

## 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.
- اجزای 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.

- اجزای 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 کند.
- 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.

این ارتباط در ماشین‌های الکتریکی بر مبنای «میدان الکترومغناطیسی»<sup>۲</sup> صورت می‌گیرد.



شکل ۲-۲

ماشین‌های الکتریکی در زندگی روزمره امروزی حضور فراوانی دارند. «موتورهای الکتریکی»<sup>۳</sup> 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 مؤثر دارند. در مراکز صنعتی و کارخانجات، عامل حرکت بیش‌تر ابزارها موتورهای الکتریکی هستند. «ژنراتورهای الکتریکی»<sup>۴</sup> نیز با تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی نقش اصلی را در تأمین 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.

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 ۲-۱

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»<sup>۱</sup> نام دارند. فرایند تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی و بالعکس «تبدیل انرژی الکترومکانیکی» نامیده می‌شود. ماشین‌های الکتریکی رابطی بین سیستم الکتریکی و سیستم مکانیکی محسوب می‌شوند که

## ۱-۲- طبقه‌بندی ماشین‌های الکتریکی

ماشین‌های الکتریکی از دو دیدگاه «نوع تبدیل انرژی» و «نوع جریان الکتریکی» طبقه‌بندی می‌شوند. از دیدگاه انرژی، اگر ماشین الکتریکی انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل کند «موتور الکتریکی» نامیده می‌شود. و اگر این ماشین الکتریکی، انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل کند «ژنراتور الکتریکی» نامیده می‌شود. ماشین‌های الکتریکی اعم از موتور یا ژنراتور الکتریکی، از دیدگاه نوع جریان در دو دسته «جریان متناوب AC» و «جریان مستقیم DC» طبقه‌بندی

می‌شوند. اگر ماشین الکتریکی برای کار در جریان متناوب AC طراحی شود آن را «ماشین الکتریکی جریان متناوب<sup>۱</sup>» می‌نامند و در صورتی که برای کار در جریان مستقیم DC طراحی شود آن را «ماشین الکتریکی جریان مستقیم<sup>۲</sup>» می‌نامند.

در ماشین‌های الکتریکی فرایند تبدیل انرژی برگشت پذیر<sup>۳</sup> است. بدین معنی که با رعایت یک سری ملاحظات عملی، هر ماشین الکتریکی می‌تواند به‌عنوان یک موتور الکتریکی، انرژی الکتریکی را به مکانیکی و یا به‌عنوان یک ژنراتور، 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 داشت و مطالعات 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](http://www.tavanir.org.ir)

## ۲-۲- قانون القای الکترومغناطیسی فاراده<sup>۴</sup>

«قانون القای الکترومغناطیسی فاراده» یکی از اساسی‌ترین قوانین مغناطیسی 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 انرژی الکترومکانیکی اعم از موتور یا ژنراتور کاربرد

فراوان دارد.

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

**آزمایش ۱-** مداری متشکل از یک حلقه<sup>۵</sup> هادی که دو سر آن به یک گالوانومتر<sup>۶</sup> متصل است در شکل (۳-۲) نشان داده شده است.

۳. Reversible Energy Turn .۵

۲. Direct Current Machine

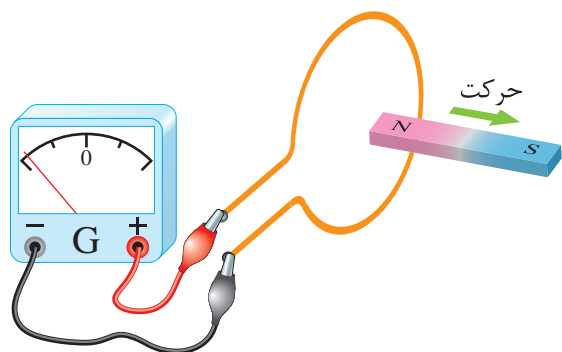
۱. Alternating Current Machine

۴. Faraday's law of electromagnetic induction

۶. گالوانومتر یک آمپر متر بسیار دقیق است که با کم‌ترین جریان الکتریکی منحرف می‌شود.

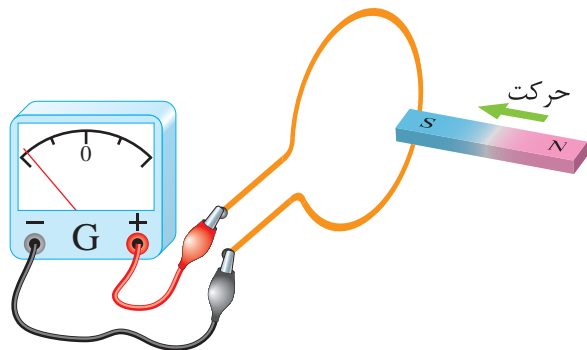


وقتی که آهن‌ربای دائم از حلقه مطابق شکل (۲ - ۶) دور شود، عقربه گالوانومتر در جهت عکس حالت قبل منحرف می‌شود. یعنی جهت جریان در حلقه تغییر کرده است.



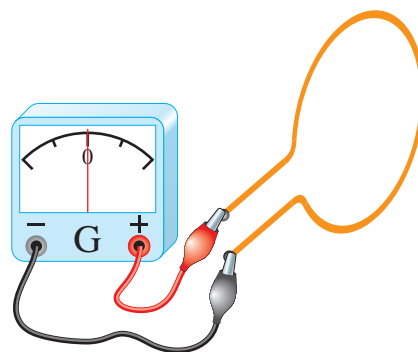
شکل ۲-۶

در ادامه آزمایش اگر قطب جنوب S آهن‌ربای دائم مطابق شکل (۲ - ۷) داخل حلقه شود، عقربه گالوانومتر بر خلاف حالتی که قطب شمال N وارد حلقه شد منحرف می‌گردد.



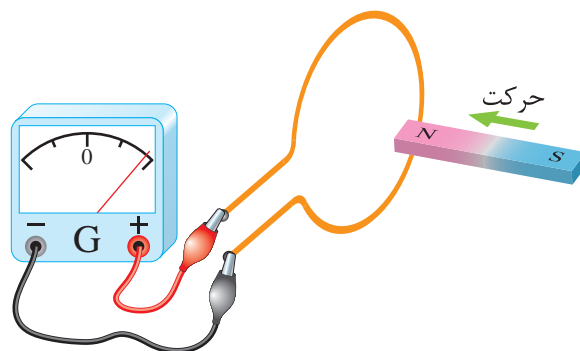
شکل ۲-۷

در این حالت نیز در صورتی که آهن‌ربای دائم نسبت به حلقه مطابق شکل (۲ - ۸) حرکتی نداشته باشد، عقربه‌ی گالوانومتر منحرف نخواهد شد.



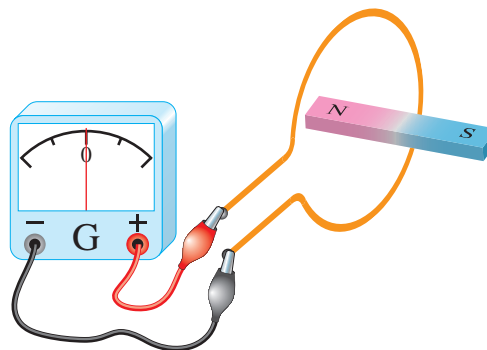
شکل ۲-۳

اگر یک آهن‌ربای دائم از طرف قطب شمال N آن مطابق شکل (۲ - ۴) داخل حلقه شود، عقربه گالوانومتر منحرف می‌شود. انحراف عقربه گالوانومتر به معنای عبور جریان از گالوانومتر است.



شکل ۲-۴

در صورتی که آهن‌ربای دائم نسبت به حلقه مطابق شکل (۲ - ۵) حرکتی نداشته باشد، عقربه گالوانومتر منحرف نخواهد شد.



شکل ۲-۵

$$e \propto \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (2-1)$$

در این رابطه:

$\Delta\phi$  تغییرات فوران مغناطیسی بر حسب وبر [wb]  
 $\Delta t$  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 حائز اهمیت است. جای خوشبختی است که چراغ‌های اتاکی که در آن این کتاب را می‌خوانید با استفاده از نیروی محرکه‌ی القایی حاصل از یک ژنراتور روشن می‌شوند.

اگر به جای 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 به دست آید؛ لذا مقدار نیروی محرکه القایی در سیم پیچ از رابطه (۲ - ۲) تعیین می‌شود.

