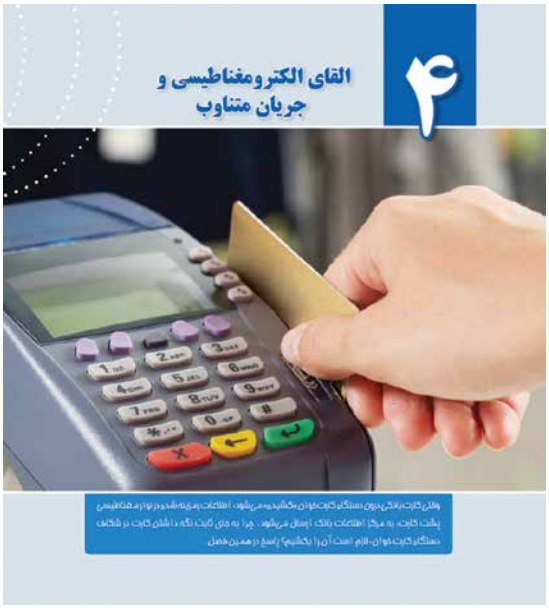
فصل چهارم

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

هدف‌های فصل

- آشنایی با پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی و کاربردهای آن در زندگی روزمره (مثل تولید جریان متناوب)
- شناخت عامل‌های مؤثر بر اندازهٔ جریان القایی و چگونگی تعیین جهت آن
- آشنایی با اثر خودالقاوری و ضریب خودالقاوری سیملوله.
- آشنایی با پدیدهٔ 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 زمینهٔ 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 سیاه رنگ 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 به‌سرقت رفتن لباس‌ها امروزه در ورودی فروشگاه دروازه‌هایی تعبیه می‌شود و روی هر یک از لباس‌ها هم یک قطعهٔ فلزی نصب می‌کنند.

اگر لباسی که فروشنده قطعهٔ 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 دروازهٔ 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 آثار مغناطیسی جریان الکتریکی آشنا شدید که در سال ۱۸۲۰ میلادی توسط اورستد کشف شد. در سال ۱۸۳۱ فاراده پس از آزمایش‌های فراوان، مشاهده کرد که عبور آهربا از یک پیچه، سبب برقراری جریان الکتریکی در پیچه می‌شود. این اثر که امروزه به قانون القای الکترومغناطیسی فاراده شناخته می‌شود، اساس کار مولدها تولید جریان الکتریکی است. در این فصل، پس از آشنایی با این قانون، به چگونگی تولید جریان متناوب خواهیم پرداخت.

۴ـ۱ پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی

در این بخش، به بررسی القای نیروی محرکهٔ الکتریکی در یک مدار بسته خواهیم پرداخت. این پدیده را القای الکترومغناطیسی می‌نامند. با انجام آزمایش زیر با این پدیده بیشتر آشنا می‌شوید.

آزمایش ۴ـ۱

هدف: بررسی پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی

وسیله‌های مورد نیاز: گالوانومتر، آهربای میله‌ای، سیملوله با پیچه و سیم رابط

شرح آزمایش:

- دو سر سیملوله را به گالوانومتر ببندید.
- یکی از قطب‌های آهربا را وارد سیملوله کنید (شکل روبه‌رو). مشاهدات خود را هنگام انجام این کار، یادداشت کنید.
- اکنون آهربا را از سیملوله خارج کنید. مشاهدات خود را هنگام انجام این کار، دوباره یادداشت کنید.
- مراحل بالا را برای قطب دیگر آهربا تکرار کنید.
- آزمایش را در حالی انجام دهید که آهربا ثابت باشد و سیملوله به آن نزدیک یا از آن دور شود. آیا نتیجهٔ آزمایش تغییری می‌کند؟ توضیح دهید.

در سال ۱۸۳۱ میلادی مایکل فاراده دانشمند انگلیسی و تقریباً همزمان با او جوزف هانری دانشمند امریکایی، با انجام آزمایش‌هایی مشابه آزمایش ۴ـ۱ دریافتند که هنگام دور و نزدیک کردن آهربا به پیچه، عقربهٔ گالوانومتر منحرف می‌شود و عبور جریانی را از مدار نشان می‌دهد؛ درست مانند وقتی که در مدار، باتری وجود دارد (شکل ۴ـ۲). این پدیده را القای الکترومغناطیسی و جریان تولید شده را جریان الکتریکی القایی می‌نامند.

۴ـ۱ـ پدیده القای الکترومغناطیسی

راهنمای تدریس : مطابق الگوی کتاب، ابتدا به کمک آزمایش دانش‌آموزان را با پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی فاراده 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 فاراده نبود، مطابق شکل ۴ـ۱، وی از آهنربای الکتریکی برای مشاهده و بررسی این پدیده استفاده کرد.

آشکارسازهای فلز در ورودی فرودگاه یا ساختمان‌های دولتی

در هنگام ورود به یک فرودگاه معمولاً چمدان‌ها و وسایل را از دستگاه پرتو X عبور می‌دهیم و خودمان از آشکارساز فلز می‌گذریم.

آشکارسازهای فلز در همهٔ فرودگاه‌ها معمولاً از نوع PI (Pulse Induction) است. در این نوع آشکارسازها پیچه‌هایی از سیم در دو طرف دروازه به‌عنوان فرستنده و گیرنده گذاشته می‌شوند که در آنها متناوباً جریان‌هایی فرستاده می‌شود. هر تپ جریان الکتریکی که تغییرات چند میکروثانیه‌ای دارد میدان مغناطیسی کوچک و متغیری تولید می‌کند. تغییر میدان مغناطیسی روی پیچهٔ مقابل جریان دیگری القا می‌کند. این جریان القایی را تپ بازتابی می‌نامیم که فقط حدود ۳۰ میکروثانیه دوام دارد. سپس تپ بعدی ارسال و این فرآیند دوباره تکرار می‌شود. در این آشکارسازها معمولاً در هر ثانیه حدود ۱۰۰ تپ فرستاده می‌شود. البته تعداد تپ‌های ارسالی بسته به کارخانهٔ سازنده می‌تواند از ۲۵ تا ۱۰۰۰ تپ در ثانیه باشد.

اگر وسیله‌ای فلزی در بین دروازه‌های این آشکارسازها قرار گیرد میدان مغناطیسی متغیر روی آن جریانی القا می‌کند که سوی آن به‌گونه‌ای است که میدان مغناطیسی اولیه را تضعیف کند و تجهیزات الکترونیکی این تغییر میدان را ثبت و مدار آژیر را فعال می‌کنند.

چنانچه یک کلاف سیم برق‌کشی در اختیار داشته باشید، دوسر کلاف را به یک گالوانومتر حساس یا میلی ولت‌سنج وصل کنید. در حضور یک میدان مغناطیسی نسبتاً قوی (ایجاد شده توسط آهنربای دائم یا آهنربای الکتریکی) حالت‌های مختلف شکل ۴ــ۲ و شکل ۴ــ۳ (کتاب درسی) را انجام دهید تا دانش‌آموزان با عوامل متفاوتی که می‌توانند منجر به ایجاد نیروی محرکهٔ القایی یا جریان القایی به‌طور عملی آشنا شوند و قانون القای الکترومغناطیسی فاراده را تحقیق کنید.

۴ــ۲ قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

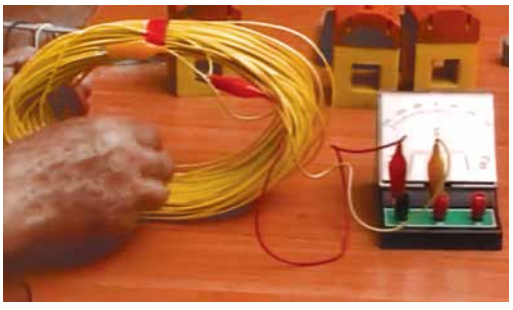
پیش از این دیدیم که با تغییر اندازه، میدان در محل سیملوله، جریان در آن القا می‌شود. به جز این روش، به روش‌های دیگری نیز می‌توان در پیچه یا سیملوله، جریان الکتریکی القا کرد. اگر مساحت پیچه‌ای (مطابق‌شکل ۴ــ۱۰ تغییر دهیم (شکل ۴ــ۳) یا پیچه‌ای را درون میدان مغناطیسی $\vec{B}$ بچرخانیم (شکل ۴ــ۴)، مشاهده می‌شود که در هنگام انجام این کارها، جریانی در پیچه القا می‌شود.

شکل ۴ــ۳ تغییر مساحت پیچه در میدان مغناطیسی $\vec{B}$، جریانی در پیچه القا می‌کند.

شکل ۴ــ۴ با چرخاندن پیچه درون میدان مغناطیسی $\vec{B}$، زاویه بین میدان مغناطیسی و سطح پیچه تغییر می‌کند. این تغییر زاویه سبب القای جریان در پیچه می‌شود.

$$\Phi = BA\cos\theta \qquad (۴ــ۱)$$

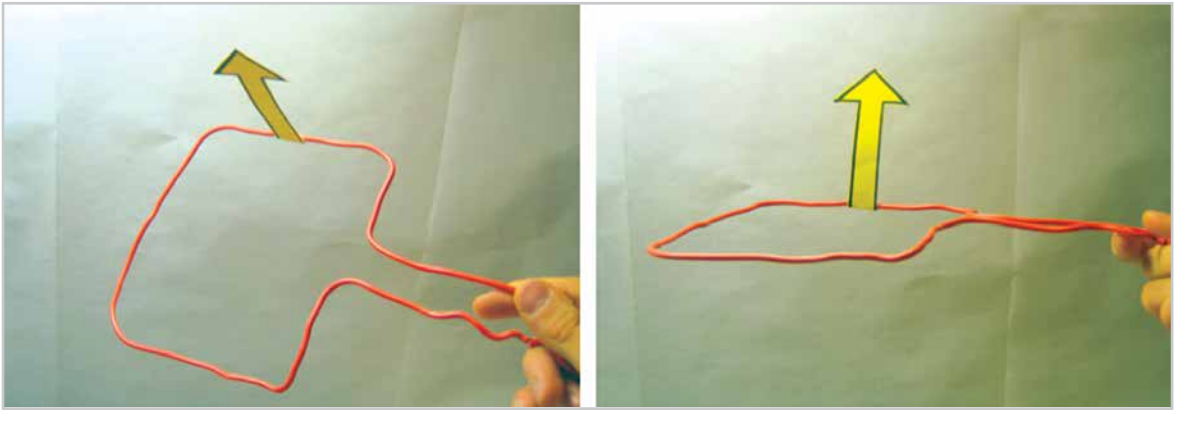
شکل ۴ــ۵ تپ خط عمود بر سطح با میدان یکنواخت $\vec{B}$ زاویهٔ θ می‌سازد.



