به نام خدا

جزوه کمک آموزشی نکات و خلاصه درس:

فیزیک

(فصل چهارم : القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب)

مقطع تحصیلی:

دوره دوم متوسطه

پایه:

یازدهم

تهیه و تنظیم:

مرکز تحقیقات مهندسی ثمین

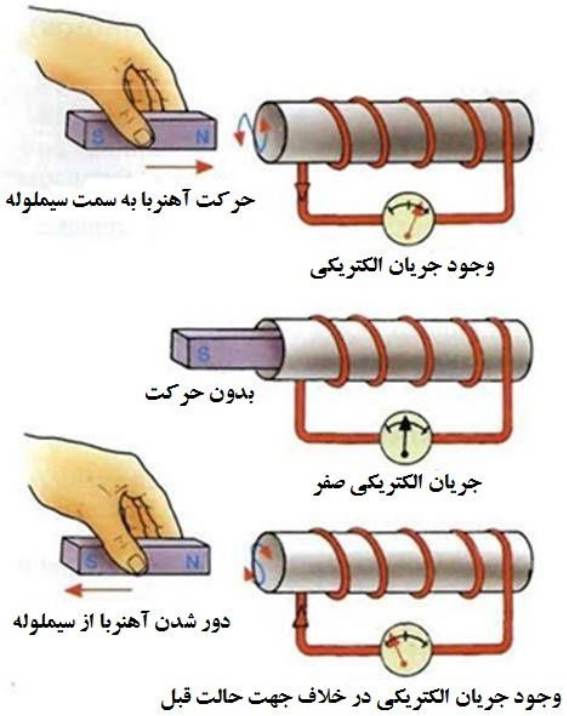
تمامی حقوق این اثر برای مرکز تحقیقات ثمین محفوظ می باشد.

www.Iranischool.com

پدیده القای الکترومغناطیسی :

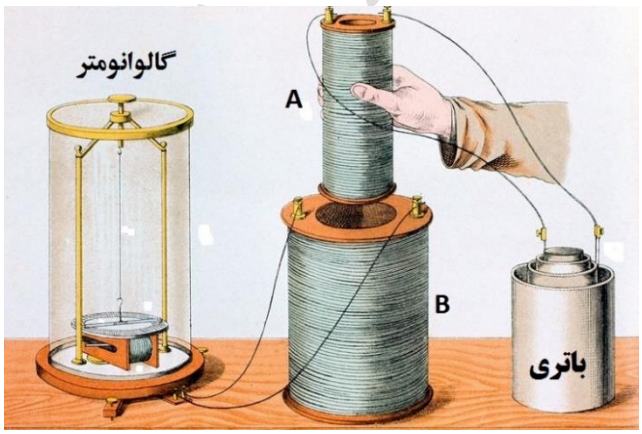
به القای جریان الکتریکی در یک رسانا توسط میدان مغناطیسی، القای الکترومغناطیسی می‌گویند و جریان ایجاد شده در این عمل، جریان القایی نام دارد. این پدیده رو در سال ۱۸۳۱ میلادی مایکل فاراده دانشمند انگلیسی و تقریبا همزمان با او جوزف هانری دانشمند امریکایی با انجام آزمایشی کشف کردند.

این آزمایش از این قرار بود که گالوانومتری رو به دو سر سیملوله‌ای بستند و یک آهنربای میله‌ای رو از یک قطب آن وارد سیملوله کردند. در این حالت مشاهده کردند که با نزدیک شدن یا دور شدن آهنربا از سیملوله، عقربه گالوانومتر منحرف می‌شود

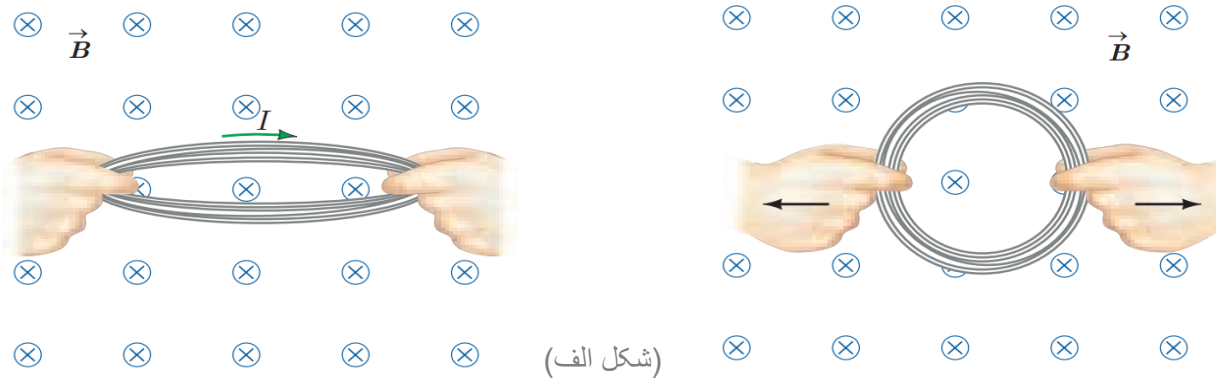


که این، وجود جریان الکتریکی در سیملوله رو نشان می‌دهد. اما هنگامی که آهنربا و سیملوله نسبت به هم ساکن بودند، اثری از جریان الکتریکی نبود.

فاراده برای پی بردن به پدیده القای الکترومغناطیسی، به جای آهنربای دائمی، از آهنربای الکتریکی (سیملوله A که به باتری وصل شده است) استفاده کرد. فاراده مشاهده کرد که با عبور آهنربا از درون سیملوله B و تغییر میدان مغناطیسی در محل این سیملوله، عقربه گالوانومتر منحرف می‌شود.

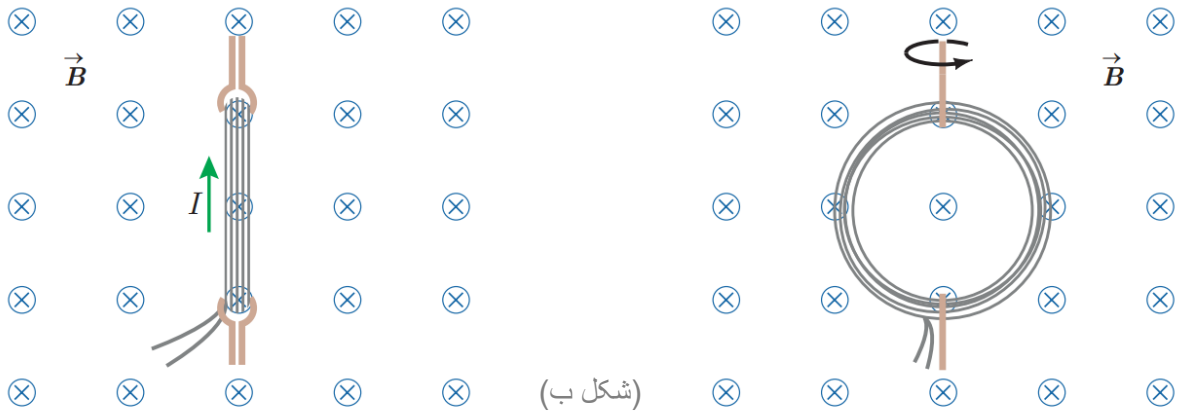


تا اینجا دیدیم که با تغییر اندازه میدان مغناطیسی در محل سیملوله، جریان الکتریکی در آن القا می‌شود. به جز این روش، به روش های دیگری هم می‌توان در پیچه یا سیملوله، جریان الکتریکی القا کرد. به طور مثال اگر مساحت پیچه‌ای انعطاف‌پذیر را درون میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ تغییر دهیم (شکل الف)،



