

فصل چهارم

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

هدف‌های فصل

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



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

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





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

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

در فصل قبل، با آثار مغناطیسی جریان الکتریکی آشنا شدیم که در سال ۱۸۲۰ میلادی توسط اورهولد گالوانه، در سال ۱۸۳۱ فارادیس از آزمایش‌های دوران مشاهده کرد که عبور آهنربا از یک سیم مسی بزرگی جریان الکتریکی در پیچه می‌سازد. این اثر که امروزه به قانون القای الکترومغناطیسی فارادیس نامیده می‌شود، اساس کار مولدها تولید جریان الکتریکی است. در این فصل، پس از آشنایی با این قانون، به چگونگی تولد جریان متناوب خواهیم پرداخت.

۳-۱ پدیده القای الکترومغناطیسی

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

آزمایش ۳-۱

هدف: بررسی پدیده القای الکترومغناطیسی

وسایلهای مورد نیاز: گالوانومتر، آهنربای میله‌ای، سیم‌فوله با پیچه و سیم رابط.

نوع آزمایش:

- دروس سیم‌فوله را به گالوانومتر بچسباند.
- یکی از قطب‌های آهنربا را وارد سیم‌فوله کنید شکل زیر را در نظر بگیرید.
- مشاهدات خود را هنگام انجام این کار، یادداشت کنید.
- با تکان دادن آهنربا را از سیم‌فوله خارج کنید. مشاهدات خود را هنگام انجام این کار، یادداشت کنید.
- مراحل بالا را برای قطب دیگر آهنربا تکرار کنید.
- آزمایش را در حالی انجام دهید که آهنربا ثابت باشد و سیم‌فوله به آن نزدیک یا از آن دور شود. آیا نتیجه آزمایش عبوری می‌تواند توضیح دهید.

در سال ۱۸۳۱ میلادی مایکل فارادیس دانشمند انگلیسی و تقریباً هم‌زمان با او جوزف هنری دانشمند آمریکایی، با انجام آزمایش‌هایی مشابه آزمایش ۳-۱ دریافتند که هنگام دور و نزدیک کردن آهنربا به پیچه، عقربه گالوانومتر منحرف می‌شود و عبور جریانی را از مدار نشان می‌دهد؛ هرست مانند وقتی که در مدار، باتری وجود دارد شکل ۳-۱۱. این پدیده را القای الکترومغناطیسی و جریان تولید شده را جریان الکتریکی القایی می‌نامند.

۱۱۰

۴-۱- پدیده القای الکترومغناطیسی

راهنمای تدریس : مطابق الگوی کتاب، ابتدا به کمک آزمایش دانش‌آموزان را با پدیده القای الکترومغناطیسی فارادیس 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 فارادیس نبود، 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 ولتسنج 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.

پیش از این دیدیم که با تغییر آمازه میدان در محل مسطوره، جریان در آن القا می شود. به جز این روش، به روش های دیگری نیز می توان در پیچه با مسطوره، جریان الکتریکی القا کرد. اگر ساخت پیچه ای مطابق شکل ۲-۳ درون میدان مغناطیسی یکجوش تب تغییر دهم شکل ۲-۳ را پیچه ای را درون میدان مغناطیسی یکجوش تب تغییر دهم شکل ۲-۳ را مشاهده می شود که در هنگام انجام این کارها، جریانی در پیچه القا می شود.

۲-۳ قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

پیش از این دیدیم که به لایه ای مانند تغییر میدان مغناطیسی در محل یک پیچه، تبی ایجاد می شود. در حضور میدان مغناطیسی با جرخش پیچه درون میدان مغناطیسی، جریان الکتریکی در آن القا می شود. عاقل نسبی و مستقیم که در ایجاد جریان القایی در همه این آزمایش ها، تبس تب مغناطیسی شعری از پیچه است.

تبار مغناطیسی، کمیتی برداری است و برای میدان مغناطیسی یکجوش تب که از پیچه ای با ساخت معین \vec{A} می گذرد به صورت زیر تعریف می شود:

$$\vec{A} = \frac{\vec{B} \times \vec{r}}{r^2}$$

همان طرز که در شکل ۳-۴ دیده می شود، \vec{A} زاویه ای بین بردار میدان مغناطیسی و نیم خط شعری می باشد. این نیم خط را به طور خط چین روی شکل نشان داده ایم.

بکای تب مغناطیسی، $\vec{A} \cdot d\vec{l}$ است که با توجه به رابطه $\vec{A} = \frac{\vec{B} \times \vec{r}}{r^2}$ داریم $\vec{A} \cdot d\vec{l} = \frac{B \cdot r \cdot dl \cdot \sin \theta}{r^2}$



۴-۲- قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

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

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

مثال ۱-۳-۱
الف) مطابق شکل الف، سطح حلقه رسانایی به شکل مربع با ضلع 20 cm عمود بر میدان مغناطیسی یکجانبی به بزرگی 20 G قرار دارد. شار عبوری از این سطح را به دست آورید.
ب) اگر حلقه را بچرخانیم به طوری که سطح حلقه موازی با خط‌های میدان مغناطیسی شود، شار مغناطیسی عبوری از آن چقدر می‌شود؟
ج) شار عبور مغناطیسی عبوری از حلقه را وقتی از وضعیت شکل الف به وضعیت شکل ب می‌چرخاند به دست آورید.
د) اگر این حلقه شار مغناطیسی در بازه زمانی $\Delta t = 0.10\text{ s}$ رخ داده باشد، آنگاه تغییر شار $(\Delta\Phi/\Delta t)$ را پیدا کنید.

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 وارو صفر می‌شود. به این ترتیب، شار عبوری از سطح حلقه برابر است با:

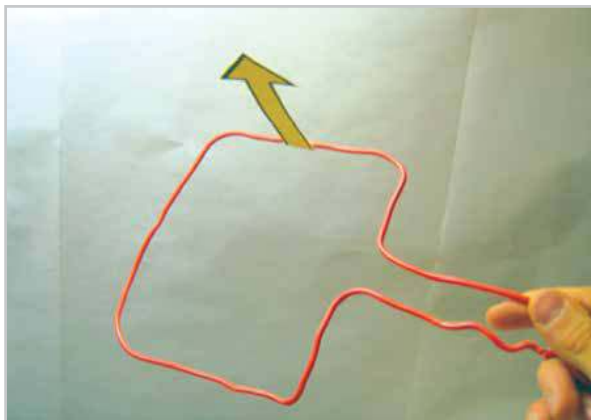
$$A = 20\text{ cm} \times 20\text{ cm} = 400\text{ cm}^2 = 4 \times 10^{-2}\text{ m}^2$$

$$B = 20\text{ G} = 20 \times 10^{-4}\text{ T}$$

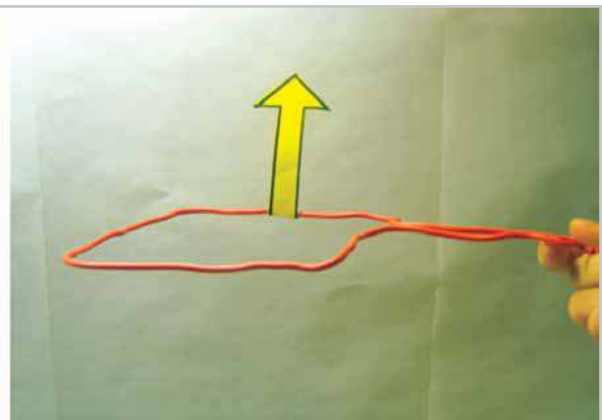
$$\Phi = BA \cos \theta = (20 \times 10^{-4}\text{ T})(4 \times 10^{-2}\text{ m}^2) \cos 0^\circ = 1.6 \times 10^{-5}\text{ Wb} = 1.6\text{ mWb}$$
 ب) در وقتی مطابق شکل ب، حلقه می‌چرخد و سطح آن موازی با خط‌های میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد. زاویه بین میدان \vec{B} و نیم‌خط عمود بر سطح حلقه برابر 90° می‌شود. از آنجا که $\cos 90^\circ = 0$ است، در این ارتباط، هیچ شارایی از سطح حلقه عبور نمی‌کند. (یعنی همان طور که دیدیم شار عبوری از سطح حلقه در وضعیت شکل الف و وضعیت شکل ب، به ترتیب برابر $\Phi = 1.6\text{ mWb}$ و $\Phi = 0$ است. به این ترتیب، تغییر شار عبوری از سطح حلقه برابر $\Phi_2 - \Phi_1 = 0 - 1.6\text{ mWb} = -1.6\text{ mWb}$ است. 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 نسبت به آنگاه تغییر شار $(\Delta\Phi/\Delta t)$ برابر است با:

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{-1.6 \times 10^{-5}\text{ Wb}}{0.10\text{ s}} = -1.6 \times 10^{-4}\text{ Wb/s}$$

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



(ب)



(الف)

تمرین ۴-۱ الف)

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

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

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

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

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

ب)

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

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

پ)

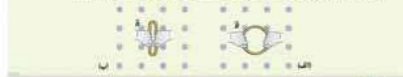
$$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{(3/5 - 7/5) \times 10^{-3} \text{ Wb}}{2 \text{ s}} = -2/25 \times 10^{-3} \text{ Wb/s}$$

پرسش ۴-۱

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

کتاب فیزیک ۱، فصل ۱۲، بخش ۱۲-۱

تمرین ۴-۱
الف) حلقه‌ای به مساحت 10 cm^2 درون میدان مغناطیسی یکواخت درون سومی به اندازه 0.3 T قرار دارد (شکل الف). شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید.
ب) اگر حلقه‌ای شکل ب و بدون تغییر مساحت، سطح حلقه را به 1 cm^2 برسانیم، شار مغناطیسی عبوری از حلقه را در این وضعیت به دست آورید.
ج) اگر این تغییر شار در بازه زمانی 0.2 s رخ داده باشد، آهنگ تغییر شار $(\Delta \Phi/\Delta t)$ را پیدا کنید.



