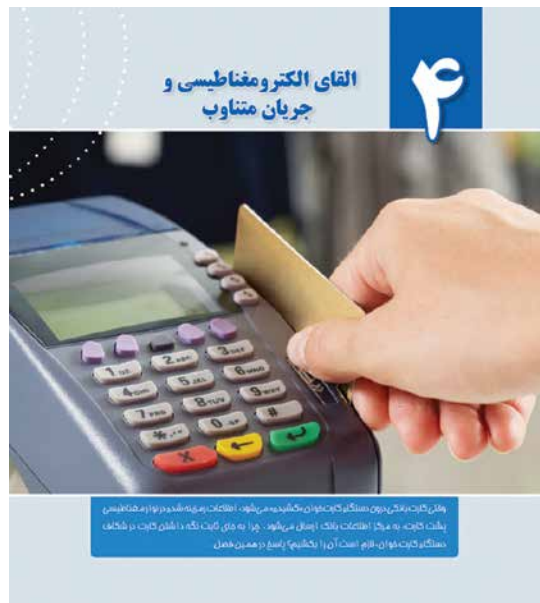


فصل چهارم

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

هدف های فصل

- آشنایی با پدیده القای الکترومغناطیسی و کاربردهای آن در زندگی روزمره (مثل تولید جریان متناوب)
- شناخت عامل های مؤثر بر اندازه جریان القایی و چگونگی تعیین جهت آن
- آشنایی با اثر خود القاوری و ضریب خود القاوری سیملوله.
- آشنایی با پدیده القای متقابل
- آشنایی با جریان متناوب و ویژگی های آن
- آشنایی با اساس کار مبدل ها و انواع آنها



راهنمای تدریس : ابتدا توجه دانش آموزان 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 فیلم های مرتبط با آزمایش های فیزیک ۲ آمده است، ابتدا به کمک دانش آموزان بررسی کنید که نوار سیاه رنگ پشت کارت های بانکی، یک نوار مغناطیسی با خاصیت آهنربایی نسبتاً ضعیف است.





در فصل قبل، با اثر مغناطیسی جریان الکتریکی آشنا شدیم 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، ترمو، جریان الکتریکی است. در این فصل، پس از آشنایی با این قانون، به چگونگی تولد جریان متناوب خواهیم پرداخت.

۴-۱ 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 ۴-۱
هدف: بررسی پدیده القای الکترومغناطیسی.
وسایلهای مورد نیاز: کلاونومتر، آهنربای میله‌ای، سلفوله با پیچیدگی و سیم رابط.
شرح آزمایش:
۱- در سیم سلفوله را به کلاونومتر پیچید.
۲- یکی از قطب‌های آهنربا را وارد سلفوله کنید تا شکل روبروی مشاهده شود. در هنگام انجام این کار، یادداشت کنید.
۳- اکنون آهنربا را از سلفوله 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 سلفوله به آن نزدیک یا از آن دور شود. آیا نتیجه آزمایش دیگری می‌تواند توضیح دهد.

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

شکل ۴-۱: فاراد برای بررسی پدیده القای الکترومغناطیسی، به سیم رابط آهنربا را از آهنربای الکتریکی سلفوله کرد که به باتری در مدار بسته است. مشاهده کرد که در مدار، جریان القایی از دور و نزدیک شدن سلفوله به و عقب برداشتن سلفوله از مدار این سلفوله، ظرفیت کلاونومتر متغیر می‌شود.

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.

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 ۴-۱، 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 پیچیه 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 سنچ 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 سیمول، جریان در آن القا می شود. به جز این روش، به روش های دیگری نیز می توان در پیچه یا سیمول، جریان الکتریکی القا کرد. اگر مساحت پیچه ای از آهنربا دور آن درون میدان مغناطیسی بگذاشت Φ عبور دفعه اشکل ۲-۳ یا پیچه ای را درون میدان مغناطیسی بگذاشت Φ چرخش آن اشکل ۳-۳، مشاهده می شود که در هنگام انجام این کارها، جریانی در پیچه القا می شود.

۳-۳ اشکل ۳-۳ تغییر مساحت پیچه در میدان مغناطیسی Φ جریانی در پیچه القا می کند.

۳-۴ اشکل ۳-۴ چرخش پیچه درون میدان مغناطیسی Φ در پیچه القا می شود.

۳-۵ قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

پس از آن دیدیم که با زلای شدن مغناطیس درون میدان مغناطیسی در محل یک پیچه، مغناطیس ساخته پیچه در حضور میدان مغناطیسی یا چرخش پیچه درون میدان مغناطیسی، جریان الکتریکی در آن القا می شود. عاقل اساسی و مشترک در ایجاد جریان القایی در همه این آزمایش ها، تغییر Φ مغناطیسی عبوری از پیچه است.

مشار مغناطیسی، گشتی زوادی است و برای میدان مغناطیسی بگذاشت Φ که از پیچه ای با مساحت سطح A می گذرد به صورت زیر تعریف می شود:

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

همان طور که در اشکل ۳-۳ 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 Φ شار مغناطیسی، وبر (Wb) است که با توجه به رابطه ۳-۳ داریم: $1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot 1 \text{ m}^2$



۲-۴- قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

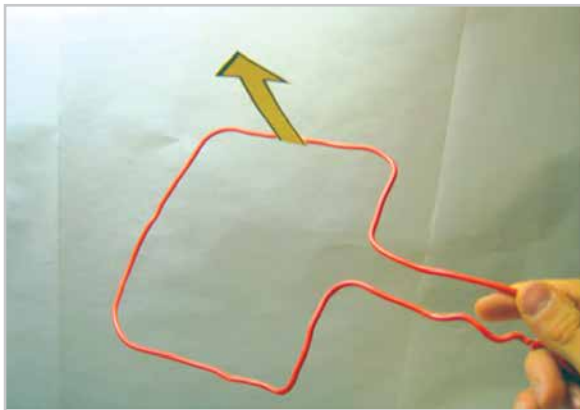
راهنمای تدریس : با انجام فعالیت‌های ساده‌ای مطابق شکل‌های الف و ب، می‌توانید دانش‌آموزان را با مفهوم شار و کمیت‌های وابسته به آن آشنا کنید.

نمونه سوال: همواره دو جهت برای رسم نیم‌خط عمود بر یک سطح تعین وجود دارد. علامت شار مغناطیسی عبوری از این سطح نیز به انتخاب این جهت بستگی دارد. برای مثال، در شکل ۲۰-۳، 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 جهت \vec{B} 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.

