه طول بکشد، بیچه در مدت t ثانیه به اندازه $\frac{2\pi}{T} t$ دور خواهد چرخید. در نتیجه اگر سطح بیچه در لحظه $t = 0$ عمود بر میدان مغناطیسی باشد ($\theta = 0$) پس از گذشت t ثانیه زاویه θ زاویه θ زاویه θ رادیان است. زمان یک دور چرخش کامل بیچه (2π) را دور T یا زمان تک‌دوره می‌نامند. شاری که در لحظه t از بیچه می‌گذرد برابر است با

$$i = I_m \sin \omega t$$

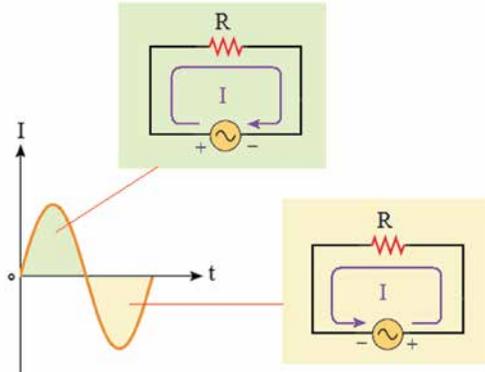
به کمک قانون فاراد می‌توان نشان داد نیروی محرکه القایی در بیچه در لحظه t از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} = B \omega \sin \omega t$$

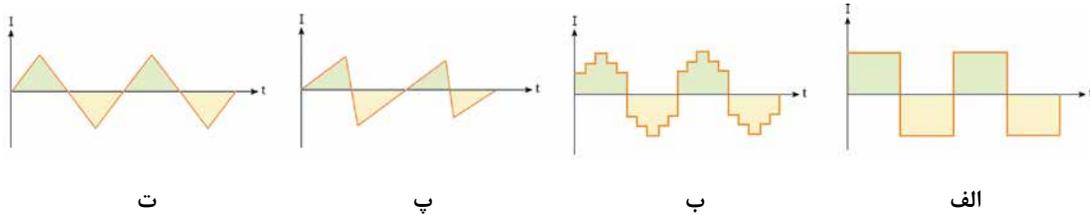
که در آن B به‌شکل مقدار نیروی محرکه القایی در بیچه است. این رابطه نشان می‌دهد که نیروی محرکه القایی به‌طور دورانی نسبت به زمان تغییر می‌کند.

در ادامه رابطه شار از اندازه و جهت آن گرفته شد.

برای درک بهتر شکل ۱۳-۴ کتاب درسی، خوب است شکل زیر را نیز روی تابلو رسم کنید تا تغییر جهت جریان در جریان متناوب بهتر تبیین شود.

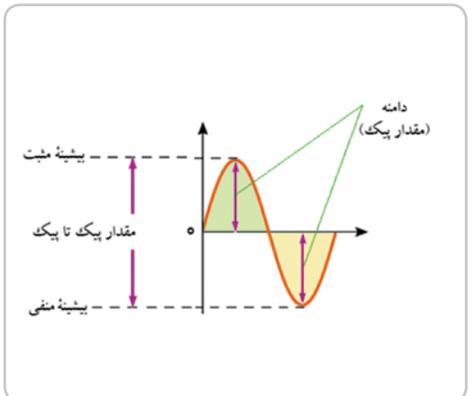


در ادامه می‌توانید نمونه‌های دیگری از موج متناوب را به دانش‌آموزان معرفی کنید که به منظور خاصی تولید می‌شوند و در کاربردهای روزمره متداول نیستند (شکل مقابل)

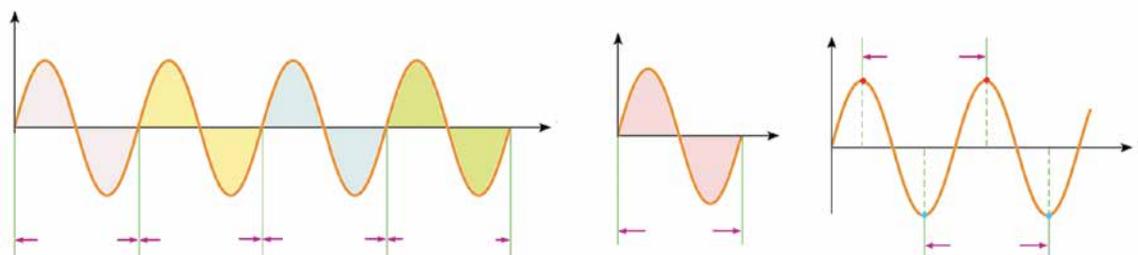


چند نمونه از شکل‌های موج جریان متناوب (الف) موج مربعی، (ب) موج بله‌ای، (پ) موج دندانه اره‌ای، (ت) موج مثلثی.

