ام تو بهترین سرآغاز م تو نامه کی کنم باز

۵ القای الکترومغناطیسی

پاورپوینت آموزشی فیزیک (۳) و آزمایشگاه

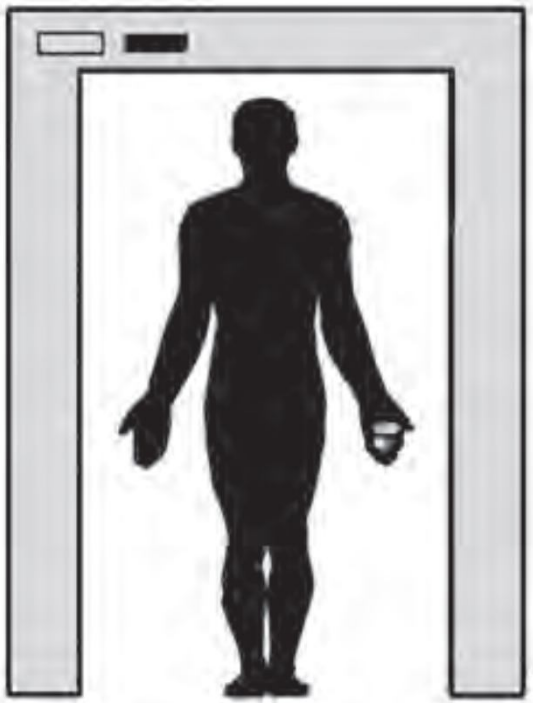
تهیه کننده: رضا زارع
دبیر فیزیک ناحیه ۲

۵ــ۱ــ پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی

در فیزیک ۱ و آزمایشگاه دیدیم که با استفاده از روش القای الکتریکی می‌توان اجسام رسانا را باردار کرد که بر اثر القا، بار الکتریکی در مادهٔ رسانا پدیدار می‌شود.

در فصل گذشته نیز با پدیدهٔ القای مغناطیسی آشنا شدیم که بر اثر القا در مادهٔ فرومغناطیسی خاصیت مغناطیسی به‌وجود می‌آید.

پدیدهٔ القایی دیگری نیز وجود دارد که در آن، جریان الکتریکی در یک رسانا القا می‌شود. این پدیده را القای الکترومغناطیسی می‌نامند.

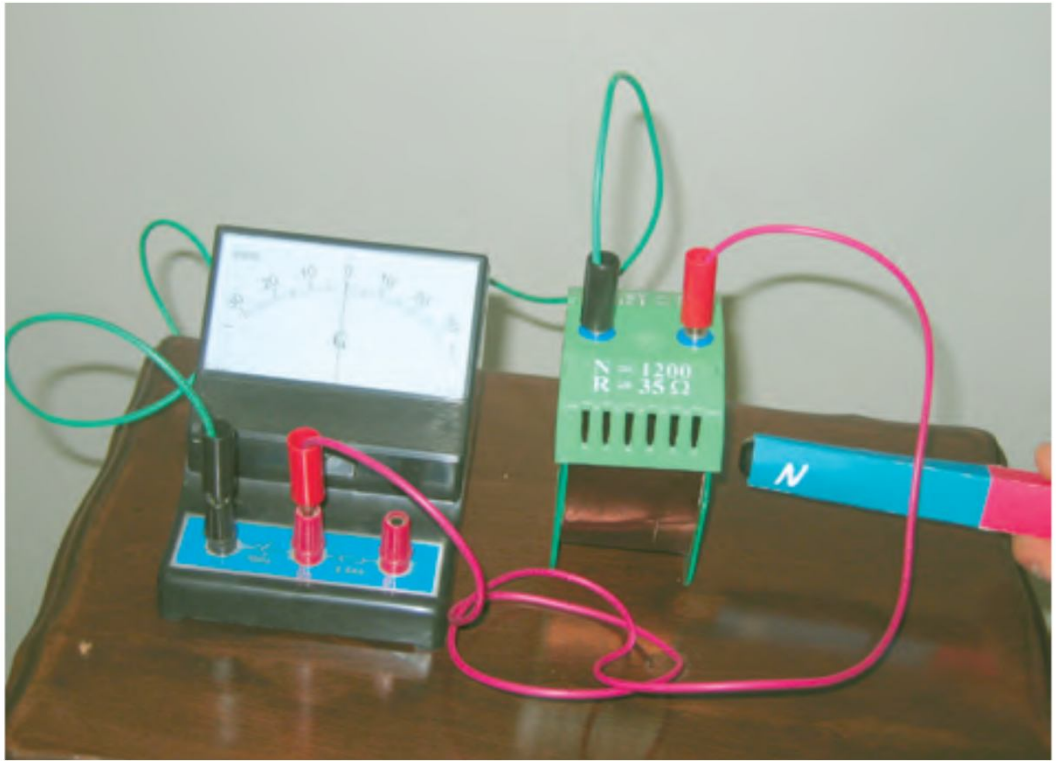


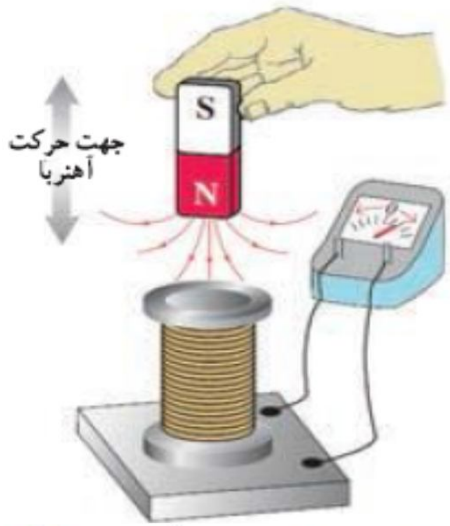
در ورودی فرودگاه‌ها یا مکان‌های مهم امنیتی که می‌خواهند وجود اشیای خاص فلزی مثل انواع اسلحه‌های سرد و گرم را ردیابی کنند به جای بازدید بدنی افراد را از دروازه‌ی یک دستگاه آشکارساز فلز عبور می‌دهند. در این‌گونه مواقع از افراد می‌خواهند تا قبل از ورود به دستگاه وسایل فلزی همراه خود را تحویل دهند.

ساخت و طراحی دستگاه‌های فلزیاب با توجه به پدیده‌ی القای الکترومغناطیسی انجام می‌شود.

آزمایش ۵ـ۱

وسیله‌های آزمایش : میلی‌آمپرسنج صفر وسط (گالوانومتر)، آهنربای میله‌ای، سیملوله یا پیچه و سیم رابط





نتیجه :

ـ وقتی قطب N را به سیملوله نزدیک می‌کنیم در آن جریان لحظه‌ای کوچکی تولید می‌شود و وقتی قطب N را دور می‌کنیم جریان در خلاف جهت حالت قبل به‌وجود می‌آید.

ـ حرکت قطب S نیز در سیملوله جریان تولید می‌کند اما جهت جریان برعکس است.

جمع‌بندی : ۱ـ حرکت آهنربا نسبت به سیملوله، در سیملوله تولید جریان می‌کند.

۲ـ جهت جریان به نوع قطب مجاور سیملوله و جهت حرکت آن بستگی دارد.

ـ آهنربا را ثابت نگه‌دارید و سیملوله‌ی متصل به گالوانومتر را به آهنربا نزدیک و سپس سریع دور کنید و بگویید چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

در اثر حرکت نسبی سیملوله و آهنربا جریان تولید می‌شود.

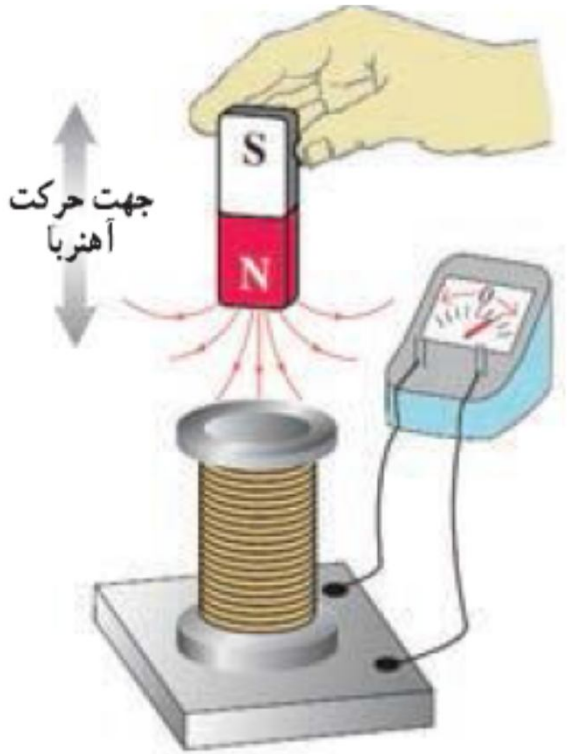
در سال ۱۸۳۱ میلادی مایکل فارادی دانشمند انگلیسی و تقریباً همزمان با او جوزف هانری دانشمند امریکایی، با انجام دادن آزمایش‌هایی مانند آزمایش ۵ــ۱ دریافتند که هنگام دور و نزدیک‌کردن آهنربا به پیچه، عقربهٔ میلی آمپرسنج منحرف می‌شود، و عبور جریانی را از مدار نشان می‌دهد؛ مانند وقتی که مولد در مدار وجود داشته باشد.

یعنی با حرکت آهنربا نسبت به پیچه، یک جریان الکتریکی در مدار القا می‌شود. این پدیده را القای الکترومغناطیسی و جریان تولید شده را جریان الکتریکی القایی می‌نامند.

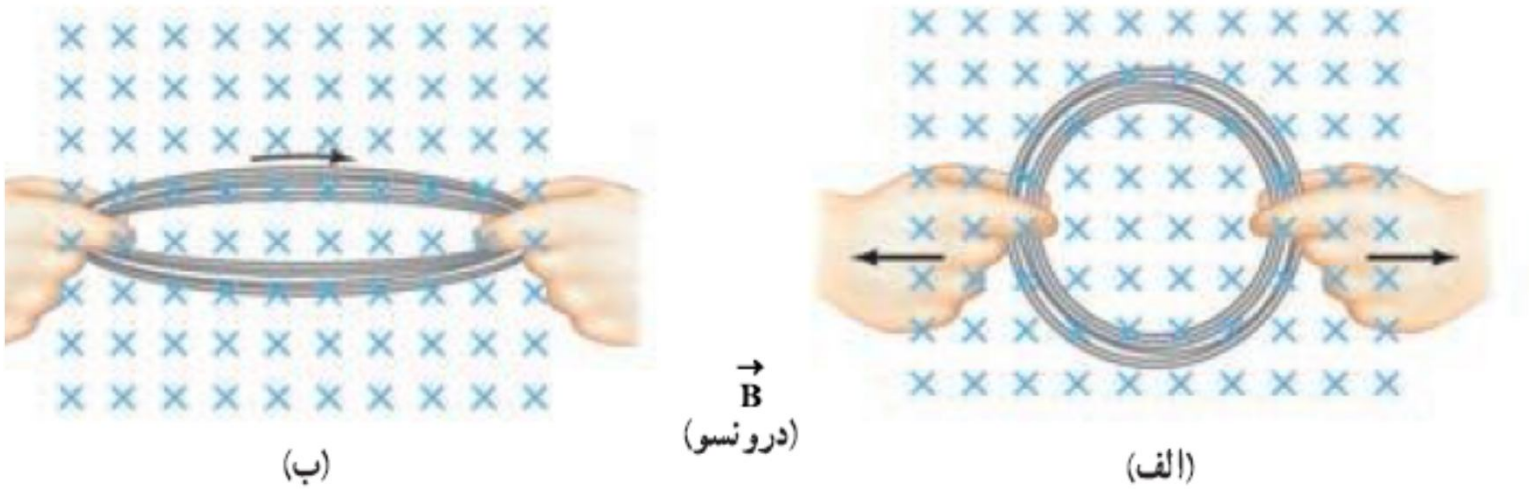
القای الکترومغناطیسی اساس کار مولّد جریان متناوب، دینام، مبدل‌ها و بسیاری از وسیله‌های الکتریکی است.