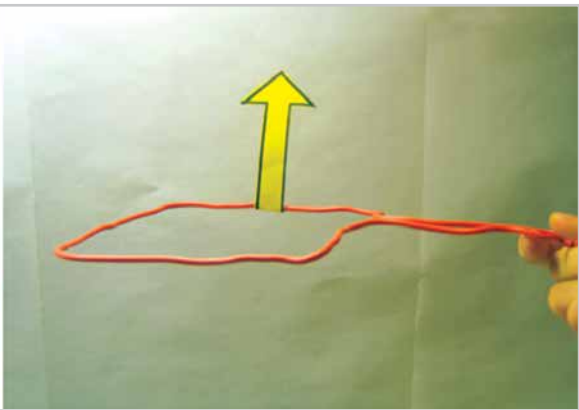
الف) مطابق شکل الف، سطح حلقه رسانایی، به شکل مربع با ضلع 10 cm ، عمود بر میدان مغناطیسی یکجانبه با بزرگی 15 T قرار دارد. شار عبوری از این حلقه را بدست آورید.
 ب) اگر حلقه را چرخانیم به طوری که سطح حلقه موازی با خط‌های میدان مغناطیسی شود، شار مغناطیسی عبوری از آن چقدر می‌شود؟
 ج) شار حلقه مغناطیسی عبوری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

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:
 $A = 10 \times 10 = 100\text{ cm}^2 = 10^{-2}\text{ m}^2$ ، $B = 15\text{ T}$ ، $\theta = 0^\circ$ ، $\Phi = BA \cos \theta = 15 \times 10^{-2} \times 1 = 1.5 \times 10^{-1}\text{ Wb}$
 ب) وقتی مطابق شکل ب، حلقه می‌چرخد و موازی آن 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 شار از سطح حلقه عبور نمی‌کند. میدان‌طور که دیدیم شار عبوری از سطح حلقه در وضعیت شکل الف و وضعیت شکل ب به ترتیب برابر $1.5 \times 10^{-1}\text{ Wb}$ و 0 است. به این ترتیب، تغییر شار عبوری از سطح حلقه برابر $\Delta\Phi = \Phi_b - \Phi_a = 0 - 1.5 \times 10^{-1}\text{ Wb} = -1.5 \times 10^{-1}\text{ Wb}$ 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 $\Delta\Phi$ برابر است با:
 $\Delta\Phi = -1.5 \times 10^{-1}\text{ Wb}$
 $\Delta t = 0.1\text{ s}$

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

القای حلقه‌ای به مساحت 250cm^2 درون میدان مغناطیسی یکجوشد درون سیمی به اندازه 0.33A قرار داده شکل القای شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید.

بنا 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، آهنگ تغییر شار $(\Delta\Phi/\Delta t)$ را پیدا کنید.

پرسش ۱-۴

کدام یک از یکای زیر معادل یکای ویر بر تانه (Wb/s) است؟

Ω A V W/A

آنگونه که با تعریف و مفهوم شار مغناطیسی آشنا شدید دوباره بنگاه می‌کنید به پدیده القای الکترومغناطیسی که در بخش قبل بررسی کردیم. همانطور که گفتیم عامل مشترک در تمامی پدیده‌های که منجر به تولد جریان القایی در مدار می‌شود، تغییر شار مغناطیسی عبوری از پیچه یا مسیول است. بنابر قانون فاراد، هرگاه شار مغناطیسی‌ای که از مدار مسیول می‌گذرد تغییر کند، نیروی محرک‌ای در آن القا می‌شود که نوری 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 ۳-۱، ۳-۲ و ۳-۳ هرچه حرکتی که سیم تغییر شار مغناطیسی می‌شود، سریع‌تر انجام شود، عمده‌ی القاوت بیشتر متصرف می‌شود و این نشان می‌دهد که جریان القایی بزرگ‌تری بوجود آمده است.

قانون فاراد برای پیچه یا مسیول‌های که از آن دور شده تشکیل شده باشد با رابطه زیر بیان می‌شود:

(۳-۴) $\mathcal{E} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

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

(۳-۵) $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$

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

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

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

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

پیچه‌ای شامل ۲۰۰ دور که مساحت هر حلقه آن 250cm^2 است، سطح شکل زیر در دو ربع از ربع‌های یک آهن‌ربای الکتریکی قرار گرفته است که میدان مغناطیسی یکجوشد تولد می‌کند. سطح‌های میدان را سطح پیچه عبور دهد. اگر اندازه میدان در بازه زمانی 0.1s از 0.1T به 0.12T افزایش یابد.

القای نیروی محرک‌القایی متوسط ایجاد شده در پیچه چقدر است؟

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

پاسخ: القای متوسط عبور و سطح حلقه‌های پیچه را محاسبه می‌کنیم. با توجه به داده‌های مسئله داریم:

$N = 200, A = 250\text{cm}^2, \theta = 0, \Delta t = 0.1\text{s}$

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

$\Phi_1 = BA_1 \cos\theta = (0.1\text{T})(250 \times 10^{-4} \text{m}^2) \cos 0^\circ = 2.5 \times 10^{-3} \text{Wb}$

$\Phi_2 = BA_2 \cos\theta = (0.12\text{T})(250 \times 10^{-4} \text{m}^2) \cos 0^\circ = 3 \times 10^{-3} \text{Wb}$

به این ترتیب، تغییر شار مغناطیسی برابر است با:

$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = (3 - 2.5) \times 10^{-3} \text{Wb} = 0.5 \times 10^{-3} \text{Wb}$

با قرار دادن این مقدار و داده‌های بالا در رابطه ۳-۴ داریم:

$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -(200) \frac{0.5 \times 10^{-3} \text{Wb}}{0.1\text{s}} = -1\text{V}$

بنا با توجه به رابطه ۳-۵، جریان القایی متوسط در پیچه برابر است با:

$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{-1\text{V}}{10\Omega} = -0.1\text{A}$

تمرین ۳-۳

حیوانات 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 $(0, 1), (1, 2), (2, 3), (3, 4)$ و $(4, 5)$ رسم کنید.

پاسخ: همان‌طور که در نمودار شار مغناطیسی و ریسب زمان دیده می‌شود، در بازه زمانی $0 \leq t \leq 1$ شار به صورت خطی افزایش می‌یابد. در نتیجه 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.