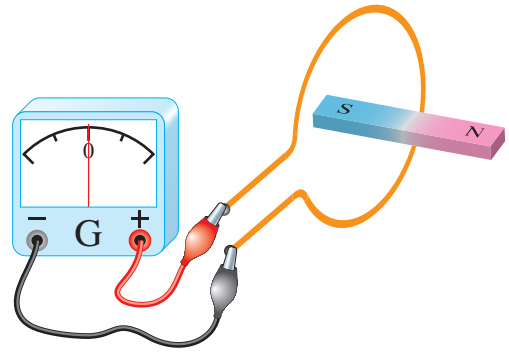
$$e = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (2-2)$$

نیروی محرکه القایی  $e$  جریان القایی در سیم‌پیچ جاری می‌کند که از رابطه (۲ - ۳) به دست می‌آید:

$$i = \frac{e}{Z} \quad (2-3)$$

در این رابطه:

$Z$  مقاومت ظاهری<sup>۳</sup> سیم‌پیچ بر حسب اهم [ $\Omega$ ]  
 $i$  شدت جریان القایی سیم‌پیچ بر حسب آمپر [A]



شکل ۸ - ۲

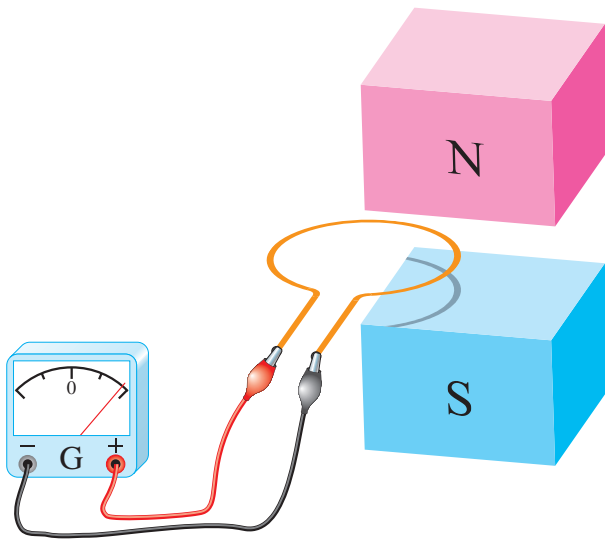
بدین ترتیب در این آزمایش پدیده‌ای مشاهده می‌شود که در اثر حرکت آهن‌ربای دائم نسبت به حلقه به وجود آمده است.

در آزمایش ۱ جریانی که در حلقه برقرار می‌شود را «جریان القایی»<sup>۱</sup> 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 EMF»<sup>۲</sup> می‌نامند. نیروی محرکه القایی را به اختصار با  $e$  نشان می‌دهند.

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».

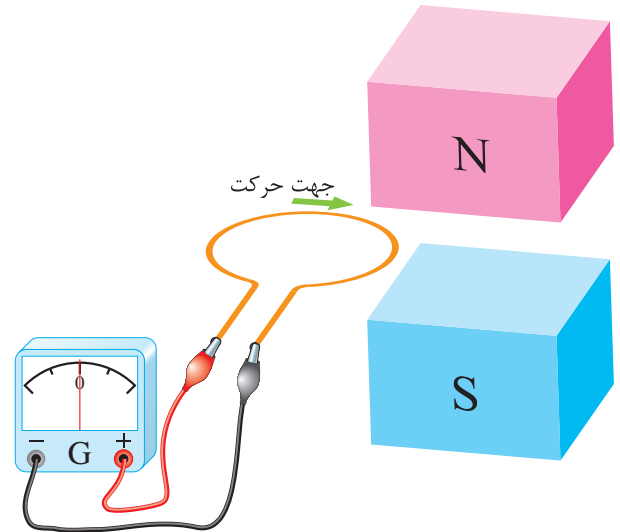
فاراده به کمک این قانون برای محاسبه مقدار نیروی محرکه القایی رابطه ریاضی (۱ - ۲) را ارائه کرد. این رابطه بیان ریاضی قانون القای الکترومغناطیسی فاراده است.

آزمایش ۲ - 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 (۲ - ۹) نشان داده شده است. حلقه در جهت نشان داده شده از درون میدان مغناطیسی عبور داده می‌شود.



شکل ۲-۱۰

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

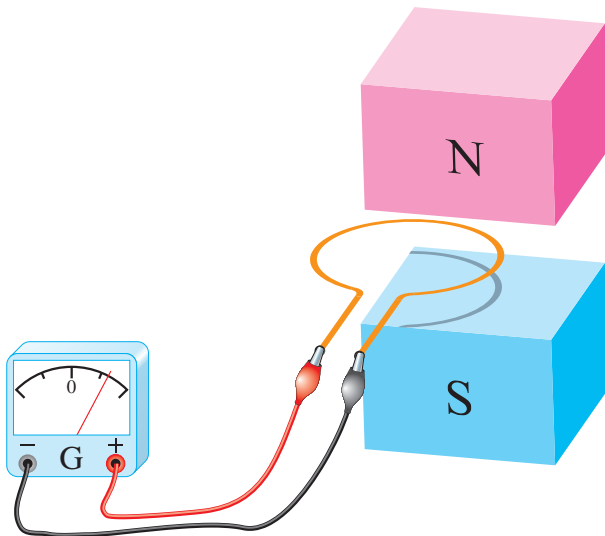


شکل ۲-۹

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 (۲ - ۱۰) نشان می‌دهد.

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



شکل ۲-۱۱

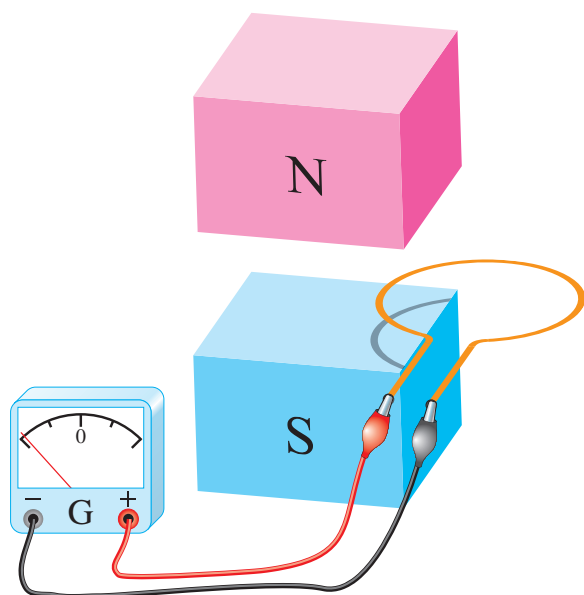
این تغییر فوران طبق قانون فاراده نیروی محرکه القایی در حلقه ایجاد می‌کند. لذا گالوانومتر منحرف می‌شود.

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

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.

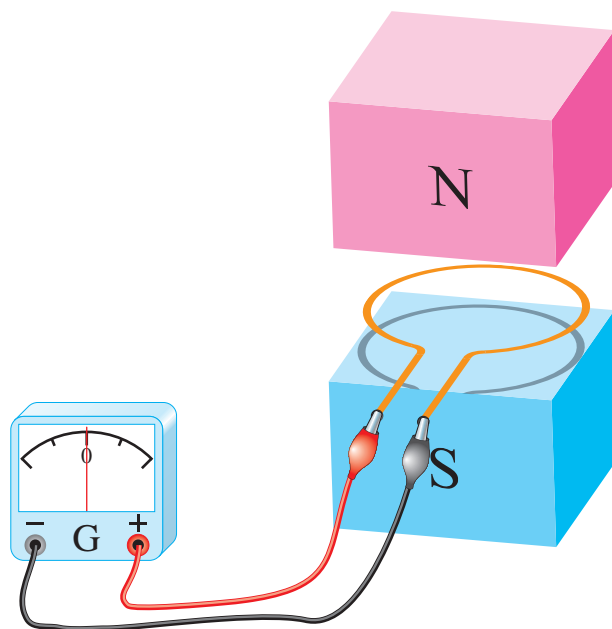
در لحظه خروج حلقه از میدان مغناطیسی فورانی که سطح حلقه را می‌پوشاند رو به کاهش است در صورتی که در زمان ورود حلقه به میدان مغناطیسی فورانی که سطح حلقه را می‌پوشاند رو به افزایش بوده است. لذا گالوانومتر به هنگام خروج حلقه از میدان مغناطیسی، برخلاف جهت ورود حلقه به میدان مغناطیسی، منحرف می‌شود.

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



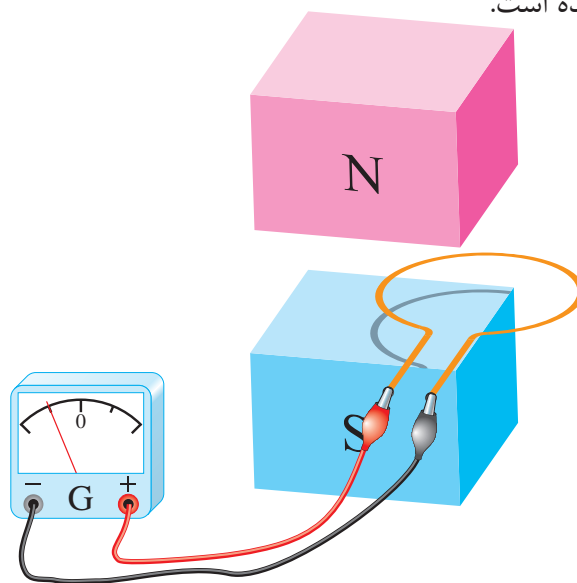
شکل ۲-۱۴

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.

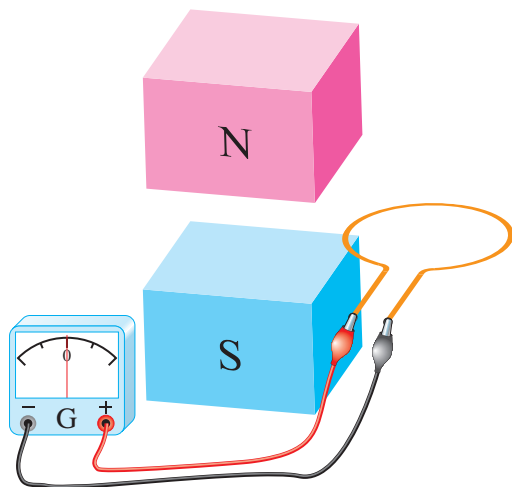


شکل ۲-۱۲

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



شکل ۲-۱۳



شکل ۱۵ - ۲

خروج کامل حلقه از میدان مغناطیسی در شکل (۱۵ - 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.

