فصل دوم

مبانی ماشین‌های الکتریکی جریان مستقیم

هدف‌های رفتاری

پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که:

- ماشین‌های الکتریکی را تعریف کند.
- ماشین‌های الکتریکی را از نظر نوع تبدیل انرژی تعریف کند.
- ماشین‌های الکتریکی را از نظر نوع تبدیل انرژی طبقه‌بندی کند.
- قانون فاراده را تعریف کند.
- پدیده القا را شرح دهد.
- رابطه قانون فاراده را توضیح دهد.
- مولد ساده جریان مستقیم را تعریف کند.
- اجزای تشکیل‌دهنده مولد ساده جریان مستقیم را نام ببرد.
- طرز کار مولد ساده جریان مستقیم را توضیح دهد.
- اثر افزایش تعداد هادی‌ها در مولد جریان مستقیم را توضیح دهد.
- روش تعیین پلاریته ولتاژ در مولد جریان مستقیم را توضیح دهد.
- قانون لورنس را توضیح دهد.
- رابطه قانون لورنس را تشریح کند.
- موتور ساده جریان مستقیم را تعریف کند.
- اجزا تشکیل‌دهنده موتور جریان مستقیم را نام ببرد.
- گشتاور را تعریف کند.
- رابطه گشتاور را توضیح دهد.
- طرز کار موتور ساده جریان مستقیم را توضیح دهد.
- اثر افزایش تعداد هادی‌ها در موتور ساده جریان مستقیم را توضیح دهد.
- روش تغییر جهت گردش در موتور ساده جریان مستقیم را توضیح دهد.

- اجزا تشکیل دهنده یک ماشین جریان مستقیم را نام ببرد.
- وظیفه قسمت ساکن در یک ماشین جریان مستقیم را توضیح دهد.
- وظیفه قسمت گردان در یک ماشین جریان مستقیم را توضیح دهد.
- وظیفه مجموعه جاروبک و جاروبک نگه‌دار را توضیح دهد.
- سیم‌بندی آرمیچر را تعریف کند.
- خصوصیات سیم‌بندی آرمیچر را توضیح دهد.
- گام‌های سیم‌بندی آرمیچر را تعریف کند.
- گام‌های سیم‌بندی را بر روی شکل آرمیچر مشخص کند.
- روابط حاکم بر گام‌های سیم‌بندی را بیان کند.
- انواع سیم‌بندی آرمیچر را توضیح دهد.
- انواع دیاگرام‌های سیم‌بندی را از روی شکل تمیز دهد.
- اطلاعات انواع سیم‌بندی آرمیچر را از روی شکل مربوطه استخراج کند.
- ولتاژ جریان و مقاومت اهمی سیم‌بندی آرمیچر را تعریف کند.
- روابط حاکم بر ولتاژ، جریان و مقاومت اهمی سیم‌بندی آرمیچر را توضیح دهد.
- نیروی محرکه القایی و گشتاور تولیدی در ماشین واقعی را توضیح دهد.
- سیم‌بندی آرمیچر از نظر ولتاژ، جریان و توان را با یک‌دیگر مقایسه کند.
- کاربرد هر یک از انواع سیم‌بندی آرمیچر را توضیح دهد.
- عکس‌العمل آرمیچر را تعریف کند.
- اثرات ناشی از عکس‌العمل آرمیچر را توضیح دهد.
- راه‌های مقابله با اثر عکس‌العمل آرمیچر را توضیح دهد.
- کموتاسیون را تعریف کنید.
- اثرات ناشی از کموتاسیون را توضیح دهد.
- راه‌های مقابله با کموتاسیون را توضیح دهد.
- به پرسش‌های این فصل پاسخ دهد.
- تمرین‌های این فصل را حل نماید.

مقدمه

انرژی الکتریکی یک منبع انرژی تمیز و کارآمد است و به راحتی در منازل، ادارات و کارخانجات قابل استفاده است. برخی از مصرف‌کننده‌ها مثل لامپ یا بخاری برقی به انرژی الکتریکی نیاز دارند و برخی دیگر مانند قطارهای مترو یا آسانسور به انرژی مکانیکی نیاز دارند.

وسایلی که انرژی الکتریکی را مصرف یا تولید می‌کنند در مقایسه با دیگر وسایل که با سوخت‌های فسیلی مانند بنزین یا گازوییل کار می‌کنند آلودگی زیست محیطی کم‌تری دارند، ضمن این‌که از مزایا و راندمان بالاتری برخوردار هستند.

شکل ۱ ـ ۲

انرژی الکتریکی می‌تواند به انرژی مکانیکی تبدیل شود و هم‌چنین تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی نیز میسر است. دستگاه‌هایی که این دو انرژی را به هم تبدیل می‌کنند، «ماشین‌های الکتریکی[۱]» نام دارند. فرآیند تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی و بالعکس «تبدیل انرژی الکترومکانیکی» نامیده می‌شود.

ماشین‌های الکتریکی رابطی بین سیستم الکتریکی و سیستم مکانیکی محسوب می‌شوند که این ارتباط در ماشین‌های الکتریکی بر مبنای «میدان الکترومغناطیسی[۲]» صورت می‌گیرد.

شکل ۲ ـ ۲

ماشین‌های الکتریکی در زندگی روزمره امروزی حضور فراوانی دارند. «موتورهای الکتریکی[۳]» در لوازم خانگی مانند یخچال، جاروبرقی، همزن، پنکه، تهویه مطبوع و در بسیاری از وسایل الکتریکی مشابه دیگر حضور دارند و در راه‌اندازی آن‌ها نقش موثر دارند. در مراکز صنعتی و کارخانجات، عامل حرکت بیش‌تر ابزارها موتورهای الکتریکی هستند. «ژنراتورهای الکتریکی[۴]» نیز با تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی نقش اصلی را در تامین برق مورد نیاز مصرف‌کننده‌های الکتریکی ایفا می‌کنند.

در بررسی ماشین‌های الکتریکی همواره سعی بر آن است با ارایه روابط و مدل ریاضی مناسب، رابطه بین ورودی و خروجی آن‌ها تبیین و طرز کارشان تحلیل شود.

در این فصل ضمن آشنایی با ساختمان داخلی ماشین‌های الکتریکی جریان مستقیم به طرز کار آن‌ها نیز پرداخته می‌شود.

۱. Electrical Machines ۲. Magnetic Field ۳. Electric Motors ۴. Electric Generators

۱ ـ ۲ ـ طبقه‌بندی ماشین‌های الکتریکی

ماشـین‌های الکتریکـی از دو دیـدگاه «نوع تبدیل انرژی» و «نوع جریان الکتریکی» طبقه‌بندی می‌شوند.

از دیـدگاه انـرژی، اگـر ماشـین الکتریکـی انرژی الکتریکـی را به انـرژی مکانیکی تبدیل کنـد «موتور الکتریکی» نامیده می‌شود. و اگر این ماشین الکتریکی، انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل کند «ژنراتور الکتریکی» نامیده می‌شود.

ماشـین‌های الکتریکـی اعـم از موتـور یـا ژنراتور الکتریکـی، از دیدگاه نوع جریان در دو دسـته «جریان متنـاوب AC» و «جریان مسـتقیم DC» طبقه‌بندی می‌شـوند. اگر ماشـین الکتریکی بـرای کار در جریان متنـاوب AC طراحی شـود آن را «ماشـین الکتریکی جریـان متنـاوب[1]» می‌نامنـد و در صورتی‌که برای کار در جریان مسـتقیم DC طراحی شـود آن را «ماشین الکتریکی جریان مستقیم[2]» می‌نامند.