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

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 برعکس می‌شود. بنابراین سیمه آنچه در مورد بازه زمانی صفر تا 1 گفتیم، نیروی محرک‌القایی در تمامی لحظات این بازه با مقدار متوسط نیروی محرک‌القایی در آن بازه زمانی برابر و مساوی $1 \times 10^{-3} \text{V}$ است. نمودار نیروی محرک‌القایی و ریسب 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 آهنگ تغییرات شار (Wb/s) که از جنس نیروی محرک‌الکتریکی 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)

$$I = |\bar{\mathcal{E}}|/R = (1125 \text{ V})/(10 \Omega) = 112.5 \text{ A} = 113 \text{ mA}$$

مثال ۳-۴

شکل روبرو، رسانای U شکلی را درون میدان مغناطیسی یکواخت \vec{B} به اندازه 0.17 T نشان می‌دهد. میدان \vec{B} عمود بر صفحه شکل و رو به بیرون است. میله‌ای فلزی آیسر لغزنده به طول $l = 0.25 \text{ cm}$ بین دو بازوی رسانا قرار دارد و مدار 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 یکواخت است. پس شار مغناطیسی را از رابطه $\Phi = BA \cos \theta$ محاسبه می‌کنیم. بی‌شک عمود و سطح حلقه را عموداً \vec{B} می‌گیریم. بنابراین زاویه نیمه‌خط عمود با میدان \vec{B} صفر است ($\theta = 0^\circ$) و در نتیجه $\Phi = BA$. از قانون القای فارادی داریم:

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

وای محاسبه ΔA داریم. توجه کنید که میله فلزی لغزنده در مدت Δt مسافت $v \Delta t$ را طی می‌کند. شکل روبروی و سطح حلقه به مقدار $\Delta A = l v \Delta t$ 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:

$$\bar{\mathcal{E}} = -(0.17 \text{ T})(0.25 \times 10^{-2} \text{ m})(2 \text{ m/s}) = -0.85 \text{ mV}$$

و بزرگی آن برابر است با:

$$|\bar{\mathcal{E}}| = 0.85 \text{ mV}$$

توجه کنید که به علت مثبت بودن تندی میله لغزنده، نیروی محرکه القایی مثبت است. در این حالت، رسانای U شکل با سهم لغزنده، یک موتور 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 0.28 T رو به بالا، به 0.17 T رو به پایین می‌رسد. در این حالت:

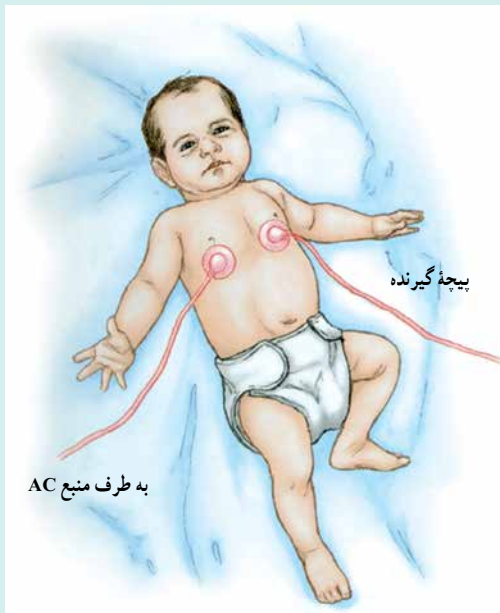
الف) شار ناشی از حرکت القایی متوسط در حلقه را بدست آورید.

ب) میدان مغناطیسی 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 دو چرخه را گزارش می‌دهد.

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.

۳-۴- قانون لنز

۳-۴-۱ قانون لنز

معدت کوتاهی پس از آنکه فرادان قانون القای الکترومغناطیسی را ارائه کرد، هاینریش لایب، دانشمند روس تبار، در سال ۱۸۴۴ میلادی روشی را برای تعیین جهت جریان القایی در یک پهنه یا در هر مدار بسته دیگری پیشنهاد کرد. این روش که بعدها به قانون لایب شهرت یافت، مابقی از آن است که: **جریان حاصل از سویی مغناطیسی در یک مدار یا پهنه در جهتی است که اثر مغناطیسی ناشی از آن را با عامل موجود از رویه جریان القایی، یعنی عنصر مدار مغناطیسی، مخالفت می‌کند.**

علاصت سلفی در رابطه ۳-۴-۱ نشان دهنده همین مخالفت است. توضیح دقیق‌تر این مطلب فراخ از سطح این کتاب است. در اینجا تنها به ذکر شکل‌های از چگونگی استفاده از قانون لایب برای تعیین جهت جریان القایی اکتفا می‌کنیم.

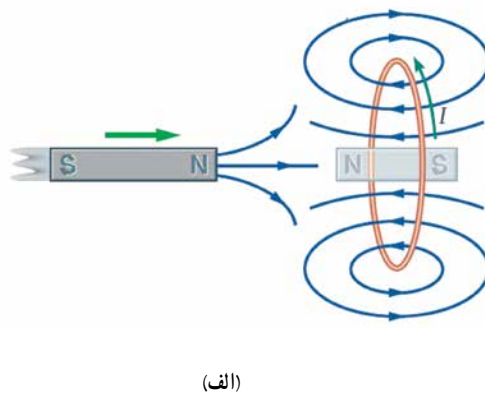
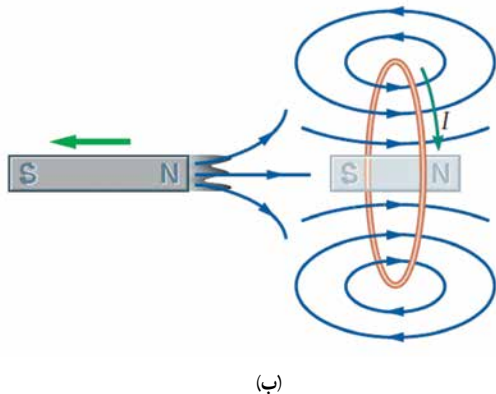
شکل ۳-۴-۱ الف: آهنربای را نشان می‌دهد که قطب N آن در حال نزدیک شدن به یک حلقه رسانا است. در این وضعیت اندازه Φ در محل حلقه افزایش می‌یابد و در نتیجه شار گذرنده از حلقه زیاد می‌شود. بنا به قانون لایب، جهت جریان القایی ایجاد شده در حلقه چنان است که میدان مغناطیسی ناشی از آن با افزایش شار مخالفت کند. بنابراین، 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 ۳-۴-۱ ب 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 عبوری از حلقه، مخالفت می‌کند.

۱۱۷

راهنمای تدریس : قانون لنز هرچند بیان ساده و روشنی دارد با این وجود بررسی‌های مختلف نشان داده است که دانش آموزان 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).