(شکل الف)

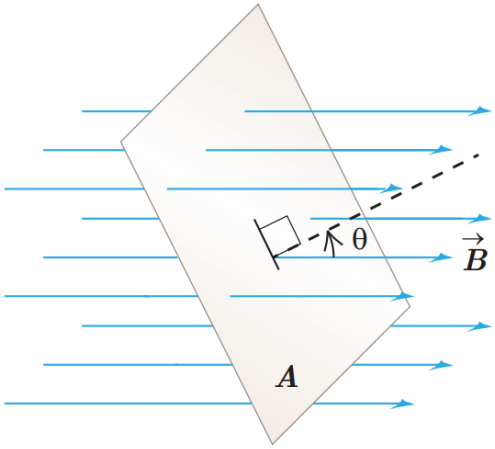
یا پیچه‌ای را درون میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ بچرخانیم (شکل ب) ، می‌بینیم که جریانی در پیچه القا می‌شود (به این شرط که چرخش پیچه سبب تغییر زاویه بین خطوط میدان و مقطع حلقه شود).



(شکل ب)

قانون القای الکترومغناطیسی فاراده:

پیش از این دیدیم که به دلایلی مانند تغییر میدان مغناطیسی در محل یک پیچه، تغییر مساحت پیچه در حضور میدان مغناطیسی یا چرخش پیچه درون میدان مغناطیسی، جریان الکتریکی در آن القا می‌شود. عامل اساسی و مشترک در ایجاد جریان القایی در هر سه حالت، تغییر شار مغناطیسی عبوری از پیچه است.



شار مغناطیسی، کمیتی نرده‌ای است و برای میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ که از پیچه‌ای با مساحت معیّن A می‌گذرد به صورت زیر تعریف می‌شود:

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

در این رابطه B شدت میدان مغناطیسی بر حسب تسلا (T)، A مساحت حلقه بر حسب متر مربع (m^2) و همانطور که در شکل مشاهده کردید، θ زاویه بین بردار میدان مغناطیسی و نیمخط عمود بر سطح حلقه است.

یکای SI شار مغناطیسی، وبر (Wb) است و با توجه به رابطه بالا داریم: $1\ Wb = 1\ T \times 1\ m^2$

نکته: همواره دو جهت برای رسم نیمخط عمود بر یک سطح معین وجود دارد. علامت شار مغناطیسی عبوری از این سطح نیز به انتخاب این جهت بستگی دارد. برای مثال، در شکل قبل نیمخط عمود را در طرفی از سطح رسم کرده‌ایم که زاویه بین آن و جهت میدان $\vec{B}$ کمتر از ۹۰ درجه 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 ۹۰ درجه خواهد شد و شار عبوری از سطح منفی می‌شود. اینکه چه جهتی را انتخاب کنیم در پاسخ مسئله تفاوتی ندارد فقط نباید آن را تا انتها تغییر داد.

محتوای آموزشی پژوهشی ثمین

مثال: یک قاب مستطیل شکل به ابعاد ٦ و ١٤ سانتی‌متر عمود بر خطوط میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی ٠,٠٨ تسلا قرار دارد.

الف) شار مغناطیسی عبوری از سطح این قاب را بیابید.

ب) اگر قاب طوری بچرخد که سطح قاب با خطوط میدان زاویه ٦٠ درجه بسازد، در این حالت شار مغناطیسی عبوری از سطح این قاب چه مقدار تغییر می‌کند؟

پاسخ:

الف) وقتی خطوط میدان مغناطیسی بر سطح قاب عمود هستند، زاویه بین نیمخط عمود بر سطح قاب و میدان صفر درجه است، بنابراین داریم:

$$\theta = ٠^\circ \qquad B = ٠.٠٨T \qquad A = ٦cm \times ١٤cm = ٨٤\ cm^٢ = ٨٤ \times ١٠^{-٤} m^٢$$

$$\Phi_١ = BA\cos\theta = ٠.٠٨T \times ٨٤ \times ١٠^{-٤} m^٢ \times \cos ٠^\circ = ٦.٧٢ \times ١٠^{-٤}\ Wb$$

ب) با توجه به زاویه بین سطح قاب و خطوط میدان که ٦٠ درجه است، می‌توان نتیجه گرفت که زاویه بین نیمخط عمود بر سطح قاب و خطوط میدان ٣٠ درجه است. پس شار گذرنده از قاب پس از چرخش اینگونه بدست می‌آید:

$$\Phi_٢ = BA\cos ٣٠^\circ = ٠.٠٨T \times ٨٤ \times ١٠^{-٤} m^٢ \times ٠.٨٧ \approx ٥.٨٥ \times ١٠^{-٤}\ Wb$$

$$\Delta\Phi = \Phi_٢ - \Phi_١ = ٥.٨٥ \times ١٠^{-٤}\ Wb - ٦.٧٢ \times ١٠^{-٤}\ Wb$$

$$\Longrightarrow \Delta\Phi = -٠.٨٧ \times ١٠^{-٤}\ Wb$$

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 القای الکترومغناطیسی 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 محرکه القایی و در نتیجه جریان القایی تولید شده در مدار بیشتر خواهد بود.

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

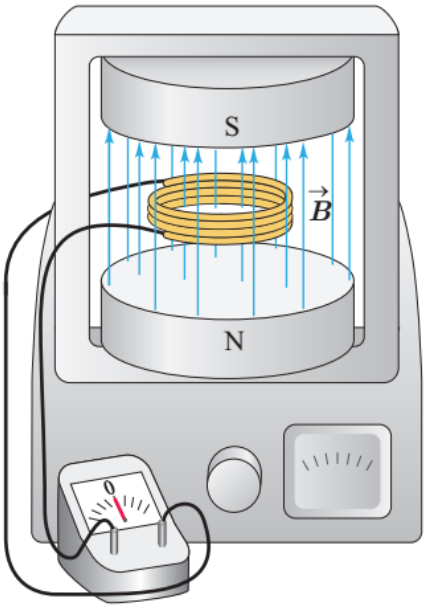
$$\bar{\mathcal{E}} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

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

$$\bar{I} = \frac{\bar{\mathcal{E}}}{R}$$

همانطور که از رابطه پیداست، هرچه مقاومت پیچه یا مداری که در آن شار مغناطیسی تغییر می‌کند، بیشتر باشد، جریان کوچکتری در آن القا می‌شود.