کدام یک از یکاهای زیر صحیح است؟
 Wb
 A
 V
 Wb/s

اکون که با تعریف و مفهوم شار مغناطیسی آشنا شدید دوباره نگاه کنید به جمله القای الکترومغناطیسی که در بحث قبل بررسی کردیم. همان‌طور که گفتیم عامل مشترک در تمامی جمله‌های این معیار به شار مغناطیسی عبوری از حلقه است. شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید. شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید. شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید. شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید.

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

$$\Phi_1 = (0.3 \text{ T})(10 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \cos 0^\circ = 3 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$\Phi_2 = (0.3 \text{ T})(1 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \cos 0^\circ = 3 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{(3 \times 10^{-3} - 3 \times 10^{-4}) \text{ Wb}}{0.2 \text{ s}} = 1.5 \times 10^{-2} \text{ Wb/s}$$

کتاب فیزیک ۱، فصل ۱۲، بخش ۱۲-۱

تمرین ۴-۲
بچه‌ای تعداد 200 دور که مساحت هر حلقه آن 10 cm^2 است، مطابق شکل روی دوین لوله‌های یک آهنربای الکتریکی قرار گرفته است که میدان مغناطیسی یکواخت درون می‌کند. سطح‌های میدان و سطح حلقه هم‌راستا است. اگر اختلاف پتانسیل در بازه زمانی $2/100 \text{ ms}$ از 1.8 V به 1.2 V افزایش یابد، شار مغناطیسی عبوری از حلقه‌ها در این بازه زمانی چقدر است؟
ب) اگر تفاوت پهنه 10^{-2} s باشد، جریان القایی متوسط که از حلقه می‌گذرد چقدر است؟
ج) اگر تفاوت پهنه 10^{-2} s باشد، شار مغناطیسی عبوری از حلقه‌ها در این بازه زمانی چقدر است؟

مساحت حلقه $A = 10 \text{ cm}^2 = 10^{-3} \text{ m}^2$ ، تعداد دور $N = 200$

$B_1 = 1.8 \text{ T}$ ، $B_2 = 1.2 \text{ T}$ ، $\Delta t = 2/100 \text{ ms}$

$\Phi_1 = N B_1 A \cos \theta = (200)(1.8 \text{ T})(10^{-3} \text{ m}^2) \cos 0^\circ = 3.6 \times 10^{-1} \text{ Wb}$

$\Phi_2 = N B_2 A \cos \theta = (200)(1.2 \text{ T})(10^{-3} \text{ m}^2) \cos 0^\circ = 2.4 \times 10^{-1} \text{ Wb}$

ب) این تغییر شار مغناطیسی برابر است با:

$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = (2.4 \times 10^{-1} - 3.6 \times 10^{-1}) \text{ Wb} = -1.2 \times 10^{-1} \text{ Wb}$

پ) اگر تفاوت پهنه 10^{-2} s باشد، شار مغناطیسی عبوری از حلقه‌ها در این بازه زمانی چقدر است؟

$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{-1.2 \times 10^{-1} \text{ Wb}}{10^{-2} \text{ s}} = -12 \text{ Wb/s}$

کتاب فیزیک ۱، فصل ۱۲، بخش ۱۲-۱

تمرین ۴-۳
تغییرات شار مغناطیسی که از یک حلقه می‌گذرد، موجب تغییر شار مغناطیسی عبوری از حلقه می‌شود. تغییرات شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید. شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید. شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید. شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید.



در بازه زمانی t_1 به t_2 شار ثابت ماند. در نتیجه نیروی محرکه القایی در تمامی لحظات این بازه زمانی برابر صفر است. در بازه زمانی t_2 به t_3 شار به صورت خطی کاهش یافته و در نتیجه تغییرات شار مغناطیسی در این بازه زمانی برابر با $\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ است. بنابراین تغییر شار مغناطیسی در این بازه زمانی برابر با $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_3 - t_2}$ است. شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید. شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید. شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید. شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید.

تمرین ۲-۴

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

$$B_1 = 0.2 \text{ T} \text{ رو به بالا}$$

$$B_2 = 0.1 \text{ T} \text{ رو به پایین}$$

(جهت بالا را مثبت فرض کرده ایم.)

(الف)

$$\mathcal{E} = ?$$

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

تغییرات شار ناشی از تغییرات جهت و اندازه میدان است.

به این ترتیب

$$\Phi_1 = B_1 A \cos \theta_1 = (0.2 \text{ T})(100 \text{ m}^2) \cos 0^\circ$$

$$= 20 \text{ Wb}$$

$$\Phi_2 = B_2 A \cos \theta_2 = (0.1 \text{ T})(100 \text{ m}^2) \cos 180^\circ$$

$$= -10 \text{ Wb}$$

$$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -10 \text{ Wb} - 20 \text{ Wb}$$

$$= -30 \text{ Wb}$$

$$\mathcal{E} = - \frac{(-30 \text{ Wb})}{0.04 \text{ s}} = 750 \text{ V}$$

(ب)

$$I = |\mathcal{E}|/R = (750 \text{ V})/(100 \Omega) = 7.5 \text{ A} = 75 \text{ mA}$$

تغییرات القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

مثال ۱-۱

شکل زیر، رویه و رسمای یک سیم را در یک میدان مغناطیسی یکواخت \vec{B} به اندازه 0.2 T نشان می‌دهد. میدان \vec{B} عمود بر صفحه شکل و رو به بیرون است. سیم را از طریق آسمان لغزنده به طول $l = 0.2 \text{ m}$ بین دو بازوی رسانای قرار دایره و عمودی را تشکیل می‌دهد. سیم 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 سیم \vec{v} و بدلیل 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. نیم حلقه عمود بر سطح حلقه را فرض می‌کنیم. بنابراین زاویه نیم حلقه عمود با میدان \vec{B} صاف است (0°) و در نتیجه $\Phi = BA$. از قانون القای فارادی داریم:

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d(BA)}{dt} = -B \frac{dA}{dt}$$

برای محاسبه dA/dt ، توجه کنید که مساحت ΔA مسافت Δl را طی می‌کند. شکل رویه و سطح حلقه به مقدار $\Delta A = l \Delta l$ افزایش می‌یابد. به این ترتیب، نیروی محرکه القایی متوسط، برابر است با:

$$\mathcal{E} = -B \frac{dA}{dt} = -Blv$$

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

$$\mathcal{E} = -(0.2 \text{ T})(0.2 \text{ m})(2 \text{ m/s}) = -0.08 \text{ V}$$

و بزرگی آن برابر است با:

$$|\mathcal{E}| = 0.08 \text{ V}$$

توجه کنید که به علت مثبت بودن تندی سیم، نیروی محرکه القایی مثبت است. در این حالت، رسمای l شکل با سیم لغزنده یک موله جریان مستقیم است.

مثال ۱-۲

میدان مغناطیسی بین قطب‌های آخری الکتریکی شکل زیر، که در سطح حلقه عمود است با زمان تغییر می‌کند و در مدت 0.25 s از 0.2 T رو به بالا، به 0.1 T رو به پایین می‌رسد. در این مدت، القای نیروی محرکه القایی متوسط در حلقه را بدست آورید. میدان اگر مقاومت حلقه 100Ω باشد، جریان القایی متوسط در حلقه را پیدا کنید.

۱۱۵

پرسش ۲-۴

تندی سنج بوجرخه‌های مسابدهای شامل یک آهنربا کوچک و یک پیچه است. آهنربا به یکی از بوجهای چرخ چلو و پیچه به دو ضلع فرمان متصل است. شکل روبرو، دو سر پیچه با سیمهای رسانا به نمایشگر تندی سنج (که در واقع نوعی رایانه کوچک است) وصل شده است. به نظر شما تندی سنج بوجرخه چگونه کار می‌کند؟ این موضوع را در گروه خود به گفتگو بگذارید و نتیجه را به کلاس درس ارائه دهید.

فشاری و کاربو

کارت‌های انحصاری و دستگاه‌های کارتخوان کارتخوان
تواری مغناطیسی پشت کارت‌های انحصاری حاوی تعداد بسیار زیادی از تواری مغناطیسی است که وقتی چسبید فلز آنها را به هر متصل می‌کنند. داده‌ها را که بصورت دودویی، با مغز و یک پریم برآورده‌اند. در تواری مغناطیسی پشت کارت‌ها، میدان مغناطیسی ناشی از تواری مغناطیسی، روی پیچه قرار داده شده در دستگاه کارتخوان اثر می‌گذارد و جریان اندکی را در پیچه القا می‌کند شکل مینا. این جریان بسیار کوچک توسط دستگاه دیگری تقویت و داده‌های ذخیره شده در تواری مغناطیسی پشت کارت، رمزگشایی می‌شود. پس از رمزگشایی داده‌ها، دستور مورد نظر انجام می‌شود.

سامانه تنظیم حد تندی خودرو
در بسیاری از خودروهای امروزی، سامانه‌ای وجود دارد که به کمک آن می‌توان تندی خودرو را روی مقدار ذخیره‌شده تنظیم کرد. در این وضعیت، بدون آنکه لازم باشد راننده پای خود را روی پدال گاز قرار دهد، خودرو با تندی تعیین شده به حرکتش ادامه می‌دهد. اساس کار این سامانه، جریان القایی است. وقتی محور محرک خودرو می‌چرخد آهنربایی که روی آن قرار دارد، شار مغناطیسی متغیری را از پیچه می‌گذراند و چرخش در آن القا می‌کند. ریزولانده مغز (رایانه) داده‌های جریان را در خانه می‌سنجند و به این روش، تندی خودرو را اندازه می‌گیرد. سپس با طایفه تندی اندازه‌گیری شده با تندی تنظیم شده توسط راننده، سوخت مورد نیاز را به موتور تزریق می‌کند. تا هنگامی که راننده ترمز نکند، حرکت خودرو با تندی تعیین شده توسط این سامانه تنظیم می‌شود.

۱۱۴

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. تندر سنج با شمارش تعداد تپ‌های 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 ثبات نرسد، دستگاه طوری تنظیم شده است که با تولید صوت اعلام خطر کند.