روش های ایجاد جریان القایی در یک مدار بسته

۱- تغییر اندازهٔ میدان مغناطیسی در محل یک مدار بسته باعث القای جریان الکتریکی در آن مدار می‌شود.

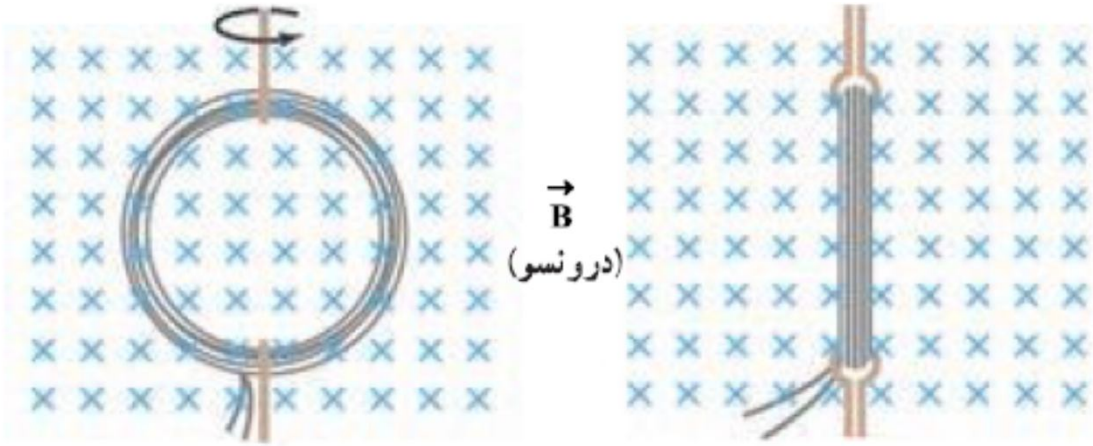


۲- تغییر مساحت مدار بسته در میدان مغناطیسی نیز می‌تواند جریان القایی در مدار تولید کند.

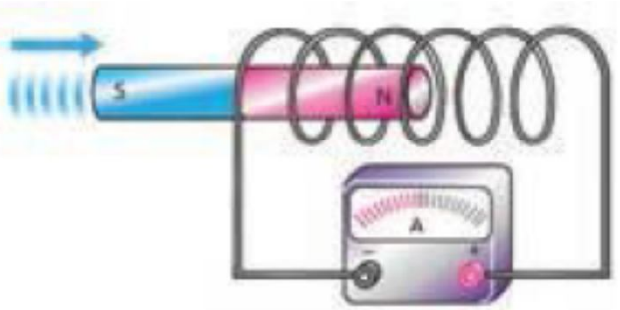


(ب) (الف)

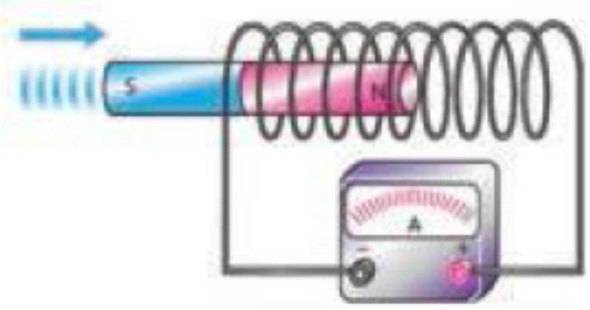
۳ـ تغییر زاویهٔ بین پیچه و راستای میدان مغناطیسی نیز سبب برقراری جریان الکتریکی القایی می‌شود.



دریافت خود را از شکل‌های زیر بنویسید.



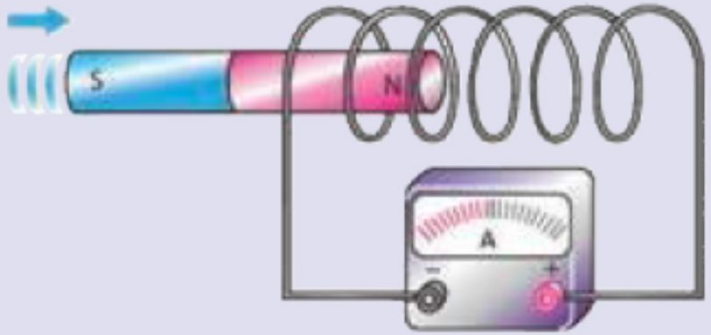
(الف)



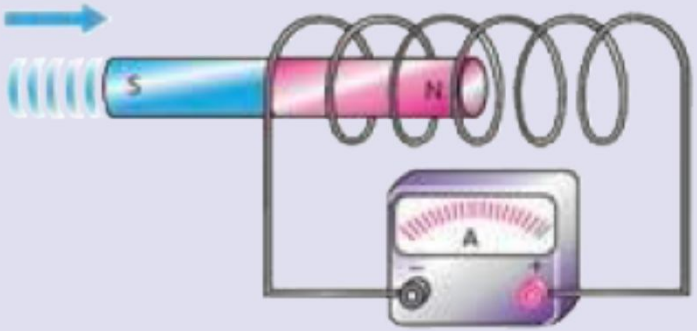
(ب)

پاسخ : در شکل الف با ورود آهنربا به پیچه جریانی در آن القا شده است. در شکل ب، آهنربا با همان شرایط قسمت الف، وارد پیچه‌ای با تعداد دور بیشتر شده است. در نتیجه همان‌طور که در شکل نیز دیده می‌شود جریان بزرگ‌تری در پیچه القا شده است.

دریافت خود را از شکل‌های زیر بنویسید.



(الف)

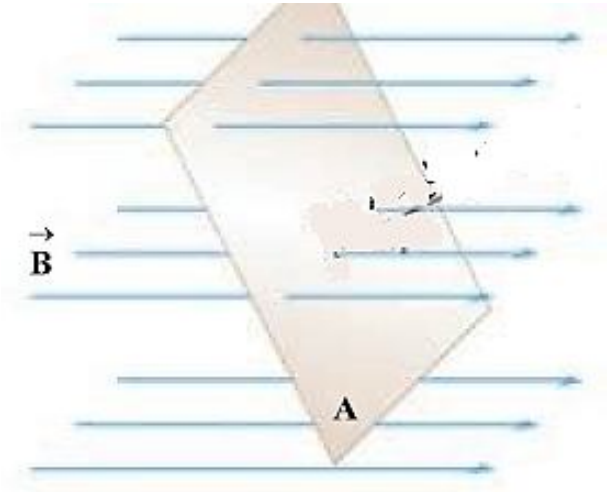


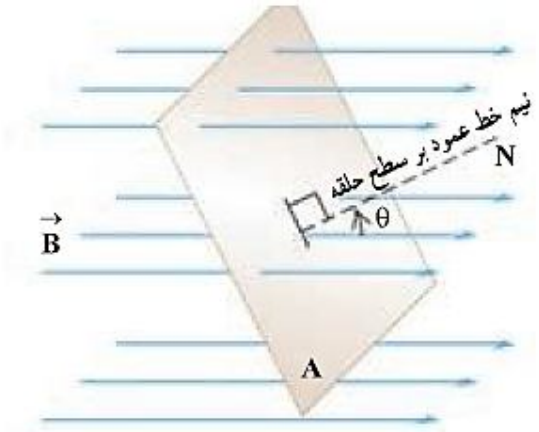
(ب)

۵ــ۲ــ شار مغناطیسی

در آزمایش‌های قبل دیدیم که بر اثر تغییر میدان مغناطیسی در حلقه، تغییر مساحت حلقه، و یا تغییر زاویهٔ بین سطح حلقه و جهت میدان مغناطیسی، جریان الکتریکی در پیچه القا می‌شود. کمیت موسوم به شار مغناطیسی، این سه کمیت را دربر دارد. این کمیت نرده‌ای به‌صورت زیر معرفی می‌شود.

فرض کنید حلقه‌ای به مساحت A مطابق شکل در میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ قرار دارد.



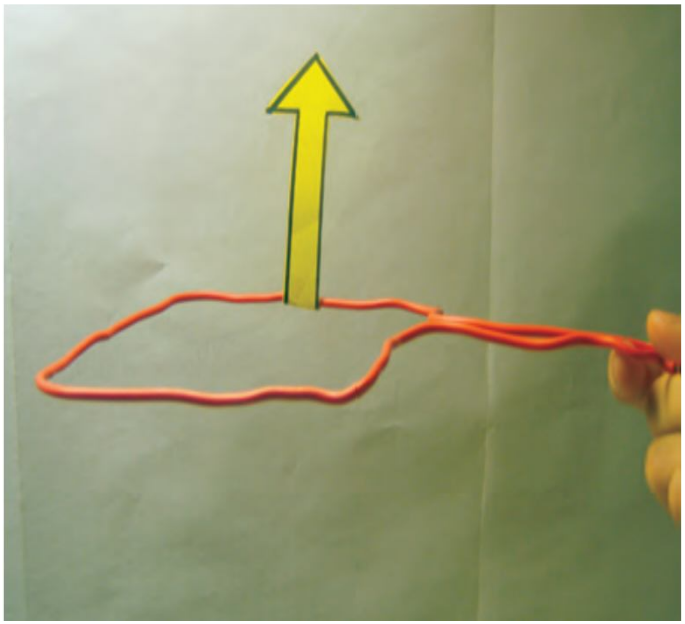


شار میدان مغناطیسی یکنواخت[1] که از سطح حلقه می‌گذرد به‌صورت زیر تعریف و با نماد Φ نشان داده می‌شود.

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

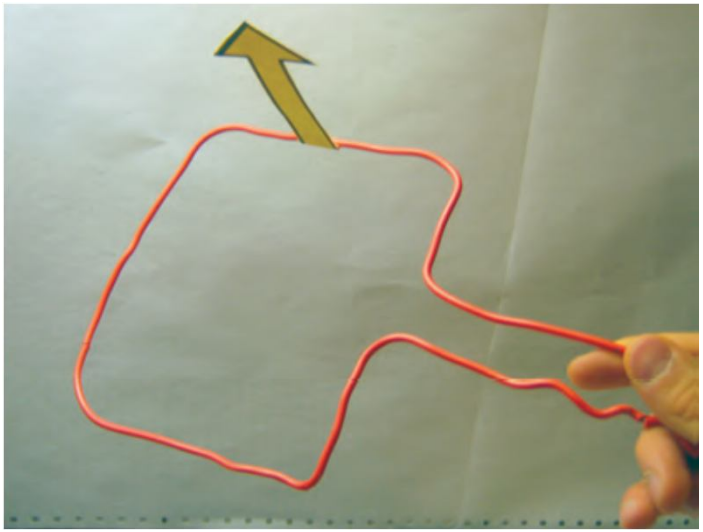
که در آن، θ زاویهٔ بین بردار میدان مغناطیسی $\vec{B}$ و نیم خط عمود بر سطح حلقه است (این نیم‌خط را می‌توان به‌طور اختیاری در هر یک از دو طرف سطح حلقه رسم کرد، ولی پس از انتخاب نباید جهت آن را عوض کرد).

یکای شار مغناطیسی در SI وِبر (Wb) است. $1\,Wb = 1\,T \times 1\,m^2$



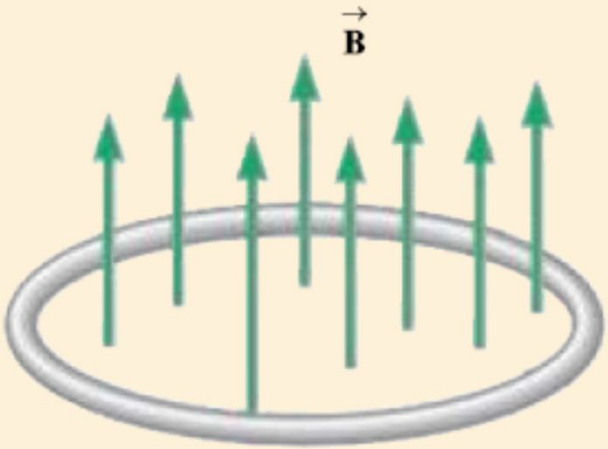
۱ــ θ زاویه‌ی بین راستای خط‌های میدان و خط عمود بر سطح قاب است.