۴ـ۲ـ 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.

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.



(الف) (ب)

تمرین ۴ــ۱

الف)

$$A_۱ = ۲۵\text{cm}^۲ = ۲/۵\times ۱۰^{-۳}\text{m}^۲$$

$$B = ۰/۰۳\text{T}\ ,\ \Phi_۱ = ?\ ,\ \theta = ۰$$

$$\Phi_۱ = BA_۱\cos\theta$$

$$= (۰/۰۳\text{T})(۲/۵\times ۱۰^{-۳}\text{m}^۲)\cos ۰^\circ$$

$$= ۷/۵\times ۱۰^{-۵}\text{Wb}$$

ب)

$$A_۲ = ۱/۰\times ۱۰^{-۳}\text{m}^۲\ ,\ \Phi_۲ = ?$$

$$\Phi_۲ = BA\cos\theta = ۳/۰\times ۱۰^{-۵}\text{Wb}$$

پ)

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{(۳/۰ - ۷/۵)\times ۱۰^{-۵}\ \text{Wb}}{۰/۲\text{s}} = -۲/۲۵\times ۱۰^{-۵}\ \text{Wb/s}$$

پرسش ۴ــ۱

هدف از این پرسش این است که قبل از معرفی رابطهٔ قانون القای فاراده، دانش‌آموزان با یکای آهنگ تغییرات شار (Wb/s) که از جنس نیروی محرکهٔ الکتریکی است (با یکای ولت) آشنا شوند.

تمرین ۴ــ۱

الف) حلقه‌ای به مساحت $۲۵\text{cm}^۲$ درون میدان مغناطیسی یکنواخت درون سوی به اندازهٔ ۰/۰۳۲ قرار دارد (شکل الف). شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید.

ب) اگر مطابق شکل ب و بدون تغییر $\vec{B}$، مساحت سطح حلقه را به $۱۰\text{cm}^۲$ برسانیم، شار مغناطیسی عبوری از حلقه را در این وضعیت به دست آورید.

پ) اگر این تغییر شار در بازهٔ زمانی $\Delta t = ۰/۲\text{s}$ رخ داده باشد، آهنگ تغییر شار $(\Delta\Phi/\Delta t)$ را پیدا کنید.

پرسش ۴ــ۱

کدام‌یک از یکاهای زیر معادل یکای وبر بر ثانیه (Wb/s) است؟

Ω ☐ A ☐ V ☐ V/A ☐

اکنون که با تعریف و مفهوم شار مغناطیسی آشنا شدید دوباره بگذارید به پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی که در بخش قبل بررسی کردیم. همان‌طور که گفتیم عامل مشترک در تمامی پدیده‌هایی که منجر به تولید جریان القایی در مدار می‌شود، تغییر شار مغناطیسی عبوری از پیچه یا سیملوله است. بنابر قانون فاراده، هرگاه شار مغناطیسی‌ای که از مدار بسته‌ای می‌گذرد تغییر کند، نیروی محرکه‌ای در آن القا می‌شود که بزرگی آن با آهنگ تغییر شار مغناطیسی متناسب است؛ یعنی هرچه آهنگ تغییر شار مغناطیسی بیشتر باشد، نیروی محرکهٔ القایی و در نتیجه جریان القایی تولید شده در مدار بیشتر خواهد بود. مثلاً در آزمایش‌های مربوط به شکل‌های ۴ــ۱۰، ۴ــ۲ و ۴ــ۳ هرچه حرکتی که سبب تغییر شار مغناطیسی می‌شود، سریع‌تر انجام شود، عقربهٔ گالوانومتر بیشتر منحرف می‌شود، و این نشان می‌دهد که جریان القایی بزرگ‌تری بوجود آمده است.

قانون فاراده برای پیچه یا سیملوله‌ای که از N دور مشابه تشکیل شده باشد با رابطهٔ زیر بیان می‌شود:

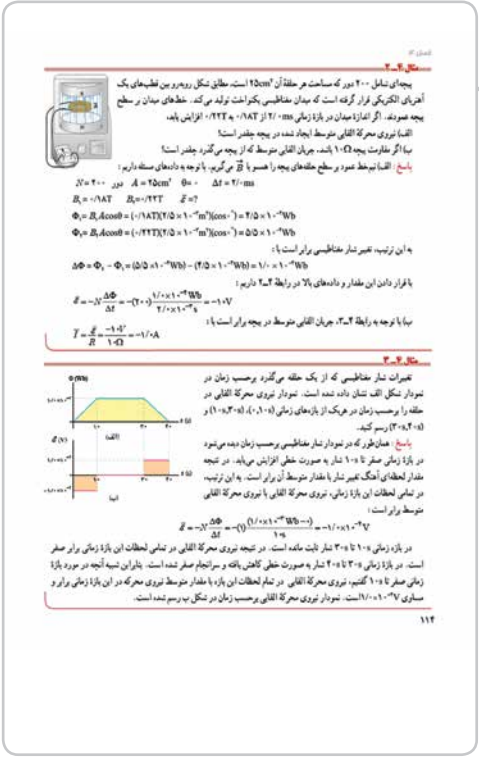
$$\mathcal{E} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \qquad (۴ــ۲)$$

در این رابطه $\mathcal{E}$ نیروی محرکهٔ القایی متوسط برحسب ولت و $\Delta\Phi/\Delta t$ آهنگ تغییر شار مغناطیسی برحسب وبر بر ثانیه (Wb/s) است. اگر مقاومت پیچه یا سیملوله برابر R باشد، جریان القایی متوسط در آن از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{I} = \frac{\mathcal{E}}{R} \qquad (۴ــ۳)$$

همان‌طور که از رابطهٔ ۴ــ۳ دیده می‌شود، هرچه مقاومت پیچه یا مداری که در آن شار مغناطیسی تغییر می‌کند، بیشتر باشد، جریان کوچک‌تری در آن القا می‌شود.

۱۱۳


مثال ۴ــ۲

پیچه‌ای شامل ۲۰۰ دور که مساحت هر حلقهٔ آن $۲۵\text{cm}^۲$ است، مطابق شکل روبه‌روی بین قطب‌های یک آهربای الکتریکی قرار گرفته است که میدان مغناطیسی یکنواخت تولید می‌کند. خط‌های میدان بر سطح پیچه عمودند. اگر اندازهٔ میدان در بازهٔ زمانی ۲/۰ms از ۰/۱۸۲ به ۰/۲۲۲ افزایش یابد:

الف) نیروی محرکهٔ القایی متوسط ایجاد شده در پیچه چقدر است؟

ب) اگر مقاومت پیچه ۱۰Ω باشد، جریان القایی متوسط که از پیچه می‌گذرد چقدر است؟

پاسخ: الف) بیا خط عمود بر سطح حلقه‌های پیچه را هم‌سو با $\vec{B}$ می‌گیریم. با توجه به داده‌های مسئله داریم:

$N = ۲۰۰$ دور $A = ۲۵\text{cm}^۲$ $\theta = ۰$ $\Delta t = ۲/۰\text{ms}$

$B_۱ = ۰/۱۸\text{T}$ $B_۲ = ۰/۲۲\text{T}$ $\bar{\mathcal{E}} = ?$

$\Phi_۱ = B_۱A\cos\theta = (۰/۱۸\text{T})(۲/۵\times ۱۰^{-۳}\text{m}^۲)(\cos ۰^\circ) = ۴/۵\times ۱۰^{-۶}\text{Wb}$

$\Phi_۲ = B_۲A\cos\theta = (۰/۲۲\text{T})(۲/۵\times ۱۰^{-۳}\text{m}^۲)(\cos ۰^\circ) = ۵/۵\times ۱۰^{-۶}\text{Wb}$

به این ترتیب، تغییر شار مغناطیسی برابر است با:

$\Delta\Phi = \Phi_۲ - \Phi_۱ = (۵/۵\times ۱۰^{-۶}\text{Wb}) - (۴/۵\times ۱۰^{-۶}\text{Wb}) = ۱/۰\times ۱۰^{-۶}\text{Wb}$

با قرار دادن این مقدار و داده‌های بالا در رابطهٔ ۴ــ۲ داریم:

$$\bar{\mathcal{E}} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -(۲۰۰)\frac{۱/۰\times ۱۰^{-۶}\text{Wb}}{۲/۰\times ۱۰^{-۳}\text{s}} = -۰/۱\text{V}$$

با توجه به رابطهٔ ۴ــ۳، جریان القایی متوسط در پیچه برابر است با:

$$\bar{I} = \frac{\bar{\mathcal{E}}}{R} = \frac{-۰/۱\text{V}}{۱۰\Omega} = -۰/۰۱\text{A}$$

مثال ۴ــ۳

تغییرات شار مغناطیسی که از یک حلقه می‌گذرد برحسب زمان در نمودار شکل الف نشان داده شده است. نمودار نیروی محرکهٔ القایی در حلقه را برحسب زمان در هریک از بازه‌های زمانی $(۰, ۱۰s)$، $(۱۰s, ۲۰s)$ و $(۲۰s, ۳۰s)$ رسم کنید.