۱- Sudden Infant Death Syndrome

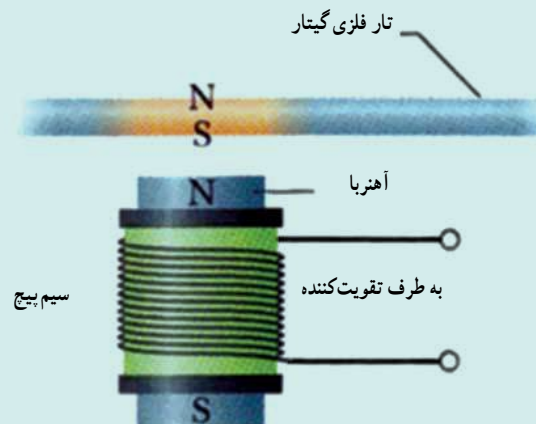
گیتار الکتریکی

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

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

می‌توان این پرسش را مطرح کرد.

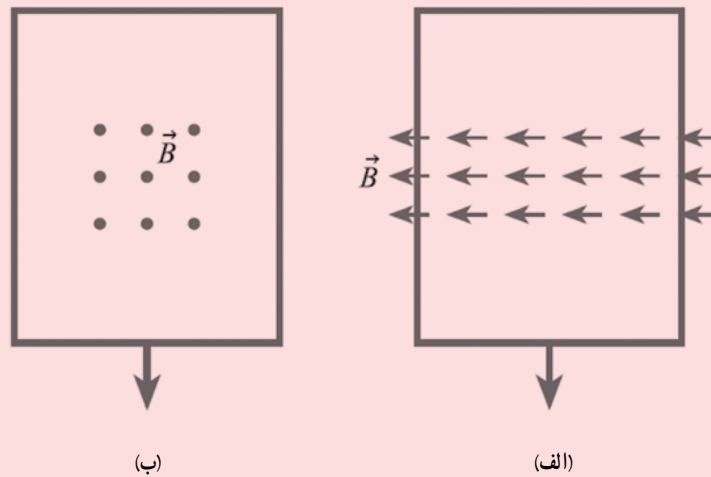
پرسش : به نظر شما تغییر کدام کمیت در گیتار الکتریکی جریان الکتریکی القایی را به وجود می‌آورد؟



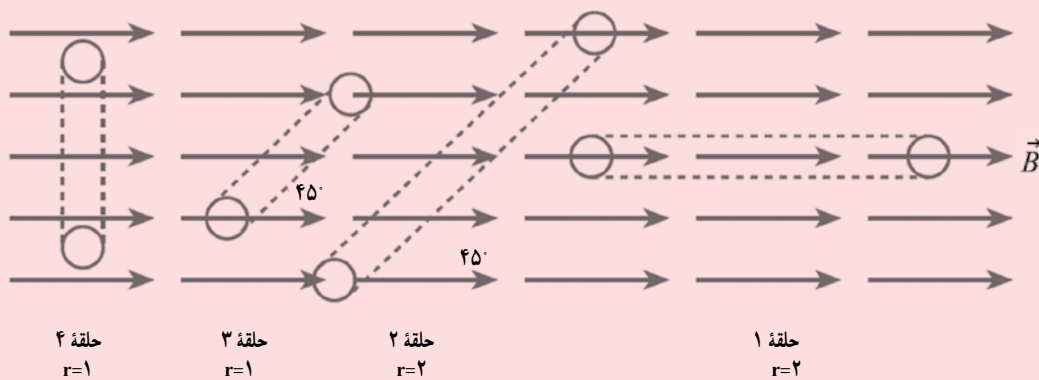
پاسخ : تغییر اندازه بردار مغناطیسی چون با تکان‌های سیم گیتار، مقدار بردار در مکان‌های مختلف فرق می‌کند.

پرسش‌های پیشنهادی بخش‌های ۱-۴ و ۲-۴

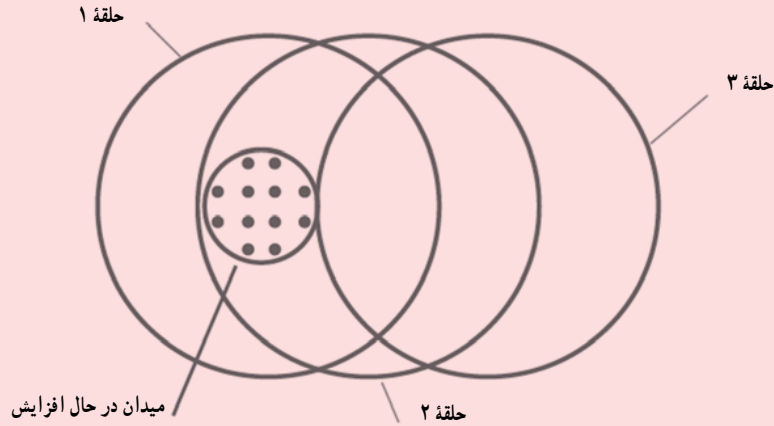
۱ در شکل‌های الف و ب دو حلقهٔ رسانا در جهت نشان داده شده و با وجود میدان مغناطیسی یکنواختی کشیده می‌شوند. در کدام حالت جریان القایی در حلقه ایجاد می‌شود؟ توضیح دهید.



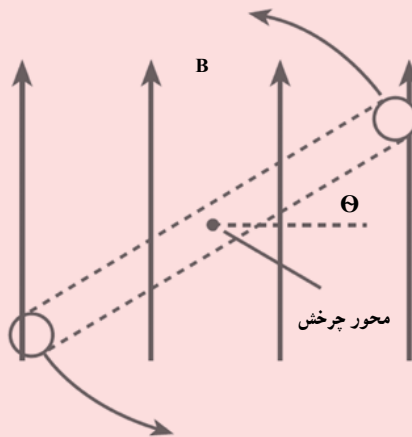
۲ شکل زیر چهار حلقهٔ دایره‌ای را عمود بر صفحهٔ کاغذ و با وجود میدان مغناطیسی یکنواختی نشان می‌دهد. شعاع حلقه‌های ۱ و ۲ دو برابر حلقه‌های ۳ و ۴ است. شار عبوری از هر حلقه را از بیشترین تا کمترین مقدار به ترتیب بنویسید.



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 36° درجه می‌چرخد. این حلقه عمود بر صفحهٔ کاغذ است و میدان مغناطیسی یکنواختی به طرف بالا وجود دارد.
 الف) در چه زاویه یا زاویه‌هایی شار عبوری از حلقه بیشینه است؟
 ب) در چه زاویه یا زاویه‌هایی شار عبوری از حلقه کمینه است؟



۴-۳- قانون لنز

خوب است بدانید: مغناطیس به بیرون می‌تابد

وانگوتس (انریکا) مغناطیس فرا جمعی (YTM) روش برای روس، مغناطیس به بیرون می‌تابد. در این روش، پهنای روی سر شخص بسیار فرار داده می‌شود که جریان الکتریکی متغری از آن می‌گذرد و در نتیجه میدان مغناطیس متغری تولید می‌کند. این میدان متغری، سبب ایجاد نیروی محرکه القایی و جریان القایی در باسیمه‌ای از مغز می‌شود که در نتیجه قرار دارد. بزرنگ با مشاهده واکنش مغز در ابتدا، یک تکدام هم‌اشاره به علت واکنش مغز خاص از مغز حرکت می‌کنند می‌تواند شرایط صعب ناشی مغناطیس را برآورد.

۳-۴ قانون لنز

معدت کوهن پس از آنکه برآورد قانون القایی الکترومغناطیس را ارائه کرد، هاینرش ایزن، دانشمند روس، تبار، در سال ۱۸۴۲ میلادی روشی را برای تعیین جهت جریان القایی در یک پهنه یا در هر مدار بسته مغزی پیشنهاد کرد. این روش که بعدها به قانون لنز شهرت یافت، حاکی از آن است که:

جهت جریان مغزی از نیروی محرکه القایی در یک مدار یا پهنه جهت پهنه است که آن را مغناطیس کشی از آن یا مغز یا وجود آن برآورد جریان القایی، چرخه غیر مغناطیس، مخالفت می‌کند.

مثلاً: مغز در رابطه با \vec{B} نشان دهنده همین مخالفت است. توضیح دقیق تر این مطلب فراتر از سطح این کتاب است. در اینجا تنها به ذکر مثال‌هایی از چگونگی استفاده از قانون لنز برای تعیین جهت جریان القایی اکتفا می‌کنیم.

تکامل \vec{B} القایی: آهنربایی را نشان می‌دهد که قطب N آن در حال نزدیک شدن به یک حلقه رساناست. در این وضعیت، مغز القایی \vec{I} در جهت عقربه‌های ساعت از حلقه زیاد می‌شود. بنا به قانون لنز، جهت جریان القایی ایجاد شده در حلقه چنان است که میدان مغناطیس کشی از آن با افزایش شار مخالفت کند. بنابراین، میدان مغناطیس حلقه در خلاف سوی میدان مغناطیس آهنربا می‌شود. با توجه به قانون دست راست از روی جهت میدان مغناطیس حلقه، جهت جریان در حلقه تعیین می‌شود. همچنین اگر مطابق شکل \vec{B} قطب N آهنربا را از حلقه رسانا دور کنیم، جهت مغز خواهد بود که میدان مغناطیس تولید شده توسط حلقه، همسو با میدان آهنربا می‌شود و به این ترتیب با کاهش شار عبوری از حلقه، مخالفت می‌کند.

توجه: در این روش، جهت مغز القایی در حلقه همان جهت افزایش شار است. توضیح دقیق تر این مطلب فراتر از سطح این کتاب است. در اینجا تنها به ذکر مثال‌هایی از چگونگی استفاده از قانون لنز برای تعیین جهت جریان القایی اکتفا می‌کنیم.

توجه: در این روش، جهت مغز القایی در حلقه همان جهت افزایش شار است. توضیح دقیق تر این مطلب فراتر از سطح این کتاب است. در اینجا تنها به ذکر مثال‌هایی از چگونگی استفاده از قانون لنز برای تعیین جهت جریان القایی اکتفا می‌کنیم.