نکته: یکای وبر بر ثانیه (Wb/s) معادل یکای ولت(V) است.



مثال: پیچه‌ای شامل ۵۰۰ دور که مساحت هر حلقه آن $۴۰۰\ cm^۲$ است، مطابق شکل روبه‌رو بین قطب‌های یک آهنربای الکتریکی قرار گرفته است که میدان مغناطیسی یکنواخت تولید می‌کند. خطهای میدان بر سطح پیچه عمودند. اگر اندازه میدان در بازه زمانی ۲ms از $۰,۵۸T$ به $۰,۳۸T$ کاهش یابد،

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

ب) اگر مقاومت پیچه ۱kΩ باشد، جریان القایی متوسط که از پیچه می‌گذرد چقدر است؟

پاسخ:

الف) نیم‌خط عمود بر سطح حلقه‌های پیچه را همسو با جهت میدان در نظ

مسئله داریم:

$$N = ۵۰۰ \qquad A = ۴۰۰\ cm^۲ = ۴۰۰ \times ۱۰^{-۴} m^۲ \qquad \theta = ۰$$

$$B_۱ = ۰.۵۸T \qquad B_۲ = ۰.۳۸T \qquad \Delta t = ۲.۰ms = ۲ \times ۱۰^{-۳} s$$

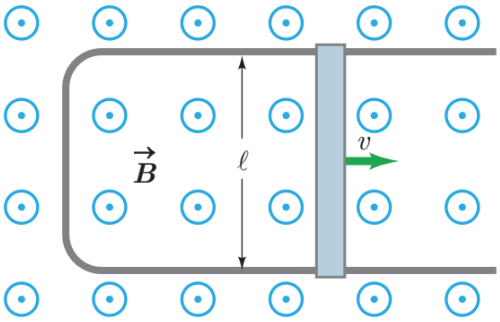
$$\bar{\mathcal{E}} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -N\frac{\Phi_۲ - \Phi_۱}{\Delta t} = -N\frac{B_۲A\cos\theta - B_۱A\cos\theta}{\Delta t} = -N\frac{A\cos\theta(B_۲ - B_۱)}{\Delta t}$$

$$= -۵۰۰ \times \frac{(۴۰۰ \times ۱۰^{-۴} m^۲)(\cos ۰^\circ)(۰.۳۸T - ۰.۵۸T)}{۲ \times ۱۰^{-۳} s} = ۲۰۰۰V$$

ب)

$$\bar{I} = \frac{\bar{\mathcal{E}}}{R} = \frac{۲۰۰۰V}{۱\text{k}\Omega} = ۲A$$

مثال: شکل روبه‌رو رسانای U شکلی را درون میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ به اندازه ۰٫۱۸T نشان می‌دهد. میدان $\vec{B}$ عمود بر صفحه شکل و رو به بیرون است. میله‌ای فلزی (سیم لغزنده) به طول $l = ۲۰cm$ بین دو بازوی رسانا قرار دارد و مداری را تشکیل می‌دهد. میله را با تندی ثابت

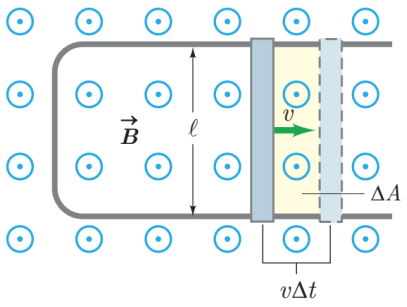


$v = ۲۰\ m/s$ به طرف راست حرکت می‌دهیم. بزرگی نیروی محرکه القایی متوسط را پیدا کنید.

پاسخ: با حرکت میله فلزی و به دلیل افزایش سطح حلقه، شار مغناطیسی تغییر می‌کند. میدان مغناطیسی در سطح حلقه یکنواخت است، پس شار مغناطیسی را از رابطه $\Phi = BA\cos\theta$ محاسبه می‌کنیم. نیمخط عمود بر سطح حلقه را همسو با میدان $\vec{B}$ در نظر می‌گیریم. بنابراین چون زاویه نیمخط عمود با میدان $\vec{B}$ صفر است ($\theta = ۰$) و در نتیجه $\Phi = BA$ ، از قانون القای فاراده داریم:

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

برای محاسبه $\frac{\Delta A}{\Delta t}$ ،توجه کنید که میله فلزی لغزنده در مدت Δt مسافت $v\Delta t$ را طی می‌کند و سطح حلقه به مقدار $\Delta A = lv\Delta t$ افزایش پیدا می‌کند. بنابراین نیروی محرکه القا شده برابر است با:



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

$$\bar{\mathcal{E}} = -(۰.۱۸T)(۲۰ \times ۱۰^{-۲}m)\left(۲۰\frac{m}{s}\right) = -۰.۷۲V$$

با قرار دادن مقادیر داده شده در این رابطه داریم:

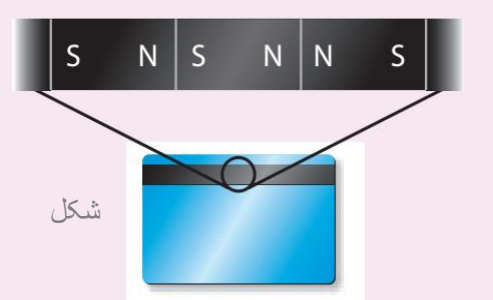
و بزرگی نیروی محرکه القا شده برابر است با:

$$|\bar{\mathcal{E}}| = ۰.۷۲V$$

توجه کنید که به علت ثابت بودن تندی میله لغزنده، نیروی محرکه القایی ثابت است. در این حالت، رسانای U شکل با سیم لغزنده یک مولد جریان مستقیم است.

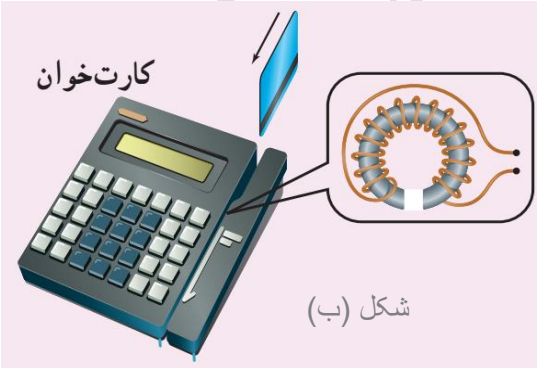
فناوری و کاربرد:

کارت‌های اعتباری و دستگاه‌های کارت‌خوان:



شکل

نوار مغناطیسی پشت کارت‌های اعتباری حاوی تعداد بسیار زیادی ذره فرومغناطیسی است که نوعی چسب خاص آنها را به هم متصل می‌کند. پس از اینکه داده‌ها به صورت دودویی (صفر و یک) به رمز درآمدند، در نوار مغناطیسی پشت کارت ذخیره می‌شوند (شکل الف).