اگر خط‌های میدان نسبت به سطح قاب زاویه‌ی $\alpha = ۳۰^\circ$ داشته باشند آن‌گاه $\theta = ۹۰ - ۳۰ = ۶۰$ است.



۲ــ A مساحتی از قاب است که در میدان قرار دارد. اگر مساحت سطح قاب از مساحت میدان بیشتر باشد، فقط بخشی از قاب در محاسبه‌ی شار وارد می‌شود که خط‌های میدان در آن ناحیه وجود داشته باشند.

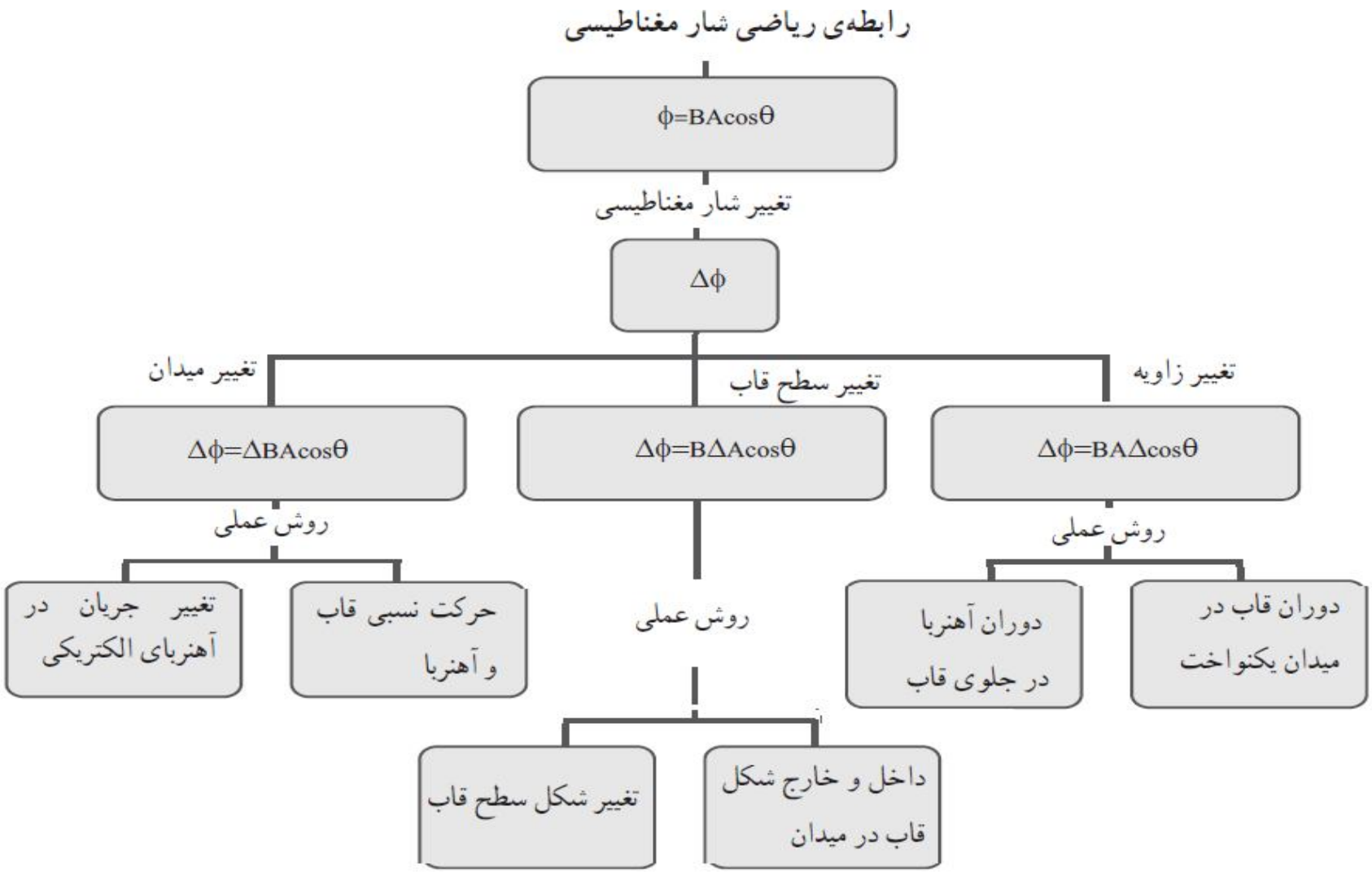
تمرین ۱۵



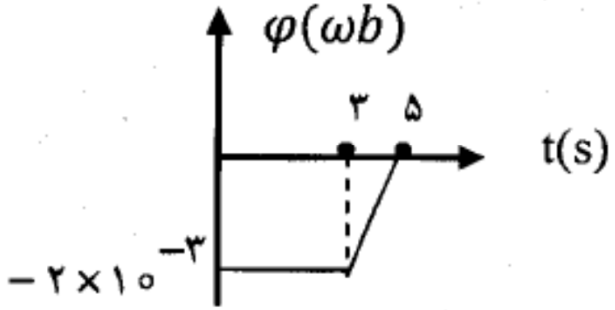
حلقه‌ای به مساحت $50\,cm^2$ مطابق شکل روبه‌رو در یک میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ قرار دارد، به‌طوری که خط‌های میدان مغناطیسی $\vec{B}$ بر سطح حلقه عمودند. اگر اندازهٔ میدان مغناطیسی بدون تغییر جهت به $0/03T$ افزایش یابد، شار مغناطیسی عبوری از سطح حلقه چقدر تغییر می‌کند؟

تغییر شار مغناطیسی جریان الکتریکی القایی در مدار به‌وجود می‌آورد.

هرچه تغییر شار سریع‌تر باشد، جریان القایی بزرگ‌تر خواهد شد.


رابطه‌ی ریاضی شار مغناطیسی
$\phi=BA\cos\theta$
تغییر شار مغناطیسی
$\Delta\phi$
تغییر میدان
تغییر سطح قاب
تغییر زاویه
$\Delta\phi=\Delta BA\cos\theta$
$\Delta\phi=B\Delta A\cos\theta$
$\Delta\phi=BA\Delta\cos\theta$
روش عملی
روش عملی
روش عملی
تغییر جریان در آهنربای الکتریکی
حرکت نسبی قاب و آهنربا
دوران آهنربا در جلوی قاب
دوران قاب در میدان یکنواخت
تغییر شکل سطح قاب
داخل و خارج شکل قاب در میدان

نمودار تغییرات شار مغناطیسی بر حسب زمان که از یک حلقهٔ رسانا می گذرد، مطابق شکل است.



الف) نیروی محرکهٔ القایی را در هر مرحله محاسبه کنید.

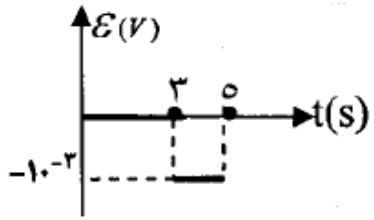
ب) نمودار نیروی محرکه بر حسب زمان را در این مدت رسم کنید.

$$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt}$$

الف)

$$\varepsilon_۱ = ۰ \quad , \quad \varepsilon_۲ = -۱\times\frac{۰-(-۲\times۱۰^{-۳})}{۲} = -۱۰^{-۳}V$$

ب)



قانون القای الکترومغناطیسی فارادی

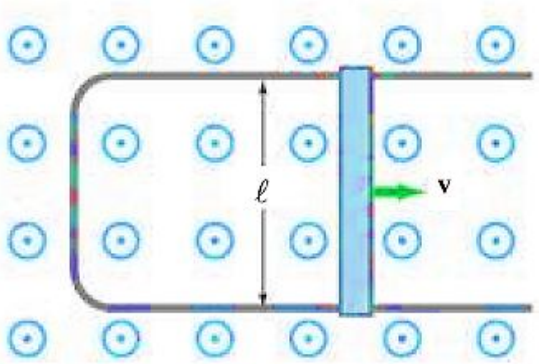
هرگاه شار مغناطیسی‌ای که از مدار بسته‌ای می‌گذرد تغییر کند، نیروی محرکه‌ای در آن القا می‌شود که بزرگی آن با آهنگ تغییر شار مغناطیسی متناسب است

اگر مدار از پیچه‌ای با N دور مشابه تشکیل شده باشد، قانون القای فارادی به‌صورت زیر نوشته می‌شود :

$$\mathscr{E} = -N\frac{d\Phi}{dt}$$

$\mathscr{E}$ نیروی محرکهٔ القایی بر حسب ولت

$\frac{d\Phi}{dt}$ آهنگ تغییر شار مغناطیسی برحسب وبر بر ثانیه $(\frac{Wb}{s})$



شکل روبه‌رو رسانای U شکلی را درون میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ به بزرگی ۰/۱۸T نشان می‌دهد که عمود بر صفحهٔ شکل و رو به بیرون است. میله‌ای فلزی (سیم لغزنده) به طول $\ell = ۲۰\,cm$ بین دو بازوی رسانا قرار دارد و مداری را تشکیل می‌دهد. میله را با سرعت ثابت $v = ۲۰\,m/s$ به‌طرف راست حرکت می‌دهیم. بزرگی نیروی محرکهٔ القایی را پیدا کنید.

$\Phi = BA\cos\theta$

$\theta = 0$ ⇨ $\Phi = BA$

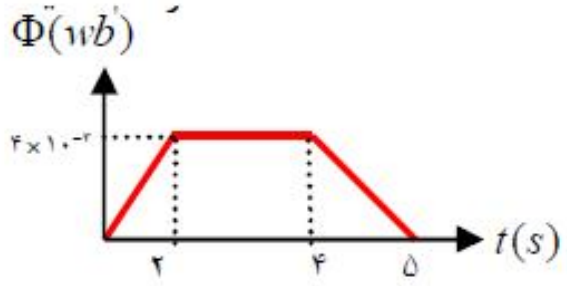
$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(BA)}{dt} = -B\frac{dA}{dt}$$

میلهٔ فلزی لغزنده در مدت dt مسافت vdt را طی می‌کند و سطح حلقه به مقدار $dA = \ell v dt$ افزایش می‌یابد.

$$\mathscr{E} = -B\frac{\ell v dt}{dt} = -B\ell v$$

$$\mathscr{E} = -(0/18T)(20\times10^{-2}m)(20\,m/s) = -0/72V \qquad |\mathscr{E}| = 0/72V = 720\,mV$$

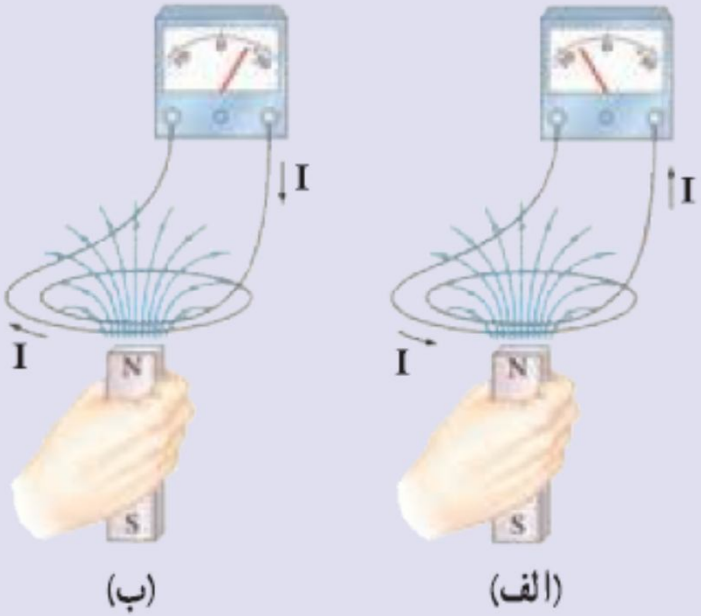
نمودارتغییرشارمغناطیسی برحسب زمان برای یک حلقه مطابق شکل است. نمودارتغییرنیروی محرکهٔ القاء شده درآن رابرحسب زمان رسم کنید.