پاسخ: همان‌طور که در نمودار شار مغناطیسی برحسب زمان دیده می‌شود در بازهٔ زمانی صفر تا ۱۰s 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 بازهٔ زمانی، نیروی محرکهٔ القایی با نیروی محرکهٔ القایی متوسط برابر است:

$$\mathcal{E} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -(۱)\frac{(۱/۰\times ۱۰^{-۳}\text{Wb}) - ۰}{۱۰\text{s}} = -۱/۰\times ۱۰^{-۴}\text{V}$$

در بازهٔ زمانی ۱۰s تا ۲۰s شار ثابت مانده است. در نتیجه نیروی محرکهٔ القایی در تمامی لحظات این بازهٔ زمانی برابر صفر است. در بازهٔ زمانی ۲۰s تا ۳۰s شار به صورت خطی کاهش یافته و سرانجام صفر شده است. بنابراین شبیه آنچه در مورد بازهٔ زمانی صفر تا ۱۰s گفتیم، نیروی محرکهٔ القایی در تمام لحظات این بازه با مقدار متوسط نیروی محرکه در این بازهٔ زمانی برابر و مساوی $۱/۰\times ۱۰^{-۴}\text{V}$ است. نمودار نیروی محرکهٔ القایی برحسب زمان در شکل ب رسم شده است.

۱۱۴

تمرین ۴ــ۲

$\Delta t = ۰/۴۵\text{s}\ ,\ A = ۱۰۰\text{cm}^۲$

$B_۱ = ۰/۲۸\text{T}$ رو به بالا

$B_۲ = ۰/۱۷\text{T}$ رو به پایین

(جهت بالا را مثبت فرض کرده‌ایم.)

الف)

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

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

تغییرات شار ناشی از تغییرات جهت و اندازهٔ میدان است.

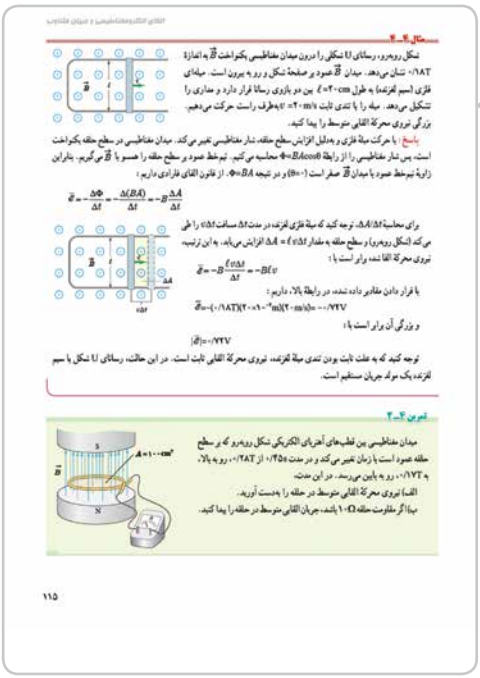
به این ترتیب

$$\Phi_۱ = B_۱A\cos\theta_۱ = (۰/۲۸\text{T})(۱۰^{-۲}\text{m}^۲)\cos۰^\circ$$
$$= ۲/۸\times۱۰^{-۳}\text{Wb}$$
$$\Phi_۲ = B_۲A\cos\theta_۲ = (۰/۱۷\text{T})(۱۰^{-۲}\text{m}^۲)\cos۱۸۰^\circ$$
$$= -۱/۷\times۱۰^{-۳}\text{Wb}$$
$$\Delta\Phi = \Phi_۲ - \Phi_۱ = -۱/۷\times۱۰^{-۳}\text{Wb} - ۲/۸\times۱۰^{-۳}\text{Wb}$$
$$= -۴/۵\times۱۰^{-۳}\text{Wb}$$

$$\bar{\mathscr{E}} = -\frac{(-۴/۵\times۱۰^{-۳}\text{ Wb})}{۰/۴۵\text{s}} = ۱۰^{-۲}\text{V}$$

ب)

$$I = |\bar{\mathscr{E}}|/R = (۱۰^{-۲}\text{v})/(۱۰\Omega) = ۱۰^{-۳}\text{A} = ۱\text{mA}$$



پرسش ۴ـ۲

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

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 سینهٔ کودک تماس دارند. یکی از پیچه‌ها حامل جریان متناوب است و میدان مغناطیسی متغیر حاصل از آن از پیچهٔ گیرنده در طرف دیگر سینه می‌گذرد.

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

۱ـ Sudden Infant Death Syndrom

دانستنی برای معلم

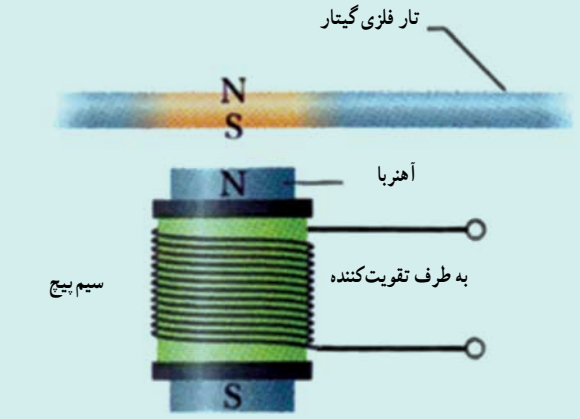
گیتار الکتریکی

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

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

می‌توان این پرسش را مطرح کرد.

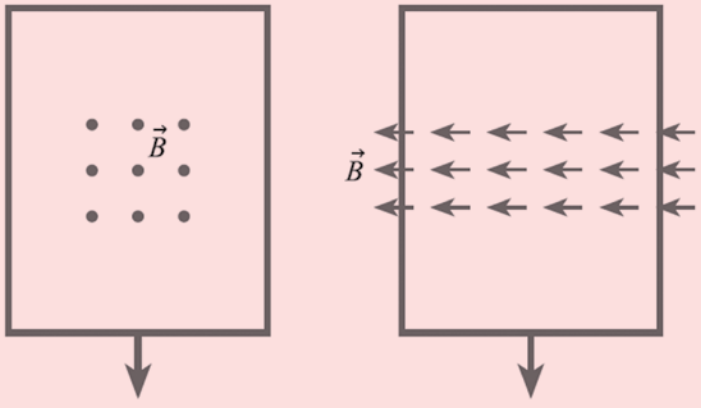
پرسش : به نظر شما تغییر کدام کمیت در گیتار الکتریکی جریان الکتریکی القایی را به‌وجود می‌آورد؟



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

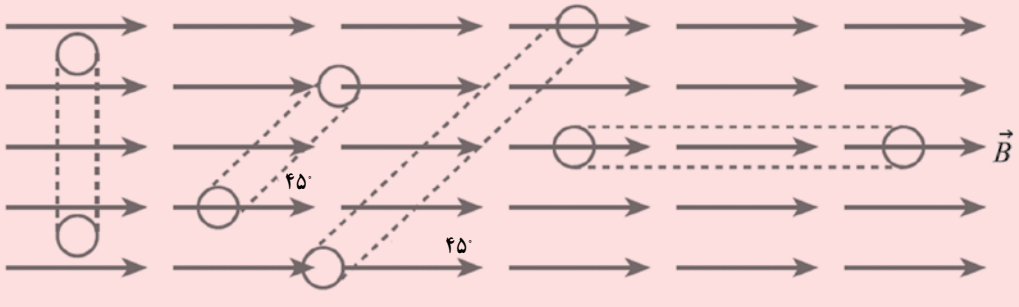
پرسش‌های پیشنهادی بخش‌های ۴ـ۱ و ۴ـ۲

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

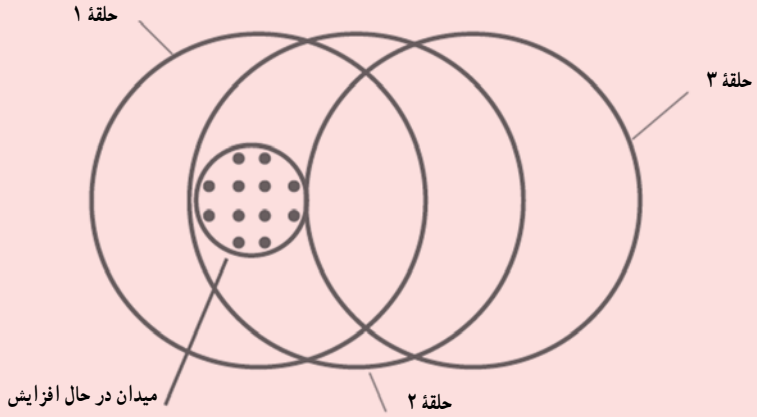


(ب) (الف)

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



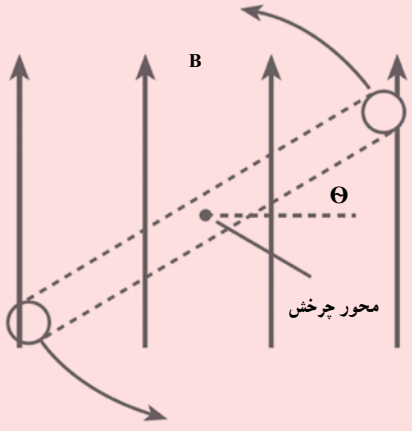
۳ سه حلقهٔ رسانای مشابه مطابق شکل زیر نسبت به هم قرار دارند و میدان مغناطیسی در حال افزایشی در ناحیهٔ نشان داده شده وجود دارد. حلقه‌ها را به ترتیب از بیشترین تا کمترین نیروی محرکهٔ القایی ایجاد شده در آنها بنویسید.