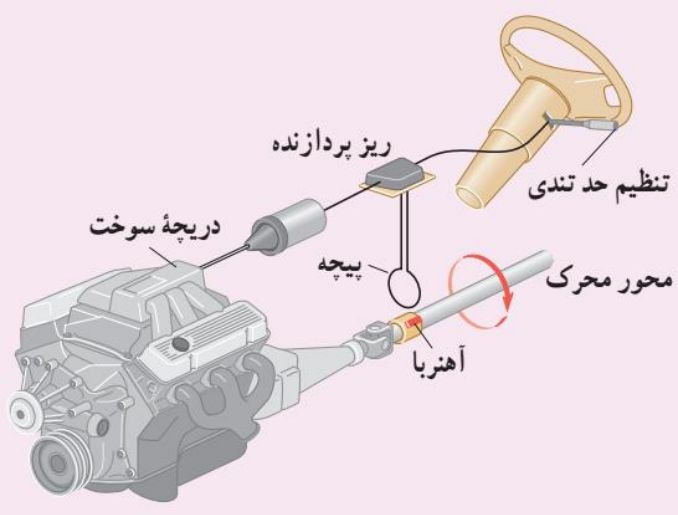


شکل (ب)

وقتی کارت اعتباری درون دستگاه کارتخوان کشیده می‌شود، میدان مغناطیسی ناشی از نوار مغناطیسی، جریان اندکی را در پیچه قرار داده شده در دستگاه کارتخوان القا می‌کند (شکل ب). این جریان بسیار کوچک توسط دستگاه دیگری تقویت و داده‌های ذخیره شده در نوار 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 دلخواهی 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.



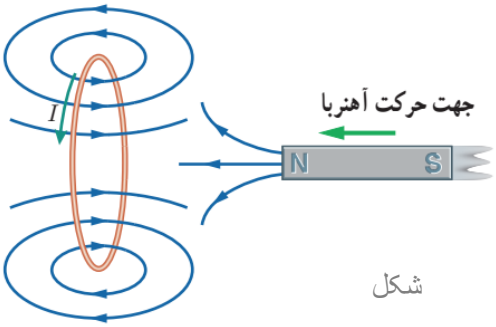
وقتی محور محرک خودرو می‌چرخد آهنربایی که روی آن قرار دارد، شار مغناطیسی متغیری را از پیچه می‌گذراند و جریانی در آن القا می‌کند. ریزپردازنده (مغز رایانه) تعداد تپ‌های جریان را در هر ثانیه می‌شمارد و به این روش، تندی خودرو را اندازه می‌گیرد. سپس با مقایسه تندی اندازه‌گیری شده با تندی تنظیم شده توسط راننده، سوخت مورد نیاز را به موتور تزریق می‌کند و تا هنگامی که راننده ترمز نگیرد، حرکت خودرو با تندی تعیین شده، توسط این سامانه تنظیم می‌شود.

قانون لنز:

هاینریش لنز، دانشمند روسی، در سال ۱۸۳٤ میلادی روشی را برای تعیین جهت جریان القایی در یک پیچه یا در هر مدار بسته دیگری پیشنهاد کرد. این روش که بعدها به قانون لنز شهرت یافت، بیان می‌کند که:

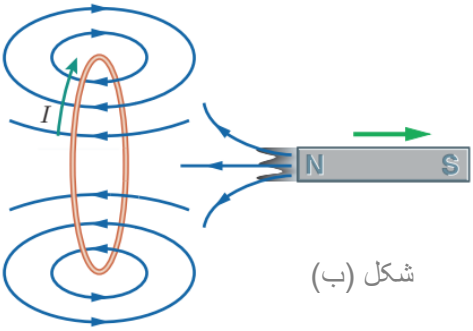
جریان حاصل از نیروی محرکه القایی در یک مدار یا پیچه در جهتی است که آثار مغناطیسی ناشی از آن، با عامل به وجود آورنده جریان القایی، یعنی تغییر شارمغناطیسی، مخالفت می‌کند.

علامت منفی در رابطه $\bar{\varepsilon} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ نشانگر همین مخالفت است.



شکل

شکل (الف) آهنربایی را نشان می‌دهد که قطب N آن در حال نزدیک شدن به یک حلقه رساناست. در این وضعیت اندازه $\vec{B}$ در محل حلقه افزایش می‌یابد و در نتیجه شار گذرنده از حلقه زیاد می‌شود. بنا به قانون لنز، جهت جریان القایی ایجاد شده در حلقه چنان است که میدان مغناطیسی ناشی از آن با افزایش شار عبوری از حلقه مخالفت کند. بنابراین، میدان مغناطیسی حلقه در خلاف جهت میدان مغناطیسی آهنربا است. با توجه به قاعده دست راست و از روی جهت میدان مغناطیسی حلقه، جهت جریان در حلقه تعیین می‌شود.



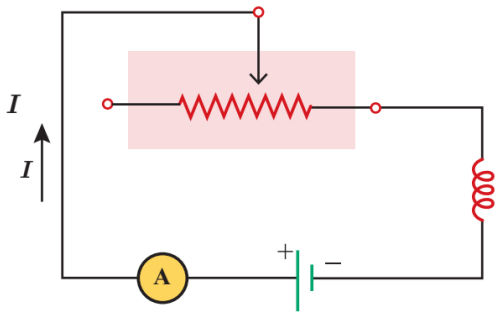
شکل (ب)

همچنین اگر مطابق شکل (ب)، قطب N آهنربا را از حلقه رسانا دور کنیم، جریان القایی در جهتی خواهد بود که میدان مغناطیسی تولید شده توسط حلقه، همسو با میدان آهنربا می‌شود و به این ترتیب با کاهش شار عبوری از حلقه، مخالفت می‌کند.

القاگرها:

قبلا دیدیم که در فضای بین صفحه‌های یک خازن باردار، میدان الکتریکی ایجاد می‌شود و انرژی الکتریکی در این میدان ذخیره می‌شود. به همین ترتیب، می‌توان از القاگر (سیم‌پیچ) 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. القارگر در مدارهای الکتریکی به صورت نشان داده می‌شود.