### هاینریش لنز



هاینریش فردریش امیل لنز در سال ۱۸۰۴ میلادی به دنیا آمد. وی یک فیزیک‌دان روسی - آلمانی - 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 پترزبورگ روسیه مشغول به کار شد. وی در سال ۱۸۶۵ میلادی در رم ایتالیا درگذشت.

### ۲ - ۲ - قانون لنز

در پدیده القای الکترومغناطیسی پلاریته 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 به صورت «قانون لنز ۱» بیان می‌شود که توسط آقای لنز در سال ۱۸۳۴ میلادی ارایه گردید. طبق این قانون:

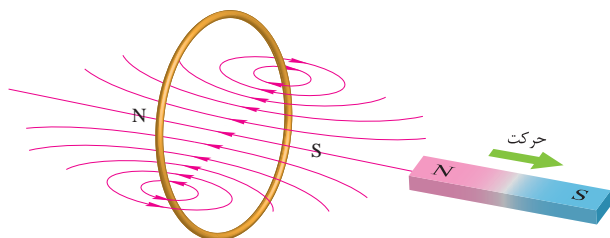
«جریان القایی در جهتی برقرار می‌شود که با عامل به وجود آورنده خود مخالفت کند».

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.

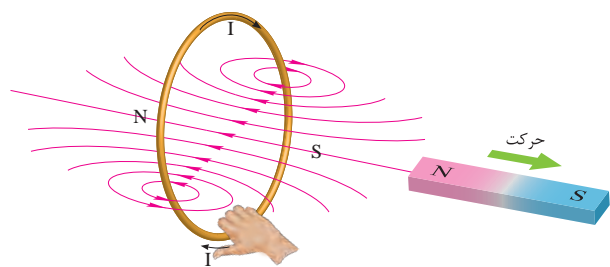
در شکل (۱۶ - ۲) مقطع یک حلقه هادی و یک آهن‌ربا نشان داده شده است. هنگامی که قطب N آهن‌ربا به طرف حلقه «حرکت» داده می‌شود، مطابق آزمایش ۱ فاراده، جریان القایی در حلقه جاری می‌شود. این جریان، میدان مغناطیسی در اطراف حلقه تولید خواهد نمود. طبق قانون لنز جهت جریان القایی به گونه‌ای است که با عامل به وجود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

به وجود 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 ۲-۱۸

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

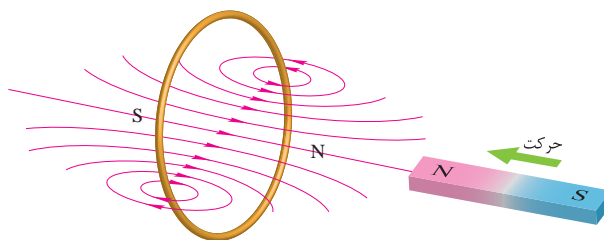


شکل ۲-۱۹

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

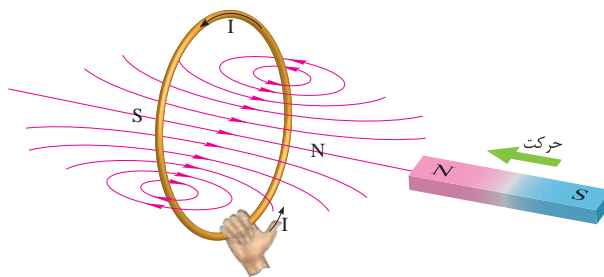
«حرکت» آهن‌ربا به سمت حلقه یا دور شدن از حلقه همیشه تحت تاثیر نیروی مقاوم میدان مغناطیسی حلقه قرار می‌گیرد. از این رو لازم است نیرویی که صرف حرکت آهن‌ربا می‌گردد کار انجام دهد.

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 ۲-۱۶

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

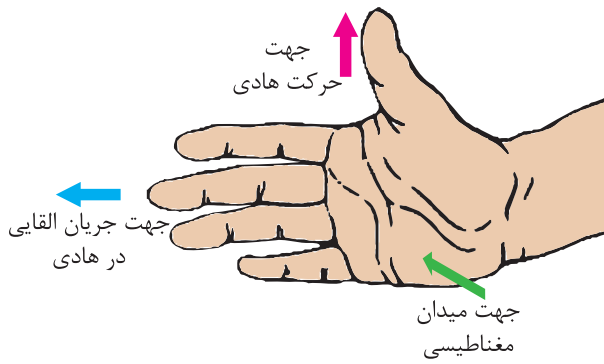


شکل ۲-۱۷

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.

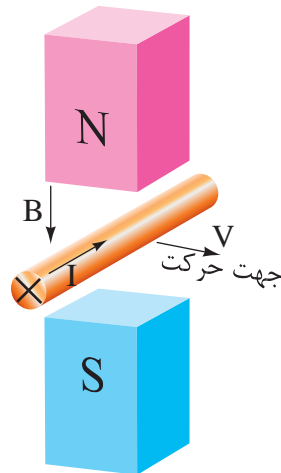
اگر آهن‌ربا مطابق شکل (۱۸ - ۲) به عقب حرکت داده شود، مطابق آزمایش ۱ فاراده نیز در این حالت جریان القایی در حلقه جاری می‌شود و طبق قانون لنز، میدان مغناطیسی ناشی از این جریان القایی نیز با عامل

## فعالیت ۱ - ۲

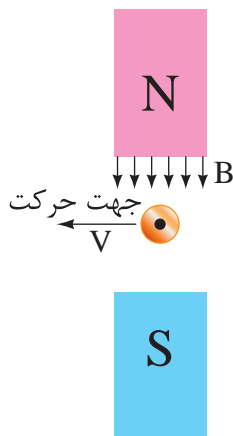


شکل ۲۰ - ۲ قانون دست راست

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



شکل ۲۱ - ۲



شکل ۲۲ - 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 به وجود آورنده‌اش، «حرکت آهن ربا» مخالفت می‌کند. این مخالفت در رابطه قانون القای الکترومغناطیسی فاراده با یک علامت منفی به صورت رابطه (۴ - ۲) نشان داده می‌شود.

$$e = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (۲-۴)$$

علامت منفی بیانگر همان قانون لنز است که در محاسبات دخالت داده نمی‌شود. لذا  $e$  به عنوان «نیروی ضد محرکه القایی<sup>۱</sup>» 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.

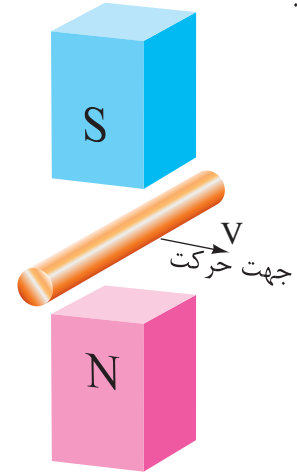
## ۴ - ۲ - قانون دست راست

تعیین جهت جریان القایی با قانون بقای انرژی که به صورت قانون لنز در بخش ۳ - ۲ مطرح شد در برخی مواقع دشوار است. روش ساده‌تر برای تعیین جهت جریان القایی «قانون دست راست<sup>۲</sup>» است که آن را نیز می‌توان به کار برد. طبق این قانون اگر دست راست را مطابق شکل (۲۰ - ۲) طوری نگهداریم 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.

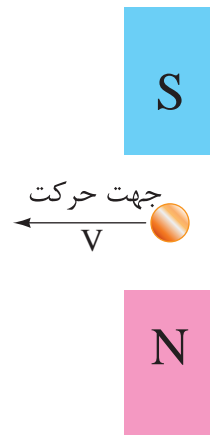


## فعالیت ۲-۲

۱- جهت جریان القایی هادی شکل‌های (۲۳-۲) و (۲۴-۲) را با استفاده از قانون دست راست تعیین کنید.



شکل ۲-۲۳



شکل ۲-۲۴

۲- از جواب‌های به‌دست آمده در شکل‌های (۲۱-۲) الی (۲۴-۲) چه نتیجه‌ای به‌دست می‌آید؟

## پرسش ۲-۱

### پرسش‌های کامل کردنی

۱- تبدیل انرژی الکتریکی به مکانیکی و بالعکس

..... نامیده می‌شود.

۲- طرز کار وسایل الکتریکی که ..... در آنها نقش دارد به کمک قانون القای الکترومغناطیس فاراده قابل فهم است.

۳- طبق قانون لنز ..... به گونه‌ای است که با عامل به‌وجود آورنده‌اش ..... می‌کند.

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

### پرسش‌های صحیح، غلط

۱- ماشین‌های الکتریکی رابطی بین سیستم‌های الکتریکی و مکانیکی محسوب می‌شوند.

صحیح  غلط

۲- قانون لنز در مورد جریان‌های القایی به کار می‌رود.