در ماشـین‌های الکتریکـی فرآینـد تبدیـل انرژی برگشـت‌پذیر[3] است. بدین معنی که با رعایت یک سری ملاحظات عملی، هر ماشین الکتریکی می‌تواند به‌عنوان یک موتور الکتریکی، انـرژی الکتریکی را به مکانیکی و یا به‌عنوان یک ژنراتـور، انرژی مکانیکی را به الکتریکی تبدیل کند و مورد استفاده قرار گیرد.

مایکل فاراده

در سال ۱۷۹۱ در یک خانواده فقیر انگلیسی به دنیا آمد. مایکل فاراده پسری بسیار کنجکاو بود و علاقه زیادی به پرسیدن در مورد مطالب علمی داشت. وی به مباحث انرژی علاقه داشـت و مطالعـات و آزمایش‌های فراوانی در این حوزه انجام داد. این آزمایش‌ها منجر به کشف الکترومغناطیس شد. مایکل فاراده یکی از بزرگ‌ترین فیزیکدانانی بود که توجه زیادی به تجربه و آزمایش کردن نظریات و افکارش داشت. وی در سال ۱۸۶۷ وفات یافت.

منبع www.tavanir.org.ir

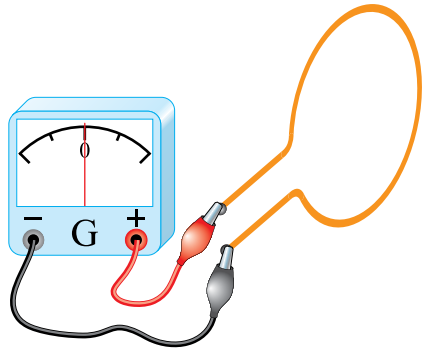
۲ ـ۲ ـ قانون القای الکترومغناطیسی فاراده[4]

«قانون القـای الکترومغناطیسـی فـاراده» یکی از اساسـی‌ترین قوانین مغناطیسـی در فیزیک است. طرز کار وسایل الکتریکی که الکترومغناطیس در آن‌ها نقش دارد به کمک قانون القای الکترومغناطیسی فاراده قابل فهم است؛ به خصوص در تحلیل طرز کار وسایل تبدیل انـرژی الکترومکانیکـی اعم از موتور یـا ژنراتور کاربرد فراوان دارد.

قانون القای الکترومغناطیسی فاراده و روابط حاکم بر آن را می‌توان با انجام چند آزمایش به‌دست آورد.

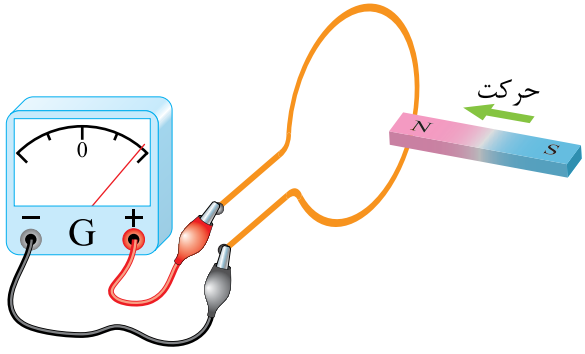
آزمایش ۱ ـ مداری متشکل از یک حلقه[5] هادی که دو سـر آن به یـک گالوانومتر[6] متـصل اسـت در شکل (۳ ـ ۲) نشان داده شده است.

۱. Alternating Current Machine ۲. Direct Current Machine ۳. Reversile Energy
۴. Faraday's law of electromagnetic induction ۵. Turn
۶. گالوانومتر یک آمپرمتر بسیار دقیق است که با کم‌ترین جریان الکتریکی منحرف می‌شود.



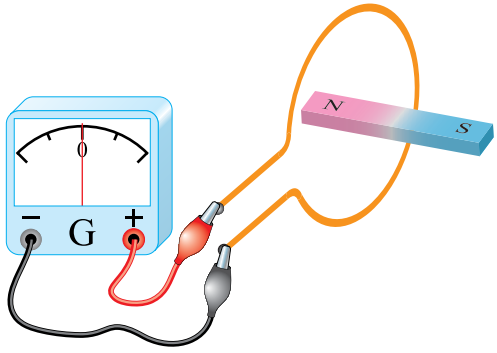
شکل ۳ ـ ۲

اگر یک آهن‌ربای دایم از طرف قطب شـمال N آن مطابق شکل (۴ ـ ۲) داخل حلقه شود، عقربه گالوانومتر منحرف می‌شـود. انحراف عقربـه گالوانومتر به معنای عبور جریان از گالوانومتر است.



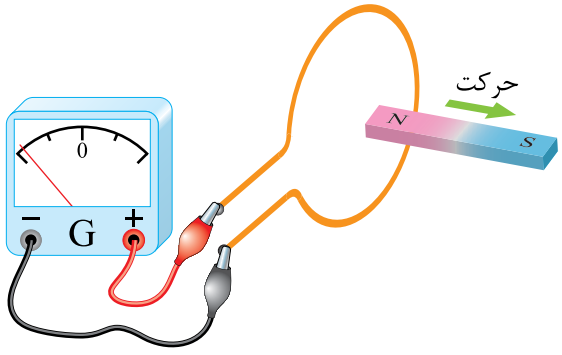
شکل ۴ ـ ۲

در صورتی‌که آهن‌ربای دایم نسـبت به حلقه مطابق شـکل (۵ ـ ۲) حرکتی نداشته باشـد، عقربه گالوانومتر منحرف نخواهد شد.



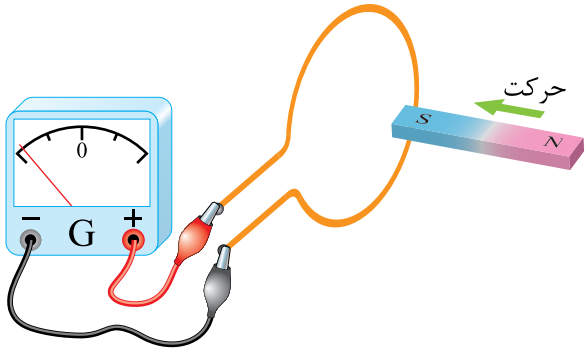
شکل ۵ ـ ۲

وقـتی‌کـه آهـن‌ربای دایـم از حـلقه مـطابق شکل (۶ ـ ۲) دور شـود، عقربـه گالوانومتـر در جهت عکس حالت قبل منحرف می‌شود. یعنی جهت جریان در حلقه تغییر کرده است.



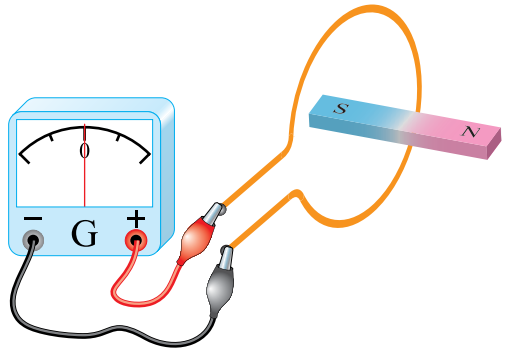
شکل ۶ ـ ۲

در ادامـه آزمایش اگر قطب جنوب S آهن‌ربای دایم مطابق شکل (۷ ـ ۲) داخل حلقه شود، عقربه گالوانومتر بر خـلاف حالتی که قطب شـمال N وارد حلقه شـد منحرف می‌گردد.