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

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

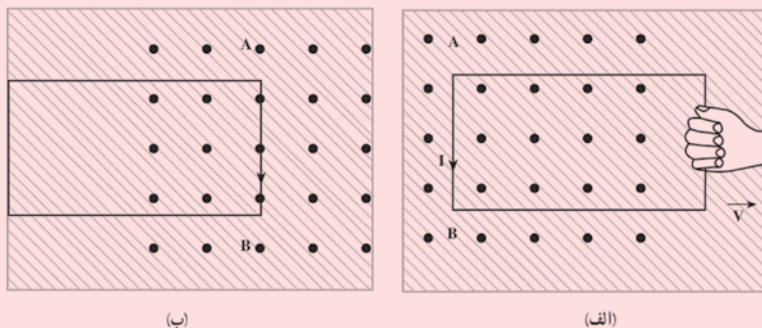
(شکل الف)، در حالی که اگر مدار بسته نباشد، مشابه (حلقه ناکامل) شکل ب، نه جریانی در مدار القا می‌شود و نه می‌توان از قانون لنز برای تعیین جهت آن استفاده کرد.



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.



پرسش ۳-۴

الف) با توجه به جهت جریان لنتز، 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 لنتز باید جهت جریان در حلقه، ساعتگرد باشد تا با افزایش شار عبوری از حلقه، مخالفت کند.

۳-۴ الف) پرسش
الف) با توجه به جهت جریان لنتز، 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 لنتز باید جهت جریان در حلقه، ساعتگرد باشد تا با افزایش شار عبوری از حلقه، مخالفت کند.

۳-۴ ب) پرسش
الف) با توجه به جهت جریان لنتز، 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 لنتز باید جهت جریان در حلقه، ساعتگرد باشد تا با افزایش شار عبوری از حلقه، مخالفت کند.

پرسش ۳-۴

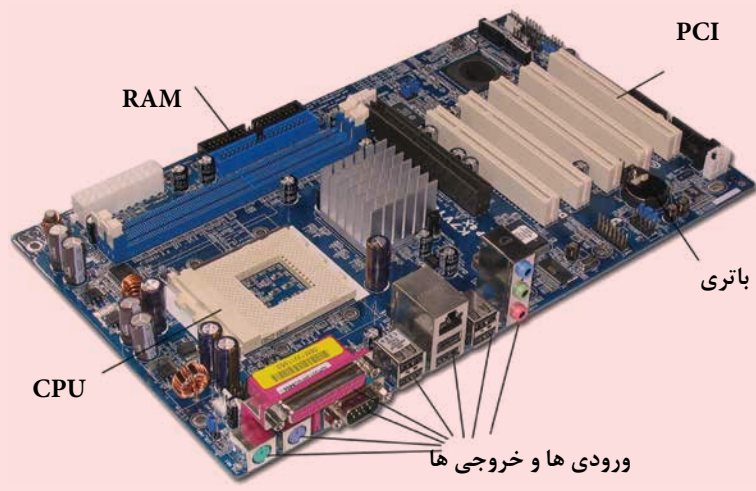
الف) با توجه به جهت جریان لنتز، آهنربا در حال دور شدن از پیچه است؛ یعنی رو به پایین حرکت می کند.

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 لنتز 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 پیچ 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 می دهد $1H$ برای ضریب القاوری یک القاگر عدد بسیار بزرگی است و برای سیموله ای 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 ۳-۴

ضریب القاوری سیموله آرمی حوض هسته ای به طول $40cm$ و سطح مقطع $1cm^2$ را پیدا کنید که شامل 2000 حلقه تزیوگ به هر است.

پاسخ: با توجه به داده های مسئله داریم:

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

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

$$L = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} A = (4\pi \times 10^{-7} T \cdot m/A) \frac{(2000)^2}{0.4} (1 \times 10^{-4} m^2) = 1.01 \times 10^{-2} H = 10.1 mH$$

تمرین ۳-۴

۱- تعداد حلقه های سیموله ای حوض هسته ای به طول $40cm$ و سطح مقطع $1cm^2$ چه تعداد باشد تا ضریب القاوری آن $1H$ شود؟
 ۲- دو سیموله ای حوض هسته ای سطح مقطع و تعداد دور یکسان را در نظر بگیرید. اگر طول یکی از سیموله ها دو برابر دیگری باشد، ضریب القاوری اش چند برابر دیگری است؟

حیوان است بدانید: القاگرها در آسبهای القاوری نام دارند. همان طور که در ابتدای این بخش دیدیم القاگرها با تغییرات سریع جریان در مدار مخالفت می کنند. به همین دلیل نقش مهمی در آسب های القاوری (همراهی) دارند. در این آسب ها، جریان الکتریکی از القاگرهایی که فضای درون آسب را پر کرده است می گذرد و گاز را برده و به پلاسمای تبدیل می کند. پلاسمای یک رسانای غیری همی است و هر چه بیشتر برده شود مقاومت آن کمتر می شود. اگر گاز به حد کافی پلاسمای به کار آید، جریان می تواند بسیار زیاد شود و به مدار عبوری آسب القاوری آسیب رساند. برای جلوگیری از این مسئله، یک القاگر را به طور معمولی با آسب القاوری نامیده اند تا مانع افزایش زیاد جریان شود. متعادل کننده همچنین باعث می شود تا آسب القاوری بتواند با ولتاژ متناوب کار کند.

القای متقابل: شکل ۳-۳۰ آسب آرمی سیموله ای را برای بررسی از القای متقابل نشان می دهد. جریان عبوری از پیچه ۱، میدان مغناطیسی \vec{B} را بوجود می آورد. این میدان \vec{B} ، شار مغناطیسی Φ را از پیچه ۲ می گذراند که در مجاورت آن قرار دارد. با تغییر دادن مقاومت ولتوسا و تغییر جریان در پیچه ۱، میدان مغناطیسی پیچه ۱ در نتیجه شار عبوری از پیچه ۲ نیز تغییر می کند. طبق قانون فاراد،

در پیچه ۲، شار مغناطیسی \vec{B} و تغییر شار مغناطیسی $\frac{d\Phi}{dt}$ در پیچه ۲، بر حسب قانون فاراد، $\mathcal{E}_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$ را ایجاد می کند. این تغییر شار مغناطیسی $\frac{d\Phi}{dt}$ در پیچه ۲، بر حسب قانون فاراد، $\mathcal{E}_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$ را ایجاد می کند. این تغییر شار مغناطیسی $\frac{d\Phi}{dt}$ در پیچه ۲، بر حسب قانون فاراد، $\mathcal{E}_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$ را ایجاد می کند.

تمرین ۳-۴

۱

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

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

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

$1H = (4\pi \times 10^{-7} T \cdot m/A) = \frac{(10^{-4} m^2) N^2}{2/8 \times 10^{-2} m}$

$\Rightarrow N^2 = \frac{2/8}{4\pi \times 10^{-9}} = 2/2 \times 10^9$

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

۲

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

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

مثال ۳-۵

این تغییر شار، شار مغناطیسی را در پیچه ۲ القا می کند که به ایجاد جریان در آن پیچه می انجامد. همین تغییر شار مغناطیسی در پیچه ۲، سبب ایجاد نیروی محرکه القایی در پیچه ۲ می شود. این فرآیند، القای متقابل نامیده می شود و به تشکیل آن می توان از طریق رابطه $\mathcal{E}_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$ متعلق کرد.