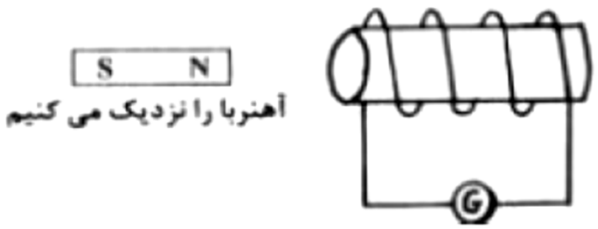
قانون لنز

جریان حاصل از نیروی محرکهٔ القایی در یک مدار یا پیچه در جهتی است که آثار مغناطیسی ناشی از آن با عامل به‌وجودآورندهٔ جریان القایی، یعنی تغییر شار مغناطیسی، مخالفت می‌کند.

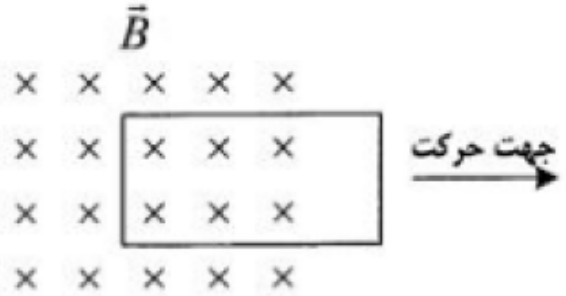
با توجه به جهت جریان القایی در هر یک از شکل‌های الف و ب، و با توجه به قانون لنز، در هر مورد توضیح دهید که آیا آهنربا رو به بالا حرکت می‌کند یا رو به پایین.



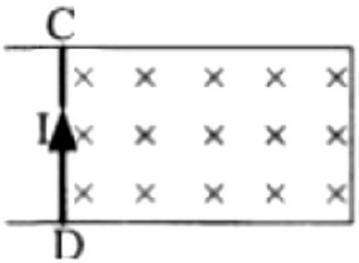
در شکل مقابل با استفاده از قانون ..... جهت جریان القایی در حلقه ها رو به ..... است .



در شکل روبه رو اگر پیچه ی مستطیل شکل رسانا در جهت نشان داده شده حرکت نماید،جهت جریان القایی در پیچه را با ذکر دلیل مشخص نمایید .



ا در شکل روبه رو با توجه به جهت جریان القایی روی سیم CD و جهت میدان مغناطیسی، جهت حرکت سیم CD را تعیین کنید.



اگر شار مغناطیسی که از پیچه می‌گذرد در بازهٔ زمانی Δt به اندازهٔ $\Delta\Phi$ تغییر کرده باشد، آهنگ متوسط تغییر شار مغناطیسی در بازهٔ زمانی Δt با $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ متناسب خواهد بود. $\bar{\mathscr{E}}$ نیروی محرکهٔ القایی متوسط در این پیچه از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

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

میدان مغناطیسی عمود بر یک حلقه ی رسانا به مساحت $400\,cm^2$ با زمان تغییر می کند و در مدت $0/08\,s$ از $(+0/2)$ تسلا به $(-0/2)$ تسلا می رسد. **نیروی محرکه ی القایی** متوسط در حلقه را حساب کنید.

$$\overline{\mathscr{E}} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -N\frac{\Delta BA\,\cos\theta}{\Delta t}$$

$$\overline{\varepsilon} = -A\frac{\Delta B}{\Delta t} \qquad \overline{\varepsilon} = -400\times10^{-4}\times\frac{-0/2-0/2}{0/08} \qquad \overline{\varepsilon} = 0/2\ V$$

اگر مقاومت پیچه برابر R باشد، جریان القا شده در آن از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود :

$$I = \frac{\mathscr{E}}{R} = -\frac{N}{R}\frac{d\Phi}{dt}$$

جریان القایی متوسط در پیچه از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود :

$$\bar{I} = -\frac{N}{R}\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

پیچه ای با سطح مقطع $50\ cm^2$ دارای ۱۰۰۰ حلقه است. در ابتدا سطح پیچه با خط های میدان مغناطیسی موازی است. پیچه در مدت $0/05\ s$ می چرخد و سطح آن عمود بر خط های میدان قرار می گیرد. اگر شدت میدان برابر $5\times10^{-4}\ T$ باشد، **اندازه ی** نیروی محرکه ی القایی متوسط در پیچه را محاسبه کنید.

$$|\bar{\varepsilon}| = \left|-N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = \left|-N\frac{BA(\cos\theta_2-\cos\theta_1)}{\Delta t}\right|$$

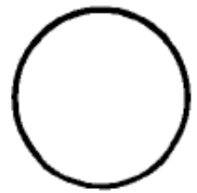
$$|\bar{\varepsilon}| = \left|-1000\frac{(5\times10^{-4})(50\times10^{-4})(1-0)}{0/05}\right| \qquad \bar{\varepsilon} = 5\times10^{-2}\ V$$

شارمغناطیسی عبوری ازیک حلقهٔ رسانا، مطابق رابطهٔ $\Phi = (۴t^{۲} + ۴t - ۱)۱۰^{-۳}$ درSI تغییرمی کند.

الف) نیروی محرکهٔ القایی درآنرادرلحظهٔ2s حساب کنید؟

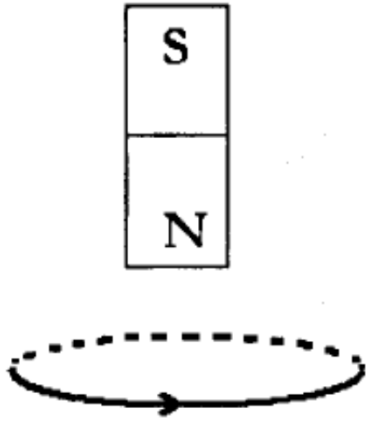
ب) اگرمقاومت حلقه 10Ωباشد، جریان القایی درلحظهٔ فوق چه قدراست؟

در شکل های زیر جهت جریان القایی را در حلقهٔ رسانا و جهت حرکت آهنربا را تعیین کنید:

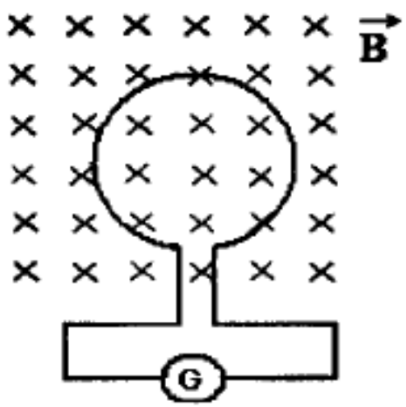


حلقه در حال دور شدن از سیم حامل جریان است.

جریان در حلقه ساعتگرد است



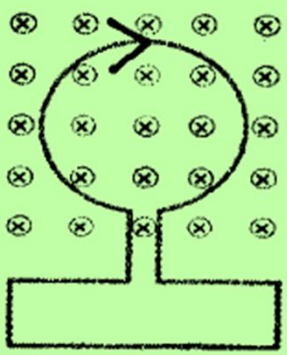
آهنربا در حال نزدیک شدن به حلقه است.



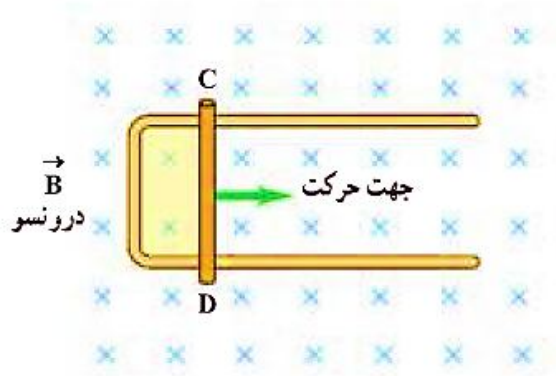
حلقه‌ای مطابق شکل روبه‌رو درون یک میدان مغناطیسی یکنواخت قرار دارد.

اگر اندازه‌ی میدان **کاهش** یابد، **جهت** جریان القایی را روی حلقه مشخص کنید و دلیل آن را بنویسید.

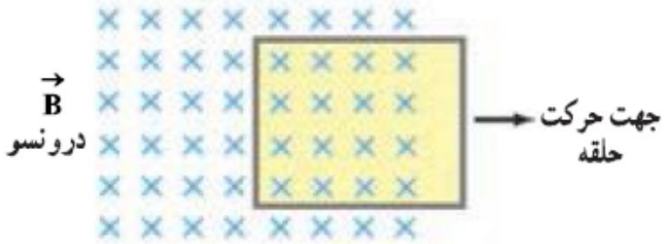
با کاهش میدان، شارمغناطیسی عبوری از حلقه کاهش می‌یابد طبق‌قانون لنز، جهت میدان‌مغناطیسی حاصل‌ازجریان القایی باید هم جهت با میدان اصلی باشدبنابراین جهت جریان مطابق شکل است .



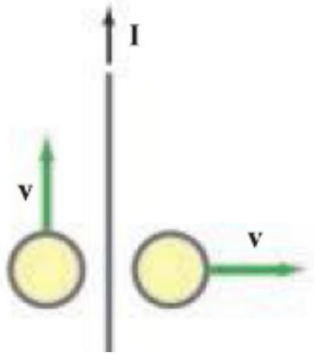
شکل روبه‌رو رسانای U شکلی را درون میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ که عمود بر صفحهٔ شکل و روبه داخل صفحه است نشان می‌دهد. وقتی میلهٔ فلزی CD به طرف راست حرکت کند، جهت جریان القایی در مدار در چه جهتی است؟



حلقهٔ رسانای مستطیل شکلی را مطابق شکل روبه‌رو به‌طرف راست می‌کشیم و از میدان مغناطیسی درونسویی خارج می‌کنیم. جهت جریان القایی در حلقه در چه جهتی است؟



دو حلقهٔ رسانا در مجاورت یک سیم دراز حامل جریان ثابت I قرار دارند؛ این دو حلقه با سرعت ثابت، ولی جهت‌های متفاوت مطابق شکل روبه‌رو حرکت می‌کنند. جهت جریان القایی را در هر حلقه با ذکر دلیل تعیین کنید.



القاگرها و اثر خودالقایی

از القاگر برای تولید میدان مغناطیسی دلخواه و همچنین ذخیرهٔ انرژی مغناطیسی توسط میدان مغناطیسی استفاده کرد.

تصویری از چند القاگر

به هرقسمتی از مدار که خاصیت خودالقایی داشته باشد القاگر گویند.

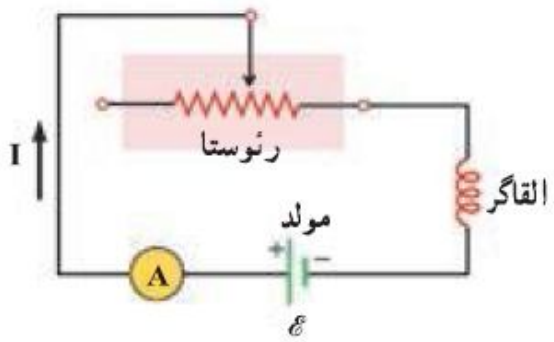
نماد مداری معمول برای القاگر به‌صورت —ooo— است.

در مدار جریان مستقیم، القاگر به پایا نگه‌داشتن جریان در برابر افت و خیزهای emf اعمال شده کمک می‌کند؛

در مدار جریان متناوب القاگر از تغییرات جریان که سریع‌تر از مقدار تعیین شده باشد جلوگیری می‌کند

بررسی اثر خودالقایی در یک القاگر

مداری را مطابق شکل درنظر بگیرید.

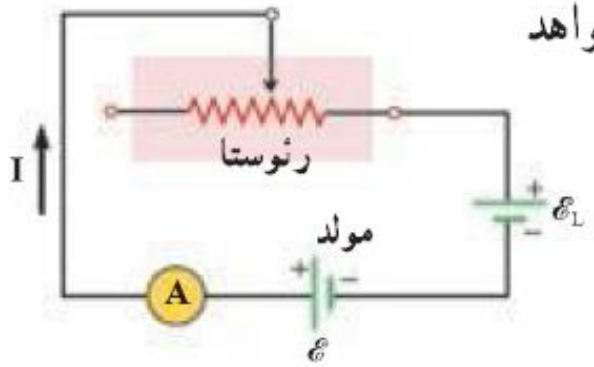


این مدار شامل یک مولد (باتری)، یک رئوستا و القاگری است که به‌طور متوالی به یکدیگر بسته شده‌اند.