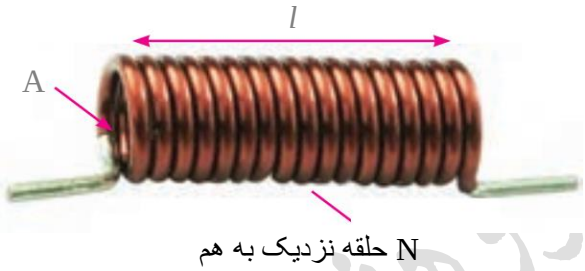
خود-القاوری:



مدار شکل روبرو را در نظر بگیرید. این مدار شامل منبع نیروی محرکه، رئوستا، آمپرسنج و القاگری است که به طور متوالی به یکدیگر بسته شده‌اند. با تغییر مقاومت رئوستا، جریان در مدار تغییر می‌کند. تغییر جریان در مدار، سبب تغییر میدان مغناطیسی القاگر می‌شود و در نتیجه :

شار مغناطیسی عبوری از آن نیز تغییر می‌کند. این فرایند سبب القای نیروی محرکه‌ای در القاگر می‌شود که بنابر قانون لنز با تغییر جریان عبوری از آن مخالفت می‌کند. این پدیده که می‌تواند در هر القاگری (از قبیل پیچه یا سیملوله) رخ دهد اثر خود ـ القاوری نامیده می‌شود.

ضریب القاوری:



N حلقه نزدیک به هم

ویژگی‌های فیزیکی هر القاگر، توسط ضریب القاوری آن تعیین می‌شود. ضریب القاوری که با نماد L نمایش داده می‌شود به عواملی همچون تعداد دور، طول و سطح مقطع القاگر و جنس هسته‌ای که داخل آن قرار می‌گیرد بستگی دارد.

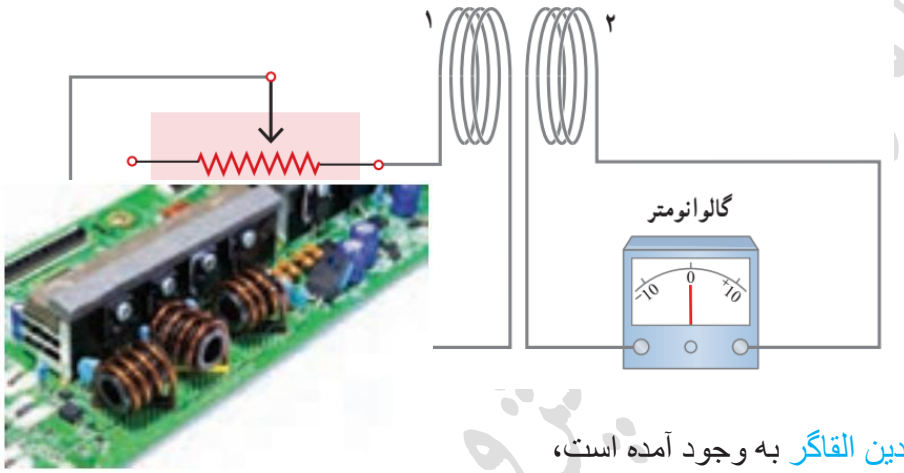
برای مثال، ضریب القاوری سیملوله‌ای آرمانی و بدون هسته،که دارای طول l، سطح مقطع A و N حلقه نزدیک به هم است از این رابطه به دست می‌آید:

$$L = \mu . \frac{AN^{2}}{l}$$

یکای SI ضریب القاوری، اهم.ثانیه $(\Omega . s)$ است که به احترام جوزف هانری، هانری نامیده و با نماد H نشان داده می‌شود.

القای متقابل:

با توجه به شکل زیر،جریان عبوری از پیچه ۱، میدان مغناطیسی $\vec{B}$ را به وجود می‌آورد. این میدان $\vec{B}$، شار مغناطیسی‌ای را از پیچه ۲ می‌گذراند که در مجاورت آن قرار دارد. با تغییر دادن مقاومت رئوستا و تغییر جریان در پیچه ۱، میدان مغناطیسی پیچه ۱ و در نتیجه شار عبوری از پیچه ۲ نیز تغییر می‌کند؛ بنابر قانون فاراده، این تغییر شار، نیروی محرکه‌ای را در پیچه ۲ القا می‌کند که به ایجاد جریان القایی در این پیچه می‌انجامد. همچنین تغییر جریان در پیچه ۲، سبب ایجاد نیروی محرکه القایی در پیچه ۱ می‌شود. این فرایند، القای متقابل نامیده می‌شود و به کمک آن می‌توان انرژی را از یک پیچه، به پیچه دیگر منتقل کرد.



در برخی از مدارهایی که از چندین القاگر به وجود آمده است، تغییرات جریان در یک القاگر می‌تواند نیروهای محرکه ناخواسته‌ای را در القاگرهای مجاور القا کند. به همین دلیل، در برخی از مدارهای الکتریکی، القای متقابل می‌تواند مزاحم باشد. برای هرچه کمتر کردن این اثر ناخواسته، باید سطح حلقه‌های القاگرهای مجاور را به طور عمود بر یکدیگر قرار داد. در این صورت، اثر القای متقابل تا حد امکان کوچک می‌شود.

انرژی ذخیره شده در القاگر:

با اتصال القاگر به مولد، بخشی از انرژی مولد در مقاومت الکتریکی سیم‌های القاگر به صورت گرما تلف و بقیه آن در میدان مغناطیسی القاگر ذخیره می‌شود. مقدار انرژی ذخیره شده در میدان القاگر با ضریب القاوری L ، از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

نکته: هنگام عبور جریان از مقاومت، انرژی وارد آن می‌شود، جریان چه پایا باشد و چه تغییر کند، این انرژی در مقاومت به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود؛ درحالیکه در یک القاگر آرمانی (با مقاومت صفر) تنها وقتی انرژی وارد القاگر می‌شود که جریان در آن افزایش یابد. این انرژی تلف نمی‌شود؛ بلکه در میدان مغناطیسی القاگر ذخیره شده و هنگام کاهش جریان، آزاد می‌شود. هنگام عبور جریان پایا از یک القاگر آرمانی (سیم‌پیچ بدون مقاومت) انرژی به آن وارد یا از آن خارج نمی‌شود.

مثال: سیملوله‌ای بدون هسته، دارای ۲۰۰۰ حلقه نزدیک به هم، به طول ۱m و سطح مقطع $25cm^2$ به مولدی متصل است و جریان ۱۰A از آن عبور می‌کند. انرژی ذخیره شده در سیملوله چند ژول است؟

پاسخ: با توجه به اطلاعات مسئله داریم:

$$N = 2000 \qquad l = 1m \qquad A = 25cm^2 = 25 \times 10^{-4} m^2 \qquad I = 10A$$

$$L = \frac{\mu . AN^2}{l} = \frac{(12 \times 10^{-7} T.m/A)(25 \times 10^{-4} m^2)(2000)^2}{1m} = 12 \times 10^{-3} H$$

$$U = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2}(12 \times 10^{-3} H)(10A)^2 = 0.6\ J$$

فناوری و کاربرد:

انرژی لازم برای جرقه زدن شمع خودرو:

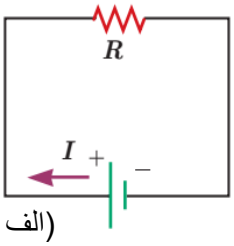
انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی نقش مؤثری در دستگاه های احتراق خودروهای بنزینی دارد. پیچه اولیه با حدود ۲۵۰ دور به باتری خودرو بسته شده است و میدان مغناطیسی قوی‌ای تولید می‌کند. این پیچه، درون یک پیچه ثانویه با ۲۵۰۰ دور سیم خیلی نازک قرار گرفته است. برای جرقه زدن شمع، جریان در پیچه اولیه قطع می‌شود و میدان مغناطیسی به سرعت به صفر می‌رسد و این سبب القای نیروی محرکه الکتریکی ده‌ها هزار ولتی در پیچه ثانویه می‌شود.