در برخی از مدارهایی که از جریان القاگر به وجود آمده است، تغییرات جریان در یک القاگر می تواند نیروهای محرکه القایی یا در القاگرهای مجاور القا کند. به همین دلیل، در برخی از مدارهای الکتریکی، القای متقابل می تواند مزاحم باشد. برای فرجه کمتر کردن آن از خواص، باید سطح سطح های القاگرهای مجاور را به طور عمود بر یکدیگر قرار داد (شکل ۳-۳۱). در این صورت، اثر القای متقابل تا حد امکان کوچک می شود. القای متقابل القاوری همیشه بسیار تر دارد. مثلاً در مدارهایی که در پایان همین فصل با آنها آشنا خواهید شد، القای متقابل، نقش مهمی در مدار ولتاژ خروجی مدل ایفا می کند.

انرژی ذخیره شده در القاگر: وقتی توسط باری جریان در القاگر قرار شود، مولد به القاگر انرژی می دهد. بخشی از این انرژی در مقاومت الکتریکی سیموله القاگر به صورت گرما تلف و بقیه آن در میدان مغناطیسی القاگر ذخیره می شود. مقدار انرژی ذخیره شده در میدان القاگر با ضریب القاوری L ، از رابطه زیر بدست می آید:

$$U = \frac{1}{2} LI^2 \quad (3-31)$$

لازم است رفتار مغناطیسی و القاگر را به لحاظ انرژی تبدیل بگیرد (شکل ۳-۳۲). هنگام عبور جریان از مغناطیسی، انرژی وارد آن می شود، جریان چه بالا باشد چه تغییر کند، این انرژی در مغناطیسی به انرژی گرما تبدیل می شود. در حالی که در یک القاگر آرمی (با مغناطیسی صلب) تنها وقتی انرژی وارد القاگر می شود که در آن افزایش یابد. این انرژی تلف نمی شود بلکه در میدان مغناطیسی القاگر ذخیره شده و هنگام کاهش جریان آزاد می شود. هنگام عبور جریان I_1 از یک القاگر آرمی (سیمولید مغناطیسی)، انرژی به آن وارد می آید و از آن خارج نمی شود.

مثال ۳-۶

مشخصان صحت ر.د. علامت مند راه های موزی را برای ذخیره انرژی الکتریکی تولیدی در ساعت های مصرف کننده ای مانند تا با استفاده از این نیاز نشانگان را در ساعت های مصرف (برج بل) تعیین کنند. یک امد فرضی استفاده از یک القاگر بزرگ است. ضریب القاوری این القاگر چقدر باشد تا بتواند $1000Wh$ انرژی الکتریکی را در پیچه حبل $2000A$ ذخیره کند؟

پاسخ: مقدار انرژی ذخیره شده مورد نیاز $1000Wh$ و $2000A$ جریان I داده شده است. از معادله $U = \frac{1}{2} LI^2$ ضریب القاوری را بدست می آوریم:

$$U = 1000Wh = (1000 \times 3600) = 3.6 \times 10^6 J$$

$$U = \frac{1}{2} LI^2 \Rightarrow L = \frac{2U}{I^2} = \frac{2(3.6 \times 10^6)}{(2000)^2} = 1.8 \times 10^3 H$$

تمرین ۴-۴

$$\ell = ۲۲\text{ cm} , A = ۰/۴۴\text{ cm}^۲$$

$$N = ۲۰۰۰\text{ دور} , I = ۱/۷\text{ A}$$

$$L = \mu \cdot \frac{AN^۲}{\ell}$$

$$= (۴\pi \times ۱۰^{-۷}\text{ T.m/A})$$

$$= \frac{(۰/۴۴ \times ۱۰^{-۴}\text{ m}^۲)(۲۰۰۰)^۲}{۲۲ \times ۱۰^{-۲}\text{ m}}$$

$$\Rightarrow L \approx ۱۰^{-۳}\text{ H} = ۱\text{ mH}$$

$$v = \frac{1}{2}LI^۲$$

$$= \frac{1}{2} (۱ \times ۱۰^{-۳}\text{ H})(۱/۷\text{ A})^۲$$

$$\Rightarrow v = ۱/۴۴ \times ۱۰^{-۳}\text{ J} = ۱/۴۴\text{ mJ}$$

همان‌طور 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 ۳ دیدیم سیم‌های معمولی که بتوانند جریان ۲۰۰۰ A 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 توجیه اقتصادی ندارد.

تمرین ۴-۳

سیم‌قوة آرمیتی 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 سیم‌قوة را حساب کنید.

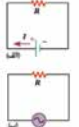
فکرتور و کار به ازای آن برای یک سیم‌قوة



انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی ناشی از جریانی در سیم‌قوة‌های اختراق خودروهایی 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 سیم‌خطی نازک قرار گرفته است. برای جرقه زدن نسیم، جریان در پیچ اولیه قطع می‌شود و میدان مغناطیسی به سرعت به صفر می‌رسد و انرژی محرکه الکتریکی در پیچ ثانویه القا می‌کند. در نتیجه انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی همراهِ با جریانی لحظه‌ای از پیچ ثانویه به طرف نسیم می‌رود و جرقه‌ای تولید می‌کند که سبب اختراق مخلوط سوخت و هوا در سیم‌قوة‌های موتور می‌شود (شکل روی‌برو).

۵-۳ جریان متناوب

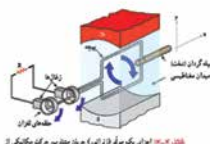
در اواخر قرن نوزدهم، بهت‌های داخلی بن توماس ادیسون و جورج وستینگ‌هاوس درباره بهترین روش انتقال انرژی الکتریکی از محل تولد تا محل مصرف صورت گرفت. ادیسون توافق جریان مستقیم (DC) بود، در حالی که وستینگ‌هاوس از جریان متناوب (AC) حمایت می‌کرد. سرانجام، وستینگ‌هاوس پیروز شد و پس از آن شبکه‌های انتقال و توزیع 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، جهت جریان را تغییر می‌دهد، نمی‌توان جهت معینی را برای جریان در نظر گرفت. شماتی پروتوگادهای تصویر می‌تواند برای مدار ساده جریان متناوب به کار آید. در این مدار، جریان متناوب با گذشت زمان به قدری تغییر می‌کند که جهت آن در هر لحظه از زمان است و به دلیل به قدر معینی تغییر می‌کند. همین دلیل، جریان متناوب سیم‌سوزی شایع می‌شود (شکل ۵-۳).