شکل ۷ ـ ۲

در این حالت نیز در صورتی‌که آهن‌ربای دایم نسبت به حلقه مطابق شـکل (۸ ـ ۲) حرکتی نداشـته باشد، عقربه‌ی گالوانومتر منحرف نخواهد شد.



شکل ۸ ـ ۲

بدین ترتیب در این آزمایش پدیده‌ای مشاهده می‌شود که در اثر حرکت آهن‌ربای دایم نسبت به حلقه به‌وجود آمده است.

در آزمایش ۱ جریانی که در حلقه برقرار می‌شود را «جریان القایی[1]» می‌نامند. می‌دانید عامل جاری شدن جریان در هر مدار الکتریکی نیروی محرکه (E) است. جریان القایی نیز ناشی از یک نیروی محرکه است که آن را «نیروی محرکه القایی[2]» می‌نامند. نیروی محرکه القایی را به اختصار با EMF نشان می دهند.

فاراده با آزمایش‌هایی نظیر این آزمایش، توانست قانونی به دست آورد که به «قانون القای الکترومغناطیسی فاراده» مشهور شد. وی بر اساس این آزمایش‌ها متوجه شد که تغییر فوران مغناطیسی مهم‌ترین عامل ایجاد نیروی محرکه القایی است؛ لذا قانون القای الکترومغناطیس فاراده را چنین تعریف کرد:

«مقدار نیروی محرکه‌ی القایی در هر مدار با آهنگ تغییر فوران متناسب است».

فاراده به کمک این قانون برای محاسبه مقدار نیروی محرکه القایی رابطه ریاضی (۱ ـ ۲) را ارایه کرد. این رابطه بیان ریاضی قانون القای الکترومغناطیسی فاراده است.

$$e \propto \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \qquad (۲-۱)$$

در این رابطه:

$\Delta\varphi$ تغییرات فوران مغناطیسی بر حسب وبر [wb]

Δt مدت زمان وقوع تغییرات فوران مغناطیسی بر حسب ثانیه (s)

e نیروی محرکه القایی بر حسب ولت [V]

نیروی محرکه القایی e در عمل بسیار حایز اهمیت است. جای خوشبختی است که چراغ‌های اتاقی که در آن این کتاب را می‌خوانید با استفاده از نیروی محرکه‌ی القایی حاصل از یک ژنراتور روشن می‌شوند.

اگر به‌جای استفاده از یک حلقه سیم، از سیم‌پیچی با N حلقه، آزمایش فاراده تکرار شود، در هر حلقه سیم‌پیچ نیروی محرکه القایی ایجاد می‌شود و این نیروها‌ی محرکه با یک‌دیگر جمع می‌شوند تا نیروی محرکه القایی سیم‌پیچ به‌دست آید؛ لذا مقدار نیروی محرکه القایی در سیم پیچ از رابطه (۲ ـ ۲) تعیین می‌شود.

$$e = \mathrm{N}\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \qquad (۲-۲)$$

نیروی محرکه القایی e جریان القایی در سیم‌پیچ جاری می‌کند که از رابطه (۳ ـ ۲) به‌دست می‌آید:

$$i = \frac{e}{\mathrm{Z}} \qquad (۲-۳)$$

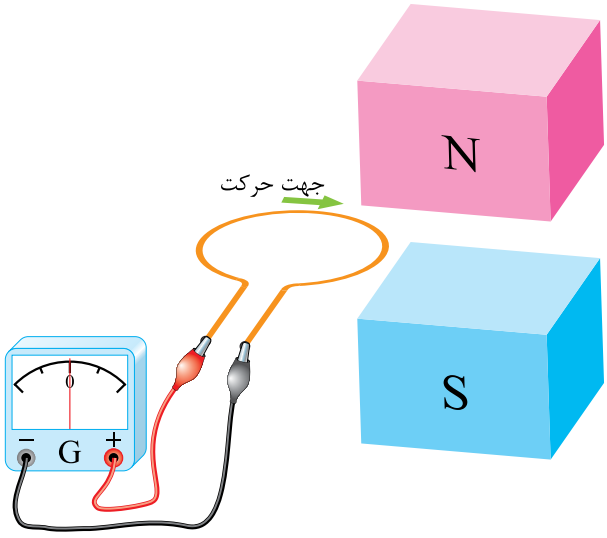
در این رابطه:

Z مقاومت ظاهری[3] سیم‌پیچ بر حسب اهم [Ω]

i شدت جریان القایی سیم‌پیچ بر حسب آمپر [A]

۱. Induced Current ۲. Electromotive Force ۳. Impedance

آزمایش ۲ ــ حلقه هادی مستطیل شکل متصل به یک گالوانومتر در بیرون میدان مغناطیسی B ناشی از دو قطب N و S یک آهن‌ربای قوی در شکل (۹ ـ ۲) نشان داده شده است. حلقه در جهت نشان داده شده از درون میدان مغناطیسی عبور داده می‌شود.

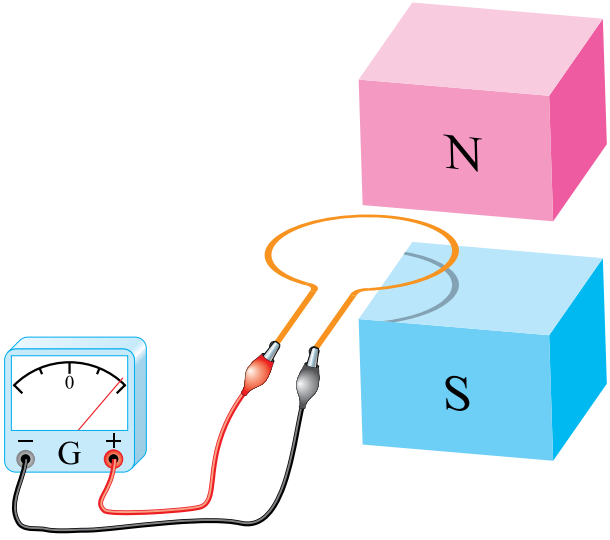


شکل ۹ ــ ۲

با حرکت حلقه در هنگام ورود به میدان مغناطیسی، فورانی که از سطح حلقه می‌گذرد افزایش می‌یابد و هنگام خروج از میدان مغناطیسی، فورانی که از سطح حلقه می‌گذرد کاهش می‌یابد و به صفر می‌رسد. این تغییر فوران طبق قانون القای الکترومغناطیسی فاراده در حلقه نیروی محرکه القا می‌کند و گالوانومتر منحرف می‌شود.

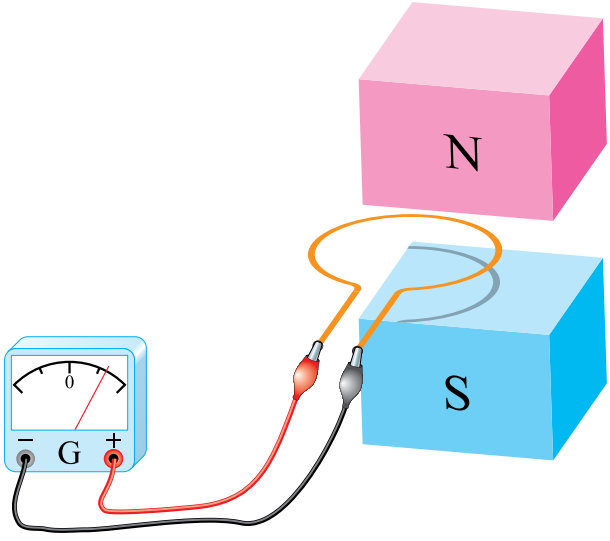
لحظه ورود حلقه به درون میدان مغناطیسی را شکل (۱۰ ـ ۲) نشان می‌دهد.