با تغییر مقاومت رئوستا، جریان در مدار تغییر می‌کند تغییر جریان در مدار، سبب تغییر جریان عبوری از القاگر می‌شود و در نتیجه شار مغناطیسی عبوری از القاگر تغییر می‌کند.

این فرایند سبب القای نیروی محرکهٔ خودالقایی در القاگر می‌شود که بنا به قانون لنز با هرگونه تغییر جریان عبوری از آن مخالفت می‌کند. این پدیده که می‌تواند در هر القاگری (از قبیل پیچه یا سیملوله) رخ دهد اثر خودالقایی نامیده می‌شود.

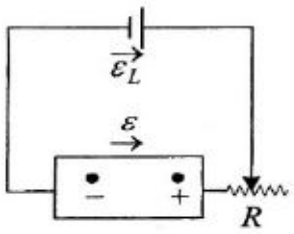
در شکل بنابه قانون لنز جهت نیروی محرکهٔ خودالقایی چنان است که می‌خواهد مانع تغییر شار مغناطیسی‌ای شود که مولد ایجاد می‌کند.



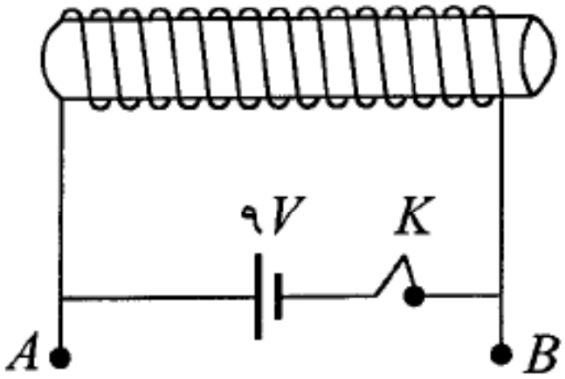
در این حالت نیروی محرکهٔ خودالقایی معادل نیروی محرکهٔ باتری‌ای عمل می‌کند که در جهت مخالف مولد در مدار قرار گرفته باشد

در شکل روبرو، ε_L نیروی محرکه ی یک باتری فرضی است که جایگزین یک القاگر در مدار شده است.

با توجه جهت ε_l توضیح دهید مقاومت رئوستا در حال افزایش است یا کاهش؟



در شکل رو به رو دانش آموزی نقاط A, B را با دست خود گرفته و دوستش کلید K را قطع می کند ، هنگام قطع کلید دانش آموز احساس برق گرفتگی می کند. علت آن را توضیح دهید.



یه علت ایجاد نیروی محرکه‌ی خودالقایی در سیم لوله احساس برق گرفتگی می کند.

ضریب خودالقایی

آزمایش نشان می‌دهد که نیروی محرکهٔ خودالقایی القاگر، به عواملی که در رابطهٔ زیر آمده است بستگی دارد.

$$\mathscr{E}_L = -L\frac{dI}{dt}$$

L ضریب خودالقایی یا القایدگی القاگر است و یکای آن هانری نامیده و با نماد H نشان داده می‌شود.

ضریب خودالقایی L از ویژگی‌های ساختمانی القاگر است و به تعداد دور، طول، سطح مقطع و... القاگر بستگی دارد

تعریف یکای ضریب خودالقایی ؛ هانری

$$\frac{dI}{dt} = 1\frac{A}{s} \quad , \quad L = 1H \quad , \quad |\mathscr{E}_L| = ?$$

$$|\mathscr{E}_L| = \left|-L\frac{dI}{dt}\right|$$

$$= \left|-(1H)(1A/s)\right| = 1V$$

یک هانری (۱H) ضریب خودالقایی القاگری است که اگر جریان عبوری از آن با آهنگ

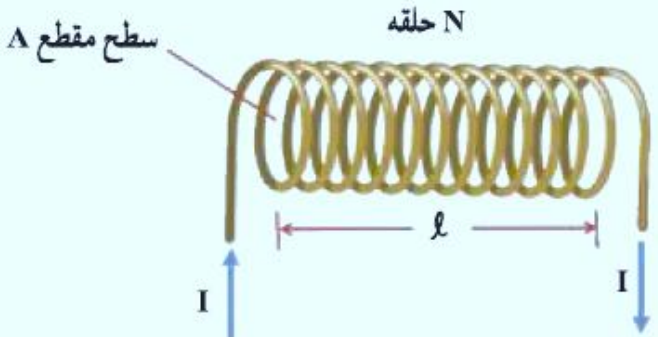
یک آمپر بر ثانیه (۱A/s) تغییر کند، نیروی محرکهٔ خودالقایی برابر یک ولت (۱V) در آن القا می‌شود.

خرداد ماه سال ۱۳۹۲

از سیملوله ای جریانی به معادله $I = ۲t^۲ + t$ می گذرد،(I برحسب آمپر و t برحسب ثانیه است) در صورتی که اندازه ی نیروی محرکه القایی در لحظه $t = ۲s$ برابر ۰/۲۷ ولت باشد ، ضریب خود القایی سیملوله را محاسبه کنید.

$$|\varepsilon_L| = \left|-L\frac{dI}{dt}\right|$$

$$۰/۲۷ = \left|-L \times (۴t+۱)\right|_{t=۲} \quad \rightarrow L = ۰/۰۳H$$



شکل روبه‌رو سیملوله‌ای حامل جریان I به طول ℓ و سطح مقطع A را نشان می‌دهد که از N حلقهٔ نزدیک به هم تشکیل شده است. ضریب خودالقایی این سیملوله را پیدا کنید.

میدان مغناطیسی درون سیملولهٔ حامل جریان $B = \mu_0 \frac{NI}{\ell}$

میدان مغناطیسی درون سیملوله یکنواخت و موازی با محور آن است، شار مغناطیسی که از سیملوله می‌گذرد برابر است با :

$$\Phi = BA = \mu_0 \frac{NA}{\ell} I$$

$$\mathscr{E}_L = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\Rightarrow \quad \mathscr{E}_L = -N \frac{d}{dt}\left(\mu_0 \frac{NA}{\ell} I\right) \Rightarrow \quad \mathscr{E}_L = -\mu_0 \frac{N^2 A}{\ell} \frac{dI}{dt}$$

$$\mathscr{E}_L = -L \frac{dI}{dt}$$

$$\Rightarrow \quad L = \mu_0 \frac{N^2 A}{\ell}$$

اگر سیملوله هسته داشته باشد، میدان مغناطیسی حاصل از آن تقویت می‌شود.

به‌همین دلیل وجود هسته درون القاگر نیز سبب تقویت القاییدگی آن می‌شود و درنتیجه

برای سیملولهٔ دارای هسته داریم :

$$L = K\mu_{\circ}\frac{N^{2}A}{\ell}$$

K ضریبی بدون یکا است که به جنس، شکل هندسی و ابعاد هستهٔ داخل سیملوله بستگی دارد و به آن تراوایی مغناطیسی هسته می‌گویند.

تمرین ۵ـ۳

دو سیملولهٔ بدون هسته با سطح مقطع و تعداد دور یکسان را در نظر بگیرید. اگر طول یکی از سیملوله‌ها دو برابر دیگری باشد، نسبت ضریب خودالقایی آنها را محاسبه کنید.

- ضریب خودالقایی سیملوله ی بدون هسته باسطح مقطع $۵cm^{۲}$ وطول ۱۰۰cm راکه شامل ۲۰۰۰ حلقه است،حساب کنید.

دریک سیملوله به ضریب خودالقایی۰/۲H جریان باآهنگ $۵\,A/s$ تغییرمی کند.بزرگی نیروی محرکه ی القاشده درآنراحساب کنید.

جریان I که از القاگری با ضریب خودالقایی ۴۱۶ هانری می‌گذرد مطابق نمودار شکل برحسب زمان t تغییر می‌کند.

مقاومت القاگر ۱۲Ω است. نیروی محرکه‌ی القایی را

در بازه‌های زمانی الف) t=۰s تا t=۲ms ب) t=۲ms تا t=۵ms

محاسبه کنید.

حاصل‌ضرب شیب خط مماس بر منحنی جریان ـ زمان در ضریب خودالقایی با علامت منفی برابر با نیروی محرکه‌ی خودالقایی است.

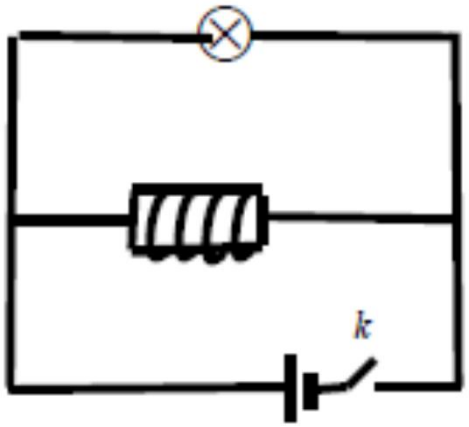
شیب خط = شیب خط مماس $= \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{۵-۷}{۵} = \frac{-۲}{۳} A/S$

$\varepsilon = -L\frac{dI}{dt} = -۴/۶ \times -\frac{۲}{۳} \simeq ۳۷$

شیب خط = شیب خط مماس $= \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{۷-۰}{۲-۰} = \frac{۷}{۲} = ۳/۵ \frac{A}{s}$

$\varepsilon_L = -L\frac{dI}{dt} = -۴/۶ \times ۳/۵ = ۱۶/۱ V$

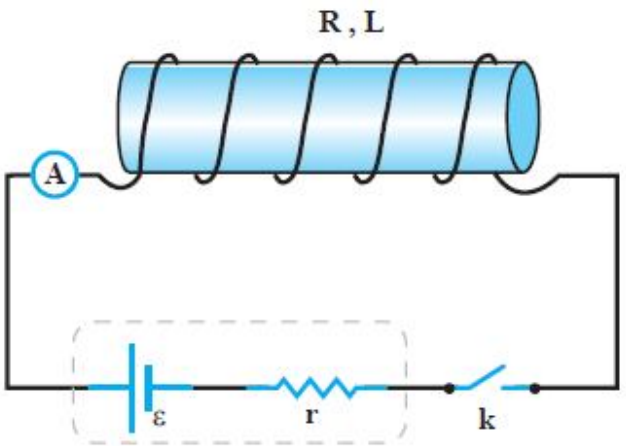
توضیح دهید چرا پس از باز کردن کلید k، با این که مولد از مدار حذف شده است لامپ برای لحظاتی پرنور می‌شود؟

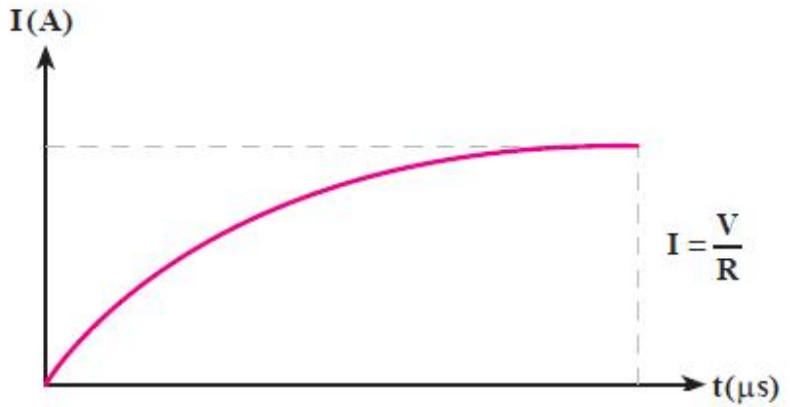


وقتی کلید k را باز می‌کنیم، منبع تغذیه از مدار حذف می‌شود و جریان در مدت بسیار کوتاه به صفر می‌رسد، بنابراین طبق رابطه‌ی $\varepsilon_L = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$، نیروی محرکه‌ی خودالقایی نسبتاً بزرگی در دو سر سیملوله تولید می‌شود و این نیروی محرکه سبب جریان زیاد القایی می‌شود که همه‌ی آن از لامپ می‌گذرد زیرا با بازشدن کلید k، شاخه‌ی پایینی از مدار حذف و بنابراین لامپ برای لحظاتی کوتاه بسیار پرنور می‌شود.