توجه: در این روش، جهت مغز القایی در حلقه همان جهت افزایش شار است. توضیح دقیق تر این مطلب فراتر از سطح این کتاب است. در اینجا تنها به ذکر مثال‌هایی از چگونگی استفاده از قانون لنز برای تعیین جهت جریان القایی اکتفا می‌کنیم.

توجه: در این روش، جهت مغز القایی در حلقه همان جهت افزایش شار است. توضیح دقیق تر این مطلب فراتر از سطح این کتاب است. در اینجا تنها به ذکر مثال‌هایی از چگونگی استفاده از قانون لنز برای تعیین جهت جریان القایی اکتفا می‌کنیم.

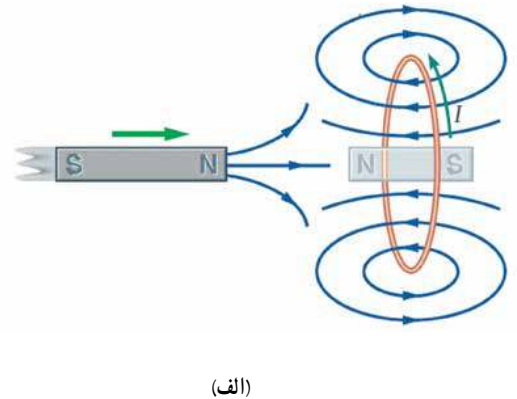
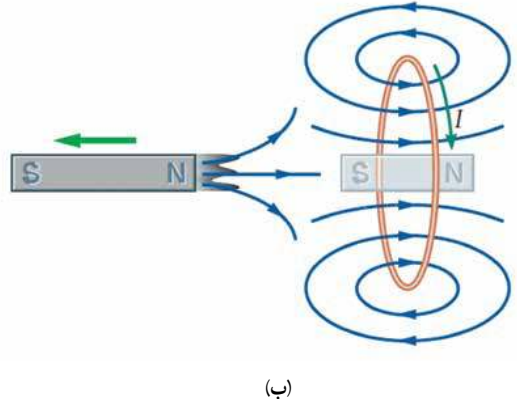


توجه: در این روش، جهت مغز القایی در حلقه همان جهت افزایش شار است. توضیح دقیق تر این مطلب فراتر از سطح این کتاب است. در اینجا تنها به ذکر مثال‌هایی از چگونگی استفاده از قانون لنز برای تعیین جهت جریان القایی اکتفا می‌کنیم.

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

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

رهیافت دیگر، که در ادامه توضیح داده شده است نیز به همان اندازه رهیافت کتاب مفید است. مطابق رهیافت دوم، وقتی آهنربایی مثلاً با قطب N به حلقه‌ای رسانا نزدیک می‌شود، سمتی از حلقه که روبه‌روی آهنرباست، مانند قطبی همانم 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 دانش‌آموزان توجه کنند که قانون لنز برای مدارهای بسته‌ای که به هر دلیل در آنها جریان القا می‌شود کاربرد دارد

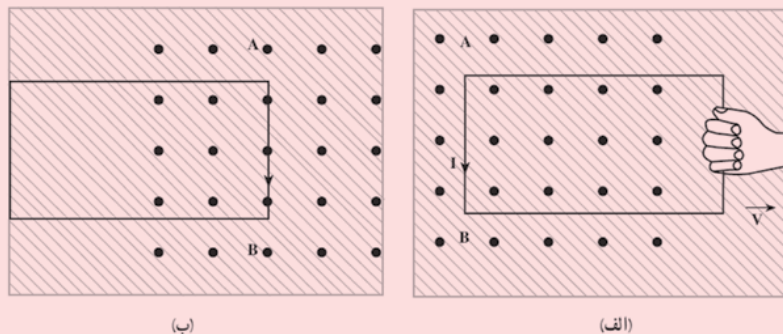
(شکل الف)، در حالی که اگر مدار بسته نباشد، مشابه (حلقه ناکامل) شکل ب، نه جریانی در مدار القا می‌شود و نه می‌توان از قانون لنز برای تعیین جهت آن استفاده کرد.



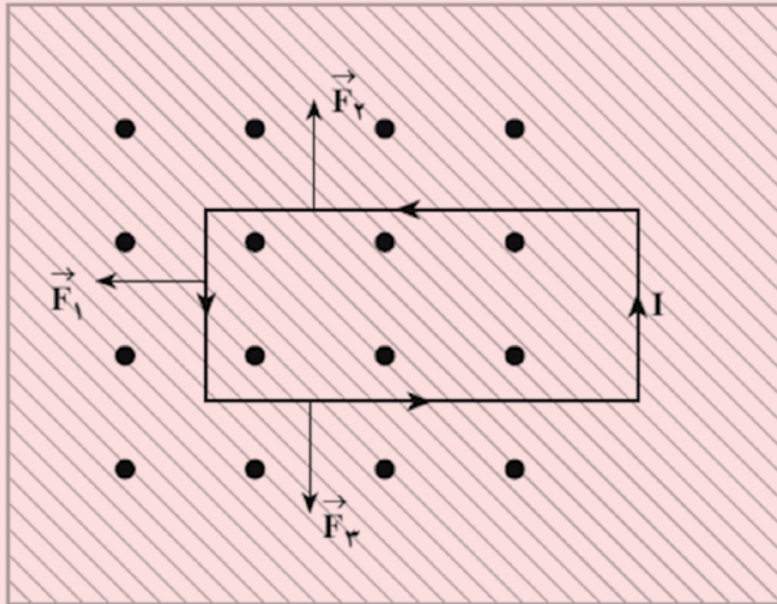
دانستنی برای معلم

بررسی میکروسکوپی یک 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 الکتریکی‌ای تولید می‌کند که بارها را در جهت پادساعتگرد به حرکت درمی‌آورد.



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



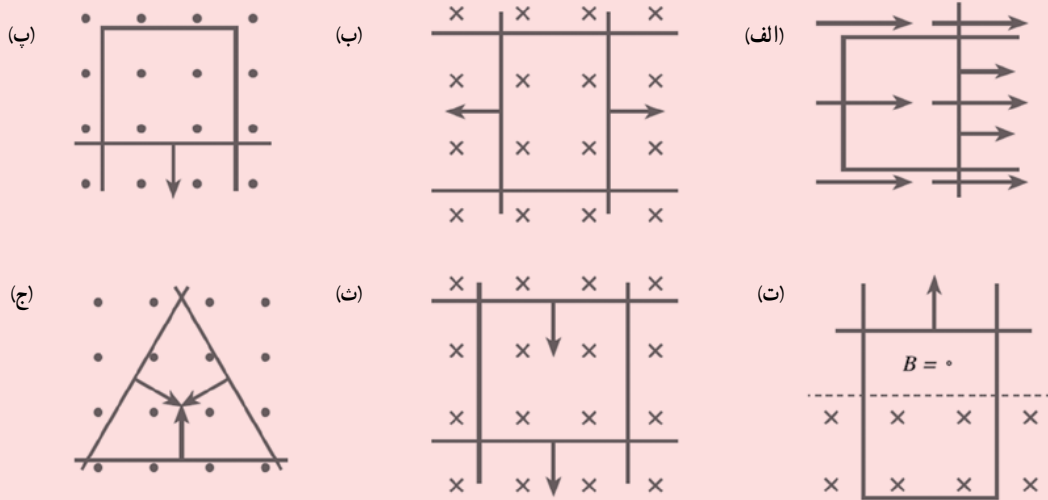
حال می‌خواهیم ثابت کنیم که قانون لنز در واقع چیزی جز پایستگی انرژی نیست. دیدیم که ناظر سوار بر حلقه وجود جریان را به نیروی الکتریکی نسبت می‌دهد. بدیهی است که مقدار این نیرو باید با نیروی مغناطیسی که ناظر سوار بر آهنربا محاسبه می‌کرد، برابر باشد: $qE = qvB$ ، و از آنجا $E = vB$ به دست می‌آید. از طرفی،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

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

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

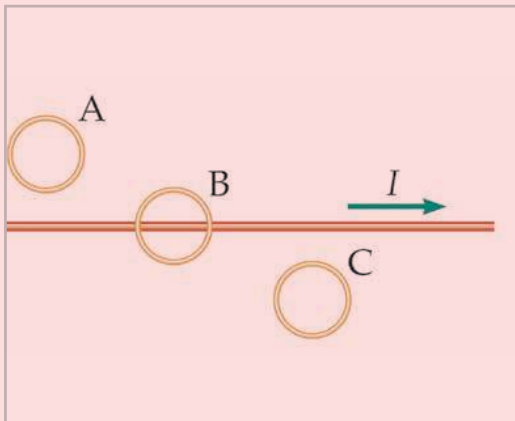
پرسش‌های پیشنهادی بخش ۴-۳

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

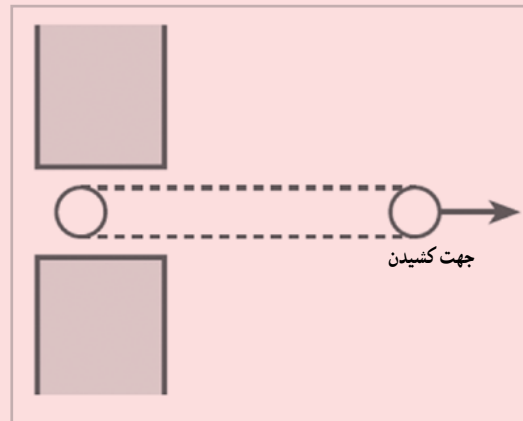


۲ در شکل چ مقطع حلقه‌ای نشان داده شده است که در حال کشیده شدن از بین قطب‌های دو آهنرباست. جهت جریان القایی را در هر مقطع حلقه با علامت \bullet یا \times مشخص کنید.

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



(ح)



(ج)

پرسش ۳-۴

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

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

الف) آهنربا با توجه به جهت جریان القا در مدار شکل، توضیح دهید که آیا آهنربا رو به بالا حرکت می کند یا رو به پایین.