در این لحظه فوران مغناطیسی بخشی از سطح حلقه را می‌پوشاند. تصویر حلقه روی قطب S این موضوع را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰ ــ ۲

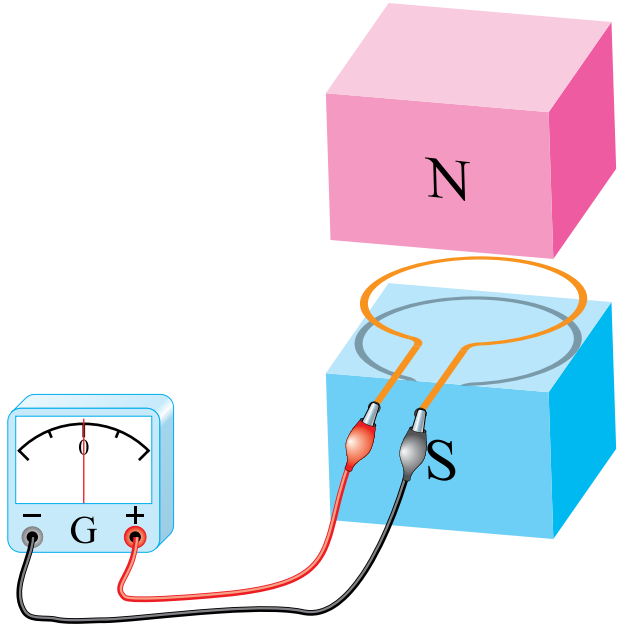
هرچه حلقه بیش‌تر وارد میدان مغناطیسی می‌شود فوران بیش‌تری سطح حلقه را می‌پوشاند. شکل (۱۱ ـ ۲).



شکل ۱۱ ــ ۲

این تغییر فوران طبق قانون فاراده نیروی محرکه القایی در حلقه ایجاد می‌کند. لذا گالوانومتر منحرف می‌شود.

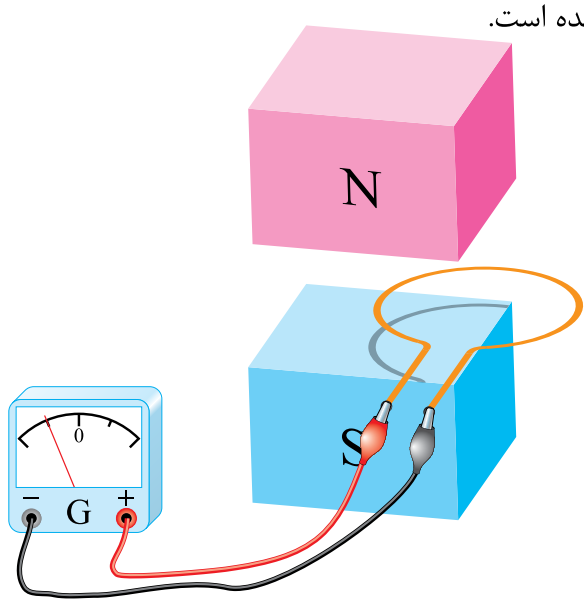
شکل (۱۲ ـ ۲) لحظه‌ای را نشان می‌دهد که حلقه به‌صورت کامل وارد میدان مغناطیسی شده است.



شکل ۱۲ ـ ۲

تصویر حلقه روی قطب S این موضوع را نشان می‌دهد. با این‌که تمام فوران مغناطیسی سطح حلقه را پوشانده است اما حرکت حلقه در این لحظه موجب تغییر فوران در سطح حلقه نخواهد شد. لذا در آن نیروی محرکه القا نمی‌شود و گالوانومتر صفر را نشان می دهد.

لحظه‌ی خروج حلقه در شکل (۱۳ ـ ۲) نشان داده شده است.

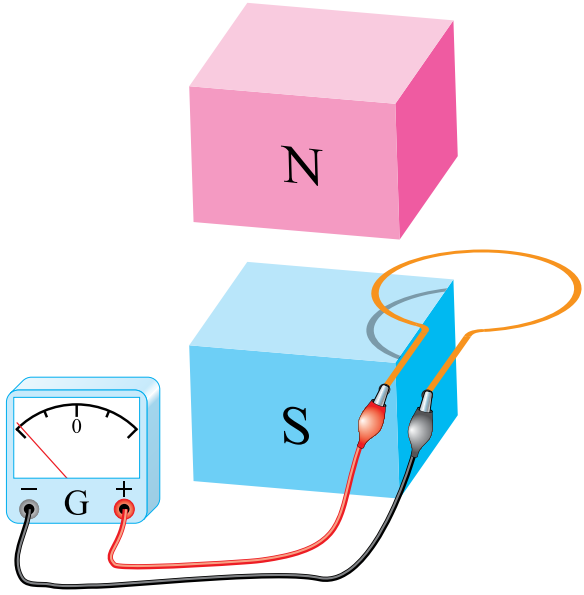


شکل ۱۳ ـ ۲

در این لحظه فوران مغناطیسی بخشی از سطح حلقه را می‌پوشاند و دوباره تغییرات فوران در سطح حلقه ایجاد می‌شود. بنابراین در حلقه نیروی محرکه القا می‌شود و گالوانومتر را در جهت مخالف منحرف می‌کند.

در لحظه خروج حلقه از میدان مغناطیسی فورانی که سطح حلقه را می‌پوشاند رو به کاهش است در صورتی‌که در زمان ورود حلقه به میدان مغناطیسی فورانی که سطح حلقه را می‌پوشاند رو به افزایش بوده است. لذا گالوانومتر به هنگام خروج حلقه از میدان مغناطیسی، برخلاف جهت ورود حلقه به میدان مغناطیسی، منحرف می‌شود.

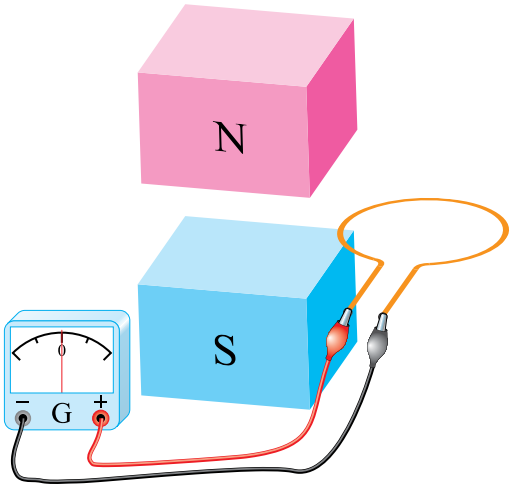
لحظه خروج حلقه از میدان مغناطیسی در شکل (۱۴ ـ ۲) نشان داده شده است.



شکل ۱۴ ـ ۲

مشاهده می‌شود سطحی از حلقه که توسط فوران پوشانده شده است رو به کاهش است. لذا تغییرات فوران در سطح حلقه، در آن نیروی محرکه القا می‌کند و عقربه گالوانومتر را منحرف خواهد کرد.