نمودار جریان ــ زمان مدار شکل

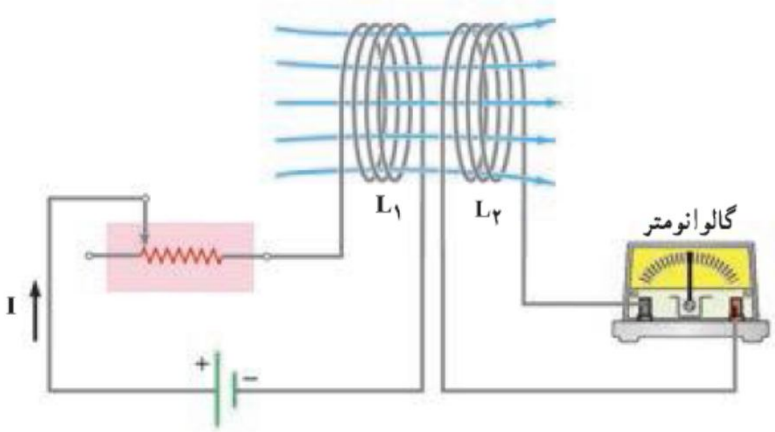
وقتی کلید k بسته می‌شود،





القای متقابل

دو پیچهٔ مجاور هم را مطابق شکل در نظر بگیرید.



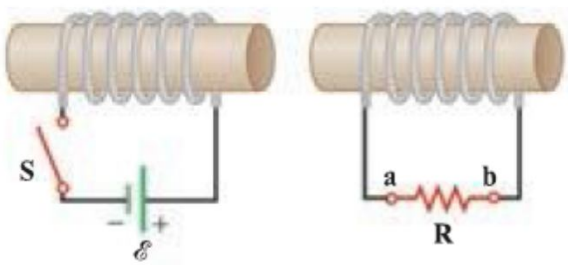
جریان عبوری در پیچهٔ ۱، میدان مغناطیسی $\vec{B}$ را به‌وجود می‌آورد و درنتیجه این میدان یک شار مغناطیسی از پیچهٔ ۲ می‌گذراند. اگر جریان در پیچهٔ ۱ تغییر کند، شار عبوری از پیچهٔ ۲ نیز تغییر می‌کند؛ بنابر قانون فارادی، این تغییر شار نیروی محرکه‌ای در پیچهٔ ۲ القا می‌کند. این فرایند القای متقابل نامیده می‌شود و به کمک آن می‌توان انرژی را از پیچه‌ای به پیچهٔ دیگر منتقل کرد.

اگر در شرایط آرمانی تمام شار مغناطیسی پیچهٔ ۱ از پیچهٔ ۲ بگذرد، ضریب القای متقابل که آن را با نماد M نشان می‌دهند، از رابطهٔ $M = \sqrt{L_1 L_2}$ به‌دست می‌آید

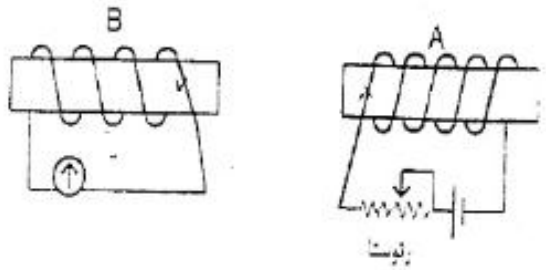
در مدار نشان داده شده در شکل روبه‌رو، جهت جریان القایی را در مقاومت R در هریک از دو حالت زیر با ذکر دلیل پیدا کنید :

الف) در لحظهٔ بستن کلید S،

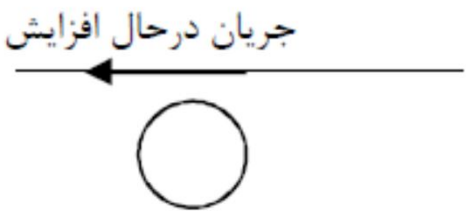
ب) در لحظهٔ باز کردن کلید S.

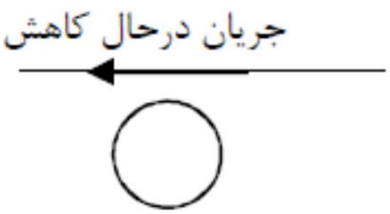


در شکل مقابل اگر مقاومت رئوستا را کم کنیم جهت جریان القایی در سیملوله B را مشخص کنید؟

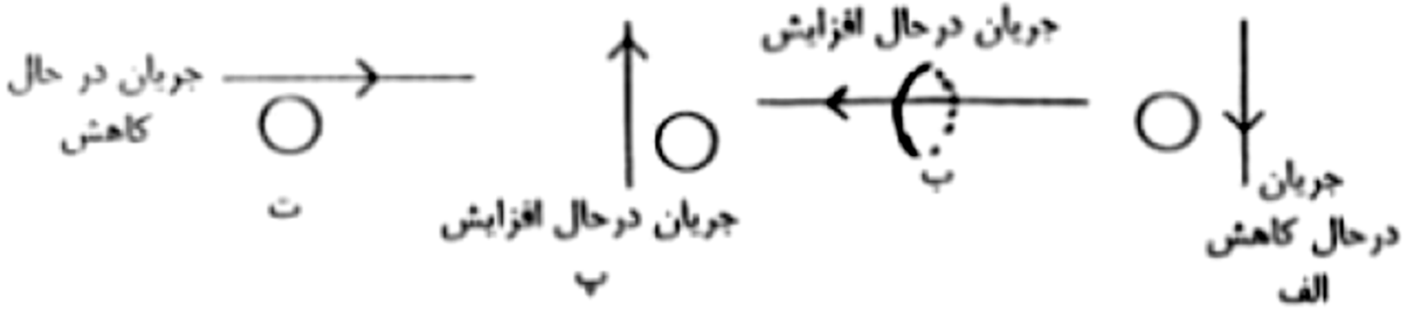


درشکلهای زیر، جهت جریان القایی را تعیین کنید.





جهت جریان القایی در هر یک از حلقه های دایره ای نشان داده شده در شکل زیر را مشخص کنید.



انرژی ذخیره‌شده در القاگر

وقتی در دو سر القاگری اختلاف پتانسیل برقرار شود، مولد به القاگر انرژی می‌دهد. بخشی از این انرژی در مقاومت الکتریکی سیم‌های القاگر به‌صورت گرما تلف و بقیهٔ آن در میدان مغناطیسی القاگر ذخیره می‌شود که مقدار آن از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

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

هنگام عبور جریان پایا از یک القاگر، انرژی به آن وارد یا از آن خارج نمی‌شود.

هنگام عبور جریان از مقاومت، انرژی وارد آن می‌شود، جریان چه پایا باشد و چه تغییر کند، این انرژی در مقاومت به‌صورت گرما تلف می‌شود. برخلاف آن، انرژی تنها وقتی وارد یک القاگر آرمانی با مقاومت صفر می‌شود که جریان در آن *افزایش یابد*. این انرژی تلف نمی‌شود، بلکه در القاگر ذخیره شده و هنگام *کاهش جریان*، آزاد می‌شود.

تمرین ۵ـ۴

سیملولهٔ بدون هسته به طول ۲۵cm و مساحت سطح مقطع $0/5cm^2$، شامل ۴۰۰ حلقه حامل جریان ۱/۵A است. مطلوب است :

الف) ضریب خودالقایی سیملوله

ب) انرژی ذخیره‌شده در القاگر

سیملوله ای به مقاومت ۱۰۰اهم را به باتری ۶ ولتی وصل می کنیم و $7/2\times10^{-4}J$ انرژی در آن ذخیره می شود. ضریب خود القایی سیملوله چقدر است؟

سیملوله‌ای شامل ۱۵۰۰ دور، سطح مقطع $10\,cm^2$ و طول $120\,cm$ را در نظر بگیرید. اگر تراوایی نسبی مغناطیسی هسته‌ی درون سیملوله برابر ۶۰۰ باشد. الف) القاییدگی سیملوله چه مقدار است؟

ب) اگر از سیم جریان 4A عبور کند، انرژی ذخیره شده در آن چه مقدار است؟

الف)

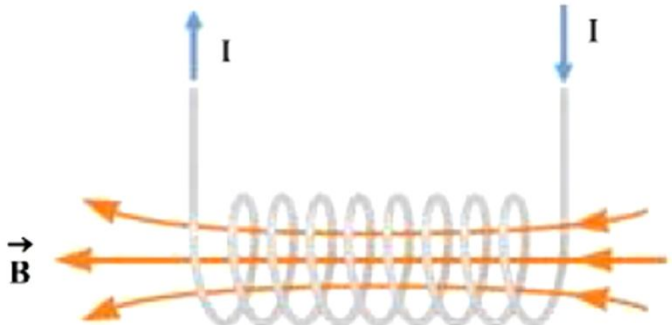
$$k = \mu . \frac{N^2 A}{l} = 4N \times 10^{-7} \frac{1500^2 \times 10 \times 10^{-4}}{120 \times 10^{-2}} H$$

$$= 0/023\,H$$

ب)

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

$$U = \frac{1}{2} \times 0/023 \times 4^2 J \simeq 0/19 J$$



سطح مقطع و طول سیملولهٔ شکل روبه‌رو به ترتیب $20\,cm^2$ و $80\,cm$ است. اگر این سیملوله از ۱۰۰۰ حلقهٔ نزدیک به هم تشکیل شده باشد،

الف) ضریب خودالقایی آن را پیدا کنید.

ب) چه جریانی از سیملوله بگذرد تا در میدان مغناطیسی آن ۴J انرژی ذخیره شود؟

درعبارت‌های زیر ،جاهای خالی را با یکی از عبارت های داخل کادر پر کنید: (از عبارت های داخل کادر دو مورد اضافی است.)

جریان القایی- شار مغناطیسی –ضریب خودالقایی- افزایش جریان – کاهش جریان – القای متقابل

الف) با افزایش تعداد دورهای پیچه (N دور مشابه) در یک میدان مغناطیسی یکنواخت ..... ثابت می‌ماند.

ب) با افزایش جریان عبوری از یک القاگر .....ثابت می ماند.

پ) در یک القاگر آرمانی هنگام ..... انرژی در القاگر آزاد می شود.

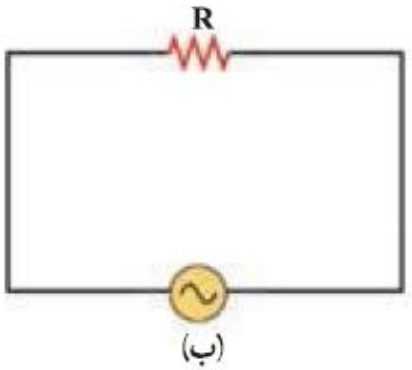
ت) براساس ..... می توان انرژی را از پیچه ای به پیچهٔ دیگر منتقل کرد.

الف) شار مغناطیسی	ب) ضریب خودالقایی	پ) کاهش جریان	ت) القای متقابل

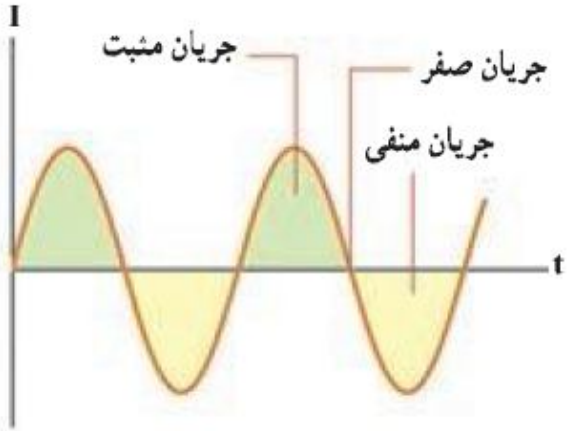
جریان متناوب

جریان مستقیم (dc)، جریانی که با زمان تغییر نمی‌کند.