۴ یک حلقهٔ دایره‌ای با سرعت ثابت حول محوری که از مرکز آن می‌گذرد، مطابق شکل زیر از زاویهٔ صفر تا ۳۶۰ درجه می‌چرخد. این حلقه عمود بر صفحهٔ کاغذ است و میدان مغناطیسی یکنواختی به طرف بالا وجود دارد.

الف) در چه زاویه یا زاویه‌هایی شار عبوری از حلقه بیشینه است؟

ب) در چه زاویه یا زاویه‌هایی شار عبوری از حلقه کمینه است؟

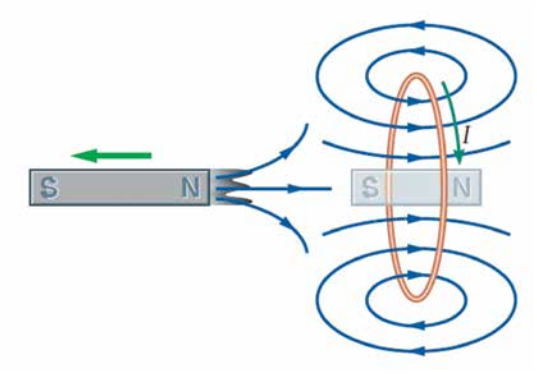


۴ـ۳ـ قانون لنز

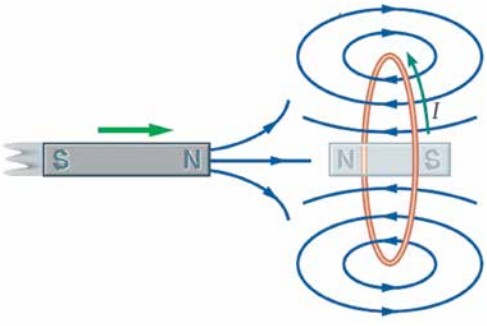
راهنمای تدریس : قانون لنز هرچند بیان ساده و روشنی دارد با این وجود بررسی‌های مختلف نشان داده است که دانش‌آموزان در کاربرد آن و تعیین جهت جریان القایی در یک مولد معمولاً دچار اشتباه می‌شوند.

در کتاب‌های درسی از دو رهیافت نزدیک به هم برای بیان این قانون و چگونگی تعیین جهت جریان القایی استفاده می‌شود که یک رهیافت آن در شکل ۴ـ۵ آمده است.

رهیافت دیگر، که در ادامه توضیح داده شده است نیز به همان اندازهٔ 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 دورشدن آهنربا از حلقه مخالفت کند (شکل ب).



(ب)



(الف)

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

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

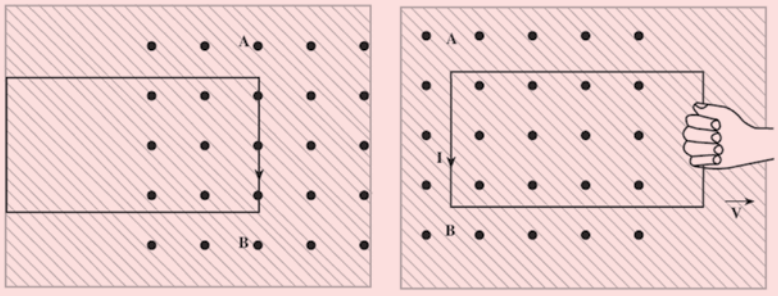
(شکل الف)، در حالی که اگر مدار بسته نباشد، مشابه (حلقهٔ ناکامل) شکل ب، نه جریانی در مدار القا می‌شود و نه می‌توان از قانون لنز برای تعیین جهت آن استفاده کرد.

(ب) (الف)

دانستنی برای معلم

بررسی میکروسکوپیک قانون لنز با استفاده از قانون پایستگی انرژی

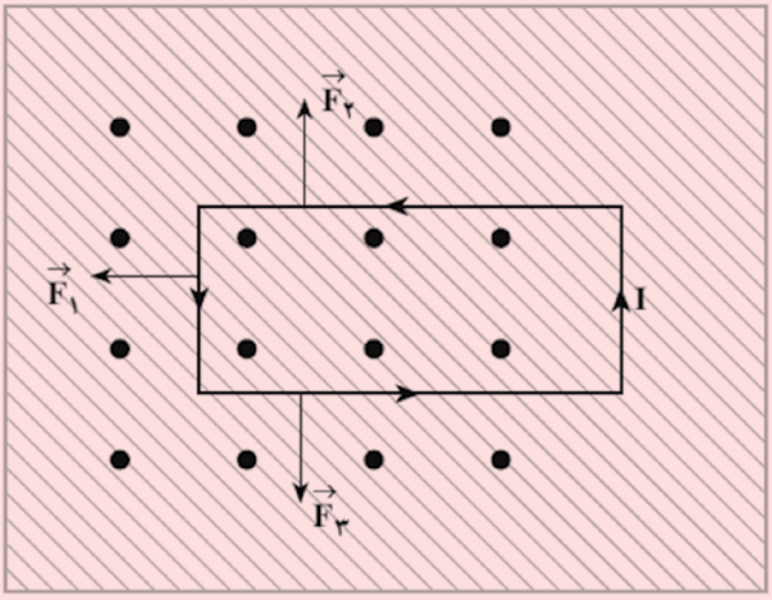
یک حلقهٔ مستطیل شکل را که در صفحه‌ای عمود بر میدان مغناطیسی یکنواخت B (شکل زیر) قرار دارد، درنظر بگیرید و فرض کنید که شخصی این حلقه را از چپ به راست می‌کشد. اگر مسئله را از دید یک ناظر بیرونی (مثلاً سوار بر آهنربا) بررسی کنیم، متوجه می‌شویم که از دید این ناظر، بر حامل‌های بارِ مثبت، نیرویی طبق رابطه $\vec{F}=q\vec{v}\times\vec{B}$ وارد می‌شود. از قاعدهٔ دست راست در می‌یابیم که امتداد اثرِ این نیرو در شاخهٔ AB رو به پایین است. از آنجا که جهت قراردادیِ 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 هُل 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 نتیجهٔ 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 متغیّر میدان الکتریکی‌ای تولید می‌کند که بارها را در جهت پادساعتگرد به حرکت درمی‌آورد.



(ب) (الف)

حال با توجه به اینکه می‌دانیم بر یک رسانای حامل جریان در میدان مغناطیسی، نیرویی برابر $\vec{F} = I\,\vec{l}\times\vec{B}$ وارد می‌شود، آنگاه با استفاده از قاعدهٔ دست راست در می‌یابیم که بر اضلاع مستطیل، نیروهایی مطابق شکل زیر وارد می‌شوند. بدیهی است که $\vec{F}_۲$ و $\vec{F}_۴$ یکدیگر را خنثی می‌کنند و بنابراین، این فقط $\vec{F}_۱$ است که در برابر حرکت مقاومت می‌کند.

توجه کنید که اگر حلقه را به طرف داخل میدان حرکت می‌دادیم، جهت جریان ساعتگرد و در نتیجه جهت نیروی $\vec{F}_۱$، خلاف جهت قبلی و دوباره در جهت مخالفت با عاملِ به‌وجود آورندهٔ آن می‌شد.



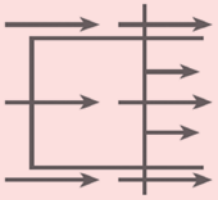
حال می‌خواهیم ثابت کنیم که قانون لنز در واقع چیزی جز پایستگی انرژی نیست. دیدیم که ناظر سوار بر حلقه وجود جریان را به نیرویی الکتریکی نسبت می‌دهد. بدیهی است که مقدار این نیرو باید با نیروی مغناطیسی که ناظر سوار بر آهنربا محاسبه می‌کرد، برابر باشد: $qE = qvB$، و از آنجا $E = vB$ به‌دست می‌آید. از طرفی، اختلاف پتانسیل دو سر میلهٔ AB از رابطهٔ $\mathscr{E} = El$ به‌دست می‌آید که با درنظر گرفتن رابطهٔ بالا به $\mathscr{E} = vBl$ خواهد انجامید. می‌دانیم که جریانِ موجود در مدار را می‌توان از رابطهٔ $I = \frac{\mathscr{E}}{R}$ که R مقاومت مدار است، محاسبه کرد؛ چون $\mathscr{E} = vBl$ است، پس $I = \frac{vBl}{R}$ و از آنجا $F = IlB = \frac{l^۲B^۲v}{R}$ خواهد شد.

بنابراین، عاملی که حلقه را می‌کشد، با توان ثابت $P = Fv = \frac{B^۲l^۲v^۲}{R}$ کار انجام می‌دهد. حال اگر آهنگ تولید انرژی در مدار از رابطهٔ $P = I^۲R$ محاسبه کنیم، دوباره به رابطهٔ بالا می‌رسیم. به عبارت دیگر، قانون لنز چیزی جز تبدیل کار مکانیکی به انرژی گرمایی نیست. کار انجام شده روی سیستم، درست برابر با انرژی داخلی القا شده در سیم است؛ زیرا اینها تنها انرژی‌هایی هستند که در سیستم به یکدیگر تبدیل می‌شوند.