خروج کامل حلقه از میدان مغناطیسی در شکل (۱۵ ـ ۲) نشان داده شده است. در این لحظه فورانی از سطح حلقه نمی‌گذرد و تغییرات فوران آن به صفر رسیده است لذا در آن نیروی محرکه القا نمی‌شود و گالوانومتر صفر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵ ـ ۲

هاینریش لنز

هاینریش فردریش امیل لنز در سال ۱۸۰۴ میلادی به دنیا آمد. وی یک فیزیک‌دان روسی ـ آلمانی ـ استونیایی بود که قانون لنز را در سال ۱۸۳۳ میلادی فرمول‌بندی کرد. لنز تحصیلاتش را در سال ۱۸۲۰ میلادی در دانشگاه دوریت تکمیل کرد و سپس در دانشگاه سن پطرزبورگ روسیه مشغول به کار شد. وی در سال ۱۸۶۵ میلادی در رم ایتالیا درگذشت.

منبع www.wikipedia.com

۳ ـ ۲ ـ قانون لنز

در پدیده القای الکترومغناطیسی پلارتیه نیروی محرکه القایی و جهت جریان القایی مشخص نشد. پلاریته نیروی محرکه القایی و جهت جریان القایی با استفاده از «اصل بقای انرژی» تعیین خواهد شد. در این مبحث اصل بقای انرژی به‌صورت «قانون لنز[1]» بیان می‌شود که توسط آقای لنز در سال ۱۸۳۴ میلادی ارایه گردید. طبق این قانون:

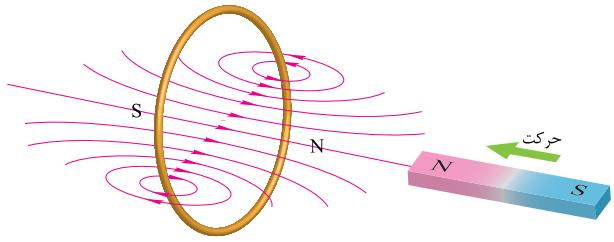
«جریان القایی در جهتی برقرار می‌شود که با عامل به‌وجود آورنده خود مخالفت کند».

قانون لنز در مورد جریان‌های القایی به کار می‌رود. از آنجایی که جریان در مدار بسته جاری می‌شود، لذا قانون لنز در مدارهای بسته کاربرد پیدا می‌کند.

در شکل (۱۶ ـ ۲) مقطع یک حلقه هادی و یک آهن‌ربا نشان داده شده است. هنگامی که قطب N آهن‌ربا به طرف حلقه «حرکت» داده می‌شود، مطابق آزمایش ۱ فاراده، جریان القایی در حلقه جاری می‌شود. این جریان، میدان مغناطیسی در اطراف حلقه تولید خواهد نمود. طبق قانون لنز جهت جریان القایی به گونه‌ای است که با عامل به‌وجودآورنده‌اش مخالفت می‌کند؛ بدین معنی که میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی با حرکت آهن‌ربا به سمت حلقه مخالفت

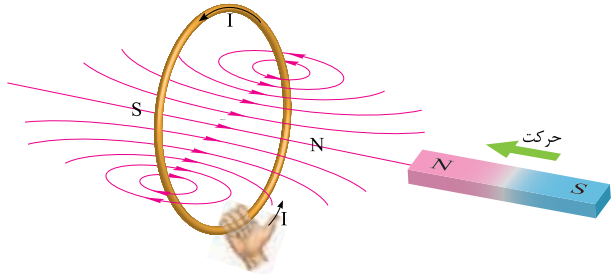
۱. Lenz's Law

خواهد کرد. یعنی قطب N میدان حلقه مقابل قطب N آهن‌ربا قرار می‌گیرد تا با ایجاد نیروی دافعه مانع حرکت آهن‌ربا به سمت حلقه شود.



شکل ۱۶ ـ ۲

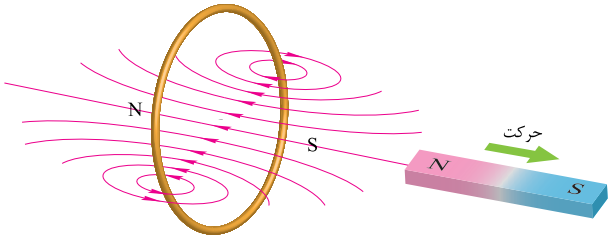
با مشخص شدن محل قطب‌های N و S اطراف حلقه جهت میدان مغناطیسی آن تعیین می‌شود. اکنون بنا به قانون شست بخش (۵ ـ ۱) مطابق شکل (۱۷ ـ ۲) جهت جریان القایی تعیین می‌شود.



شکل ۱۷ ـ ۲

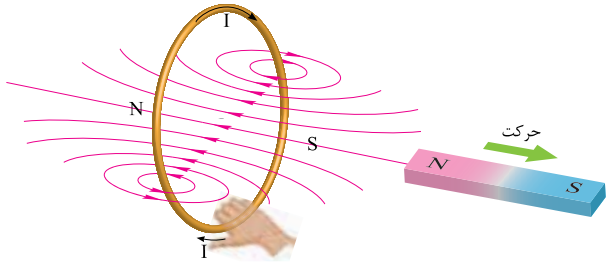
وقتی آهن‌ربا به طرف حلقه «حرکت» می‌کند، جریان القایی ظاهر می‌شود. به بیان قانون القای الکترومغناطیسی فاراده، این «حرکت دادن» همان «تغییر فوران» است که جریان القایی را تولید می‌کند و طبق قانون لنز میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی با این «حرکت دادن» مخالفت خواهد کرد.

اگر آهن‌ربا مطابق شکل (۱۸ ـ ۲) به عقب حرکت داده شود، مطابق آزمایش ۱ فاراده نیز در این حالت جریان القایی در حلقه جاری می‌شود و طبق قانون لنز، میدان مغناطیسی ناشی از این جریان القایی نیز با عامل به‌وجود آورنده‌اش که همان «حرکت رو به عقب» آهن‌ربا است مخالفت خواهد کرد. یعنی میدان حلقه، قطب S خود را در مقابل قطب N آهن‌ربا قرار می‌دهد تا با ایجاد نیروی جاذبه مانع حرکت آهن‌ربا شود.



شکل ۱۸ ـ ۲

با مشخص شدن محل قطب‌های N و S اطراف حلقه، جهت میدان مغناطیسی آن تعیین می‌شود. اکنون بنا به قانون شست بخش (۵ ـ ۱) مطابق شکل (۱۹ ـ ۲) جهت جریان القایی حلقه تعیین می‌شود.



شکل ۱۹ ـ ۲

با توجه به شکل‌های (۱۷ ـ ۲) و (۱۹ ـ ۲) مشاهده می‌شود جهت میدان مغناطیسی حلقه ناشی از جریان القایی همواره به گونه‌ای است که با «حرکت» آهن‌ربا مخالفت می‌کند.

«حرکت» آهن‌ربا به سمت حلقه یا دور شدن از حلقه همیشه تحت تاثیر نیروی مقاوم میدان مغناطیسی حلقه قرار می‌گیرد. از این رو لازم است نیرویی که صرف حرکت آهن‌ربا می‌گردد کار انجام دهد.