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

۴-۳-۴ القا: در فصل ۲ دیدیم که در فضای بین صفحات یک خازن باردار، میدان الکتریکی ایجاد می شود و انرژی الکتریکی در این میدان ذخیره می شود. به همین ترتیب، می توان از القاگر (سیم پیچ) برای تولید میدان مغناطیسی دلخواه و همچنین ذخیره انرژی در این میدان استفاده کرد. القاگر مانند مقاومت و خازن یکی از اجزای ضروری مدارهای الکترونیکی است.

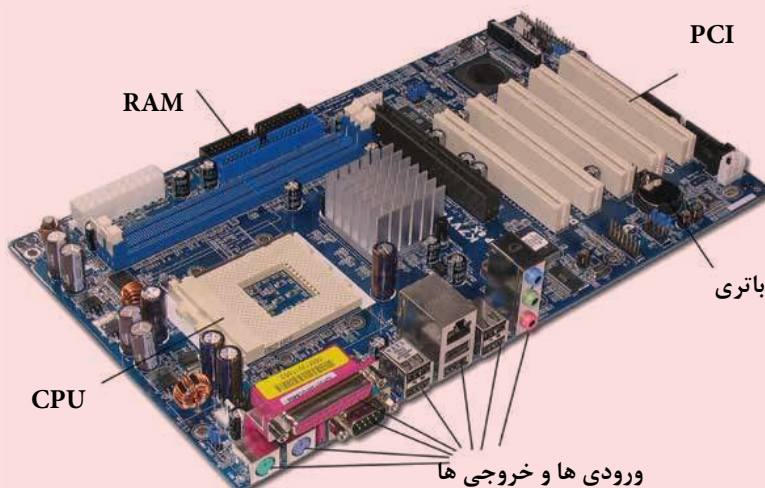
شکل ۴-۳-۴ تصویر چند القاگر را در اندازه ها و شکل های متفاوت نشان می دهد. تمام مدارهای القاگر - سیم پیچ - است.

خود - القاگر: مدار را مطابق شکل ۴-۳-۴ در نظر بگیرید. این مدار شامل منبع نوری محرک، مقاومت، آلماس و القاگر است که به طور متوالی به یکدیگر بسته شده اند. با تغییر مقاومت مقاومت، جریان در مدار تغییر می کند. تغییر جریان در مدار، سبب تغییر میدان مغناطیسی القاگر می شود و در نتیجه شار مغناطیسی عبوری از آن نیز تغییر می کند. این فرایند سبب القای نوری محرک در القاگر می شود که به بار فلون نیز با تغییر جریان عبوری از آن مخالفت می کند. این پدیده که می تواند در هر القاگری از جنس و با سیم پیچ خارج دهد از خود - القاگری نامیده می شود.

۴-۴- القاگرها

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

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



به عنوان یک فعالیت ساده می توانید، مادربرد 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 ۲-۴، که آزمایشی ساده و مفید برای دیدن پدیده خود-القائوری 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 القائوری 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.

توجه

همان طور که نتیجه مثال ۴-۵ نیز نشان می دهد ۱H برای ضریب القاوری یک القاگر عدد بسیار بزرگی است و برای سیمولوله ای با حدود ۲۰۰۰ دور و طول ۶m، این ضریب از مرتبه میلی هانزی (mH) است. این موضوع در بخش اول تمرین ۴-۳ مورد توجه قرار گرفته است.

تمرین ۴-۳

ضریب القاوری سیمولوله آرمادی بدون هسته ای به طول ۶۰cm و سطح مقطع ۱۰cm^۲ را پیدا کنید که شامل ۲۰۰۰ حلقه تزیینک به هر استند.

پاسخ: با توجه به داده های مسئله داریم:

$$A = 10^{-4} \text{ m}^2, \quad l = 0.6 \text{ m}, \quad N = 2000, \quad L = ?$$

با قرار دادن مقادیر بالا در رابطه ۴-۳ داریم:

$$L = \mu_0 \frac{N^2}{l} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times (2000)^2}{0.6} = 8.38 \times 10^{-4} \text{ H} = 0.838 \text{ mH}$$

تمرین ۴-۳

۱- تعداد حلقه های سیمولوله ای بدون هسته، به طول ۶۰cm و سطح ۱۰cm^۲ چه تعداد باید تا ضریب القاوری آن ۱H شود؟
 ۲- دو سیمولوله بدون هسته با سطح مقطع و تعداد دور یکسان را در نظر بگیرید. اگر طول یکی از سیمولوله ها دو برابر دیگری باشد، ضریب القاوری آن چند برابر دیگری است؟

حیوانات خانگی و ابزار الکترونیک

همان طور که در ابتدای این بخش دیدیم القاگرها با تغییرات سریع جریان در مدار مخالفت می کنند، به همین دلیل نقش مهمی در لایحه های فیلترهای دیجیتال دارند. در این لایحه ها، جریان الکتریکی از گذر رفتی که ناشی از بارها را برگرداندند می گذرد و کار را یکنواخت و به پهنای بندی می کند. پهنای باند رسانای فیزیکی است و هر چه بیشتر یکنواخت شود مقاومت آن کمتر می شود. اگر رفتار به خط کافی بالا به کار اتصال شود، جریان می تواند بسیار زیاد شود و به مدار برتری لایحه فیلترهای آسیب رساند. برای جلوگیری از این مسئله، یک القاگر را به طور متوالی با لایحه فیلترهای بدون هسته تا مانع افزایش زیاد جریان شود. متعادل کننده هستند، همچنین باعث می شود تا لایحه فیلترهای بدون هسته با ولتاژ متناوب کار کند.

القای متقابل شکل ۴-۳ اساس آزمایش ساده ای را برای بررسی القای متقابل نشان می دهد. جریان عبوری از پیچ ۱، میدان مغناطیسی \vec{H} را به وجود می آورد. این میدان \vec{H} ، شار مغناطیسی Φ را از پیچ ۲ می گذراند که در مجاورت آن قرار دارد. با تغییر دادن مقاومت رولسها و تغییر جریان در پیچ ۱، میدان مغناطیسی پیچ ۱ و در نتیجه شار عبوری از پیچ ۲ نیز تغییر می کند. با تغییر مقاومت رولسها در پیچ ۲، شار عبوری از پیچ ۱ نیز تغییر می کند. این تغییر شار، سبب ایجاد نیروی محرکه الکتریکی در پیچ ۲ می شود. اگر طول یکی از سیمولوله ها دو برابر دیگری باشد، ضریب القاوری آن چند برابر دیگری است؟

تمرین ۴-۳

۱

$N = ? , \quad l = 2/\lambda \text{ m}$

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

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

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

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

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

۲

$N_1 = N_2 \text{ و } l_1 = 2l_2 \text{ و } L_1/L_2 = ?$

با توجه به رابطه ضریب القاوری سیمولوله به سادگی خواهیم داشت $L_1 = \frac{1}{2} L_2$

تجربه القا

این تغییر شار، نیروی محرکه ای را در پیچ ۲ القا می کند که به ایجاد جریان القا می شود. این جریان در پیچ ۲ می تواند تغییر شار را در پیچ ۱ نیز القا کند. سبب ایجاد نیروی محرکه القا در پیچ ۱ می شود. این فرایند القای متقابل می شود و به کمک آن می توان انرژی را از یک پیچ به پیچ دیگر منتقل کرد.

در برخی از مدارهایی که از چندین القاگر به وجود آمده است، تغییرات جریان در یک القاگر می تواند نیروی محرکه ناشی از آن را در القاگرهای مجاور القا کند. در همین دلیل، در برخی از مدارهای الکتریکی، القای متقابل می تواند مزاحم باشد. برای هر چه کمتر کردن این اثرات ناخواسته باید سطح مقطع های القاگرهای مجاور را به طور عمود بر یکدیگر قرار داد. شکل ۴-۳. در این صورت، اثر القای متقابل تا حد امکان کوچک می شود. القای متقابل کاربردهای مفید بسیاری دارد. مثلاً در مدارها که در بیان همین فصل با آنها آشنا خواهید شد، القای متقابل نقش مهمی در مدارها و ولتاژ خروجی مدار ایفا می کند.

انرژی ذخیره شده در القاگر ۱ وقتی توسط باری جریان در القاگر برقرار شود، موثره به القاگر انرژی می دهد. بخشی از این انرژی در مقاومت الکتریکی سیمولوله القاگر به صورت گرما تلف و طبق آن در میدان مغناطیسی القاگر ذخیره می شود. مدار انرژی ذخیره شده در میدان القاگر با ضریب القاوری L_1 از رابطه زیر بدست می آید:

$$W = \frac{1}{2} L_1 I^2 \quad (4-3)$$

لازم است رفتار مقاومت و القاگر را به لحاظ انرژی مشاهده نگردد. شکل ۴-۳. هنگام عبور جریان از مقاومت، انرژی وارد آن می شود، جریان به پایا باشد و چه تغییر کند. این انرژی در مقاومت به انرژی گرمایی تبدیل می شود؛ در حالی که در یک القاگر آرمادی (با مقاومت صاف) تنها وقتی انرژی وارد القاگر می شود که جریان 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 آرمادی (سیمولوله بدون مقاومت)، انرژی به آن وارد می آید و از آن خارج نمی شود.