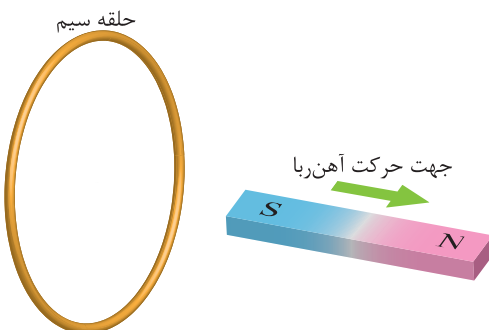
صحیح  غلط

### پرسش‌های تشریحی

۱- ماشین الکتریکی را تعریف کنید.

۲- ماشین‌های الکتریکی را چگونه طبقه‌بندی می‌کنند؟ توضیح دهید.

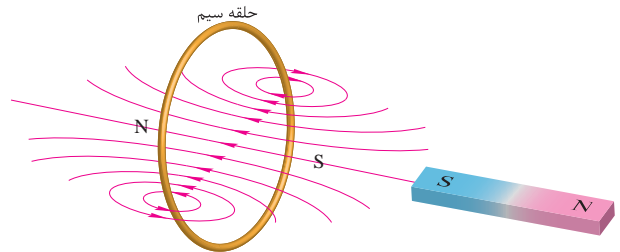
۳- با توجه به شکل زیر جهت جریان القایی در حلقه را مشخص کنید.



۴- برگشت پذیری فرآیند تبدیل انرژی در ماشین‌های الکتریکی یعنی چه؟

۵- قانون لنز را تعریف کنید.

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



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

### ۵-۲- ژنراتورهای جریان مستقیم

ژنراتورهای جریان مستقیم<sup>۱</sup>، انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. پلاریته ولتاژ در پایانه‌های آنها ثابت است لذا جهت جریان در مصرف‌کننده عوض نمی‌شود (شکل ۲۵-۲).

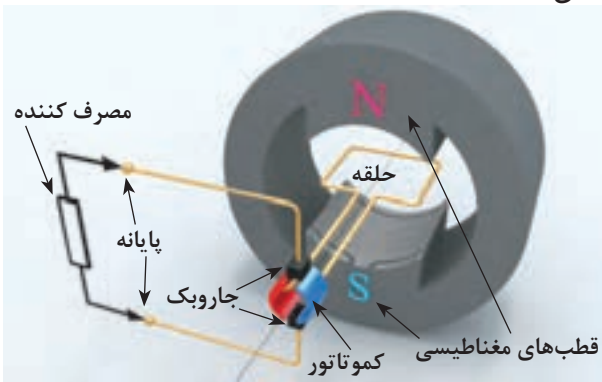


شکل ۲۵-۲ ژنراتور جریان مستقیم

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.

### ۱-۵-۲- ساختمان ژنراتور ساده جریان مستقیم

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



شکل ۲۶-۲ ژنراتور ساده جریان مستقیم با آهن‌ربای دائم ساختمان آن متشکل از چهار قسمت می‌باشد که عبارتند از:

۱- حلقه هادی

۲- کمو تاتور<sup>۲</sup>

۳- جاروبک<sup>۳</sup>

۴- قطب‌های مغناطیسی<sup>۴</sup>

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»<sup>۵</sup> می‌گویند. مجموعه تیغه‌ها و عایق میان آنها را «کمو تاتور» نامیده‌اند.

۴. Magnetic Pole

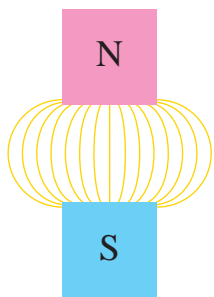
۳. Brush

۲. Commutator

۱. Direct Current Generators

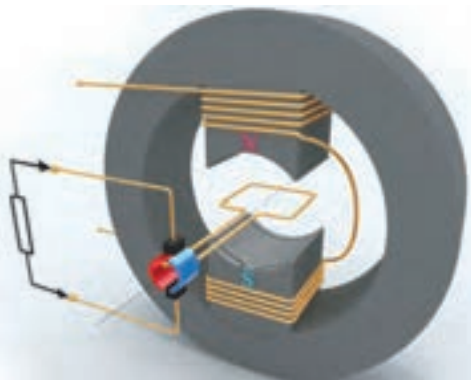
۵. Lamel

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 - ۲).



شکل ۲۸ - ۲ میدان مغناطیسی غیریکنواخت

برای تولید میدان مغناطیسی می‌توان به جای استفاده از آهن‌ربای دائم، سیم‌پیچی بر روی قطب‌ها پیچید تا با عبور جریان از آن، میدان مغناطیسی ایجاد شود. این سیم‌پیچی را «سیم‌پیچی میدان<sup>۱</sup>» یا «سیم پیچی تحریک<sup>۲</sup>» می‌نامند (شکل ۲۹ - ۲).



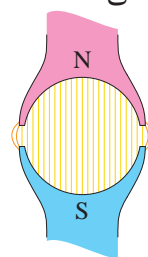
شکل ۲۹ - ۲ ژنراتور ساده جریان مستقیم با سیم‌پیچی تحریک میدان مغناطیسی میان دو قطب غیرهمنام «میدان طولی<sup>۳</sup>» نام دارد. راستای این میدان را با «محور مستقیم<sup>۴</sup>» نشان می‌دهند و آن را «محور  $d$ » می‌نامند. راستای عمود بر محور مستقیم را با «محور متعامد<sup>۵</sup>»

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.

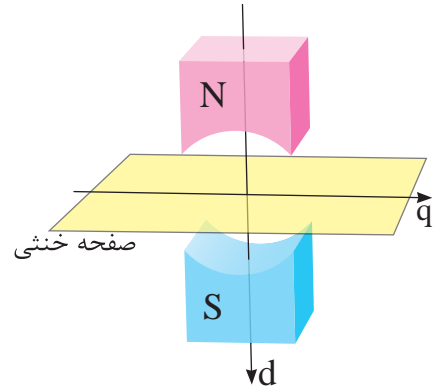
حلقه هادی از جنس مس انتخاب می‌شود. با گردش حلقه درون میدان مغناطیسی قطب‌ها، در آن نیروی محرکه القا می‌شود تا ولتاژ و جریان مورد نیاز مصرف‌کننده تامین شود.

نقش قطب‌ها ایجاد میدان مغناطیسی است که می‌توان توسط آهن‌ربای دائم به وجود آید. سطح قطب‌ها دارای انحنای می‌باشد. این انحنای 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 - ۲).



شکل ۲۷ - ۲ میدان مغناطیسی یکنواخت

نشان می‌دهند و آن را «محور q» می‌نامند. مماس بر محور متعامد عمود بر محور مستقیم صفحه‌ای فرضی در نظر می‌گیرند که «صفحه خنثی» نام دارد (شکل ۳۰ - ۲).



شکل ۳۰ - ۲ محورهای d و q

## پرسش ۲-۲

### پرسش های کامل کردنی

- ۱ - ژنراتورهای جریان مستقیم انرژی ..... را به انرژی ..... تبدیل می‌کنند.
- ۲ - مجموعه ..... و ..... کموتاتور نامیده می‌شود.

### پرسش های صحیح، غلط

- ۱ - نقش قطبها ایجاد میدان مغناطیسی است.

صحیح  غلط

### پرسش های تشریحی

- ۱ - اجزای ساختمانی ژنراتور ساده جریان مستقیم را نام ببرید.
- ۲ - جنس جاروبک از چه موادی است و باید چه ویژگی‌هایی داشته باشد؟

۳ - میدان مغناطیسی غیر یکنواخت را تعریف کنید.

۴ - میدان مغناطیسی یکنواخت و غیریکنواخت را ترسیم کنید.

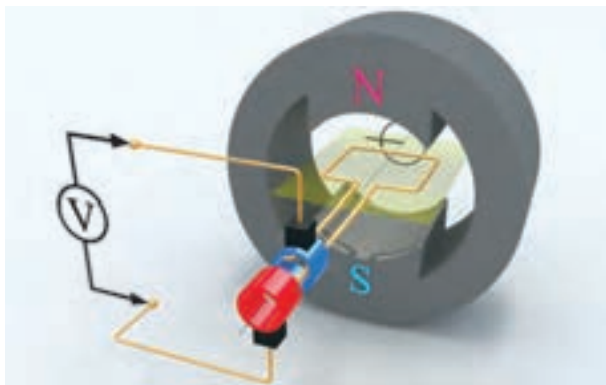
۵ - مفاهیم زیر را تعریف کنید؟

- الف) میدان طولی (ب) محور مستقیم  
پ) محور متعامد (ت) صفحه خنثی

## ۲ - ۵ - ۲ - طرز کار ژنراتور ساده جریان مستقیم

اساس کار ژنراتورهای الکتریکی، بر مبنای قانون القای الکترومغناطیسی فاراده است. برای آشنایی با طرز کار ژنراتورها ابتدا به طرز کار ژنراتور ساده جریان متناوب پرداخته می‌شود.

با جایگزینی دو عدد «رینگ<sup>۱</sup>» به جای کموتاتور، ژنراتور ساده جریان مستقیم شکل (۲۶ - ۲) به ژنراتور ساده جریان متناوب تبدیل می‌شود (شکل ۳۱ - ۲).