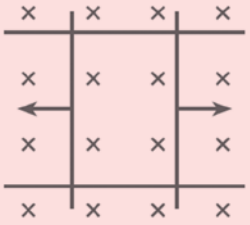
پرسش‌های پیشنهادی بخش ۴ــــ۳

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

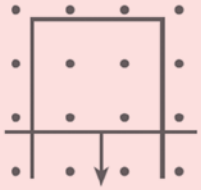
(الف)



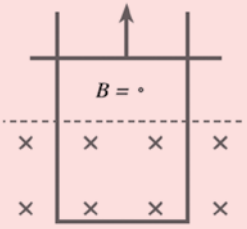
(ب)



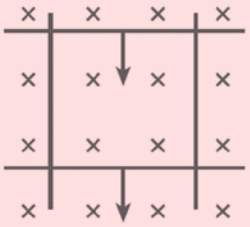
(پ)



(ت)



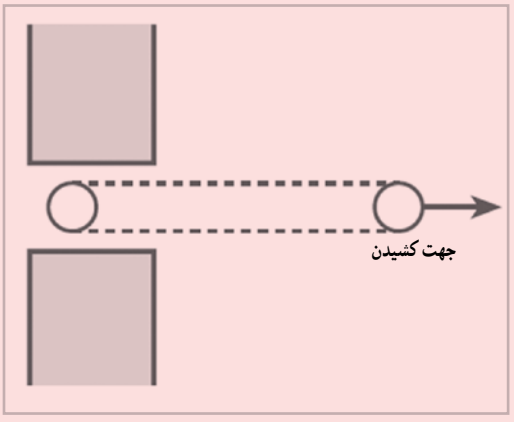
(ث)



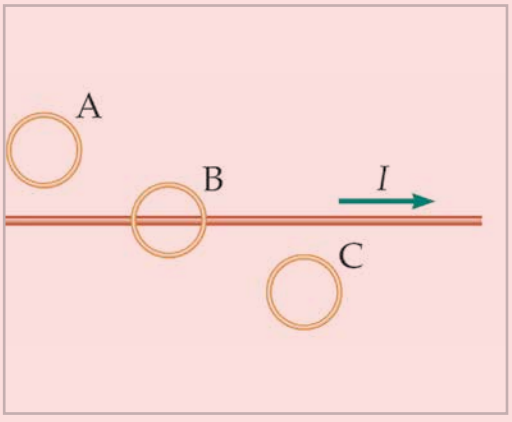
(ج)

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

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



(چ)



(ح)

پرسش ۴ــ۳

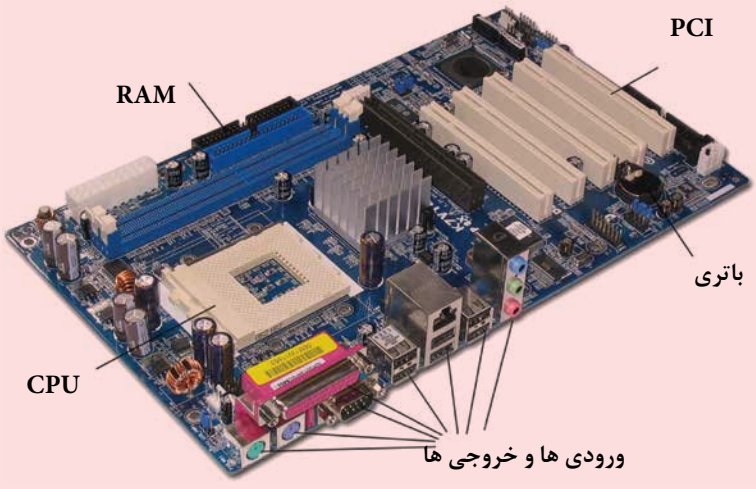
الف) با توجه به قانون لنز، آهنربا در حال دورشدن از پیچه است؛ یعنی رو به پایین حرکت می‌کند.

ب) جهت میدان $\vec{B}$ ناشی از سیم حامل جریان I، در محل حلقه برون‌سو 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.

۴ــ۴ــ القاگرها

راهنمای تدریس : تا اینجا دانش‌آموزان آزمایش‌های مربوط به القای الکترومغناطیسی را با پیچه‌های مختلف (که نوعی القاگر هستند) انجام داده‌اند هرچند برای آنها، نام القاگر به‌کار نبرده‌اند.

در این بخش شکل ۴ــ۶ دانش‌آموزان 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 دانش‌آموزان قرار دهید تا با انواع القاگر آشنا شوند و در صورت لزوم به‌کاربرد آنها در مدارهای مختلف نیز می‌توانید اشاره کنید.



به‌عنوان یک فعالیت ساده می‌توانید، مادربرد[1] یک رایانه را به کلاس درس ببرید و ضمن اینکه دانش‌آموزان با برخی از قطعات آن‌که تاکنون با آنها آشنا شده‌اند (مقاومت و خازن) با القاگرهای تعبیه شده روی مادربرد نیز آشنا شوند.

آزمایش ۴ــ۲، که آزمایشی ساده و مفید برای دیدن پدیدهٔ خودــالقاوری است به چندین روش در مجموعه فیلم‌های مربوط به آموزش مجازی فیزیک ۲ آمده است که توصیه می‌شود آن را مشاهده کنید.

اثبات ضریب القاوری مربوط به سیملوله، جزو اهداف این کتاب نیست و صرفاً مطابق رابطهٔ ۴ــ۴ باید گزارش شود و دانش‌آموزان باید به عوامل دخیل در مقدار این کمیت آشنا شوند.

۱ــ Motherboard

توجه

همان طور که نتیجهٔ مثال ۴ــ۵ نیز نشان می‌دهد $۱H$ برای ضریب القاوری یک القاگر عدد بسیار بزرگی است و برای سیملوله‌ای با حدود ۲۰۰۰ دور و طول ۰/۶m، این ضریب از مرتبهٔ میلی هانری (mH) است. این موضوع در بخش اول تمرین ۴ــ۳ مورد توجه قرارگرفته است.

تمرین ۴ــ۳

۱

$N = ?\ ,\ l = ۲/۸\text{m}$

$A = ۱۰\text{cm}^۲\ ,\ L = ۱\text{H}$

$$L = \mu_۰ \frac{AN^۲}{\ell}$$

$$۱\text{H} = (۴\pi \times ۱۰^{-۷}\ T.m/A) = \frac{(۱۰\times ۱۰^{-۴}\text{m}^۲)N^۲}{۲/۸\times ۱۰^{-۲}\text{m}}$$

$$\Rightarrow N^۲ = \frac{۲/۸}{۴\pi\times ۱۰^{-۹}} \simeq ۲/۲\times ۱۰^{۸}$$

در این صورت $N \simeq ۱۵۰۰۰$ دور خواهد شد که تعداد دور بالایی است.

۲

$N_۱ = N_۲$ و $\ell_۱ = ۲\ell_۲$ و $L_۱ / L_۲ = ?$

با توجه به رابطهٔ ضریب القاوری سیملوله به سادگی خواهیم داشت $L_۱ = \frac{۱}{۲} L_۲$.

تمرین ۴ــ۴

$\ell = ۲۲cm \ , A = ۰/۴۴cm^۲$

$N = ۲۰۰۰ \text{ دور} \ , I = ۱/۷A$

$$L = \mu \cdot \frac{AN^۲}{\ell}$$

$$=(۴\pi \times ۱۰^{-۷}\ T.m\ /A)$$

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

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

$$v = \frac{۱}{۲}LI^۲$$

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

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

همان‌طور که نتیجهٔ صفحهٔ قبل نشان می‌دهد ضریب القاوری لازم، بسیار بیشتر از ضریب القاوری یک القاگر معمولی (در حد میلی‌هانری) است که در آزمایشگاه از آن استفاده می‌کنیم. افزون بر این همان‌طور که در فصل ۲ دیدیم سیم‌های معمولی که بتوانند جریان ۲۰۰۸ را از خود عبور دهند باید قطر بسیار بزرگی داشته باشند. درنتیجه اندازهٔ یک القاگر ۱۸۰۱۴ که از سیم‌های معمولی ساخته شده باشد و بتواند چنین جریانی را تحمل کند باید خیلی بزرگ باشد. با توجه به القاوری‌های موجود این ایده غیرعملی است و توجیه اقتصادی ندارد.

تمرین ۴ــ۴

سیملولهٔ آرمانی بدون هسته‌ای به طول ۲۲cm و با حلقه‌هایی به مساحت ۰/۴۴cm² ، شامل ۲۰۰۰ N حلقهٔ تزدیک به هم است و جریان ۱/۷۸ از آن می‌گذرد. ضریب القاوری و انرژی ذخیره شده در سیملوله را حساب کنید.

القاوری و کاربردها: انرژی لازم برای جرقه‌زدن شمع خودرو

انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی القایی مؤثری در دستگاه‌های احتراق خودروهای با موتور بنزینی دارد. پیچهٔ اولیه با حدود ۲۵۰ دور به باتری خودرو بسته شده است و میدان مغناطیسی قوی‌ای تولید می‌کند. این پیچه، درون یک پیچهٔ ثانویه با ۲۵۰۰ دور سیم خیلی نازک قرار گرفته است. برای جرقه‌زدن شمع، جریان در پیچهٔ اولیه قطع می‌شود و میدان مغناطیسی به سرعت به صفر می‌رسد و نیروی محرکهٔ الکتریکی ده‌ها هزار ولتی در پیچهٔ ثانویه القا می‌کند. درنتیجه انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی همراه با جریانی لحظه‌ای از پیچهٔ ثانویه به طرف شمع می‌رود و جرقه‌ای تولید می‌کند که سبب احتراق مخلوط سوخت و هوا در سیلندرهای موتور می‌شود (شکل روبه‌رو).

انرژی لازم برای جرقه‌زدن شمع خودرو، از انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی پیچهٔ احتراق تأمین می‌شود.

۴ــ۵ جریان متناوب

در اواخر قرن نوزدهم، بحث‌های داغی بین توماس ادیسون و جورج وستینگهاوس دربارهٔ بهترین روش انتقال انرژی الکتریکی از محل تولید تا محل مصرف صورت گرفت. ادیسون موافق جریان مستقیم (dc) بود، در حالی که وستینگهاوس از جریان متناوب (ac) حمایت می‌کرد. سرانجام، وستینگهاوس پیروز شد و پس از آن سامانه‌های انتقال و توزیع برق و بیشتر وسایل خانگی با جریان متناوب به کار افتادند.