فعالیت ۱ ـ ۲

به نظر شما کار انجام شده برای حرکت آهن ربا به چه انرژی تبدیل می‌شود؟

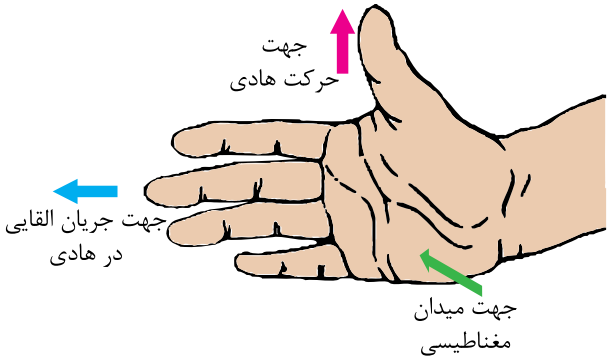
جهت میدان مغناطیسی جریان القایی به گونه‌ای است که همواره با عامل به‌وجود آورنده‌اش، «حرکت آهن‌ربا» مخالفت می‌کند. این مخالفت در رابطه قانون القای الکترومغناطیسی فاراده با یک علامت منفی به‌صورت رابطه (۴ ـ ۲) نشان داده می‌شود.

$$e = -N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \qquad (۲-۴)$$

علامت منفی بیانگر همان قانون لنز است که در محاسبات دخالت داده نمی‌شود. لذا e به‌عنوان «نیروی ضد محرکه القایی[۱]» معرفی می‌شود تا مخالفت آن بر اساس قانون لنز در نام آن گنجانیده شده باشد. نیروی ضد محرکه القایی را به اختصار با $Cemf$ نشان می‌دهند.

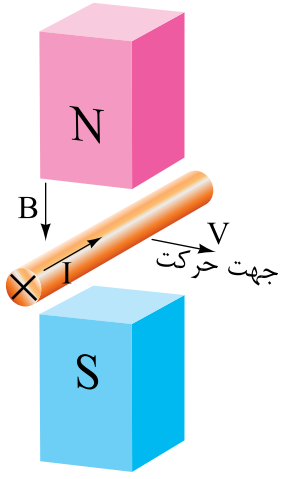
۴ ـ ۲ ـ قانون دست راست

تعیین جهت جریان القایی با قانون بقای انرژی که به‌صورت قانون لنز در بخش ۳ ـ ۲ مطرح شد در برخی مواقع دشوار است. روش ساده‌تر برای تعیین جهت جریان القایی «قانون دست راست[۲]» است که آن را نیز می‌توان به‌کار برد. طبق این قانون اگر دست راست را مطابق شکل (۲۰ ـ ۲) طوری نگه داشت که فوران مغناطیسی از قطب N به کف دست وارد شود و شست جهت حرکت هادی را نشان دهد، انگشتان جهت جریان القایی هادی را نشان خواهند داد.

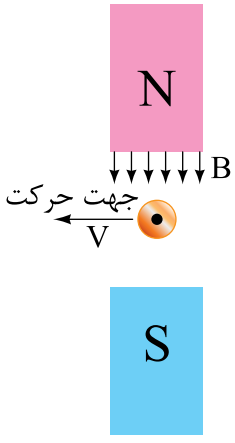


شکل ۲۰ ـ ۲ قانون دست راست

جهت جریان القایی یک هادی متحرک در میدان مغناطیسی توسط قانون دست راست در شکل‌های (۲۱ ـ ۲) و (۲۲ ـ ۲) تعیین شده است.



شکل ۲۱ ـ ۲



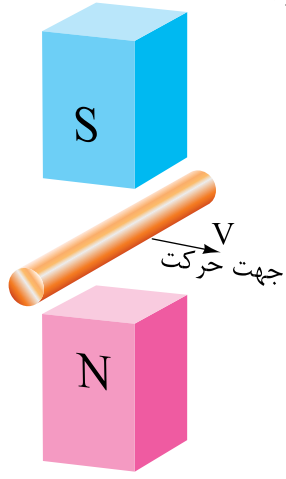
شکل ۲۲ ـ ۲

۱. Counter Electromotive Force

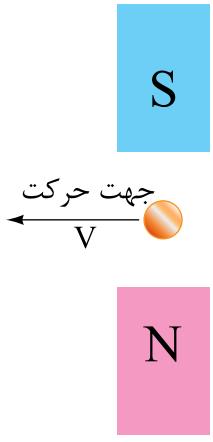
۲. Right Hand Rule

فعالیت ۲ ـ ۲

۱ ـ جهت جریان القایی هادی شـکل‌های (۲۳ ـ ۲) و (۲۴ ـ ۲) را با اسـتفاده از قانون دسـت راست تعیین کنید.



شکل ۲۳ ـ ۲



شکل ۲۴ ـ ۲

۲ ـ از جـواب‌های بـه‌دسـت آمـده در شـکل‌های (۲۱ ـ ۲) الی (۲۴ ـ ۲) چه نتیجه‌ای به‌دست می‌آید؟

پرسش ۱ ـ ۲

پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ تبدیـل انرژی الکتریکـی به مکانیکی و بالعکس ..... نامیده می‌شود.

۲ ـ طرز کار وسـایل الکتریکی کـه ..... در آن‌ها نقـش دارد به کمک قانون القای الکترومغناطیس فاراده قابل فهم است.

۳ ـ طبـق قانون لنز ..... به گونه‌ای اسـت که با عامل به‌وجود آورنده‌اش ..... می‌کند.

۴ ـ برای تعیین جهت جریان القایی از روش ..... استفاده می‌شود.

پرسش‌های صحیح غلط

۱ ـ ماشـین‌های الکتریکی رابطی بین سیستم‌های الکتریکی و مکانیکی محسوب می‌شوند.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ قانـون لنز در مـورد جریان‌هـای القایی به کار می‌رود.

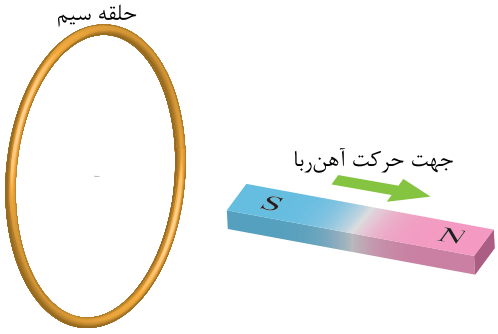
صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ ماشین الکتریکی را تعریف کنید.

۲ ـ ماشـین‌های الکتریکـی را چگونـه طبقه‌بندی می‌کنند؟ توضیح دهید.

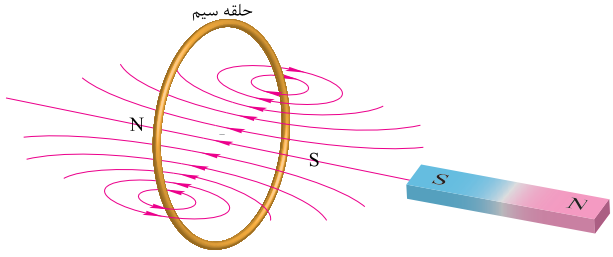
۳ ـ بـا توجه به شـکل زیر جهت جریـان القایی در حلقه را مشخص کنید.



۴ ـ برگشت‌پذیری فرآیند تبدیل انرژی در ماشین‌های الکتریکی یعنی چه؟

۵ ـ قانون لنز را تعریف کنید.

۶ ـ با توجه به شکل زیر جهت حرکت آهن‌ربا را مشخص کنید.



۷ ـ قانون دست راست را توضیح دهید و کاربرد آن را بنویسید.