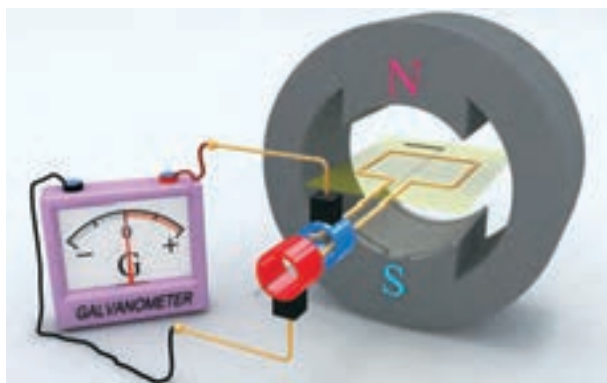


شکل ۳۱ - ۲ ژنراتور ساده جریان متناوب

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

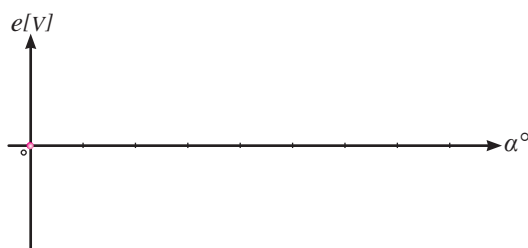
در این لحظه فوران، در سطح حلقه تغییرات ندارد. لذا طبق قانون القای الکترومغناطیسی فاراده در حلقه نیروی محرکه القا نمی‌شود و گالوانومتر صفر را نشان می‌دهد.

برای نشان دادن مقدار نیروی محرکه القایی در هر لحظه از دستگاه مختصات استفاده شده است که در آن محور افقی  $\alpha$  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.



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 - 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 تأیید می‌کند.

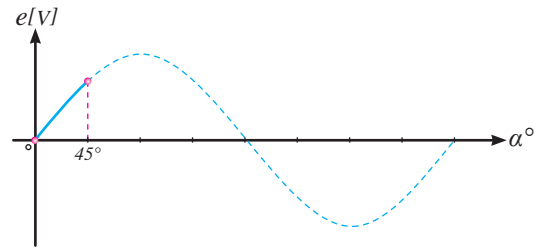
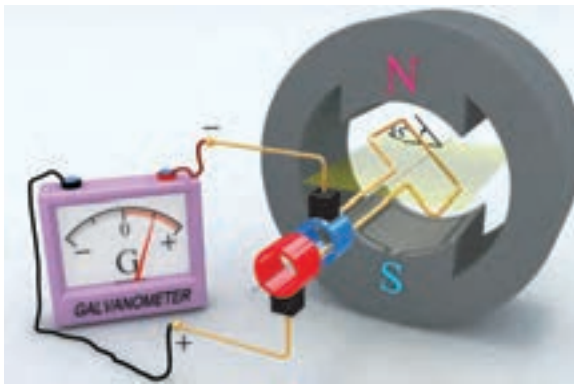


شکل ۳۲ - ۲

در طی دوران حلقه زاویه  $\alpha$  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  $\langle \alpha \rangle 45^\circ$  «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.

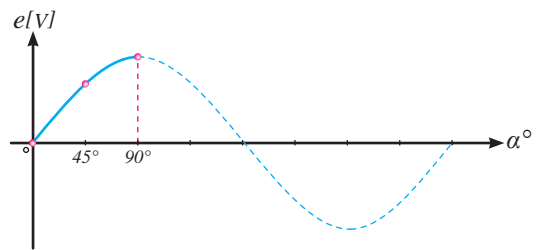
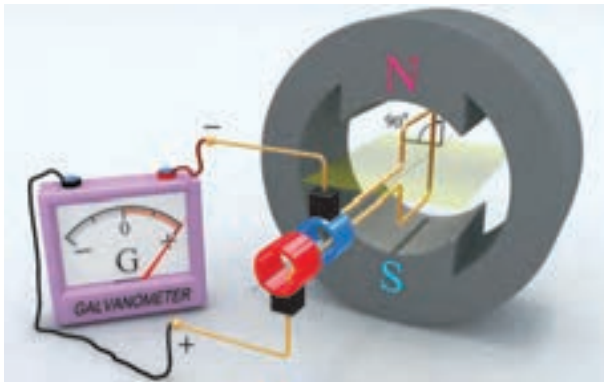
با شروع دوران حلقه، سطح حلقه نسبت به صفحه خنثی زاویه پیدا می‌کند و فورانی که در سطح حلقه محصور می‌شود کاهش می‌یابد. لحظه‌ای که  $\alpha = 45^\circ$  است در شکل (۳۳ - ۲) نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود فوران کمتری سطح حلقه را می‌پوشاند. تصویر فرضی سطح حلقه روی قطب S این موضوع را تأیید می‌کند. بنابراین در فاصله  $\langle \alpha \rangle 45^\circ$  فوران نسبت به زمان در حلقه تغییر کرده است و طبق قانون القای الکترومغناطیسی فاراده در حلقه نیروی محرکه القا می‌شود.



شکل ۲-۳۳

از زمانی که حلقه صفحه خنثی را در شکل (۲ - ۳۲) ترک کرد، تغییرات فوران در سطح حلقه رو به افزایش بوده است. بنابراین مقدار نیروی محرکه القایی نیز زیاد شده است. تا در  $\alpha = 90^\circ$  لحظه‌ای که سطح حلقه عمود بر صفحه خنثی می‌شود، بیشترین تغییرات فوران نسبت به زمان در سطح حلقه ایجاد می‌شود. لذا در این لحظه حداکثر نیروی محرکه در حلقه القا می‌شود.

در ادامه دوران حلقه در فاصله  $90^\circ < \alpha < 45^\circ$  فورانی که در سطح حلقه محصور می‌شود همچنان رو به کاهش است تا این که در  $\alpha = 90^\circ$  به صفر می‌رسد (شکل ۲ - ۳۴). این موضوع را عدم تشکیل تصویر حلقه روی سطح قطب S نیز تایید می‌کند. بنابراین در فاصله  $90^\circ < \alpha < 45^\circ$  همانند فاصله  $0 < \alpha < 45^\circ$  فوران نسبت به زمان در حلقه تغییر کرده است و طبق قانون القای الکترومغناطیس فاراده، نیروی محرکه القایی در حلقه ایجاد می‌شود.



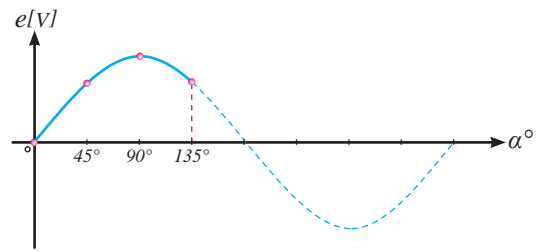
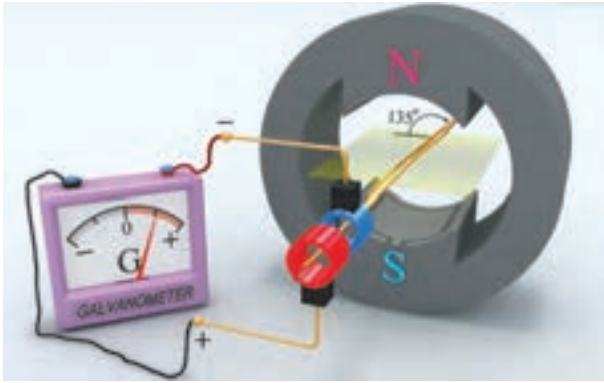
شکل ۲-۳۴

می‌شود در فاصله  $180^\circ < \alpha < 90^\circ$  فورانی که توسط سطح حلقه محصور می‌شود به تدریج افزایش می‌یابد و در  $\alpha = 180^\circ$  به بیشترین مقدار خود می‌رسد. این موضوع را بزرگ شدن تصویر فرضی سطح حلقه روی قطب S تایید می‌کند. بنابراین در فاصله  $90^\circ < \alpha < 180^\circ$  همانند فاصله  $0 < \alpha < 90^\circ$  فوران نسبت به زمان در حلقه

با ادامه دوران حلقه زمانی فرا می‌رسد که صفحه حلقه مجدداً با صفحه خنثی مماس می‌شود. در این فاصله زاویه  $\alpha$  از  $90^\circ$  به  $180^\circ$  می‌رسد. وضعیت حلقه در  $\alpha = 180^\circ$  و  $\alpha = 135^\circ$  در شکل‌های (۲ - ۳۵) و (۲ - ۳۶) نشان داده شده است. با مقایسه شکل‌های (۲ - ۳۴)، (۲ - ۳۵) و (۲ - ۳۶) مشاهده



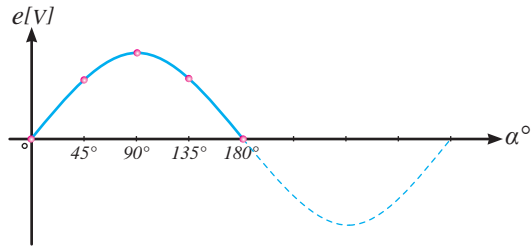
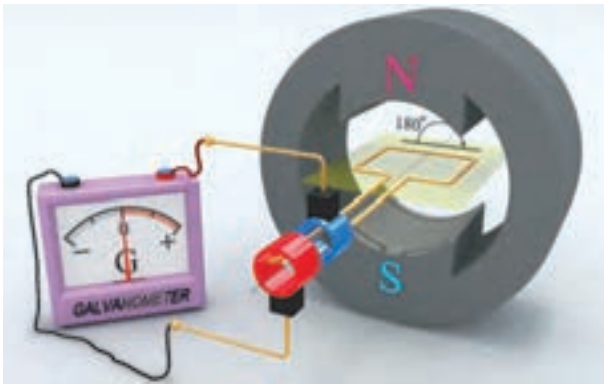
تغییر کرده است و طبق قانون القای الکترومغناطیسی فاراده نیروی محرکه در حلقه القا می‌شود.