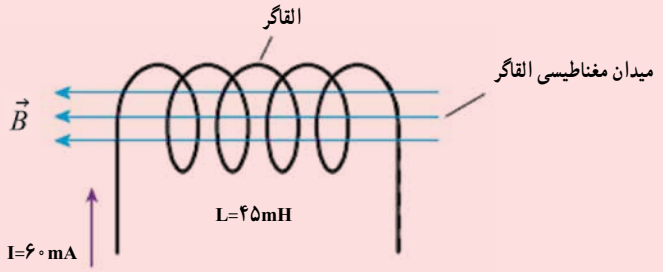
شکل ۴ــ۱۲ دو مدار سادهٔ جریان مستقیم و جریان متناوب را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینید جهت جریان در مدار جریان مستقیم معین است، درحالی که در مدار جریان متناوب، به دلیل تغییر جهت جریان با گذشت زمان، نمی‌توان جهت معینی را برای جریان در نظر گرفت. تمامی نیروگاه‌های تولید برق در دنیا و از جمله ایران، جریان متناوب تولید می‌کنند که تابعی سینوسی از زمان است و به همین دلیل، جریان متناوب سینوسی نامیده می‌شود (شکل ۴ــ۱۳).

شکل ۴ــ۱۲ الف) مدار ساده جریان مستقیم، که در آن جریان با گذشت زمان تغییر نمی‌کند. ب) مدار ساده جریان متناوب، که در آن رفت و جریان با گذشت زمان به طور سینوسی تغییر می‌کند.

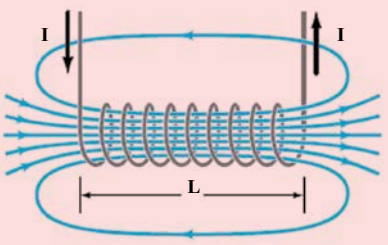
۱۲۲

پرسش های پیشنهادی بخش ۴ــــ۴

۱ انرژی ذخیره در القاگر شکل زیر چقدر است؟



۲ سطح مقطع و طول سیملولهٔ شکل زیر به ترتیب $۲۰\,cm^۲$ و $۸۰\,cm$ است. اگر تعداد حلقه‌های این سیملوله برابر ۱۰۰۰ باشد، ضریب خودالقایی آن را پیدا کنید.



۳ ضریب خودالقایی القاگری ۱۰mH است. چه جریانی باید از این القاگر بگذرد تا ۲۰mJ انرژی در آن ذخیره شود؟

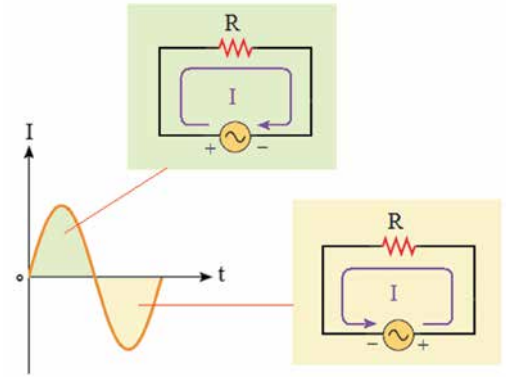
دانستنی برای معلم

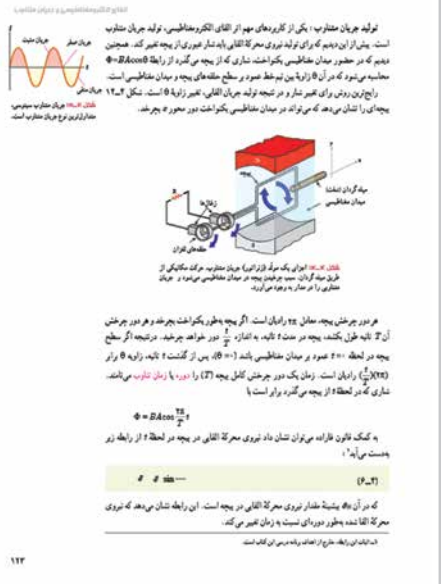
به‌طور سنتی، کارخانه‌های ریخته‌گری از کوره‌های آتش برای ذوب فلزها استفاده می‌کنند. ولی، بسیاری از کارخانه‌های ریخته‌گری امروزی برای پرهیز از آلودگی‌های ناشی از این کوره‌ها، از کوره‌های القایی استفاده می‌کنند که در آنها فلزها با جریان سیم‌های عایقی گرم می‌شوند که به دور ظرفی که فلزها را در خود جای داده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

۴ـ۵ـ جریان متناوب

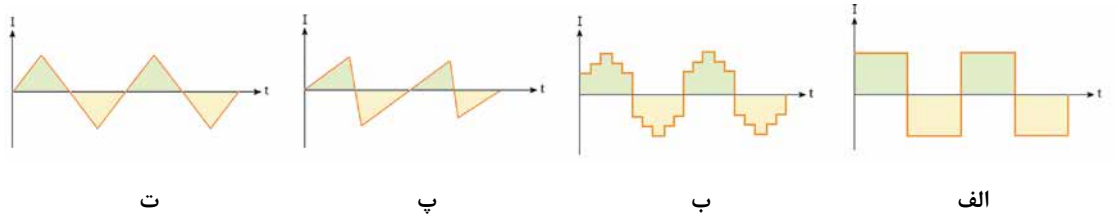
راهنمای تدریس : همان‌طور که در کتاب نیز اشاره شده است، بهتر است با تاریخچه‌ای از بحث‌های علمی در خصوص مزیت جریان متناوب و جریان مستقیم ارائه کنید؛ حتی فیلم‌های مستندی در این خصوص نیز تولید شده است که مشاهدهٔ آنها می‌تواند انگیزه مناسبی در دانش‌آموزان ایجاد کند.

برای درک بهتر شکل ۴ــ۱۳ کتاب درسی، خوب است شکل زیر را نیز روی تابلو رسم کنید تا تغییر جهت جریان در جریان متناوب بهتر تبیین شود.



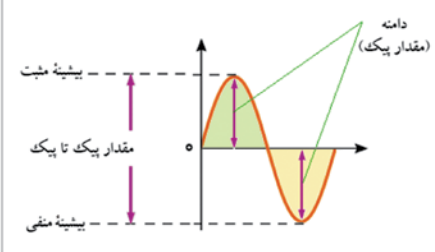


در ادامه می‌توانید نمونه‌های دیگری از موج متناوب را به دانش‌آموزان معرفی کنید که به منظور خاصی تولید می‌شوند و در کاربردهای روزمره متداول نیستند (شکل مقابل)

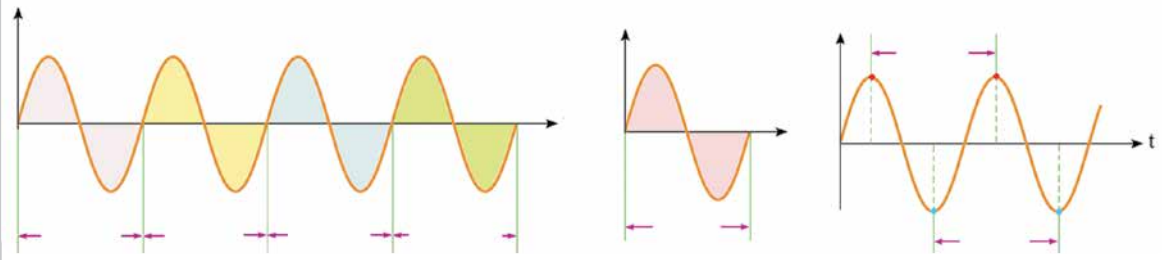


چند نمونه از شکل‌های موج جریان متناوب (الف) موج مربعی، ب) موج پله‌ای، (پ) موج دندانه اره‌ای، (ت) موج مثلثی.

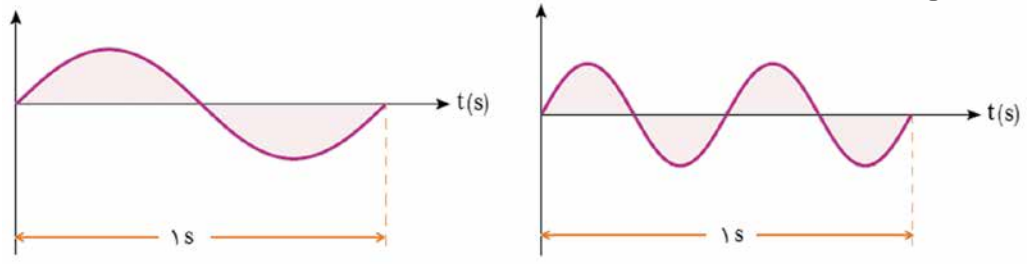
در کتاب‌های مهندسی معمولاً فاصلهٔ بیشینهٔ مثبت تا بیشینهٔ منفی را در جریان متناوب، مقدار پیک تا پیک می‌گویند که دو برابر دامنهٔ موج است (شکل رو به رو).



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



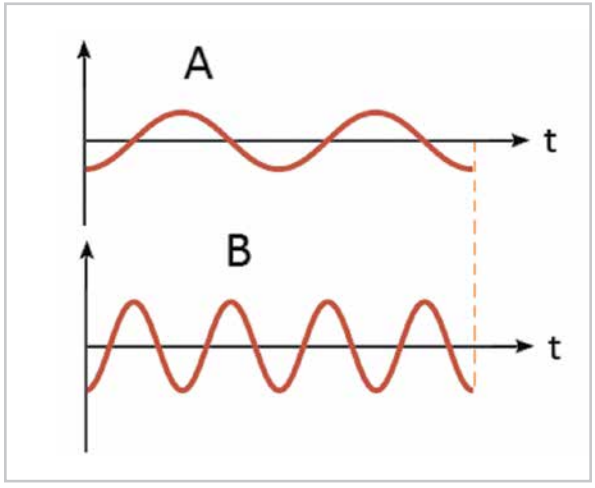
مفهوم بسامد را نیز می‌توانید در ادامهٔ همین قسمت به دانش‌آموزان معرفی کنید. تعداد چرخه‌ها در یکای زمان، بسامد نامیده می‌شود و وارون دورهٔ تناوب است ($f = \frac{۱}{T}$). یکای بسامد چرخه بر ثانیه یا عکس ثانیه ($S^{-۱}$) است که هرتز (Hz) نامیده می‌شود. شکل زیر دو موج سینوسی با بسامد متفاوت را نشان می‌دهد.