درنتیجه انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی همراه با جریانی لحظه‌ای از پیچه ثانویه به طرف شمع می‌رود و جرقه‌ای تولید می‌کند که سبب احتراق مخلوط سوخت و هوا در سیلندرهای موتور می‌شود.

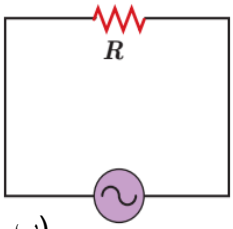
جریان متناوب:

در اواخر قرن نوزدهم، بحث‌هایی بین توماس ادیسون و جورج وستینگهاوس درباره 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 تا به امروز سامانه‌های انتقال و توزیع برق با جریان متناوب کار می‌کنند، و همچنین بیشتر وسایل خانگی برای کار با جریان متناوب طراحی شده اند.



(الف)



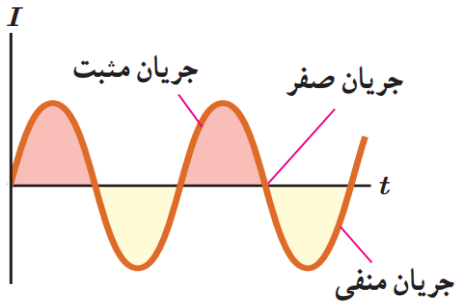
(ب)

شکل روبرو دو مدار ساده جریان مستقیم (شکل الف) و جریان متناوب (شکل ب) را نشان می‌دهد. همانطورکه 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، جریان متناوب تولید می‌کنند که تابعی سینوسی از زمان است و به همین دلیل، جریان متناوب سینوسی (شکل پ) نامیده می‌شود.

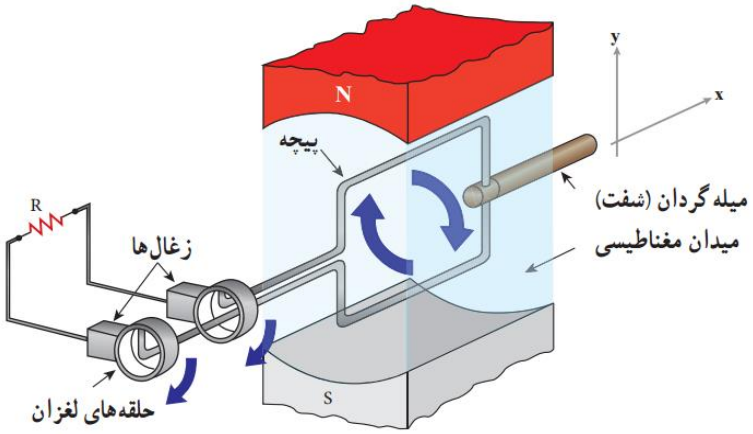
تولید جریان متناوب:

یکی از کاربردهای مهم اثر القای الکترومغناطیسی، تولید جریان متناوب است. تا اینجا دیدیم که برای تولید نیروی محرکه القایی باید شار عبوری از پیچه تغییر کند. همچنین دیدیم که در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت، شاری که از پیچه می‌گذرد از رابطه $\Phi = BA\cos\theta$ محاسبه می‌شود که در آن θ زاویه بین نیم‌خط عمود بر سطح حلقه‌های پیچه و میدان مغناطیسی است.



(پ)

رایج‌ترین روش برای تغییر شار و در نتیجه تولید جریان القایی، تغییر زاویه θ است. شکل زیر پیچه‌ای را نشان می‌دهد که می‌تواند در میدان مغناطیسی یکنواخت حول محور x بچرخد.



اجزای یک مولد (ژنراتور) جریان متناوب. حرکت مکانیکی از طریق میله گردان، سبب چرخیدن پیچه در میدان مغناطیسی می‌شود و جریان متناوبی را در مدار به وجود می‌آورد.

هر دورچرخش پیچه، معادل 2π رادیان است. اگر پیچه به طور یکنواخت بچرخد و هر دور چرخش آن T ثانیه طول بکشد، پیچه در مدت t ثانیه، به اندازه $\frac{t}{T}$ دور خواهد چرخید. در نتیجه اگر سطح پیچه در لحظه $t = 0$ عمود بر میدان مغناطیسی باشد (یعنی $\theta = 0$)، پس از گذشت t ثانیه، زاویه θ برابر

2π

$(\frac{t}{T})(۲\pi)$ رادیان است. زمان یک دور چرخش کامل پیچه (T) را دوره یا زمان تناوب می‌نامند. شاری که در لحظه t از پیچه می‌گذرد برابر است با:

با توجه به رابطه شار مغناطیسی بر حسب زمان و قانون القای فاراده، می‌توان نشان داد که نیروی محرکه القایی در پیچه در لحظه t از این رابطه به دست می‌آید:

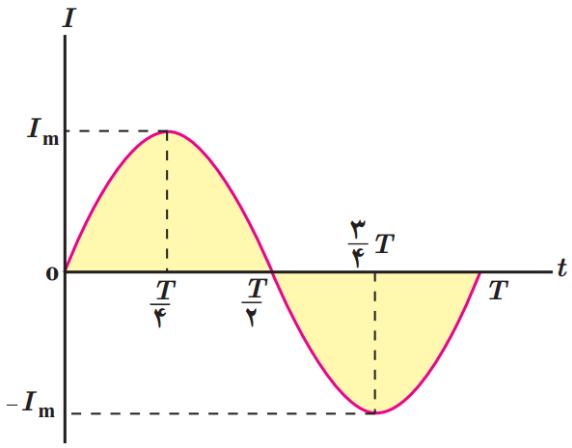
$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin \frac{۲\pi}{T} t$$

که در آن $\mathcal{E}_m$ بیشینه مقدار نیروی محرکه القایی در پیچه است. این رابطه نشان می‌دهد که نیروی محرکه القا شده به‌طور دوره‌ای نسبت به زمان تغییر می‌کند .