شکل ۲-۳۵

تا در  $\alpha = 180^\circ$  هنگامی که سطح حلقه در صفحه خنثی قرار می‌گیرد تغییرات فوران نسبت به زمان صفر می‌شود. لذا نیروی محرکه در حلقه القا نمی‌شود.

در فاصله  $180^\circ < \alpha < 90^\circ$  «تغییرات فوران نسبت به زمان» برای سطح حلقه رو به کاهش بوده است. بنابراین مقدار نیروی محرکه القایی نیز کم می‌شود



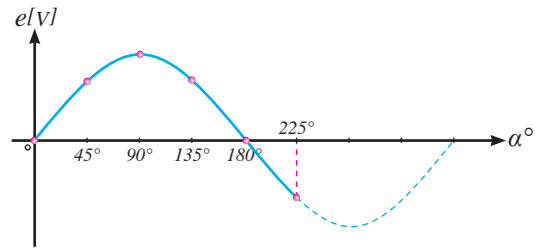
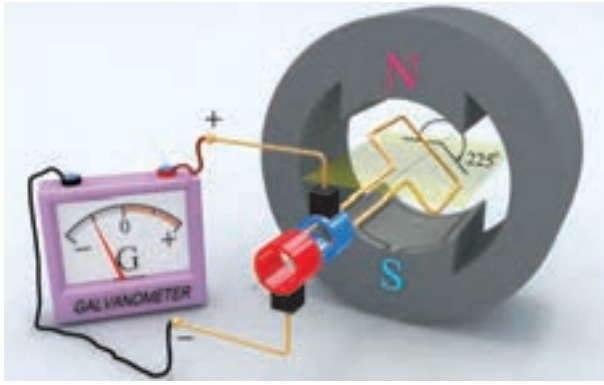
شکل ۲-۳۶

کاهش می‌یابد و از بیشترین مقدار در  $\alpha = 180^\circ$  به کمترین مقدار در  $\alpha = 270^\circ$  می‌رسد و در این زاویه صفر می‌شود. کوچک شدن تصویر فرضی سطح حلقه روی قطب S این موضوع را تأیید می‌کند. بنابراین در این فاصله «فوران نسبت به زمان» در حلقه تغییر کرده است؛ لذا طبق قانون القای الکترومغناطیسی فاراده، نیروی محرکه در حلقه القا می‌شود.

با ادامه دوران حلقه، زاویه بین سطح حلقه و صفحه خنثی زیاد می‌شود. وضعیت حلقه در  $\alpha = 225^\circ$  در شکل (۲-۳۷) و در  $\alpha = 270^\circ$  در شکل (۲-۳۸) نشان داده شده است.

با مقایسه شکل‌های (۲-۳۶)، (۲-۳۷) و (۲-۳۸) مشاهده می‌شود در فاصله  $270^\circ < \alpha < 180^\circ$  فورانی که در سطح حلقه محصور می‌شود به تدریج



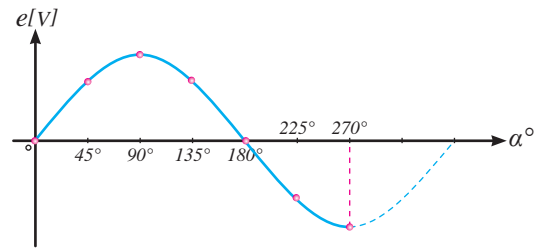
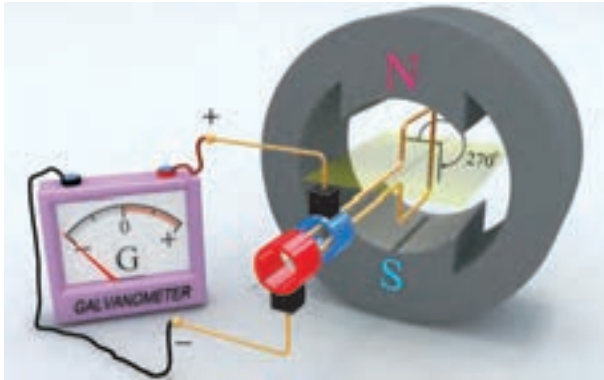


شکل ۳۷ - ۲

جاروبک‌ها باعث تغییر جهت جریان القایی در ولت‌متر می‌شود و جهت حرکت عقربه ولت‌متر عکس حالت قبل می‌شود. بنابراین شکل موج در زیر محور  $\alpha$  جایی که  $E$  منفی است رسم می‌شود.

بیشترین «تغییرات فوران نسبت به زمان» در  $\alpha = 270^\circ$  مانند  $\alpha = 90^\circ$  در سطح حلقه ایجاد می‌شود؛ لذا در این لحظه نیز حداکثر نیروی محرکه در حلقه القا می‌شود (شکل ۳۸ - ۲).

«تغییرات فوران نسبت به زمان» در فاصله  $180^\circ < \alpha < 270^\circ$  در سطح حلقه افزایش یافته است. بنابراین مقدار نیروی محرکه القایی زیاد می‌شود. اما در این فاصله نسبت به فاصله  $0 < \alpha < 90^\circ$  به علت گردش حلقه فوران قطب  $N$  از سمت دیگر سطح حلقه وارد حلقه می‌شود. لذا پلاریته نیروی محرکه القایی در حلقه معکوس می‌شود و پلاریته ولتاژ القایی در زیر جاروبک‌ها نیز عوض می‌شود. تعویض پلاریته ولتاژ القایی در

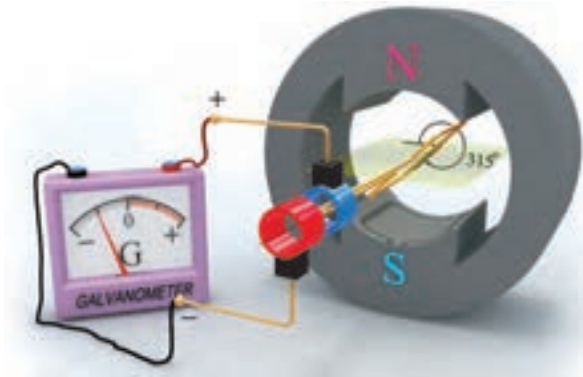


شکل ۳۸ - ۲

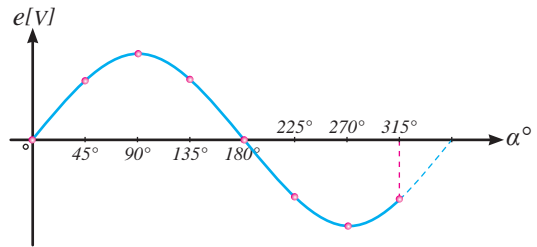
با مقایسه شکل‌های (۲ - ۳۸)، (۲ - ۳۹) و (۲ - ۴۰) مشاهده می‌شود در فاصله  $270^\circ < \alpha < 360^\circ$  فورانی که توسط سطح حلقه محصور می‌شود به تدریج افزایش می‌یابد و در  $\alpha = 360^\circ$  به بیشترین مقدار خود می‌رسد. این موضوع را بزرگ شدن تصویر فرضی سطح

با ادامه دوران حلقه زمانی فرا می‌رسد که صفحه حلقه مجدداً با صفحه خنثی مماس می‌شود. در این فاصله زاویه  $\alpha$  از  $270^\circ$  به  $360^\circ$  می‌رسد. وضعیت حلقه در  $\alpha = 315^\circ$  در شکل (۲ - ۳۹) و در  $\alpha = 360^\circ$  در شکل (۲ - ۴۰) نشان داده شده است.

لذا طبق قانون القای الکترومغناطیسی فاراده نیروی محرکه، در حلقه القا می‌شود.



حلقه روی قطب S تأیید می‌کند. بنابراین در این فاصله «فوران نسبت به زمان» در حلقه تغییر کرده است؛

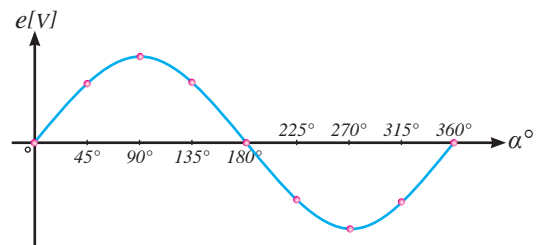
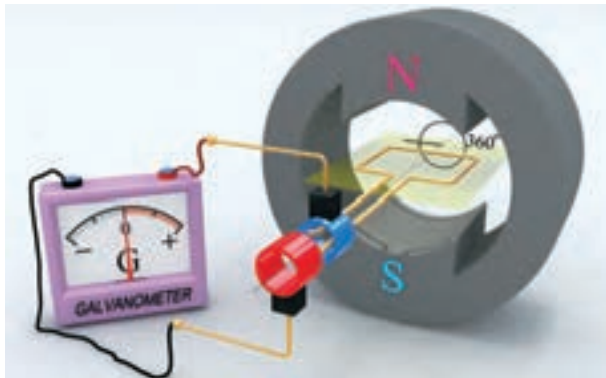


شکل ۳۹- ۲

می‌شود و شکل موج در قسمت منفی دستگاه مختصات  $e$  و  $\alpha$  رسم می‌شود.