فصل چهارم : القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب ۶۷

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 تغییر داد. همین دیدیم که در حضور میدان مغناطیسی یکبارگشت شاری که از پیچ می‌گذرد از رابطه $\Phi = B \cos \theta$ محاسبه می‌شود که در آن θ زاویه بین لایحه عمود و سطح عمود میدان مغناطیسی است. واضح است در این روش برای تغییر شار و در نتیجه تولید جریان القایی، تغییر زاویه θ است. شکل ۱۳-۴ مدار پیچ را نشان می‌دهد که می‌تواند در میدان مغناطیسی یکبارگشت دور معروضه برقرار باشد.



هر دور چرخش پیچ معادل 2π رادیان است. اگر پیچ بطور یکبارگشت چرخد و هر دور چرخش آن θ زاویه طول کشد، پیچ در مدت t ثانیه ωt دور خواهد چرخید. در نتیجه اگر سطح پیچ در لحظه $t = 0$ عمود بر میدان مغناطیسی باشد ($\theta = 0$) پس از گذشت t ثانیه زاویه θ را در (ωt) رادیان است. زمان یک دور چرخش کامل پیچ 2π را دور، یا زمان تأخیر می‌نامند. شاری که در لحظه t از پیچ می‌گذرد برابر است با

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

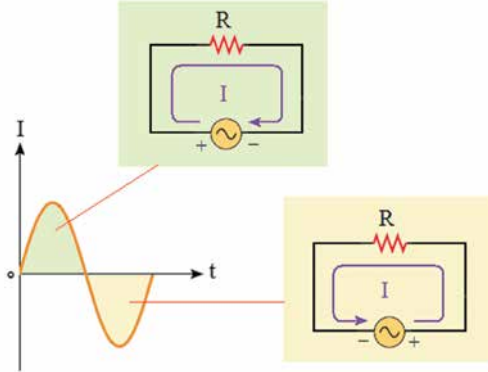
به کمک قانون فاراد می‌توان نشان داد نیروی محرکه القایی در پیچ در لحظه t از رابطه زیر بدست می‌آید:

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

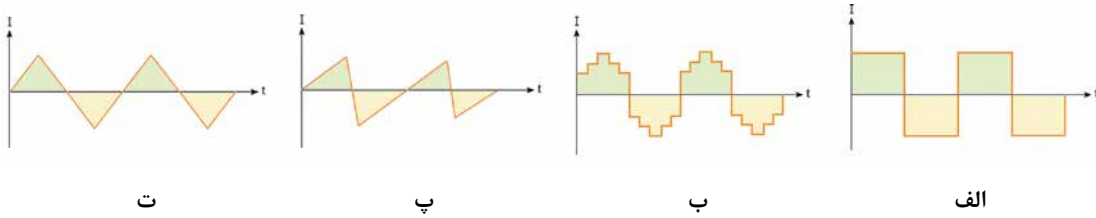
که در آن B شدت میدان مغناطیسی در پیچ است. این رابطه نشان می‌دهد که نیروی محرکه القایی همواره دورانی است و زمان تغییر می‌کند.

در ادامه باید مدار را از نظر انرژی بررسی کنیم.

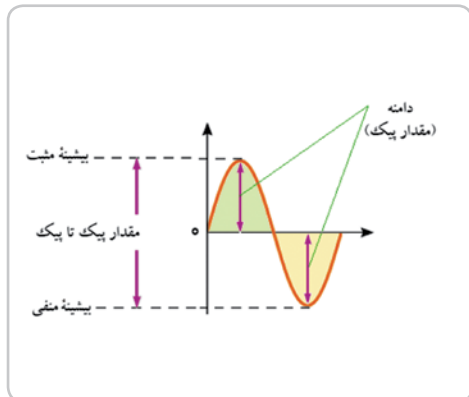
برای درک بهتر شکل ۴-۱۳ کتاب درسی، خوب است شکل زیر را نیز روی تابلو رسم کنید تا تغییر جهت جریان در جریان متناوب بهتر تبیین شود.



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)

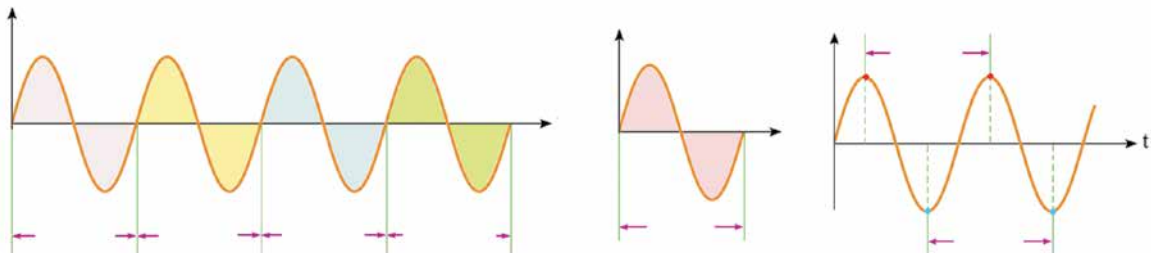


چند نمونه از شکل‌های موج جریان متناوب (الف) موج مربعی، (ب) موج بله‌ای، (پ) موج دندانانه اره‌ای، (ت) موج مثلثی.



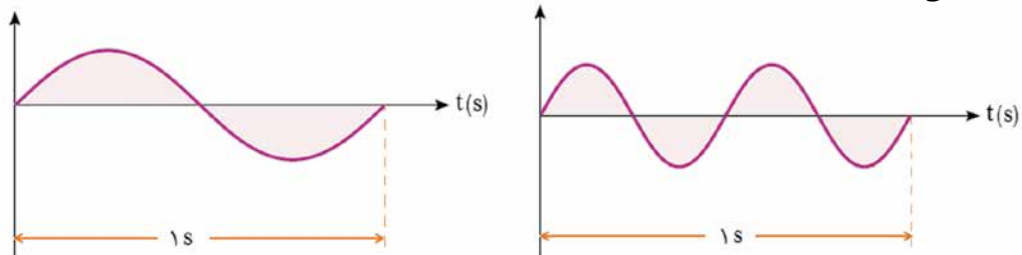
در کتاب‌های مهندسی معمولاً فاصله بیشینه مثبت تا بیشینه منفی را در جریان متناوب، مقدار پیک تا پیک می‌گویند که دو برابر دامنه موج است (شکل رو به رو).