۵ ـ ۲ ـ ژنراتورهای جریان مستقیم

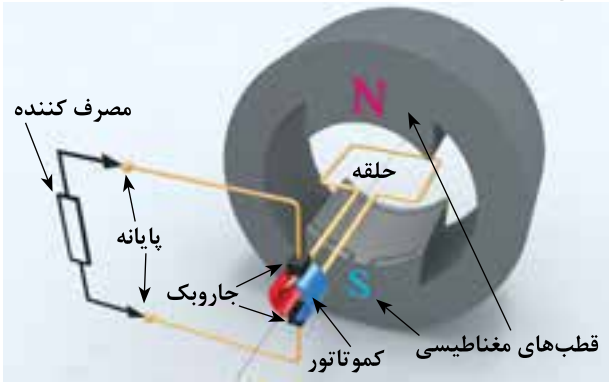
ژنراتورهای جریان مستقیم[۱]، انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. پلاریته ولتاژ در پایانه‌های آن‌ها ثابت است لذا جهت جریان در مصرف‌کننده عوض نمی‌شود. شکل (۲۵ ـ ۲)

شکل ۲۵ ـ ۲ ژنراتور جریان مستقیم

به منظور آشنایی با ژنراتورها، ابتدا به توضیح ژنراتور ساده پرداخته می‌شود. این ژنراتور ساختمانی بسیار ساده دارد. مقدار ولتاژ و جریان القایی در آن بسیار کم است و کاربرد عملی ندارد، اما برای آشنایی با طرز کار ژنراتورهای واقعی، مطالعه آن بسیار مفید است.

۱ ـ ۵ ـ ۲ ـ ساختمان ژنراتور ساده جریان مستقیم

ژنراتور ساده جریان مستقیم در شکل (۲۶ ـ ۲) نشان داده شده است.



شکل ۲۶ ـ ۲ ژنراتور ساده جریان مستقیم با آهنربای دایم

ساختمان آن متشکل از چهار قسمت می‌باشد که عبارتند از:

۱ ـ حلقه هادی

۲ ـ کموتاتور[۲]

۳ ـ جاروبک[۳]

۴ ـ قطب‌های مغناطیسی[۴]

حلقه هادی حول محورش، در میان میدان مغناطیسی قوی دو قطب N و S یک آهن‌ربا، آزادانه می‌تواند گردش کند. سرهای حلقه هادی به دو نیم استوانه مسی لحیم شده است. این دو نیم استوانه مسی با عایقی از جنس میکا از یک‌دیگر جدا شده‌اند. به هر یک از این نیم استوانه مسی «تیغه[۵]» می‌گویند. مجموعه تیغه‌ها و عایق میان آن‌ها را «کموتاتور» نامیده‌اند.

۱. Direct Current Generators ۲. Commutator ۳. Brush ۴. Magnetic Pole ۵. Lamel

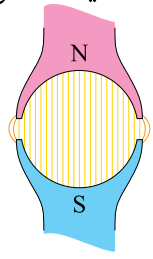
در این ژنراتور از دو جاروبک استفاده شده است. جاروبک‌ها بر روی کموتاتور قرار می‌گیرند. با گردش حلقه، کموتاتور متصل به آن در حال چرخش است و جاروبک‌ها با سایش به تیغه‌های کموتاتور، ارتباط الکتریکی حلقه هادی با مدار خارجی را برقرار می‌سازند و جریان القایی در آن را به مصرف‌کننده می‌رسانند.

جنس جاروبک‌ها معمولاً از گرافیت یا گرافیت فلزی است تا:

- مقاومت الکتریکی آن‌ها تا حد امکان کم باشد. لذا در اثر عبور جریان، تلفات حرارتی در جاروبک‌ها به حداقل می‌رسد.
- ضریب اصطکاک آن‌ها کم است تا علاوه بر کاهش تلفات مکانیکی، باعث فرسایش سریع کموتاتور نشوند.

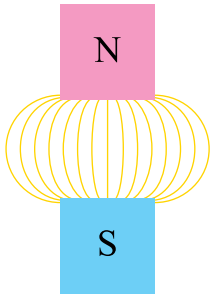
حلقه هادی از جنس مس انتخاب می‌شود. با گردش حلقه درون میدان مغناطیسی قطب‌ها، در آن نیروی محرکه القا می‌شود تا ولتاژ و جریان مورد نیاز مصرف‌کننده تامین شود.

نقش قطب‌ها ایجاد میدان مغناطیسی است که می‌توان توسط آهن‌ربای دایم به‌وجود آید. سطح قطب‌ها دارای انحنا می‌باشد. این انحنا باعث می‌شود چگالی فوران مغناطیسی B در هر نقطه از میدان مغناطیسی ثابت شود. میدان مغناطیسی با این خصوصیت را میدان مغناطیسی «یکنواخت» یا «همگن» می‌نامند. شکل (۲۷ ـ ۲)



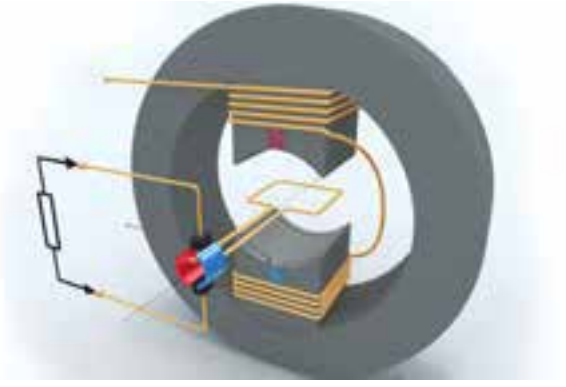
شکل ۲۷ ـ ۲ میدان مغناطیسی یکنواخت

اگر سطح قطب‌ها تخت باشد چگالی فوران مغناطیسی B در هر نقطه از میدان مغناطیسی ثابت نیست و فاصله میان خطوط نیروی مغناطیسی برابر نمی‌باشد. میدان مغناطیسی با این خصوصیت را میدان مغناطیسی «غیریکنواخت» یا «ناهمگن» می‌نامند. شکل (۲۸ ـ ۲)



شکل ۲۸ ـ ۲ میدان مغناطیسی غیریکنواخت

برای تولید میدان مغناطیسی می‌توان به‌جای استفاده از آهن‌ربای دایم، سیم‌پیچی بر روی قطب‌ها پیچید تا با عبور جریان از آن، میدان مغناطیسی ایجاد شود. این سیم‌پیچی را «سیم‌پیچی میدان[۱]» یا «سیم پیچی تحریک[۲]» می‌نامند. شکل (۲۹ ـ ۲)

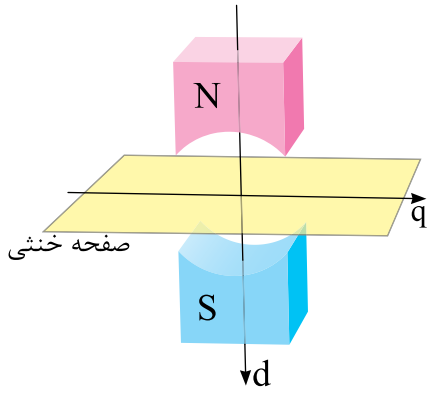


شکل ۲۹ ـ ۲ ژنراتور ساده جریان مستقیم با سیم‌پیچی تحریک

میدان مغناطیسی میان دو قطب غیرهمنام «میدان طولی[۳]» نام دارد. راستای این میدان را با «محور مستقیم[۴]» نشان می دهند و آن را «محور d» می‌نامند. راستای عمود بر محور مستقیم را با «محور متعامد[۵]»

۱. Field Winding ۲. Exciter Winding ۳. Direct Field ۴. Direct Axis ۵. Qudrature Axis

نشـــان می‌دهند و آن را «محور q» می‌نامند. مماس بر محور متعامد عمود بر محور مســـتقیم صفحه‌ای فرضی در نظـــر می‌گیرند که «صفحه خنثی» نام دارد. شـــکل (۲ ـ ۳۰)



شکل ۲ ـ ۳۰ محورهای d و q

پرسش ۲ ـ ۲

پرسش های کامل کردنی

۱ ـ ژنراتورهای جریان مســـتقیم انرژی ..... را به انرژی ..... تبدیل می‌کنند.