هنگامی که سطح حلقه در صفحه خنثی قرار می‌گیرد تغییرات فوران نسبت به زمان صفر می‌شود؛ لذا نیروی محرکه القایی در حلقه صفر می‌شود.

«تغییرات فوران نسبت به زمان» در فاصله  $270^\circ < \alpha < 360^\circ$  در سطح حلقه کاهش می‌یابد. بنابراین مقدار نیروی محرکه القایی کم می‌شود. در این فاصله نیز نسبت به فاصله  $180^\circ < \alpha < 90^\circ$  به علت گردش حلقه فوران قطب N از سمت دیگر سطح حلقه وارد حلقه می‌شود. لذا پلاریته ولتاژ القایی در حلقه معکوس



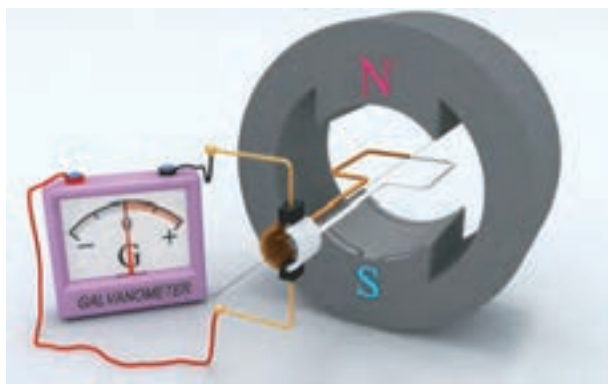
شکل ۴۰- ۲

در شکل‌های (۲-۳۲) الی (۲-۴۰) ارائه شد می‌توان به نکات زیر اشاره کرد:

- با گردش حلقه «تغییرات فوران نسبت به زمان» در سطح حلقه ایجاد می‌شود و طبق قانون القای الکترومغناطیسی فاراده نیروی محرکه در حلقه القا می‌شود.

موقعیت حلقه در شکل (۲-۴۰) همان موقعیت حلقه در شکل (۲-۳۲) می‌باشد که با یک دور گردش کامل، حلقه به موقعیت اول خود رسیده است. بدیهی است در صورت ادامه حرکت حلقه مجدداً پدیده القا در حلقه صورت می‌گیرد و موج سینوسی تکرار خواهد شد. با توجه به توضیحاتی که برای یک دور گردش حلقه

با دوران حلقه حول محورش، کموتاتور نیز به همراه آن می‌گردد و مانند ژنراتور ساده جریان متناوب در سطح حلقه «تغییر فوران نسبت به زمان» ایجاد می‌شود و طبق قانون القای الکترومغناطیسی فاراده، نیروی محرکه در حلقه القا می‌شود.



شکل ۴۱ - ۲

برای آشنایی با طرز کار ژنراتور ساده جریان مستقیم، حلقه حول محورش در جهت حرکت عقربه‌های ساعت دوران داده شده است و در چند لحظه، جهت جریان القایی در حلقه و همچنین جاروبک‌ها بررسی می‌شود. با شروع دوران، حلقه شکل (۴۱ - ۲) از صفحه خنثی خارج می‌شود و تغییر فوران نسبت به زمان در حلقه ایجاد خواهد شد و طبق قانون القای الکترومغناطیسی فاراده در آن نیروی محرکه القا می‌شود.

لحظه‌ای را که بازوی قهوه‌ای حلقه در مقابل قطب N و بازوی سفید حلقه در مقابل قطب S قرار دارد در شکل (۴۲ - ۲) نشان داده شده است. با به کار بردن قانون دست راست جهت جریان القایی این دو بازو تعیین می‌شود. لذا برای بازوی قهوه‌ای کف دست راست در مقابل قطب N قرار می‌گیرد تا میدان قطب N به آن وارد شود و شست در جهت حرکت این بازو قرار داده می‌شود، بنابراین انگشتان جهت جریان القایی در

تغییرات فوران در سطح حلقه متناسب با  $\sin\alpha$  است، لذا شکل موج نیروی محرکه القایی، سینوسی است.

هر بار که سطح حلقه وارد صفحه خنثی می‌شود نیروی محرکه القایی آن صفر می‌شود.

هرگاه سطح حلقه عمود بر صفحه خنثی می‌شود حداکثر نیروی محرکه در حلقه، القا می‌شود.

با عبور حلقه از صفحه خنثی پلاریته نیروی محرکه القایی در حلقه عوض می‌شود.

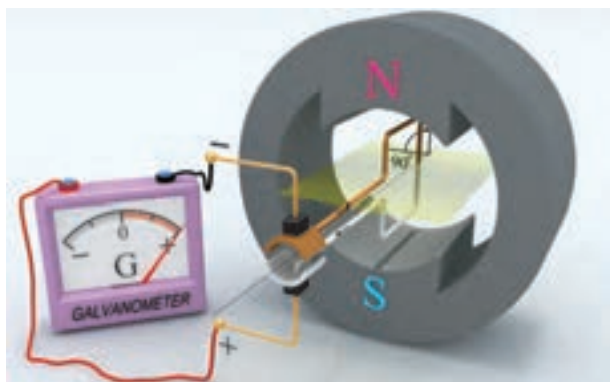
در هر دور گردش حلقه پلاریته ولتاژ القایی جاروبک‌ها یک بار عوض می‌شود و جهت جریان القایی تغییر می‌کند.

پس از آشنایی با طرز کار ژنراتور ساده جریان متناوب اکنون با جایگزینی کموتاتور به جای رینگ‌ها به طرز کار ژنراتور ساده جریان مستقیم می‌پردازیم.

کموتاتور باعث می‌شود پلاریته ولتاژ القایی در زیر هر جاروبک ثابت بماند و همیشه یکی از جاروبک‌ها دارای پلاریته مثبت و دیگری دارای پلاریته منفی باشد. تا جهت جریان القایی در مصرف کننده یکسو باشد. در واقع جریان متناوب القایی داخل ژنراتور، توسط کموتاتور برای مصرف کننده یکسو می‌شود.

یک ژنراتور ساده جریان مستقیم متصل به یک گالوانومتر در شکل (۴۱ - ۲) نشان داده شده است. گالوانومتر ضمن این که مقدار ولتاژ القایی و جهت جریان القایی را نشان می‌دهد، نقش مصرف کننده را نیز ایفا می‌کند.

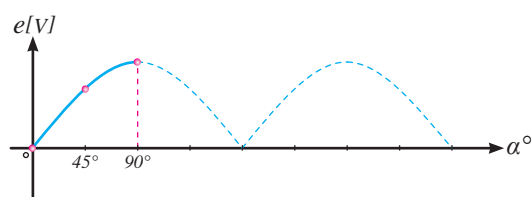
جاروبک بالا به تیغه قهوه‌ای کموتاتور منتقل می‌شود و به بازوی قهوه‌ای حلقه می‌رسد. جاروبک پایین که جریان القایی از آن خارج می‌شود دارای پلاریته مثبت و جاروبک بالا که جریان القایی به آن وارد می‌شود دارای پلاریته منفی می‌شود.



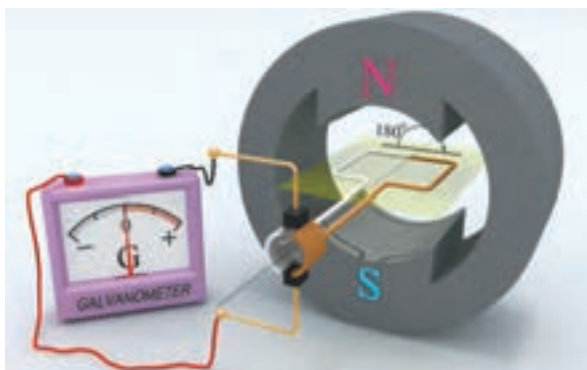
شکل ۲-۴۲

در حلقه به صفر می‌رسد و در آن نیروی محرکه القا نمی‌شود. بنابراین در حلقه جریان القایی جاری نمی‌شود. گالوانومتر صفر را نشان می‌دهد.