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

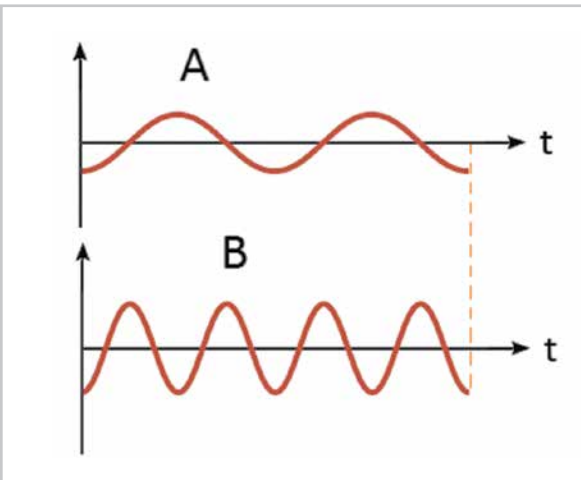
می‌شود و وارون دوره تناوب است ($f = \frac{1}{T}$). یکای بسامد چرخه بر ثانیه یا عکس ثانیه (S^{-1}) است که هرتز (Hz) نامیده می‌شود. شکل زیر دو موج سینوسی با بسامد متفاوت را نشان می‌دهد.



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.

پرسش پیشنهادی

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



اگر مقاومت کل مدار یک پیچ را برابر با R باشد، با توجه به رابطه $\omega = 2\pi f$ ، جریانی که در پیچ القا می‌شود برابر است با:

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

در این رابطه I_m بیشترین جریانی القا شده در پیچ و برابر $\frac{R}{\omega L}$ می‌باشد. رابطه $\omega = 2\pi f$ همچنین نشان می‌دهد که جریانی القا شده در پیچ به طور مستقیم تغییر می‌کند. همچنین بسامد به آن **جریان متناوب** می‌گویند. نمودار این جریان و بسامد 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 پیچ به خطوط میدان مغناطیسی عمود است و جریانی در مدار وجود ندارد. هنگامی که $t = \frac{T}{4}$ (الف)، پیچ به یک چهارم دور می‌چرخد تا در وضعیت شکل ۱۳۴-۲ پ به قرار گیرد. در حین این چرخش، شار عبوری از پیچ 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 پیچ 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 پیچ به یک دور می‌چرخد و به آن ترتیب یک چرخه کامل را طی می‌کند و به وضعیت شکل ۱۳۴-۴ ت می‌رسد و در نتیجه جریانی از مقدار بیشینه منفی به صفر می‌رسد. این حرکت به طور متناوب (یادری) توسط پیچ ادامه می‌یابد و جریانی متناوب تولید می‌شود.

شکل ۱۳۴-۱ 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، سیم‌ها ساکن اند و آهنربای الکتریکی در آنها می‌چرخد (شکل ۱۳۵-۱). در نورنگاهای تولید برق در ایران، آهنربای الکتریکی در هر نیمه ۵۰ دور درون پیچ می‌چرخد. این نسبت را بسامد برق تولید شده می‌نامند و بصورت 50 Hz بیان می‌کنند. بکای 50 Hz بسامد 50 s^{-1} یا 50 Hz (هرتز) است.

جریان متناوب
از طرف خطوط انتقال
از طرف آهنربای الکتریکی

شکل ۱۳۵-۱ القای در مولدهای متناوب با چرخش آهنربای الکتریکی در پیچ
جریان متناوب تولید می‌شود. بر اساس این روش مولدهای متناوب تولید برق می‌کنند.

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

پاسخ: چون ربع چرخه در 0.02 s طی شده است، دوره تناوب برابر $T = 0.08 \text{ s}$ است. همچنین با توجه به نمودار، بیشترین جریانی $I_m = 2 \text{ A}$ یا است. در نتیجه از رابطه $\omega = \frac{2\pi}{T}$ داریم:

$$\omega = \frac{2\pi}{0.08} = 25\pi \text{ rad/s}$$

نتیجه نهایی بر حسب بکهای 50 Hz نوشته شده است.

تمرین ۴-۵

معادله جریانی - زمان یک مولد جریانی متناوب بر حسب بکهای 50 Hz بصورت $i = (2 \times 10^{-2}) \sin 250\pi t$ است. الف) جریانی در لحظه $t = 2 \times 10^{-3} \text{ s}$ را $i = 2 \times 10^{-2} \sin 250\pi \times 2 \times 10^{-3}$ چقدر است؟ ب) دوره تناوب جریانی را به 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 $t = 2 \times 10^{-3} \text{ s}$ داریم

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

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

$$= 2 \text{ mA}$$

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 ۳۴

فعالیت ۱-۴

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 در یک مدار شکل الف نشان می‌دهد. پس از گذرگاه در گروه خود، نمودار تغییرات جریان در مدار شکل (ب) را 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.

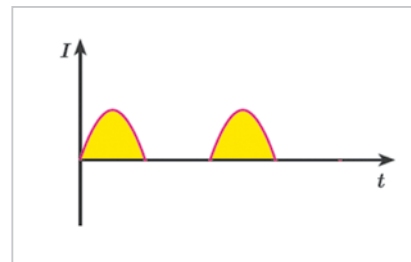
خط‌های انتقال توان الکتریکی به طور معمول از ولتاژهای در حدود ۸۷-۲۰۰ استفاده می‌کنند. شکل (۱۸-۳) از طرف دیگر، ملاحظات ایمنی و الزامات قانونی در ساخت و پایداری خط‌های و صنعتی، ولتاژهای به نسبت پایین‌تری را در محل مصرف انرژی ضروری می‌کنند. ولتاژ استاندارد برای سیم‌کشی خانگی در ایران و بسیاری از کشورهای دیگر ۲۲۰-۲۴۰ است. تبدیل ولتاژ مورد نیاز با استفاده از مدل‌ها صورت می‌گیرد.

مثال ۳۴-۱ 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.

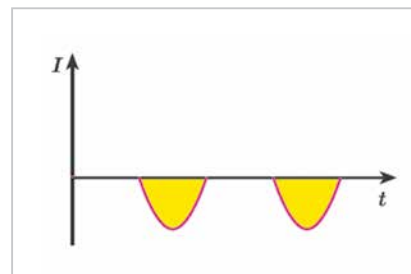
۱۲۶

تمرین ۶-۴

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



(الف)



(ب)

انتقال الکتریکی در سیم‌ها و سیم‌های انتقال

شکل ۱۹-۳ مدل‌های تبدیل 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 پیچ دوم با ۲۴ سیم‌پشته شده است و پیچ ثانویه با ۱۲ دور و ولتاژ ۱۲۰ را تأمین می‌کند. برای یک مدل آزمایشی که تفاوت پیچ‌های انتقال در آن ناچیز است، رابطه زیر برقرار است:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (۱۹-۳)$$

که در آن V_1 و V_2 یک مدل آزمایشی پیچیده که در آن یک هسته آهنی پیچیده شده‌اند.