در کتاب‌های مهندسی معمولاً فاصله بیشینه مثبت تا بیشینه منفی را در جریان متناوب، مقدار پیک تا پیک می‌گویند که دو برابر دامنه موج است (شکل رو به رو).

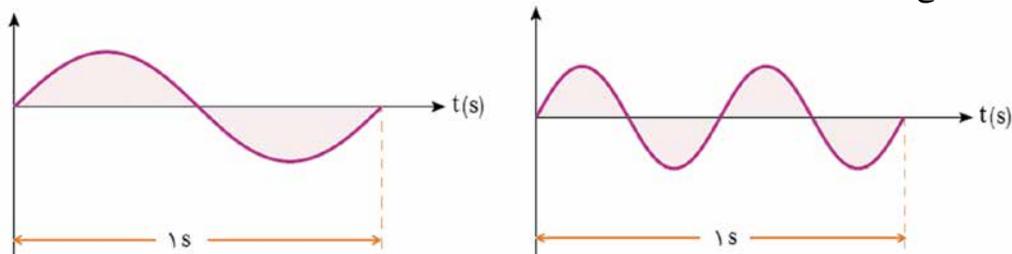


از آنجا که دانش آموزان در دوره اول متوسطه با مفاهیم مرتبط با نوسان و موج آشنایی پیدا نکرده‌اند، لذا در این قسمت نگاهی اجمالی به برخی از مفاهیم اولیه مورد نیاز در این بخش داشته باشید. با رسم شکل‌هایی مشابه شکل‌های زیر، مفهوم چرخه و دوره تناوب را برای دانش آموزان معرفی کنید.



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.

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 یکسوکننده جریان می‌نامند. نمودار شکل به خصوص جریان و حسب زمان را برای مدار شکل الف نشان می‌دهد. پس از گذر گو در گروه خود، نمودار تغییرات جریان و حسب زمان را برای مدار شکل ب رسم کنید.

مدل‌ها ۱، یکی از نیت‌های 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 وسایل 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 تورنگاه سوله‌های فولادی، ولتاژ را تا حدود ۲۰-۲۲۰ افزایش می‌دهند. در انتهای مسیر، مدل‌های کاهنده، ولتاژ را کاهش می‌دهند 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 ($V_1 \approx 370 \text{ V}$).

تلفیق تکنیک‌های کاپاسیتور و سیم‌های انتقالی

مسئله ۳-۱

شکل ۱۹-۳ مدل‌های شل‌دو پیچ به تعداد دوره‌های 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 ۳۰ دور و ولتاژ ۱۲ را تأمین می‌کند. برای یک مدل آزمایشی که تفاوت پیچ‌های مختلف آن تا جزئیات، رابطه زیر برقرار است:

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} \quad (۸-۲)$$

که روی یک هسته آهنی پیچیده شده‌اند.

مسئله ۳-۲

شکل زیر هر یک مدل ۲۲-۷ و ۲۲-۸ را نشان می‌دهد. پیچ اولیه ۸۰۰۰ دور دارد. با فرض آرمیتی بودن مدل، تعداد دوره‌های پیچ ثانویه را پیدا کنید.

پاسخ: با توجه به رابطه داریم:

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

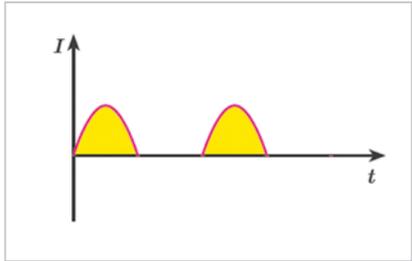
با جای‌گذاری این مقدار در رابطه ۸-۲ داریم:

$$\frac{220}{8000} = \frac{220}{N_2} \Rightarrow N_2 = 8000$$

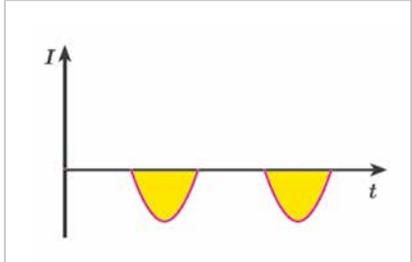
تمرین ۳-۳

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 ۳۰۰۰ و تعداد دور ثانویه ۳۰۰۰۰ باشد، مدل چه ولتاژی را برای کار کردن دستگاه شست‌وکار برقی می‌کند؟