جریان متناوب (ac) در آن ولتاژ و جریان به‌طور سینوسی تغییر می‌کند.



(ب)

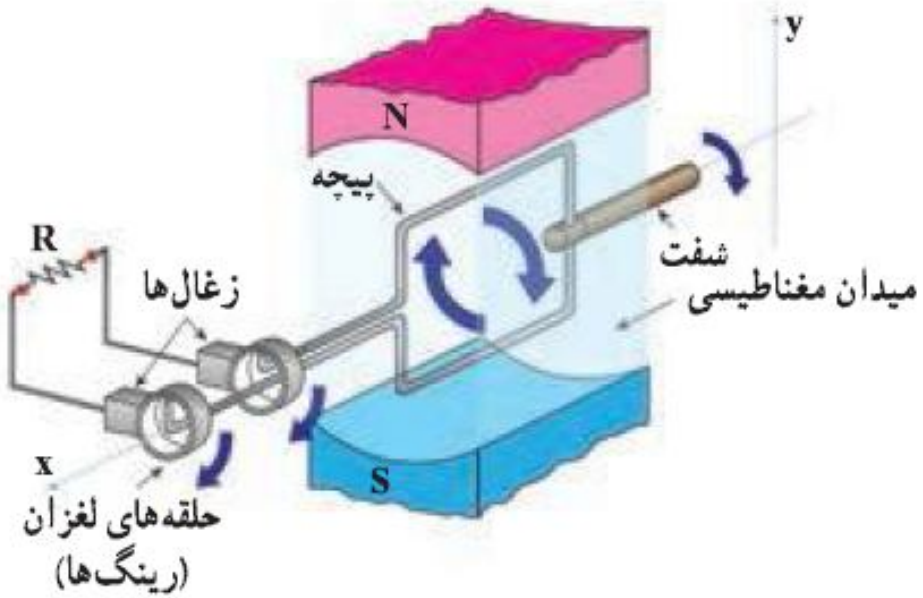


در مدار جریان متناوب، به دلیل تغییر جهت جریان برحسب زمان، نمی‌توان جهت مشخص و دائمی را برای جریان در نظر گرفت.

یکی از کاربردهای مهم القای الکترومغناطیسی، تولید جریان متناوب است.

ساده‌ترین راه برای تغییر شار، تغییر زاویهٔ α است. به همین دلیل متداول‌ترین روش تولید جریان القایی، تغییر زاویهٔ α است.

شکل پیچه‌ای را نشان می دهد که می‌تواند در میدان مغناطیسی یکنواخت دور محور x بچرخد. محور y را منطبق بر راستای میدان مغناطیسی انتخاب کرده‌ایم.



اجزای یک مولّد (ژنراتور) سادهٔ ac.

«دوره» یا «زمان تناوب» T

زمان چرخش یک دور کامل را «دوره» یا «زمان تناوب» می‌نامند.

اگر زمان یک دور چرخش پیچه T ثانیه باشد، پیچه در مدت t ثانیه، به اندازهٔ $\frac{t}{T}$ دور خواهد چرخید.

هر دور کامل برابر ۲π رادیان است. درنتیجه اگر پیچه در لحظهٔ $t=0$ در وضعیت عمود بر میدان مغناطیسی ($\alpha=0$) باشد،

پس از گذشت t ثانیه زاویهٔ α برابر است با :

$$\alpha = 2\pi\frac{t}{T}$$

بسامد زاویه‌ای

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\alpha = 2\pi\frac{t}{T}$$

$$\Rightarrow \quad \alpha = \omega t$$

شار مغناطیسی $\Phi=AB\cos\alpha$ که در لحظهٔ t از پیچه عبور می‌کند برابر است با :

$$\Phi=AB\cos\omega t$$

نیروی محرکهٔ القاشده در پیچه $\mathscr{E}=-N\frac{d\Phi}{dt}=-NAB\frac{d(\cos\omega t)}{dt}$ ⇨ $\mathscr{E}=NAB\omega\sin\omega t$

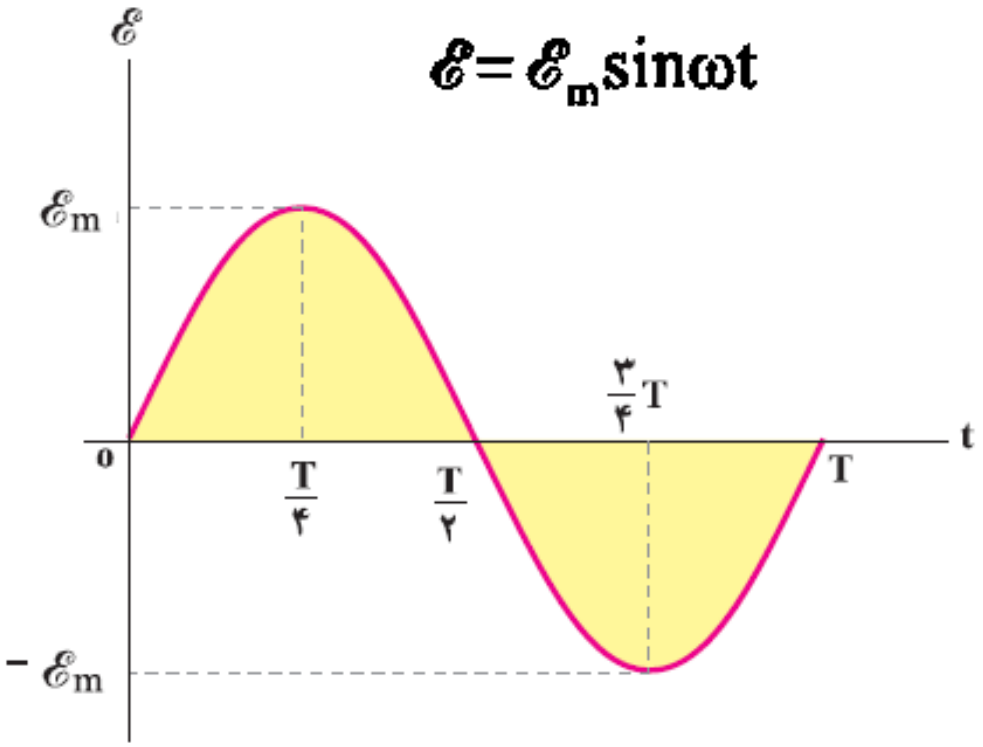
⇩

یعنی نیروی محرکه‌ای که در پیچه القا می‌شود با زمان تغییر می‌کند.

$\sin\omega t=1$ ⇨ $\mathscr{E}_m=NAB\omega$ ⇨ $\mathscr{E}=\mathscr{E}_m\sin\omega t$

این رابطه نشان می‌دهد که نیروی محرکهٔ القاشده به‌طور دوره‌ای تغییر می‌کند.

نمودار نیروی محرکهٔ القاشده برحسب زمان در یک دوره



اگر مقاومت مدار برابر R باشد، جریان حاصل از این نیروی محرکه از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

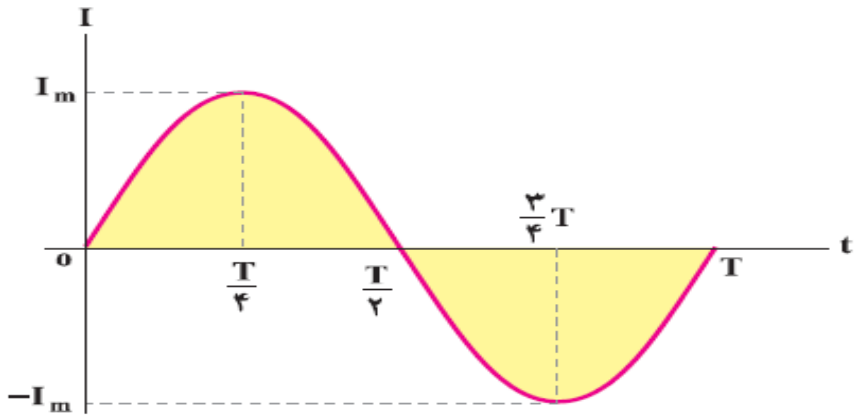
$$I = \frac{\mathscr{E}}{R} = \frac{\mathscr{E}_m}{R}\sin\omega t$$

$$I = I_m \sin\omega t$$

$$\sin\omega t = ۱ \Rightarrow I_m = \frac{\mathscr{E}_m}{R}$$

این رابطه نشان می‌دهد که جریان نیز با زمان تغییر می‌کند.

نمودار این جریان برحسب زمان، در یک دوره



جریان متناوبی به معادله‌ی ($I = ۵ \sin(۱۰۰ \pi t)$ (در SI) از سیملوله‌ای به ضریب خودالقایی $۰/۲ H$ عبور می کند.

الف) دوره‌ی تناوب این جریان، چند ثانیه است؟

ب) بیش‌ترین انرژی ذخیره شده در سیملوله چند ژول است؟

الف)

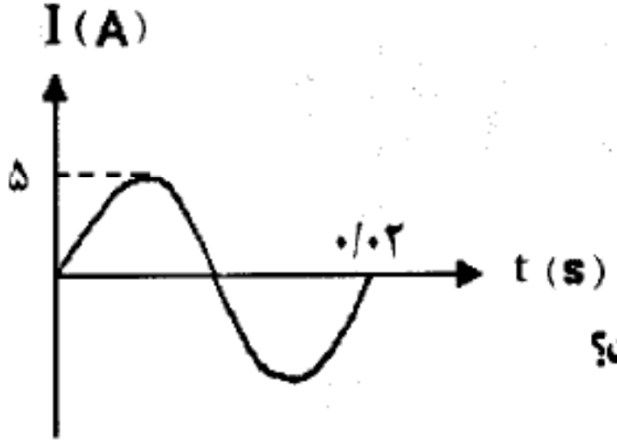
$$\omega = \frac{۲\pi}{T} \rightarrow T = \frac{۲\pi}{\omega} \qquad \rightarrow T = \frac{۲\pi}{۱۰۰\pi} = ۰/۰۲s$$

ب)

$$U = \frac{۱}{۲} LI^{۲}, U_{max} = \frac{۱}{۲} LI_{max}^{۲}$$

$$I_{max} = ۵A \rightarrow U_{max} = \frac{۱}{۲} \times ۰/۲ \times ۵^{۲} = ۲/۵J$$

در شکل زیر، نمودار تغییرات جریان متناوب برحسب زمان در یک دوره‌ی کامل برای یک پیچه رسم شده است.



الف) بسامد زاویه‌ای را محاسبه کنید.

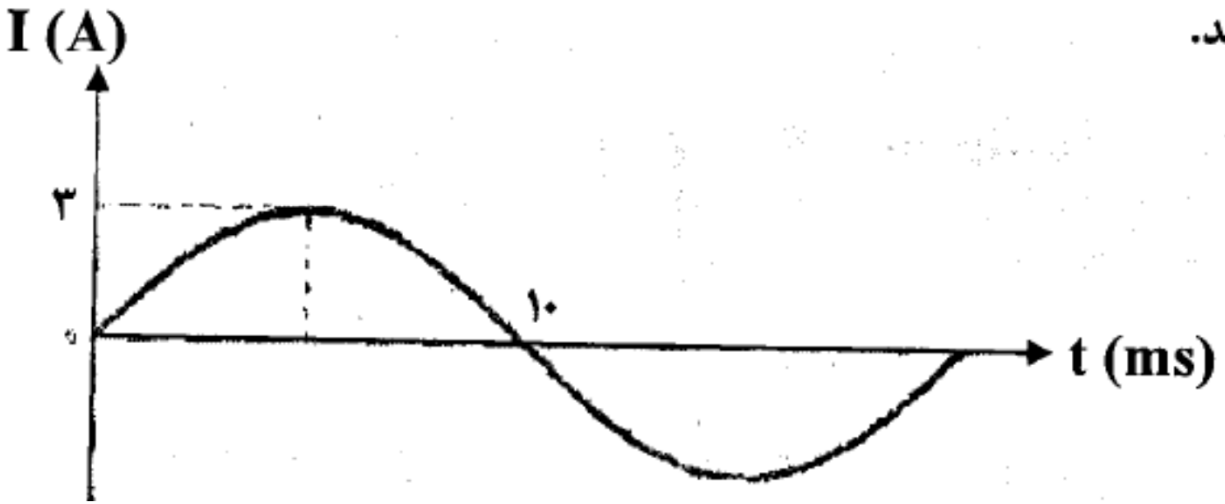
ب) اگر مقاومت پیچه ۸Ω باشد، بیشینه‌ی نیروی محرکه‌ی القایی چند ولت است؟

الف)
$$\omega = \frac{۲\pi}{T} \Rightarrow \omega = \frac{۲\pi}{۰/۰۲} \quad \omega = ۱۰۰\pi \quad rad/s$$

ب)
$$I_m = \frac{\varepsilon_m}{R} \Rightarrow ۵ = \frac{\varepsilon_m}{۸} \quad \varepsilon_m = ۴۰V$$

شکل روبه‌رو، نمودار جریان متناوب سینوسی را نشان می دهدکه یک مولد جریان متناوب تولید کرده است.