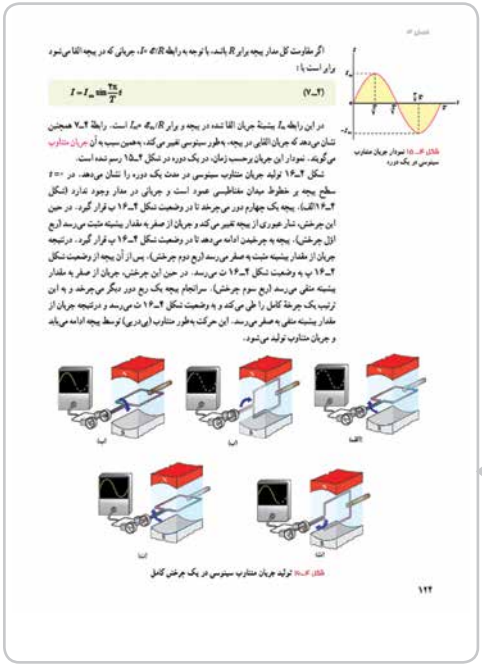


از آنجا که دانش‌آموزان در این پایهٔ تحصیلی با مفهوم مشتق در درس ریاضی خود آشنا نشده‌اند، لذا رابطهٔ ۴ــ۶ بدون اثبات و صرفاً به‌صورت نتیجه‌گیری از قانون القای الکترومغناطیسی فاراده به دانش‌آموزان معرفی شود.

پرسش پیشنهادی

نسبت دورهٔ تناوب و بسامد دو نمودار جریان متناوب A و B را به ترتیب به‌دست آورید.





تمرین ۴ــ۵

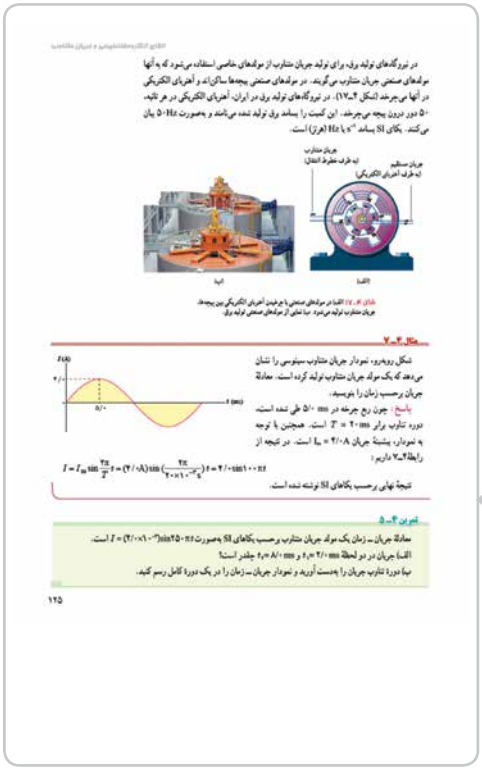
الف) دانش‌آموزان به سادگی می‌توانند با جایگذاری زمان t در معادلهٔ جریان ــ زمان مولد، جریان را در هر لحظهٔ دلخواه پیدا کنند. برای مثال در لحظهٔ $t = ۲/۰\ ms$ داریم

$$I = (۴/۰\times۱۰^{-۳})\sin ۲۵۰\pi \times ۲ \times ۱۰^{-۳}$$

$$= ۴/۰\times۱۰^{-۳}\sin\frac{\pi}{۲} = ۲/۰ \times ۱۰^{-۳}\text{A}$$

$$= ۲/۰\ \text{mA}$$

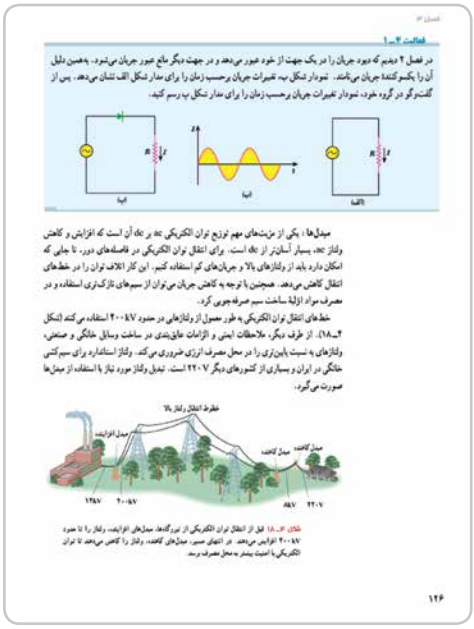
ب) دانش‌آموزان با مقایسه معادله داده شده با شکل کلی معادله می‌توانند دورهٔ تناوب را به‌دست آورند که برابر است. $\frac{۲\pi}{T} = ۲۵۰\pi \Rightarrow T = \frac{۱}{۱۲۵}\text{s}$



فعالیت ۴ــ۱

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

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



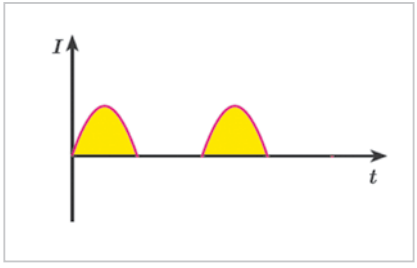
در فصل ۲ دیدیم که دیود جریان را در یک جهت از خود عبور می‌دهد و در جهت دیگر مانع عبور جریان می‌شود. به‌همین دلیل آن را یکسوکنندهٔ جریان می‌نامند. نمودار شکل ب، تغییرات جریان برحسب زمان را برای مدار شکل الف نشان می‌دهد. پس از گفت‌وگو در گروه خود، نمودار تغییرات جریان برحسب زمان را برای مدار شکل پ رسم کنید.

مبدل‌ها : یکی از مزیت‌های مهم توزیع توان الکتریکی ac بر dc آن است که افزایش و کاهش ولتاژ ac، بسیار آسان‌تر از dc است. برای انتقال توان الکتریکی در فاصله‌های دور، تا جایی که امکان دارد باید از ولتاژهای بالا و جریان‌های کم استفاده کنیم. این کار اتلاف توان را در خط‌های انتقال کاهش می‌دهد. همچنین با توجه به کاهش جریان می‌توان از سیم‌های نازک‌تری استفاده و در مصرف مواد اولیهٔ ساخت سیم صرفه‌جویی کرد.

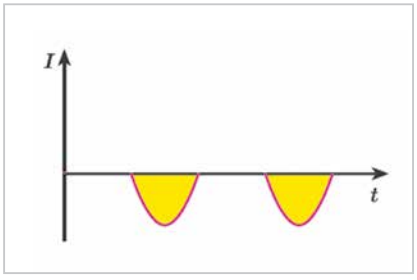
خط‌های انتقال توان الکتریکی به طور معمول از ولتاژهای در حدود ۲۰۰ kV استفاده می‌کنند (شکل ۴ــ۱۸). از طرف دیگر، ملاحظات ایمنی و الزامات عایق‌بندی در ساخت وسایل خانگی و صنعتی، ولتاژهای به نسبت پایین‌تری را در محل مصرف انرژی ضروری می‌کند. ولتاژ استاندارد برای سیم‌کشی خانگی در ایران و بسیاری از کشورهای دیگر ۲۲۰ V است. تبدیل ولتاژ مورد نیاز با استفاده از مبدل‌ها صورت می‌گیرد.

شکل ۴ــ۱۸ قبل از انتقال توان الکتریکی از نیروگاه‌ها، مبدل‌های افزاینده، ولتاژ را تا حدود ۲۰۰ kV افزایش می‌دهند. در انتهای مسیر، مبدل‌های کاهنده، ولتاژ را کاهش می‌دهند تا توان الکتریکی با امنیت بیشتر به محل مصرف برسد.

۱۲۶



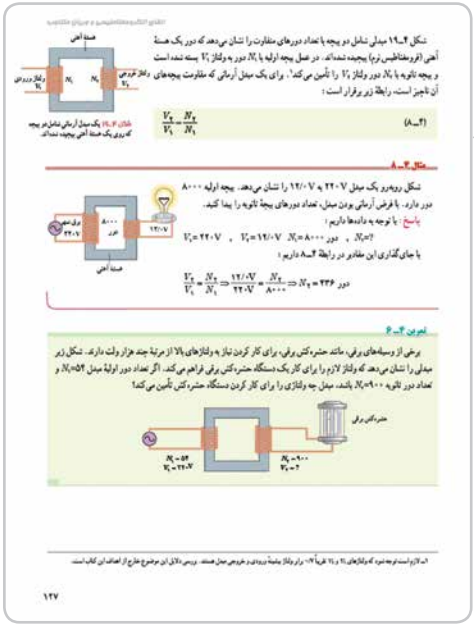
(الف)



(ب)

تمرین ۴ــ۶

مشابه مثال ۴ــ۸ است و دانش‌آموزان به سادگی می‌توانند این تمرین را حل کنند ($V_2 \approx ۳۷۰۰\ V$).