۱۲۷



(الف)



(ب)

راهنمای پاسخ‌یابی پرسش‌ها 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 بانستخ را نشان می‌دهد. اگر این بانستخ را روی یک خانه نصب کنید، به هنگام زمین‌لرزه، آیا می‌تواند ولت‌سنج عددی را نشان می‌دهد. (نشان‌ها چراغ‌خشم میله سبب اعراض نظریه ولت‌سنج می‌شود.) آیا با افزایش تندی بار عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد تغییر می‌کند؟ چرا؟

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

بهرای پی‌ریزید و افزایش وقت کار دستگاه دو پیشنهاد ارائه دهید. کابینه یک‌سختی

۱-۳-۱ حلقه‌های بی‌جهای که دارای ۱۰۰۰ حلقه است، عمود بر میدان مغناطیسی یک‌سختی که اندازه آن ۰.۰۴ T و جهت آن از راست به چپ است، قرار دارد. میدان مغناطیسی در مدت ۰.۰۱ s تغییر می‌کند و به ۰.۰۴ T در خلاف جهت اولیه می‌رسد. اگر سطح هر حلقه بی‌جهه ۰.۰۱ m² باشد، اندازه تندی محرکه القایی متوسط در بی‌جهه را حساب کنید.

۱-۳-۲ مساحت هر حلقه بی‌جهه ۰.۰۱ m² و بی‌جهه متشکل از ۱۰۰۰ حلقه است. در ابتدا سطح بی‌جهه را بر میدان مغناطیسی زمین عمود است. اگر در مدت ۰.۰۱ s بی‌جهه چرخد و سطح حلقه موازی میدان مغناطیسی زمین شود، تندی محرکه متوسط القایی در آن چقدر است؟ اندازه میدان زمین را ۵ × 10⁻⁵ T 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 بی‌جهه 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 بی‌جهه با تعداد دور بیشتر. همچنین استفاده از ولت‌سنج حساس‌تر می‌تواند به بهبود نتیجه اندازه‌گیری بینجامد.

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

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

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

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

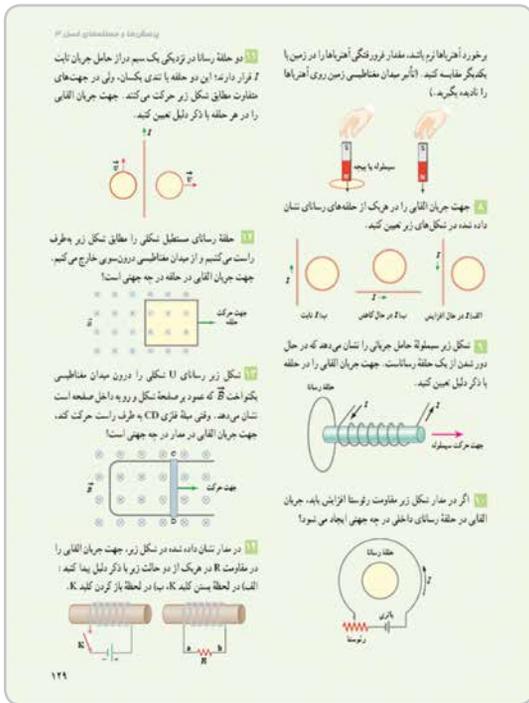
دانش‌آموزان باید توجه کنند برای محاسبه Φ_2 ، باید جهت نیم‌خط عمود بر بی‌جهه که به سمت راست انتخاب شده بود را تعبیر ندهند.

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

۵ در این مسئله نیز نیم‌خط عمود بر بی‌جهه را عمود بر خطوط میدان مغناطیسی زمین فرض کنیم بنابراین $\theta_1 = 0^\circ$ است. در حالتی که بی‌جهه 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.



الف) ساعتگرد، ب) پادساعتگرد، پ) جریانی القایی شود.

۹) پادساعتگرد، دانش‌آموزان باید به جهت حرکت سیمولوله، جهت جریان و جهت میدان ایجاد شده در سیمولوله 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.

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

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

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 القایی 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 سیمولوله

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

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.