اگر مقاومت کل مدار پیچه برابر R باشد،با توجه به رابطه $I = \mathcal{E}/R$ ، جریانی که در پیچه القا می‌شود برابر است با:

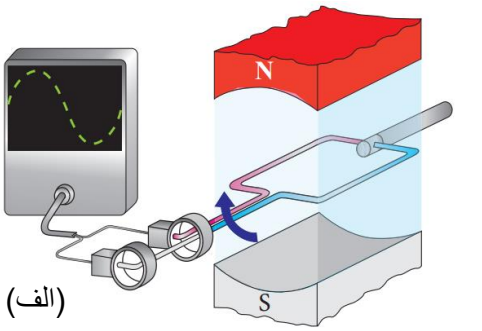
$$\mathrm{I} = \mathrm{I}_m \sin \frac{۲\pi}{T} t$$

در این رابطه I_m، بیشینه جریان القا شده در پیچه و برابر با $I_m = \mathcal{E}_m/R$ است. این رابطه همچنین نشان می‌دهد که جریان القایی در پیچه، به طور سینوسی تغییر می‌کند، به همین سبب به آن جریان متناوب می‌گویند. نمودار این جریان برحسب زمان، در یک دوره در شکل روبه‌رو رسم شده است.

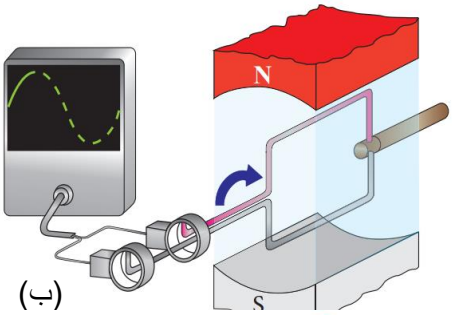


شکل های روبرو مراحل تولید جریان متناوب سینوسی در مدت یک دوره را نشان می‌دهد. در $t = ۰$ سطح پیچه بر خطوط میدان مغناطیسی عمود است و جریانی در مدار وجود ندارد (شکل الف). پیچه یک چهارم دور می‌چرخد تا در وضعیت شکل (ب) قرار گیرد. در حین این چرخش، شار عبوری از پیچه تغییر می‌کند و جریان از صفر به مقدار بیشینه مثبت می‌رسد (ربع اول چرخش). پیچه به چرخیدن ادامه می‌دهد تا در وضعیت شکل (پ) قرار گیرد. درنتیجه جریان از مقدار بیشینه مثبت به صفر می‌رسد (ربع دوم چرخش).

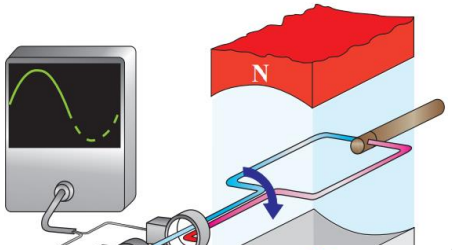
پس از آن پیچه به وضعیت شکل (ت) می‌رسد. در حین این چرخش، جریان از صفر به مقدار بیشینه منفی می‌رسد (ربع سوم چرخش). سرانجام پیچه یک ربع دور دیگر می‌چرخد و به این ترتیب یک چرخه کامل را طی می‌کند و به وضعیت شکل (ث) می‌رسد و درنتیجه جریان از مقدار بیشینه منفی به صفر می‌رسد. این حرکت به‌طور پی‌درپی توسط پیچه ادامه می‌یابد و جریان متناوب تولید می‌شود.

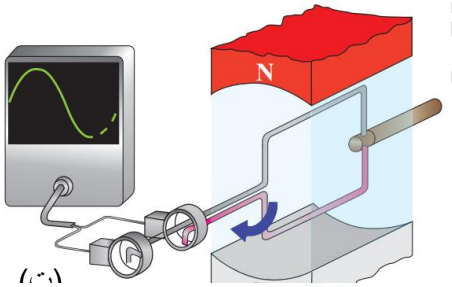


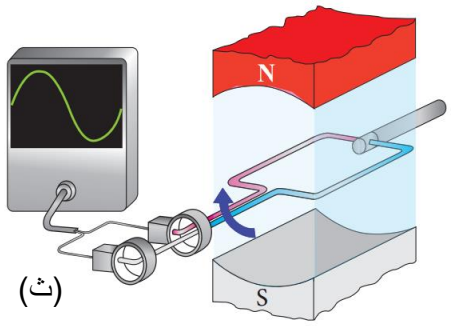
(الف)



(ب)



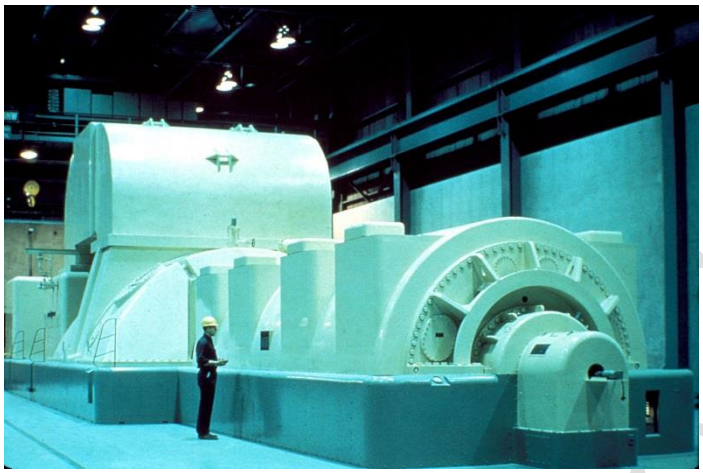


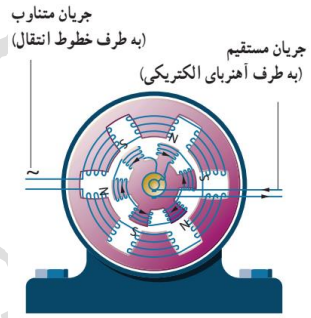


(ث)

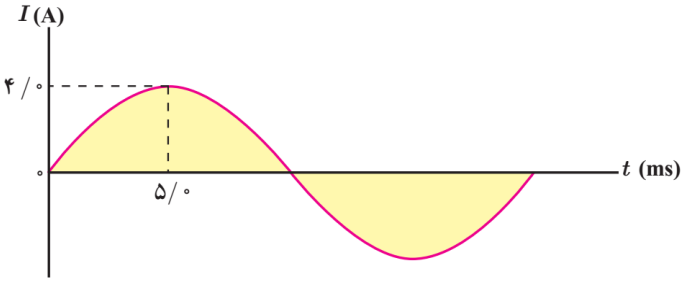
در نیروگاه‌های تولید برق، برای تولید جریان متناوب از مولدهای خاصی استفاده می‌شود که به آنها مولدهای صنعتی جریان متناوب می‌گویند. در مولدهای صنعتی پیچه‌ها ساکن‌اند و آهنربای الکتریکی درون آنها می‌چرخد.

در نیروگاه‌های تولید برق در ایران، آهنربای الکتریکی در هر ثانیه، ۵۰ دور درون پیچه می‌چرخد. این کمیت را بسامد برق تولید شده می‌نامند و به صورت ۵۰Hz بیان می‌کنند.