معادلهٔ جریان را برحسب زمان در SI بنویسید.



$$\omega = \frac{۲\pi}{T} \Rightarrow = \frac{۲\pi}{۲۰\times۱۰^{-۳}} = ۱۰۰\ \pi$$

$$I = ۳\sin ۱۰۰\pi t$$

معادله ی جریان متناوبی در SI به صورت $I = ۵\sin ۱۰۰\pi t$ است .

الف) دوره ی این جریان متناوب چند ثانیه است ؟

ب) در لحظه‌ی $t = \frac{۱}{۲۰۰}\ s$ شدت جریان چقدر است ؟

الف)

$$\omega = \frac{۲\pi}{T} \quad ، \quad ۱۰۰\pi = \frac{۲\pi}{T} \quad T = ۰/۰۲\ s$$

ب)

$$I = ۵\sin ۱۰۰\pi\left(\frac{۱}{۲۰۰}\right) = ۵\sin\frac{\pi}{۲} \quad I = ۵\ A$$

جریان متناوبی که بیشینهٔ آن ۲A و دورهٔ آن ۰/۰۲s است از یک رسانای ۵ اهمی می‌گذرد.

الف) در چه لحظه‌هایی جریان بیشینه است؟ در این لحظه‌ها نیروی محرکهٔ القایی چقدر است؟

ب) در لحظهٔ $t = \frac{۱}{۴۰۰}s$ ، جریان چقدر است؟

الف)

$$\omega = \frac{۲\pi}{T} = \frac{۲\pi}{۰/۰۲} = ۱۰۰\pi$$

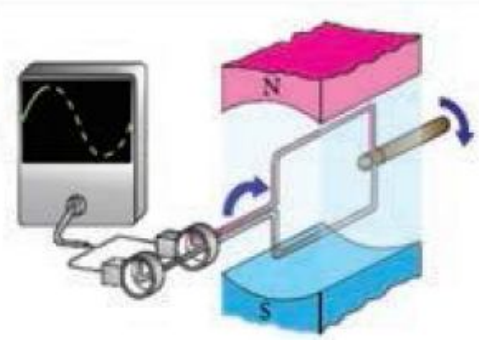
$$I = I_m \sin \omega t \longrightarrow I = ۲\sin ۱۰۰\pi t$$

$$\sin ۱۰۰\pi t = ۱ \longrightarrow \begin{cases} ۱۰۰\pi t = \frac{\pi}{۲} \rightarrow t = \frac{۱}{۲۰۰}s \\ ۱۰۰\pi t = \frac{۳\pi}{۲} \rightarrow t = \frac{۳}{۲۰۰}s \end{cases}$$

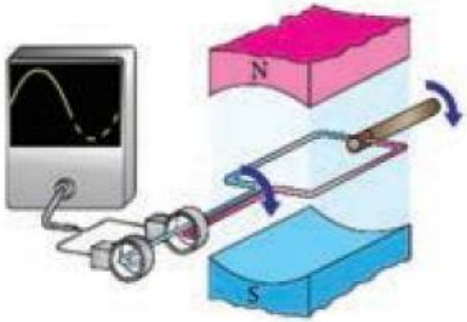
ب)

$$I = ۲\sin(۱۰۰\pi \times \frac{۱}{۴۰۰}) = \sqrt{۲}\ A$$

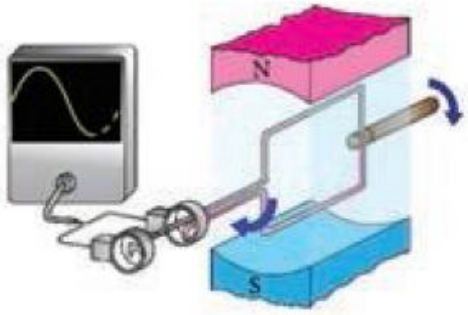
تولید جریان متناوب سینوسی توسط مولد در یک چرخهٔ کامل



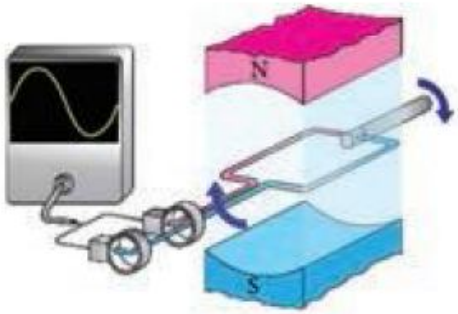
(الف)



(ب)

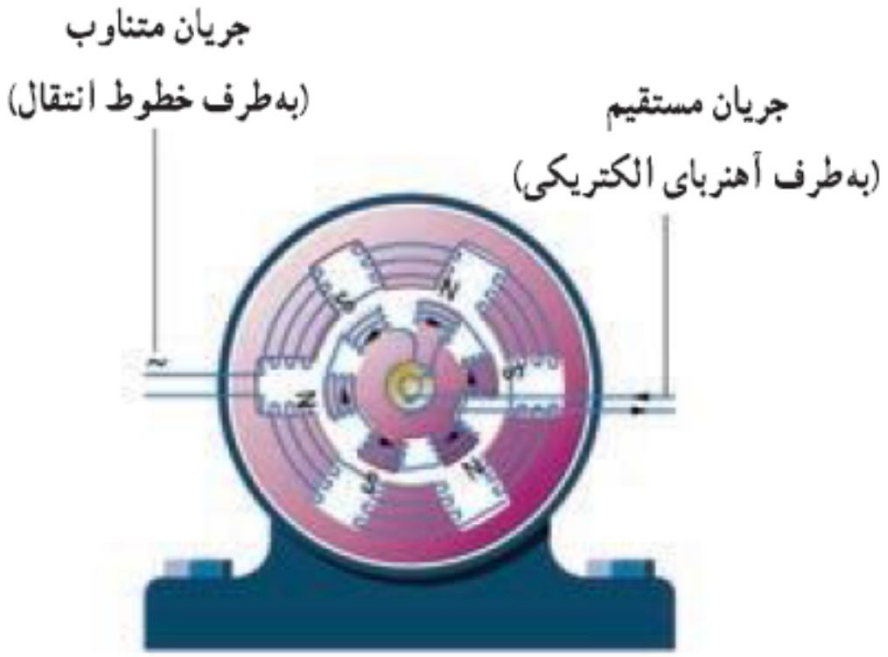


(پ)



(ت)

در مولدهای صنعتی پیچه‌ها ساکن‌اند و آهنربای الکتریکی در آنها می‌چرخد



در ایران بسامد برق تولیدشده ۵۰Hz است که این عدد نشان می‌دهد آهنربای الکتریکی در هر ثانیه، ۵۰ مرتبه به‌طور کامل در پیچه می‌چرخد.

مبدل‌ها

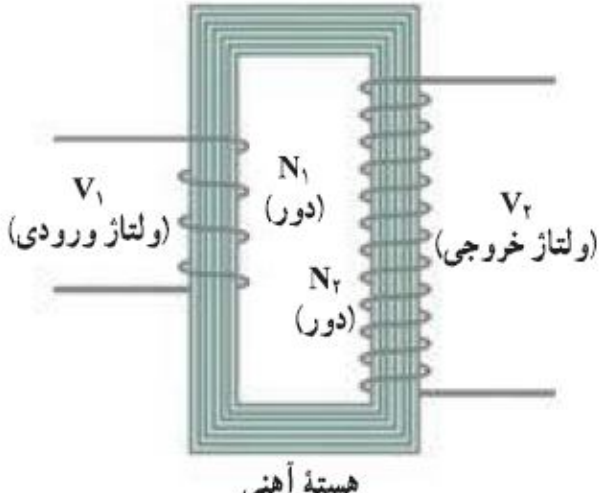
یکی از امتیازهای مهم توزیع توان الکتریکی ac بر dc آن است که افزایش و کاهش ولتاژ ac، بسیار آسان‌تر از dc است.

در انتقال توان در فاصله‌های دور می‌خواهیم تا حدّ امکان از ولتاژ هرچه بالاتر و جریان هرچه کمتری استفاده کنیم، این کار اتلاف RI^2 را در خط‌های انتقال کم می‌کند و می‌توان از سیم‌های نازک‌تری استفاده و در مصرف مواد اولیه صرفه‌جویی کرد.

از طرف دیگر، ملاحظات ایمنی و الزامات عایق‌بندی در ساخت وسایل خانگی و صنعتی، ولتاژهای به نسبت پایین‌تری را ضروری می‌کند.

تبدیل ولتاژ مورد نیاز با استفاده از مبدل‌ها صورت می‌گیرد.

شکل مبدلی شامل دو پیچه با تعداد دورهای متفاوت را نشان می‌دهد که به‌دور یک هستهٔ آهنی (فرومغناطیس نرم) پیچیده شده‌اند



پیچهٔ اولیهٔ با N_1 دور به یک مولد جریان متناوب بسته شده است که ولتاژ آن V_1 است. پیچهٔ ثانویه با N_2 دور به‌مصرف‌کننده‌ای وصل شده است که ولتاژ V_2 را تأمین کند.

برای یک مبدل آرمانی که مقاومت پیچه‌های آن ناچیز است، رابطهٔ زیر برقرار است :

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

در مبدل شکل زیر، اگر بیشینه ولتاژ مولد، برابر ۴V باشد، بیشینه ولتاژ دوسر پیچهٔ ثانویه چند ولت است؟

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow \frac{۱۲}{۱۸} = \frac{۴}{V_2} \Rightarrow V_2 = ۶V$$

الف) پیچهٔ اولیهٔ مبدلی با N_1 دور به ولتاژ V_1 وصل شده است. تعداد دورهای پیچهٔ ثانویه N_2 بر حسب N_1 چقدر باشد تا ولتاژ $\frac{1}{20}V_1$ را تأمین کند؟

ب) توسط یک مولد جریان متناوب ،جریانی با بیشینهٔ $3\ A$ و دورهٔ $0/02 s$ از القاگری به ضریب خود القایی $2\times10^{-2}\ H$ می‌گذرد.

۱- معادله جریان متناوب را بر حسب زمان بنویسید.

۲- بیشینهٔ انرژی ذخیره شده در القاگر را حساب کنید.

الف)

$$\frac{N_2}{N_1}=\frac{V_2}{V_1} \qquad \frac{N_2}{N_1}=\frac{\frac{1}{20}V_1}{V_1}\Rightarrow N_2=\frac{1}{20}N_1$$

ب۱)

$$\omega=\frac{2\pi}{T} \Rightarrow \omega=\frac{2\pi}{0/02} \qquad \omega=100\pi\ \ rad/s$$

$$I=I_m\sin\omega t \Rightarrow I=3\sin100\pi t$$

ب۲)

$$U_m=\frac{1}{2}LI_m^{\,2} \qquad U_m=\frac{1}{2}\times2\times10^{-2}\times3^2=9\times10^{-2}\ j$$