۲ ـ مجموعـــه ..... و ..... کموتاتـــور نامیـــده می‌شود.

پرسش‌های صحیح غلط

۱ ـ نقش قطب‌ها ایجاد میدان مغناطیسی است.

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ اجزای ســـاختمانی ژنراتور ساده جریان مستقیم را نام ببرید.

۲ ـ جنـــس جاروبک از چه موادی اســـت و باید چه ویژگی‌هایی داشته باشد؟

۳ ـ میـــدان مغناطیســـی غیر یکنواخـــت را تعریف کنید.

۴ ـ میدان مغناطیســـی یکنواخت و غیریکنواخت را ترسیم کنید.

۵ ـ مفاهیم زیر را تعریف کنید؟

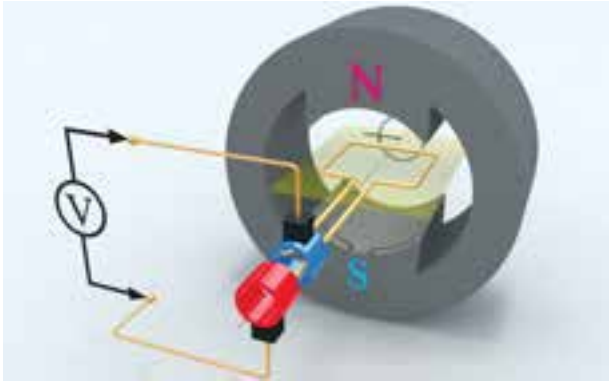
الف) میدان طولی ب) محور مستقیم

پ) محور متعامد ت) صفحه خنثی

۲ ـ ۵ ـ ۲ ـ طرز کار ژنراتور ساده جریان مستقیم

اســـاس کار ژنراتورهای الکتریکی، بـــر مبنای قانون القای الکترومغناطیســـی فاراده اســـت. برای آشـــنایی با طرز کار ژنراتورها ابتدا به طرز کار ژنراتور ســـاده جریان متناوب پرداخته می‌شود.

با جایگزینـــی دو عدد «رینگ[1]» به‌جـــای کموتاتور، ژنراتور ســـاده جریان مستقیم شکل (۲۶ ـ ۲) به ژنراتور ساده جریان متناوب تبدیل می‌شود. شکل (۳۱ ـ ۲)



شکل ۲ ـ ۳۱ ژنراتور ساده جریان متناوب

در ژنراتور شـــکل (۳۱ ـ ۲) با گردش حلقه، رینگ‌ها نیز به همراه آن می‌گردند و با ایجاد تغییر فوران نسبت به زمان طبق قانون القای الکترومغناطیســـی فاراده، در حلقه نیروی محرکه القا می‌شود.

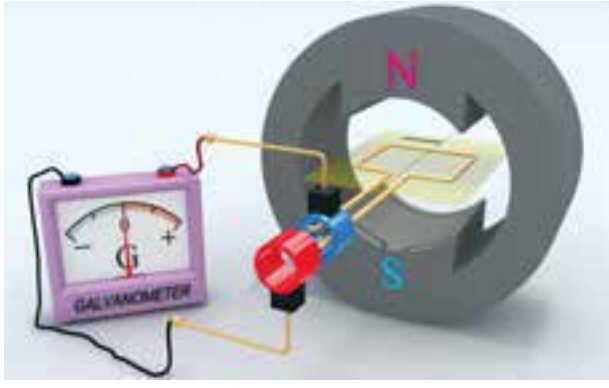
۱. Ring

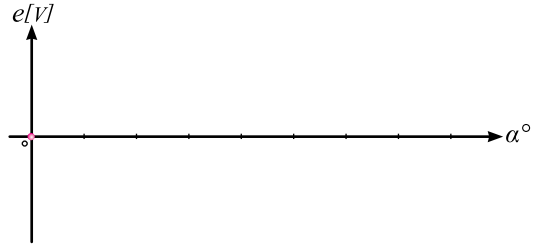
برای آشنایی با چگونگی القای نیروی محرکه، حلقه حول محورش در جهت حرکت عقربه ساعت دوران داده می‌شود و در چند لحظه، وضعیت آن بررسی خواهد شد. و با اتصال گالوانومتر به پایانه‌های ژنراتور، نیروی محرکه القایی در هر لحظه اندازه‌گیری می‌شود.

در اولین گام زمانی را که حلقه، در صفحه خنثی قرار دارد انتخاب شده است. شکل (۳۲ ـ ۲). در این شکل مشاهده می‌شود فوران قطب‌ها تمام سطح حلقه را می‌پوشاند. اندازه تصویر فرضی حلقه که بر روی سطح قطب S تشکیل شده است این موضوع را تایید می‌کند.

در این لحظه فوران، در سطح حلقه تغییرات ندارد. لذا طبق قانون القای الکترومغناطیسی فاراده در حلقه نیروی محرکه القا نمی‌شود و گالوانومتر صفر را نشان می‌دهد.

برای نشان دادن مقدار نیروی محرکه القایی در هر لحظه از دستگاه مختصات استفاده شده است که در آن محور افقی α نامیده شده است. این محور بر اساس زاویه بین صفحه حلقه با صفحه خنثی مدرج می‌شود. محور عمودی e نامیده شده است و بر اساس مقدار نیروی محرکه القایی بر حسب ولت مدرج می‌شود.





شکل ۳۲ ـ ۲

با شروع دوران حلقه، سطح حلقه نسبت به صفحه خنثی زاویه پیدا می‌کند و فورانی که در سطح حلقه محصور می‌شود کاهش می‌یابد. لحظه‌ای که $\alpha = ۴۵^\circ$ است در شکل (۳۳ ـ ۲) نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود فوران کم‌تری سطح حلقه را می‌پوشاند. تصویر فرضی سطح حلقه روی قطب S این موضوع را تایید می‌کند. بنابراین در فاصله $۰ \langle \alpha \langle ۴۵^\circ$ فوران نسبت به زمان در حلقه تغییر کرده است و طبق قانون القای الکترومغناطیس فاراده در حلقه نیروی محرکه القا می‌شود.

در طی دورانِ حلقه زاویه α افزایش می‌یابد و فورانی که سطح حلقه را می‌پوشاند متناسب با $\sin\alpha$ تغییر خواهد کرد؛ لذا شکل نیروی محرکه القایی، سینوسی خواهد بود و مقدار آن نیز متناسب با $\sin\alpha$ است.

از آنجایی که در فاصله $۰ \langle \alpha \langle ۴۵^\circ$ «تغییرات فوران نسبت به زمان» برای سطح حلقه زیاد شده است مقدار نیروی محرکه القایی در حلقه نیز افزایش می‌یابد. شکل موج ولتاژ القایی در این فاصله روی محور مختصات نشان داده شده است.