تجربه القا

متخصصان صنعت روغن، علاقه مند به راههای موزنی را برای ذخیره انرژی الکتریکی تولیدی در سامانه های کم مصرف (کامپیوتر) یا به استفاده از آن، نیاز نشان دادند و در سامانه های مصرف انرژی (بارها) تأمین کنند. یک ایده فزنی استفاده از یک القاگر بزرگ است. ضریب القاوری این القاگر چقدر باشد تا بتواند ۱۰۰kWh انرژی الکتریکی را در پیچ حامل جریان ۲۰۰A ذخیره کند؟

پاسخ: مدار ذخیره شده مورد نیاز ۱۰۰kWh و $E = 200 \text{ A}$ و جریان $I = 200 \text{ A}$ داده شده است. از معادله ۴-۳ ضریب القاوری را بدست می آوریم:

$$E = \frac{1}{2} L I^2 = 100 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^8 \text{ J} \Rightarrow L = \frac{2E}{I^2} = \frac{2 \times 3.6 \times 10^8}{(200)^2} = 1.8 \times 10^4 \text{ H}$$

تمرین ۴-۴

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

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

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

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

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

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

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

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

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

همان طور که نتیجه سیمکا قبل نشان می‌دهد، ضریب القایی لایه، بسیار بیشتر از ضریب القایی یک القاگر معمولی است. در حد میلی‌هاری است که در آزمایشگاه از آن استفاده می‌کنیم. اکنون بر این همان طور که در فصل ۴ دیدیم سیمکاهای معمولی که بتوانند جریان ۱۰۰۰۰۰ را از خود عبور دهند، باید قطر بسیار بزرگی داشته باشند. در نتیجه اندازه یک القاگر ۱۰۰۰۰۰ که از سیمکاهای 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، فرضی است و توجیه اقتصادی ندارد.

تمرین ۴-۳

سیمکله آرمادی بدون هسته‌ای به طول ۲۲ cm و با حلقه‌هایی به مساحت ۰.۴۴ cm²، شامل ۲۰۰۰۰ حلقه نزدیک به هم است و جریان ۱/۷۷۸ از آن می‌گذرد. ضریب القایی و انرژی ذخیره شده در سیمکله را حساب کنید.

تجرباتی و کار در خانه: القای متقابل در سیمکاهای متقاطع

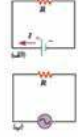
انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی ناشی از سیمکاهای متقاطع خودرله‌های یا موتورهای ترانس دارد. پیچ اوله با حدود ۲۵۰ دور به باری خودرله بسته شده است و میدان مغناطیسی قوی‌ای تولید می‌کند. این پیچ دوم یک پیچ اوله با ۲۵۰ دور سیم‌خالی نازک قرار گرفته است. برای چرخه‌زدن سیم، جریان در پیچ اوله قطع می‌شود و میدان مغناطیسی به سرعت به صفر می‌رسد و توری محرکه الکتریکی در آن لحظه در پیچ اوله القا می‌کند. در نتیجه انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی همراهِ با جریانی لحظه‌ای از پیچ اوله به طرف سیم‌خالی می‌رود و جریانی تولید می‌کند که سبب انحراف سوسپت و هوا در سیمکتهای متقاطع می‌شود (شکل زیر را ببین).



انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی سیمکاهای متقاطع، از انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی پیچ اوله‌ها می‌رسد.

۵- جریان متناوب

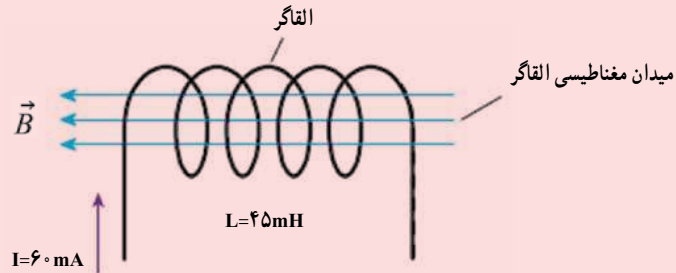
در اواخر قرن نوزدهم، بهت‌های داخلی بین توماس ادیسون و جورج وستینگهاوس دربارۀ بهترین روش انتقال انرژی الکتریکی از محل تولید تا محل مصرف صورت گرفت. ادیسون موافق جریان مستقیم (اتقا) بود، در حالی که وستینگهاوس از جریان متناوب (اتقا) حمایت می‌کرد. سرانجام، وستینگهاوس پیروز شد و پس از آن سازه‌های انتقال و توزیع برق و بیشتر وسایل خانگی با جریان متناوب به کار آمدند.



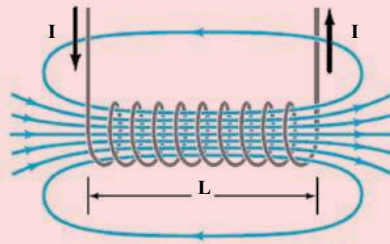
شکل ۱۳-۲ دو مدار ساده جریان مستقیم و جریان متناوب را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینید، جهت جریان در مدار جریان مستقیم معین است. در حالی که در مدار جریان متناوب به دلیل تغییر مسافت، که بر آن جریان با گذشت زمان، نمی‌توان جهت معینی را برای جریان در نظر گرفت. ششای نیروگاه‌های تولید برق در دنیا و از جمله ایران، جریان متناوب تولید می‌کنند که ناشی سیموسی از زمان است و به همین دلیل، جریان متناوب سیموسی نامیده می‌شود (شکل ۱۳-۳).

پرسش های پیشنهادی بخش ۴-۴

۱ انرژی ذخیره در القاگر شکل زیر چقدر است؟



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



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

دانستنی برای معلم

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



۴-۵- جریان متناوب

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

تولید جریان متناوب : یکی از کاربردهای مهم اثر القای الکترومغناطیسی، تولید جریان متناوب است. پیش از این دیدیم که برای تولید نیروی محرکه القایی باید شار مغزوی را به تغییر کند. همچنین دیدیم که در حضور میدان مغناطیسی بتکوانت، شاری که از بیچه می‌گذرد از رابطه $\Phi = BA \cos \theta$ مطابقت می‌نماید که در آن θ زاویه بین نیم‌خط عمود بر سطح حلقه‌های بیچه و میدان مغناطیسی است. راجح‌ترین روش برای تغییر شار و در نتیجه تولید جریان القایی، تغییر زاویه θ است. شکل ۱۳-۱ میدان مغزوی بیچه‌ای را نشان می‌دهد که می‌تواند در میدان مغناطیسی بتکوانت دور محور θ بچرخد.

نکته: اگر برای یک دور از دور (یا میدان مغناوب) حرکت تکلیفی از طریق مدار گردان، سب پرچمن بیچه در میدان مغناطیسی می‌نماید و جریان مغزوی را در مدار بیچه می‌آورد.

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

$$i = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d(BA \cos \theta)}{dt}$$

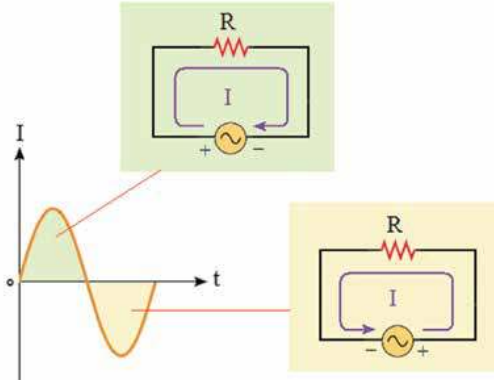
به کمک قانون لارانه می‌توان نشان داد نیروی محرکه القایی در بیچه در لحظه t از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} = \dots \quad (13-1)$$

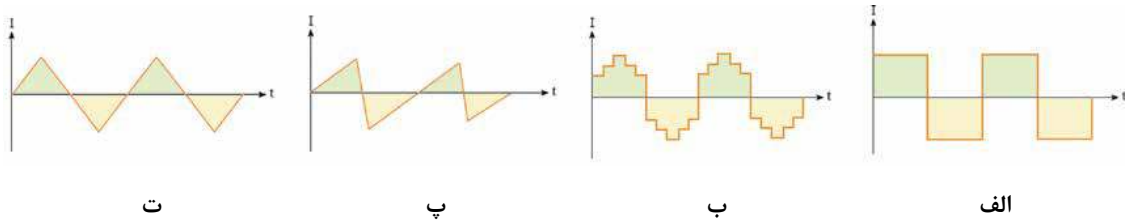
که در آن e پتانسیل خندار نیروی محرکه القایی در بیچه است. این رابطه نشان می‌دهد که نیروی محرکه القایی بیچه دورهای سینوسی به زمان تغییر می‌کند.

در ادامه این بخش، شرح از تعداد و نام سب می‌کنند.

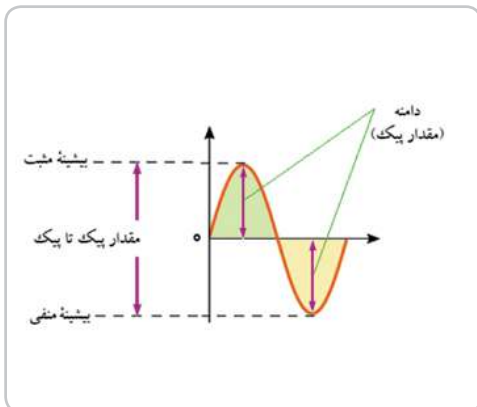
برای درک بهتر شکل ۱۳-۴ کتاب درسی، خوب است شکل زیر را نیز روی تابلو رسم کنید تا تغییر جهت جریان در جریان متناوب بهتر تبیین شود.



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

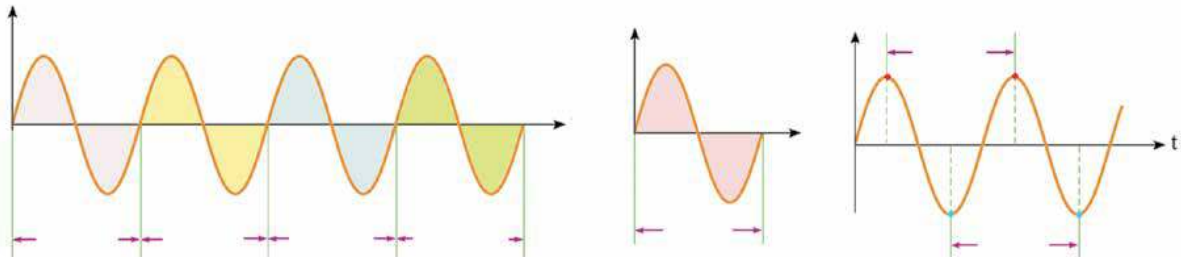


چند نمونه از شکل‌های موج جریان متناوب (الف) موج مربعی، (ب) موج پله‌ای، (پ) موج دندان اره‌ای، (ت) موج مثلثی.