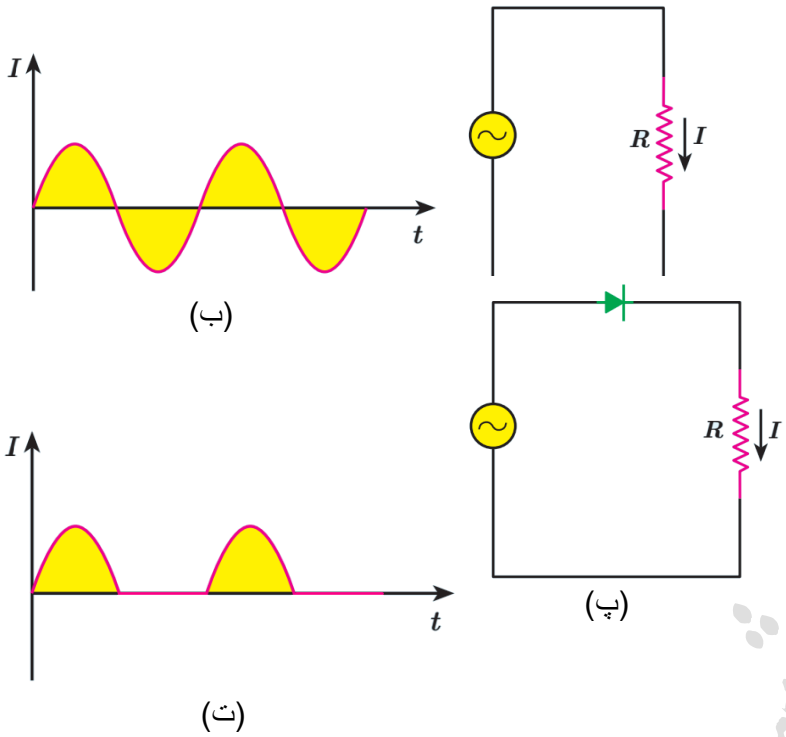
مثال: شکل روبه‌رو، نمودار جریان متناوب سینوسی را نشان می‌دهد که یک مولد جریان متناوب تولید کرده است. معادله جریان برحسب زمان را بنویسید.



پاسخ: از آنجایی که ربع چرخه در ۵٫۰ms طی شده است، دوره تناوب برابر ۲۰٫۰ms به دست می‌آید. با توجه به نمودار، بیشینه جریان ۴٫۰A است. بنابراین با توجه به رابطه جریان متناوب سینوسی داریم:

$$I = I_m \sin\frac{2\pi}{T}t = (4.0A)\sin(\frac{2\pi}{20.0\times10^{-3}})t = 4\sin 100\pi t$$

در فصل دوم 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 یکسوکننده جریان می‌نامند. نمودار شکل (ب)، تغییرات جریان برحسب زمان را برای مدار شکل (الف) نشان می‌دهد. با توجه به خاصیت دیود، نمودار شکل (ت) را می‌توان به عنوان نمودار تغییرات جریان برحسب زمان مربوط به مدار شکل (پ) معرفی کرد.

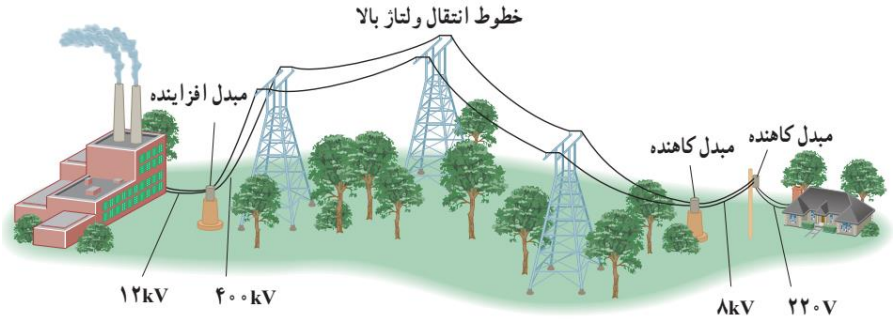


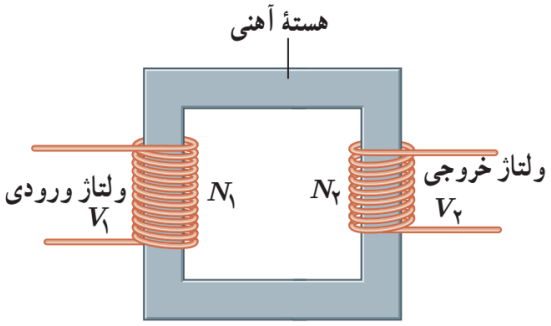
مبدل ها:

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. ولتاژ بالا، اتلاف توان را در خطهای انتقال کاهش می‌دهد. همچنین با توجه به کم بودن جریان می‌توان از سیم‌های نازک‌تری استفاده و در مصرف مواد اولیه ساخت سیم صرفه‌جویی کرد.

خطهای انتقال توان الکتریکی به طور معمول از ولتاژهایی در حدود ۴۰۰ کیلوولت استفاده می‌کنند. 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 ولت است. برای رسیدن به ولتاژ مورد نیاز در هر قسمت از مسیر، از مبدل‌های مخصوصی استفاده می‌شود.

مجتمع آموزشی و پژوهشی ثمین

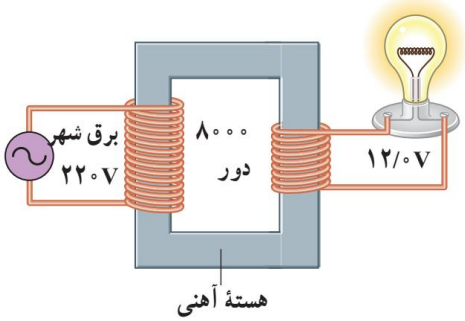




شکل روبه‌رو مبدلی شامل دو پیچه با تعداد دورهای متفاوت را نشان می‌دهد که دور یک هسته آهنی (فرومغناطیس نرم) پیچیده شده‌اند. در عمل پیچه اولیه با N_1 دور به ولتاژ V_1 بسته شده است و پیچه ثانویه با N_2 دور، ولتاژ V_2 را تأمین می‌کند. برای یک مبدل آرمانی که مقاومت پیچه‌های آن ناچیز است، این رابطه برقرار است:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

مثال: شکل روبرو یک مبدل ۲۲۰V به ۱۲V را نشان می‌دهد. پیچه اولیه ۸۰۰۰ دور دارد. با فرض آرمانی بودن مبدل، تعداد دورهای پیچه ثانویه را پیدا کنید.



پاسخ: با توجه به اطلاعات مسئله داریم:

$$N_1 = ۸۰۰۰ \qquad V_2 = ۱۲V \qquad V_1 = ۲۲۰V$$

با جایگذاری این مقادیر در رابطه مبدل آرمانی داریم:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow \frac{۱۲V}{۲۲۰V} = \frac{N_2}{۸۰۰۰} \Rightarrow N_2 = ٤٣٦$$

مجتمع آموزشی و پژوهشی ثمین