مثال ۳۴-۲

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

پاسخ: با توجه به رابطه داریم:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{220}{7} = \frac{8000}{N_2} \Rightarrow N_2 = \frac{8000 \times 7}{220} \approx 254.5$$

با جای‌گذاری این مقدار در رابطه ۱۹-۳ داریم:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{120}{7} = \frac{8000}{N_2} \Rightarrow N_2 = \frac{8000 \times 7}{120} \approx 466.7$$

تمرین ۳۴-۳

برخی از وسه‌های 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 ۱۲۰۰۰ و تعداد دور ثانویه ۱۲۰۰۰ باشد، مدل چه ولتاژی را برای کار کردن دستگاه شست‌وکار برقی می‌تواند تأمین کند؟

۱۲۷

راهنمای پاسخ‌یابی پرسشی‌ها و مسئله‌های فصل ۴

۱-۳ و ۳-۲ پیچیده القای الکترومغناطیسی و قانون القای الکترومغناطیسی فاراد

دو سیم‌لوله با حلقه‌هایی 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 تعداد یکسانی به طرف سیم‌لوله‌ها حرکت می‌کنند.)

۱-۲ دو سیم‌لوله مشابه را مطابق شکل‌های زیر به ولت‌سنج حساسی وصل کرده‌ایم. دریافت خود را از شکل‌های زیر پی‌ریزید. (آهن‌رباها مشابه ولی با تعداد متفاوتی به طرف سیم‌لوله حرکت می‌کنند.)

۱-۱ شکل داده شده ساختار یک بانستنج را نشان می‌دهد. اگر این بانستنج را روی یک خانه نصب کنید، به هنگام زمین‌لرزه، آن می‌چرخد و ولت‌سنج عددی را نشان می‌دهد. (لذا چرا چرخش میله سبب تحریک ولت‌سنج می‌شود؟) آیا با افزایش تعداد دور، عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد تغییر می‌کند؟ چرا؟

۳-۱ قانون لنز

تعبیر یک آهن‌ربا را مطابق شکل رویه‌رو به یک حلقه رسانا نزدیک می‌کنیم. جهت جریان القایی را در حلقه مشخص کنید.

۳-۲ دو آهن‌ربای سببی مشابه را مطابق شکل، به‌طور قائم از ارتفاع معینی نزدیک سطح زمین می‌کنیم به‌طوری‌که یکی آنها از حلقه رسانای عبور می‌کند. اگر سطح زمین در محل

بسیاری بهبود و افزایش وقت کار دستگاه دو پیشنهاد ارائه دهید. کابین بانستنج

میتد
اسفوله
میتد
میتد
ولت‌سنج

۱۰۰۰ حلقه‌های پیچیده‌ای که دارای ۱۰۰۰ حلقه است، عمود بر میدان مغناطیسی یکسانی که اندازه آن ۰.۴ T و جهت آن از راست به چپ است، قرار دارد. میدان مغناطیسی در مدت ۰.۱۰۱۵ ثانیه می‌کند و به ۰.۴ T در خلاف جهت اولیه می‌رسد. اگر سطح هر حلقه پیچیده ۰.۰۱ m² باشد، اندازه توری محرکه القایی متوسط در پیچه را حساب کنید.

ساختار هر حلقه پیچیده ۰.۰۱ m² و پیچه متشکل از ۱۰۰۰ حلقه است. در اینجا سطح پیچه‌ها بر میدان مغناطیسی زمین عمود است. اگر در مدت ۰.۱۰۱۵ پیچه چرخد و سطح حلقه‌ها موازی میدان مغناطیسی زمین شود، توری محرکه متوسط القایی در آن چقدر است؟ اندازه میدان زمین را ۵۰ G در نظر بگیرید.

۱۲۸

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 پیچه می‌چرخد. دانش‌آموزان باید بر همین اساس و با توجه قانون القای الکترومغناطیسی فاراد 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 فاراد و وجود Δt در مخرج این رابطه توجه کنند.

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

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

$$\Phi_1 = B_1 A \cos \theta_1 = (0.4 \text{ T})(5.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \cos 0^\circ = 2 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\Phi_2 = B_2 A \cos \theta_2 = (0.4 \text{ T})(5.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \cos 18^\circ = -2 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

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

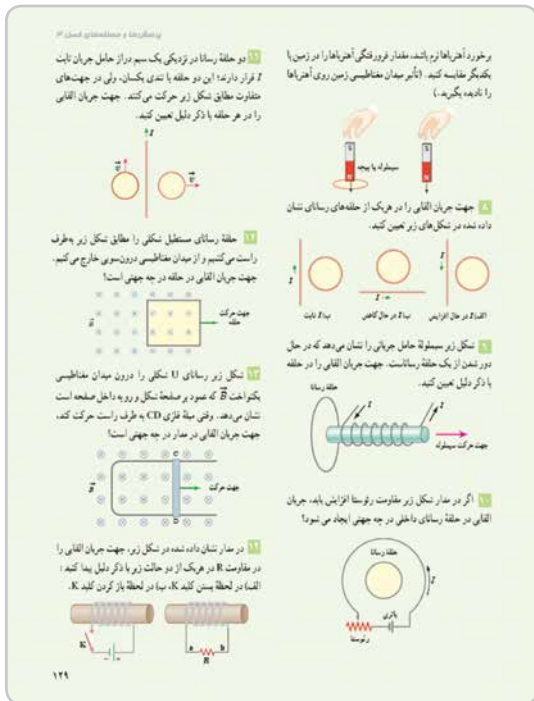
دانش‌آموزان باید توجه کنند برای محاسبه Φ_2 ، باید جهت نیم‌خط عمود بر پیچه که به سمت راست انتخاب شده بود را تعبیر ندهند.

$$|\varepsilon| = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = |-1000 \cdot \frac{(-4 \times 10^{-4} \text{ Wb})}{1.0 \times 10^{-2} \text{ s}}| = 40 \text{ V}$$

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



۸ الف) ساعتگرد، ب) پادساعتگرد، پ) جریانی القایی می‌شود.

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 روستا، 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 سواست.

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.

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

$$I = (2/0A) \sin \frac{2\pi}{0/02s} t = (2/0A) \sin 100\pi t$$

$$\text{در } t = \frac{1}{200} \text{ s داریم}$$

$$I = (2/0A) \sin 100\pi \left(\frac{1}{200} \text{ s}\right) = (2/0A) \sin \frac{\pi}{2} = 2/0A$$

به این ترتیب در لحظه $t = \frac{1}{200} \text{ s}$ برای اولین بار، جریان به بیشینه خود می‌رسد. با توجه به مقاومت رسانا داریم:

$$\varepsilon_m = RI_m = (5\pi)(2/0A) = 10 \text{ V}$$

$$\text{ب) } \sqrt{2}A$$

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