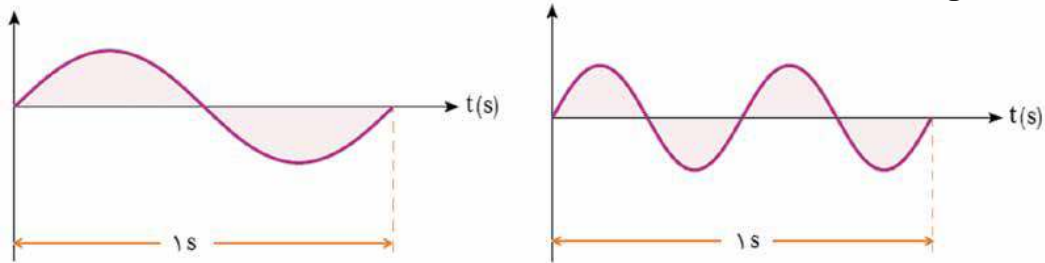


در کتاب‌های مهندسی معمولاً فاصله بیشینه مثبت تا بیشینه منفی را در جریان متناوب، مقدار بیک تا بیک می‌گویند که دو برابر دامنه موج است (شکل رو به رو).

از آنجا که دانش‌آموزان 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 موردنیاز در این بخش داشته باشید. با رسم شکل‌هایی مشابه شکل‌های زیر، مفهوم چرخه و دوره تناوب را برای دانش‌آموزان معرفی کنید.



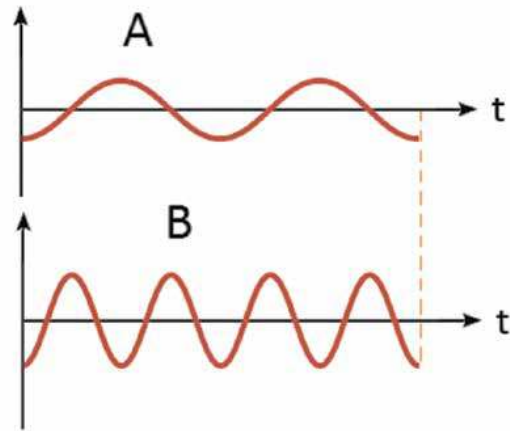
مفهوم بسامد را نیز می‌توانید در ادامه همین قسمت به دانش‌آموزان معرفی کنید. تعداد چرخه‌ها در یکای زمان، بسامد نامیده می‌شود و وارون دوره تناوب است ($f = \frac{1}{T}$). یکای بسامد چرخه بر ثانیه یا عکس ثانیه (S^{-1}) است که هرتز (Hz) نامیده می‌شود. شکل زیر دو موج سینوسی با بسامد متفاوت را نشان می‌دهد.



از آنجا که دانش‌آموزان 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 دانش‌آموزان معرفی شود.

پیشنیادهای

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

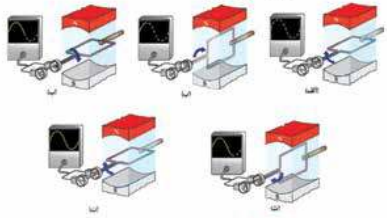


اگر تفاوت کل مدار پیچ را برابر R باشد، با توجه به رابطه $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \sin \omega t$ ، جریانی که در پیچ القا می‌شود برابر است با:

$$I = I_0 \sin \frac{2\pi}{T} t \quad (۳-۳)$$

در این رابطه به بسامد جریان القا شده در پیچ و برابر ω اشاره کرده‌اند. رابطه $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \sin \omega t$ نشان می‌دهد که جریان القا شده در پیچ، به‌طور مستقیم تغییر می‌کند، به‌عین سبب به آن **جریان متناوب** می‌گویند. نمودار این جریان و حسب زمان، در یک دوره در شکل ۳-۳ رسم شده است.

شکل ۳-۳: تولد جریان متناوب سینوسی در مدار تک دوره را نشان می‌دهد. در $t = 0$ سطح پیچ در خطوط میدان مغناطیسی عمود است و جریانی در مدار وجود ندارد (شکل ۳-۳ الف). پیچ یک چهارم دور می‌چرخد تا در وضعیت شکل ۳-۳ ب قرار گیرد. در حین این چرخش، شار مغناطی از پیچ تغییر می‌کند و جریان از صفر به مقدار بیشینه مثبت می‌رسد (ربع اول چرخش). پیچ به چرخش ادامه می‌دهد تا در وضعیت شکل ۳-۳ ج قرار گیرد. در نتیجه جریان از مقدار بیشینه مثبت به صفر می‌رسد (نیم دور چرخش). پس از آن پیچ از وضعیت شکل ۳-۳ د به وضعیت شکل ۳-۳ ه می‌رسد. در حین این چرخش، جریان از صفر به مقدار بیشینه منفی می‌رسد (ربع سوم چرخش). سرانجام پیچ یک دور دور دیگر می‌چرخد و به این ترتیب یک چرخه کامل را طی می‌کند و به وضعیت شکل ۳-۳ ا می‌رسد و در نتیجه جریان از مقدار بیشینه منفی به صفر می‌رسد. این حرکت به‌طور متناوب (تکراری) توسط پیچ ادامه می‌یابد و جریان متناوب تولد می‌شود.



شکل ۳-۳: تولد جریان متناوب سینوسی در یک چرخش کامل.

در نورگدهای تولد برق برای تولد جریان متناوب از مولدهای خاص استفاده می‌شود که به آنها مولدهای صنعتی جریان متناوب می‌گویند. در مولدهای صنعتی پیچها ساکن‌اند و آهن‌پای الکتریکی در آنها می‌چرخد (شکل ۳-۴). در نورگدهای تولد برق در ایران آهن‌پای الکتریکی در هر ثانیه ۵۰ دور می‌چرخد. این بسامد را بسامد برق تولد شده می‌نامند و بصورت ۵۰ Hz بیان می‌کنند. یکای بسامد "هرتز" است.



شکل ۳-۴: القای مولدهای صنعتی با آهن‌پای الکتریکی متحرک و جریان متناوب تولد می‌شود.

شکل ۳-۴: مولد ریز، نمودار جریان متناوب سینوسی را نشان می‌دهد که یک مولد جریان متناوب تولد کرده است. معادله جریان بحسب زمان را بنویسید.

پاسخ: چون ربع چرخش در 20 ms طی شده است، دوره تناوب برابر $T = 40 \text{ ms}$ است. همچنین با توجه به نمودار، بیشینه جریان $I_0 = 2 \text{ A}$ است. در نتیجه از رابطه $(۳-۳)$ داریم:

$$I = I_0 \sin \frac{2\pi}{T} t = (2 \text{ A}) \sin \left(\frac{2\pi}{40 \times 10^{-3} \text{ s}} t \right) = 2 \sin (50\pi t) \text{ A}$$

نتیجه نهایی بحسب یکای I نوشته شده است.

تمرین ۳-۴: معادله جریان در زمان یک مولد جریان متناوب بحسب یکای I بصورت $I = (2 \text{ A}) \sin (100\pi t)$ است. الف) جریان در دو لحظه $T = 40 \text{ ms}$ و $T = 80 \text{ ms}$ چقدر است؟ ب) دوره تناوب جریان را بیابید و بسامد آن را در یک دور کامل رسم کنید.

تمرین ۴-۵

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

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

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

$$= 2 \text{ mA}$$

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

$$\frac{2\pi}{T} = 250\pi \Rightarrow T = \frac{1}{125} \text{ s}$$

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.

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

مدیله‌ها یکی از مزیت‌های مهم توزیع توان الکتریکی در شبکه آن است که افزایش و کاهش ولتاژ دارد. 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 کنید. این کار ایمن‌تر است و در خط‌های انتقال کاهش می‌دهد. همچنین با توجه به کاهش جریان می‌توان از سیم‌های نازک‌تری استفاده و در مصرف مواد اولیه ساختن سیم صرفه‌جویی کرد.

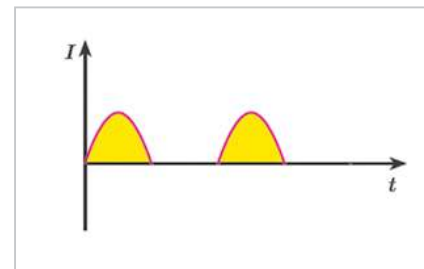
خط‌های انتقال توان الکتریکی به طور معمول از ولتاژهایی در حدود ۲۰۰-۵۰۰ کیلوولت استفاده می‌کنند. شکل (۱۸-۴) از طرف دیگر، ملاحظات ایمنی و الزامات مایع‌های در ساختن وسایل خانگی و صنعتی، ولتاژهای با نسبت پایین‌تری را در محل مصرف انرژی ضروری می‌کند. ولتاژ استاندارد برای سیم‌کشی خانگی در ایران و بسیاری از کشورهای دیگر ۲۲۰-۲۳۰ ولت است. تبدیل ولتاژ مورد نیاز با استفاده از مدیله‌ها صورت می‌گیرد.

نکته: الف) خط از انتقال توان الکتریکی از تورنگاه مدیله‌های اولیه، ولتاژ را تا حدود ۲۰۰-۵۰۰ کیلوولت افزایش می‌دهد. در انتهای مسیر، مدیله‌های کم‌تند، ولتاژ را کاهش می‌دهد تا توان الکتریکی با کمترین تلفات به محل مصرف برسد.

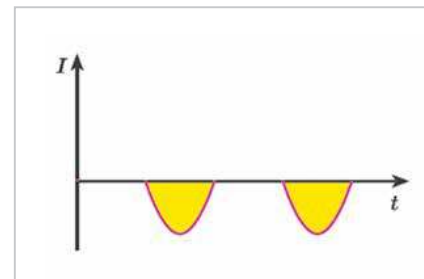
۱۱۶

تمرین ۶-۴

مشابه مثال ۸-۴ است و دانش‌آموزان به سادگی می‌توانند این تمرین را حل کنند ($V_2 \approx 370 \text{ V}$).