شکل ۴ــ۱۹ مبدلی شامل دو پیچه با تعداد دورهای متفاوت را نشان می‌دهد که دور یک هستهٔ آهنی (فرومغناطیس نرم) پیچیده شده‌اند. در عمل پیچه اولیه با N_1 دور به ولتاژ V_1 بسته شده است و پیچه ثانویه با N_2 دور ولتاژ V_2 را تأمین می‌کند. برای یک مبدل آرمانی که مقاومت پیچه‌های داخل عبوری آن ناچیز است، رابطهٔ زیر برقرار است :

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \qquad (۴ــ۸)$$

مثال ۴ــ۸

شکل روبه‌رو یک مبدل ۲۲۰ V به ۱۲/۰ V را نشان می‌دهد. پیچه اولیه ۸۰۰۰ دور دارد. با فرض آرمانی بودن مبدل، تعداد دورهای پیچهٔ ثانویه را پیدا کنید.

پاسخ : با توجه به داده‌ها داریم :

$V_1 = ۲۲۰\ V$ ، $V_2 = ۱۲/۰\ V$ ، $N_1 = ۸۰۰۰$ دور ، $N_2 = ?$

با جای‌گذاری این مقادیر در رابطهٔ ۴ــ۸ داریم :

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow \frac{۱۲/۰\ V}{۲۲۰\ V} = \frac{N_2}{۸۰۰۰} \Rightarrow N_2 = ۴۳۶ \text{ دور}$$

تمرین ۴ــ۶

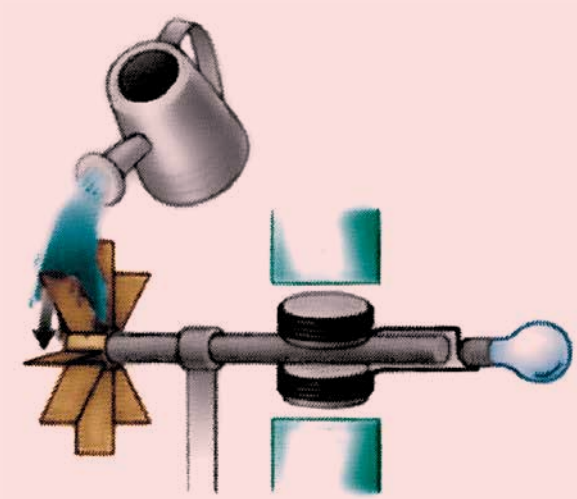
برخی از وسیله‌های برقی، مانند حشره‌کش برقی، برای کار کردن نیاز به ولتاژهای بالا از مرتبهٔ چند هزار ولت دارند. شکل زیر مبدلی را نشان می‌دهد که ولتاژ لازم را برای کار یک دستگاه حشره‌کش برقی فراهم می‌کند. اگر تعداد دور اولیهٔ مبدل $N_1 = ۵۴$ و تعداد دور ثانویه $N_2 = ۹۰۰$ باشد، مبدل چه ولتاژی را برای کار کردن دستگاه حشره‌کش تأمین می‌کند؟

۱۲۷

پرسش‌ها و تمرین‌های پیشنهادی بخش ۴ــ۵

۱ الف) برای افزایش روشنایی لامپ به‌وسیلهٔ مولد سادهٔ شکل زیر سه راه پیشنهاد کنید.

ب) تبدیل‌های انرژی زیر را در یک نیروگاه برق آبی کامل کنید. انرژی ..... تولید شده توسط ژنراتور ← انرژی .....
توربینی ← انرژی ..... آب



۲ پیچهٔ یک مولد جریان متناوب در هر ۱ms یک دور می‌چرخد. این پیچه در هر یک از زمان‌های ۱μs و ۱s چه زاویه‌ای برحسب رادیان می‌چرخد؟

۳ معادلهٔ جریان متناوبی در SI به‌صورت $I = ۲\times۱۰^{-۲}\sin ۲۰\pi t$ است.

الف) دورهٔ تناوب این جریان چقدر است؟

ب) در چه لحظه‌ای برای اولین بار جریان بیشینه می‌شود؟

پ) در لحظهٔ $t = ۷۵\text{ms}$ جریان چقدر است؟

۴ معادلهٔ نیروی محرکهٔ القایی در مداری به مقاومت ۱۰Ω در SI به صورت زیر است

$$\varepsilon = ۰/۴\cos ۲۰\pi t$$

الف) زمان تناوب را حساب کنید.

ب) در چه لحظه‌ای برای اولین بار نیروی محرکهٔ القایی بیشینه می‌شود؟

پ) جریان بیشینه را در مدار پیدا کنید.

ت) معادلهٔ جریان را در مدار بنویسید.

ث) در چه لحظه‌هایی برای اولین و دومین بار مقدار جریان عبوری از مدار بیشینه می‌شود؟

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 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 رابطهٔ قانون القای الکترومغناطیسی فاراده 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

$$\Phi_1 = B_1 A\cos\theta_1 = (0/40\,\mathrm{T})(50\times10^{-4}\,\mathrm{m^2})\cos0^\circ$$
$$= 2\times10^{-4}\,\mathrm{Wb}$$
$$\Phi_2 = B_2 A\cos\theta_2 = (0/40\,\mathrm{T})(50\times10^{-4}\,\mathrm{m^2})\cos180^\circ$$
$$= -2\times10^{-4}\,\mathrm{Wb}$$
$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -2\times10^{-4} - 2\times10^{-4} = -4\times10^{-4}\,\mathrm{Wb}$$

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

$$|\varepsilon| = |-N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}| = |-1000\frac{(-4\times10^{-4}\,\mathrm{Wb})}{10^{-2}\,\mathrm{s}}| = 40\,\mathrm{V}$$

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. ادامهٔ 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 قانع کننده‌ای 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 القانمی‌شود.

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 محرکهٔ باتری ثابت است، با افزایش مقاومت رئوستا، جریان عبوری از مدار کاهش می‌یابد، با توجه به تعیین جهت میدان مغناطیسی در محل حلقهٔ رسانا، و همچنین کاهش جریان در مدار، جهت جریان القایی در حلقهٔ رسانا پادساعتگرد است.

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

در حلقهٔ 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.

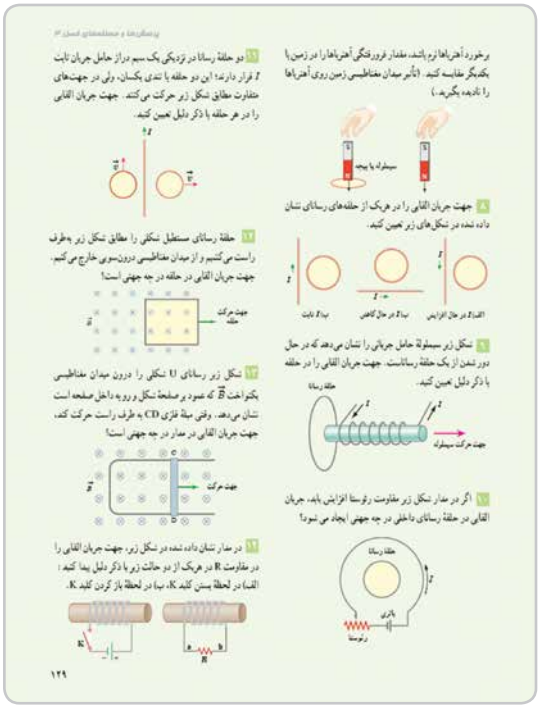
۱۴ الف) b به a. دانش‌آموزان باید دلیل کافی برای پاسخ خود ارائه دهند.

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.

$$\Phi = BA\cos\theta$$
$$= (۲۰\times۱۰^{-۳}\mathrm{T})(۱۰۰\times۱۰^{-۴}\mathrm{m}^۲)\cos۰^\circ$$
$$=۲\times۱۰^{-۴}\mathrm{Wb}$$

فرض شده است که نیم‌خط 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 القا نمی‌شود.

در حالت ۳ : رو به پایین (ساعتگرد)

۱۷ دانش‌آموزان باید به رابطهٔ $U=\frac{۱}{۲}LI^۲$ و همچنین عوامل دخیل در ضریب القاوری سیملوله $L=\mu_۰\frac{AN^۲}{l}$ ، توجه کنند و براساس آن پیشنهادهای خود را ارائه دهند. در این مدار فرض شده است که باتری غیرقابل تعویض است و نیروی محرکهٔ آن ثابت است.

۱۸ الف) با جایگذاری مقادیر داده شده در رابطهٔ $L=\mu_{\circ}\frac{NA^{۲}}{l}$ به سادگی این ضریب محاسبه می‌شود.

ب) دانش‌آموزان باید از رابطهٔ $U=\frac{۱}{۲}LI^{۲}$ استفاده کنند. در ضمن باید توجه کنند که در این رابطه، یکای انرژی باید برحسب ژول (J) نوشته شود.

۱۹ الف) دانش‌آموزان باید از رابطهٔ ۴ــ۷، برای حل این مسئله استفاده کنند. با جایگذاری مقادیر داده شده داریم

$$I=(۲/۰\text{A})\sin\frac{۲\pi}{۰/۰۲\text{s}}t=(۲/۰\text{A})\sin ۱۰۰\pi t$$

در $t=\frac{۱}{۲۰۰}\text{s}$ داریم

$$I=(۲/۰\text{A})\sin ۱۰۰\pi(\frac{۱}{۲۰۰}\text{s})=(۲/۰\text{A})\sin\frac{\pi}{۲}=۲/۰\text{A}$$

به این ترتیب در لحظهٔ $t=\frac{۱}{۲۰۰}\text{s}$ برای اولین بار، جریان به بیشینهٔ خود می‌رسد. با توجه به مقاومت رسانا داریم:

$$\varepsilon_m=RI_m=(۵\pi)(۲/۰A)=۱۰\text{V}.$$

ب) $\sqrt{۲}\text{A}$.

۲۰ دانش‌آموزان باید از رابطهٔ ۴ــ۸ استفاده کنند. در این صورت بیشینهٔ ولتاژ مولد برابر ۴/۵ ولت به‌دست می‌آید.