(الف)



(ب)

شکل ۱۸-۴ مدیله‌های انتقالی دو پیچ با تعداد دورهای متفاوت را نشان می‌دهد که دور یک هسته آهنی (مغناطیسی نرم) پیچیده شده‌اند. در فصل پیچ اول با N_1 دور و ولتاژ V_1 بسته شده است و پیچ ثانویه با N_2 دور و ولتاژ V_2 را تعیین می‌کند. برای یک مدیله آرمادی که مقاومت پیچ‌های اول و دوم آن ناچیز است، رابطه زیر برقرار است:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (۸-۴)$$

نکته: الف) یک مدیله آرمادی که پیچ‌ها به هم پیچیده گردید یک هسته آهنی پیچیده شده‌اند.

مثال ۸-۴

شکل دو پیچ یک مدیله 220V و 110V را نشان می‌دهد. پیچ اولیه 8000 دور دارد. فرض آرمادی بودن مدیله، تعداد دورهای پیچ ثانویه را پیدا کنید. پاسخ: با توجه به داده‌ها داریم: $V_1 = 220\text{V}$, $V_2 = 110\text{V}$, $N_1 = 8000$ دور. $N_2 = ?$ با جای‌گذاری این مقادیر در رابطه ۸-۴ داریم: $\frac{220}{110} = \frac{8000}{N_2} \Rightarrow N_2 = 4000$ دور.

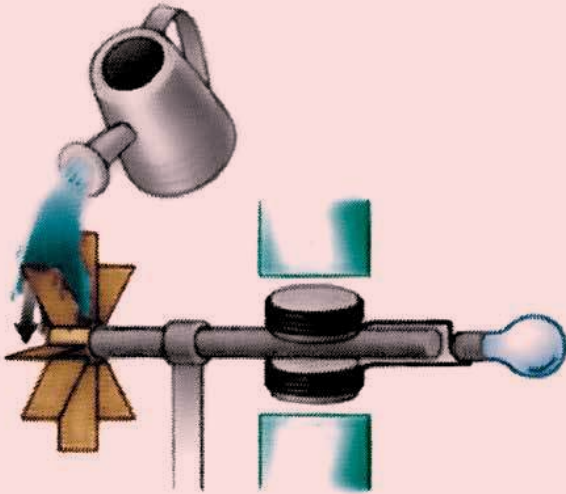
تمرین ۶-۴

برخی از وسایل‌های برقی، مانند شش‌ترتک برقی، برای کار کردن نیاز به ولتاژهای بالا از مرتبه چند هزار ولت دارند. شکل زیر مدیله‌ای را نشان می‌دهد که ولتاژ لازم برای کار یک دستگاه شش‌ترتک برقی فراهم می‌کند. اگر تعداد دور اولیه مدیله N_1 و تعداد دور ثانویه N_2 باشد، مدیله چه ولتاژی را برای کار کردن دستگاه شش‌ترتک تعیین می‌کند؟

۱۱۷

پرسش‌ها و تمرین‌های پیشنهادی بخش ۴-۵

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



- ۲) بیجه یک مولد جریان متناوب در هر 1 ms یک دور می‌چرخد. این بیجه در هر یک از زمان‌های $1\text{ }\mu\text{s}$ و 1 s چه زاویه‌ای بر حسب رادیان می‌چرخد؟

۳) معادله جریان متناوبی در SI به صورت $I = 2 \times 10^{-2} \sin 2 \times \pi t$ است.

الف) دوره تناوب این جریان چقدر است؟

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

پ) در لحظه $t = 75\text{ ms}$ جریان چقدر است؟

۴) معادله نیروی محرکه القایی در مداری به مقاومت $10\text{ }\Omega$ در SI به صورت زیر است

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

الف) زمان تناوب را حساب کنید.

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

پ) جریان بیشینه را در مدار پیدا کنید.

ت) معادله جریان را در مدار بنویسید.

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

راهنمای پاسخ‌یابی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۴

۱-۴ و ۲-۴ به‌دین القای الکترومغناطیسی و قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

۱ دو سیم‌لوله با حلقه‌های با مساحت یکسان ولی با تعداد دور متفاوت را مطابق شکل‌های زیر به ولت‌سنج حساس وصل کرده‌ایم. دریافت خود را از این شکل‌ها بنویسید. (آهن‌ها مشابه و با تندی یکسانی به‌طرف سیم‌لوله‌ها حرکت می‌کنند.)

۲ دو سیم‌لوله مشابه را مطابق شکل‌های زیر به ولت‌سنج حساس وصل کرده‌ایم. دریافت خود را از شکل‌های زیر بنویسید. (آهن‌ها مشابه ولی با تندی متفاوتی به‌طرف سیم‌لوله حرکت می‌کنند.)

۳ شکل داده شده ساختمان یک باتسج را نشان می‌دهد. اگر این باتسج را روی یک پایه نصب کنیم، به هنگام وزیدن باد مثلاً آن می‌چرخد و ولت‌سنج عددی را نشان می‌دهد. القای چرا چرخش میله به سبب انحراف قطب‌های ولت‌سنج می‌شود؟ آیا با افزایش تندی باد، عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد تغییر می‌کند؟ چرا؟

۳-۴ قانون لیز

۱ قطب N یک آهن‌ریا را مطابق شکل روی‌رویو به یک حلقه رسانا نزدیک می‌کنیم. جهت جریان القایی را در حلقه مشخص کنید.

۲ دو آهن‌ریای سبزی مشابه را مطابق شکل، به‌طور قائم از ارتفاع معینی نزدیک سطح زمین رها می‌کنیم به‌طوری‌که یکی از آنها از حلقه رسانای عبور می‌کند. اگر سطح زمین در محل

بسیاری بهبود و افزایش دقت کار دستگاه دو پیشنهاد ارائه دهید. کاپسول باتسجی

۱ سطح حلقه‌های بجای که دارای ۱۰۰ حلقه است، عبور بر میدان مغناطیسی یک‌واحدی که اندازه آن 0.4 T و جهت آن از راست به چپ است، قرار دارد. میدان مغناطیسی در مدت 0.1 s تغییر می‌کند و به 0.4 T در خلاف جهت اولیه می‌رسد. اگر سطح هر حلقه 5 cm^2 باشد، اندازه نیروی محرکه القای متوسط در چرخه را حساب کنید.

۲ مساحت هر حلقه بجای 3 cm^2 و چرخه متشکل از ۱۰۰ حلقه است. در اینجا سطح چرخه‌ها بر میدان مغناطیسی زمین عبور است. اگر در مدت 0.1 s به چرخه و سطح حلقه موازی میدان مغناطیسی زمین نباشد، نیروی محرکه متوسط القایی در آن چقدر است؟ اندازه میدان زمین را 0.5×10^{-4} در نظر بگیرید.

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

۲ دانش‌آموزان باید به شرایط یکسان آزمایش و حرکت سریع‌تر آهن‌ریا 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، آهن‌ریای 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 رابطه قانون القای الکترومغناطیسی فاراده و وجود Δt در مخرج این رابطه توجه کنند.

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

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

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

$$\Phi_2 = B_2 A \cos \theta_2 = (0.4 \text{ T})(5 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \cos 18^\circ = -2 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

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

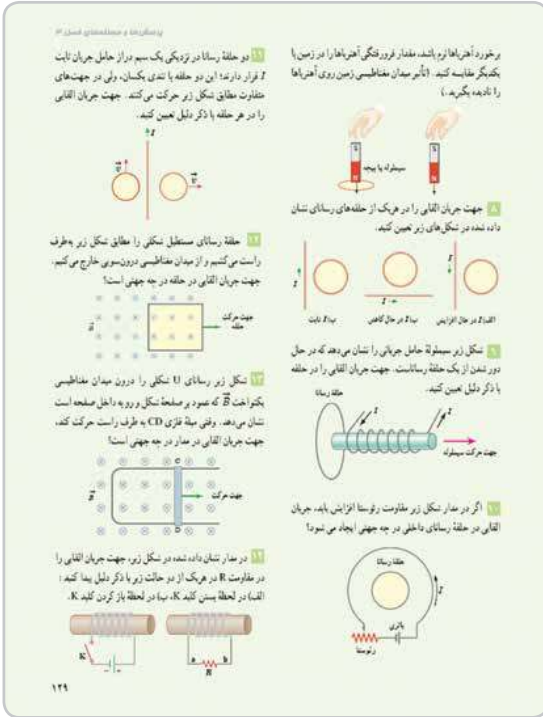
دانش‌آموزان باید توجه کنند برای محاسبه Φ_2 ، باید جهت نیم خط عمود بر پیچه که به سمت راست انتخاب شده بود را تغییر ندهند.

$$|\varepsilon| = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -100 \cdot \frac{(-4 \times 10^{-4} \text{ Wb})}{1 \times 10^{-2} \text{ s}} = 4 \text{ V}$$

۵ در این مسئله نیز نیم خط 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 فاراده و قانون لنز، توضیح قانع‌کننده‌ای ارائه دهند که چرا آهن‌ریایی 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 رتوستا، 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.

$$\begin{aligned} \Phi &= BA \cos \theta \\ &= (2 \times 10^{-2} \text{ T})(1 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \cos 0^\circ \\ &= 2 \times 10^{-6} \text{ Wb} \end{aligned}$$

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 القایی می‌شود.

در حالت ۳: روبه پایین (ساعتگرد)

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

$L = \mu_0 \frac{AN^2}{l}$ ، توجه کنند و براساس آن پیشنهادها را 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 ۷-۴، برای حل این مسئله استفاده کنند. با جایگذاری مقادیر داده شده داریم

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

$$\text{در } t = \frac{1}{\circ/\circ 2} \text{ s داریم}$$

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

به این ترتیب در لحظه $t = \frac{1}{\circ/\circ 2} \text{ s}$ برای اولین بار، جریان به بیشینه خود می‌رسد. با توجه به مقاومت رسانا داریم:

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

$$\text{ب) } \sqrt{2}A$$

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