این بازو را نشان می‌دهند. همین کار برای بازوی سفید تکرار می‌شود تا جهت جریان القایی آن تعیین شود. مشاهده می‌شود جریان بازوی سفید توسط تیغه سفید کموتاتور به جاروبک پایین منتقل می‌شود و پس از عبور از گالوانومتر، عقربه آن منحرف می‌شود، و از طریق



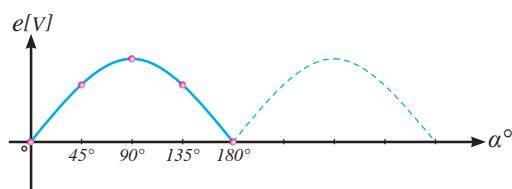
در ادامه دوران حلقه، زمانی فرا می‌رسد که سطح حلقه دوباره در صفحه‌ی خنثی قرار می‌گیرد. شکل (۲-۴۳). در این لحظه تغییرات فوران نسبت زمان



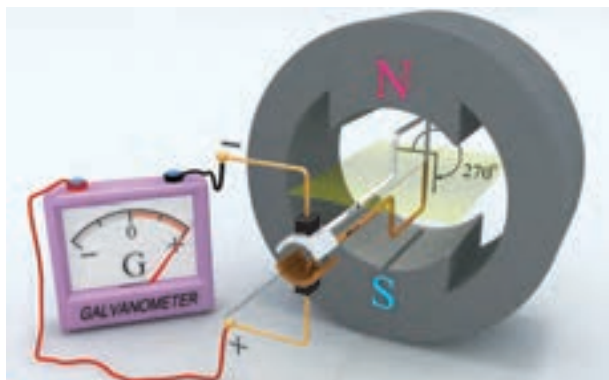
شکل ۲-۴۳

القایی در این بازو را نشان می‌دهند. همین کار برای بازوی سفید تکرار می‌شود تا جهت جریان القایی آن تعیین شود. مشاهده می‌شود هم‌چنان جهت جریان القایی بازوی سفید برخلاف بازوی قهوه‌ای است. در این وضعیت جریان بازوی قهوه‌ای توسط تیغه قهوه‌ای کموتاتور به جاروبک پایین منتقل شده و پس از عبور از گالوانومتر، باعث انحراف عقربه آن می‌شود، سپس از طریق جاروبک بالا به تیغه سفید کموتاتور منتقل

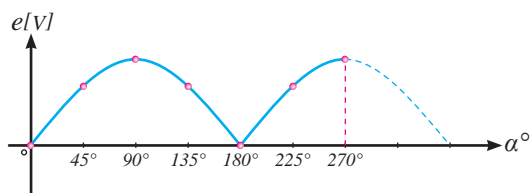
با ادامه دوران حلقه زمانی فرا می‌رسد که بازوی سفید حلقه در مقابل قطب N و بازوی قهوه‌ای حلقه در مقابل قطب S قرار می‌گیرد. شکل (۲-۴۴) با به کار بردن قانون دست راست، جهت جریان القایی این دو بازو تعیین می‌شود. بدین منظور برای بازوی قهوه‌ای کف دست راست در مقابل قطب N قرار می‌گیرد تا میدان قطب N به آن وارد شود و شست در جهت حرکت این بازو قرار داده می‌شود. بنابراین انگشتان جهت جریان



جهت جریان در گالوانومتر باعث شد تا عقربه آن در همان جهت قبلی انحراف پیدا کند. بنابراین شکل موج نیروی محرکه القایی نیز در همان جهت قبلی ترسیم می‌شود.



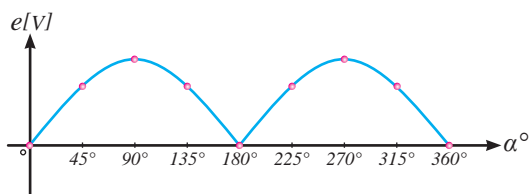
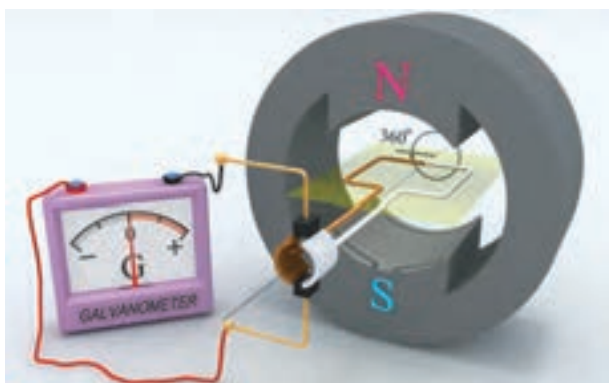
می‌شود و به بازوی سفید حلقه می‌رسد. جاروبک پایین که هم‌چنان جریان القایی از آن خارج می‌شود دارای پلاریته مثبت و جاروبک بالا که هم‌چنان جریان القایی به آن وارد می‌شود دارای پلاریته منفی است. عدم تغییر



شکل ۲-۴۴

این حالت حلقه یک دور کامل دوران کرده است و با پیمودن  $360^\circ$  به موقعیت اول خود رسیده است. بدیهی است در صورت ادامه حرکت، مجدداً پدیده القا در حلقه صورت می‌گیرد و شکل موج نیروی محرکه القایی تکرار خواهد شد.

در ادامه دوران حلقه، زمانی فرا می‌رسد که سطح حلقه دوباره در صفحه خنثی قرار می‌گیرد (شکل ۲-۴۵). در این لحظه تغییرات فوران نسبت به زمان در حلقه به صفر می‌رسد و در آن طبق قانون القای الکترومغناطیسی فاراده، نیروی محرکه القا نمی‌شود. بنابراین در حلقه جریان القایی جاری نخواهد شد.



شکل ۲-۴۵

مقدار متوسط، میانگین مقادیر لحظه‌ای نیروی محرکه القایی است که چیزی بین صفر و حداکثر می‌باشد. برای شکل موج (۲-۴۵) مقدار متوسط برابر است با:

در ژنراتور ساده جریان مستقیم با هر نیم دور گردش حلقه، شکل موج نیروی محرکه القایی یک سیکل کامل را طی می‌کند. در هر سیکل مقدار لحظه‌ای نیروی محرکه القایی از صفر به حداکثر مقدار خود می‌رسد و سپس دوباره به صفر بر می‌گردد. برای بیان اندازه واقعی نیروی محرکه القایی «مقدار متوسط<sup>۱</sup>» آن محاسبه می‌شود.

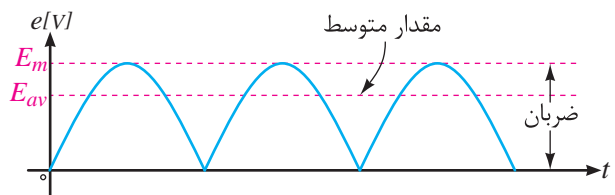
$$E_{av} = \frac{2E_m}{\pi} = 0.637E_m \quad (2-5)$$

در این رابطه:

$E_m$  حداکثر نیروی محرکه القایی بر حسب [V]

$E_{av}$  مقدار متوسط نیروی محرکه القایی بر حسب [V]

حداکثر مقدار نیروی محرکه القایی در ژنراتور ساده جریان مستقیم بسیار کم و در حد میکرو ولت است. لذا مقدار متوسط آن نیز بسیار کم می‌شود. از طرفی مقدار نیروی محرکه القایی بین صفر و حداکثر تغییر می‌کند و «دامنه تغییرات» یا «ضربان» آن بسیار زیاد است (شکل ۴۶ - ۲). بنابراین مقدار کم متوسط نیروی محرکه القایی  $E_{av}$  و ضربان زیاد آن باعث شده است تا ژنراتور ساده جریان مستقیم غیرقابل استفاده بوده و کاربردی نداشته باشد.



شکل ۴۶ - ۲

پیرامون ژنراتور ساده جریان مستقیم می‌توان به نکات مهم زیر اشاره کرد:

- با عبور حلقه از صفحه خنثی جهت جریان القایی در حلقه عوض می‌شود و جاروبک‌ها از یک تیغه

به تیغه دیگر کموتاتور می‌روند تا از تغییر جهت جریان در مصرف کننده جلوگیری کنند.

- با قرار گرفتن سطح حلقه در صفحه خنثی، نیروی محرکه القایی در حلقه صفر می‌شود.
- هنگامی که سطح حلقه عمود بر صفحه خنثی قرار می‌گیرد حداکثر نیروی محرکه در آن القا می‌شود.
- در حین گردش حلقه پلاریته ولتاژ جاروبک‌ها همواره ثابت است.
- مقدار متوسط نیروی محرکه القایی کوچک است.
- ضربان نیروی محرکه القایی زیاد است.

### ۳ - ۵ - ۲ - اثر افزایش تعداد حلقه‌ها و تعداد دور آن در ژنراتور ساده جریان مستقیم

#### الف - اثر افزایش تعداد حلقه‌ها

برای کاهش ضربان و افزایش مقدار متوسط نیروی محرکه القایی به جای استفاده از یک حلقه می‌توان از دو حلقه که نسبت به یکدیگر اختلاف فاز مکانی دارند استفاده کرد. در این صورت نیروی محرکه القایی این دو حلقه نیز نسبت به یکدیگر اختلاف فازی معادل اختلاف فاز مکانی حلقه‌ها پیدا می‌کند (شکل ۴۷ - ۲).

۱. Ripple

مقدار لحظه‌ای نیروی محرکه القایی  $e$  در ژنراتور ساده جریان مستقیم از رابطه  $e = 2NBLV \sin \alpha$  به دست می‌آید. در این رابطه:

$N$  تعداد دور حلقه

$B$  چگالی فوران مغناطیسی قطب‌ها بر حسب [T]

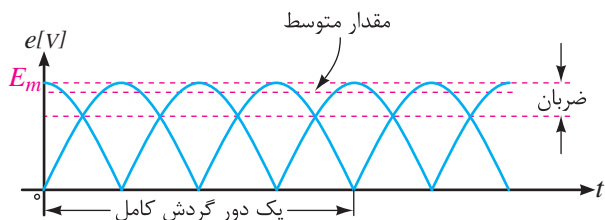
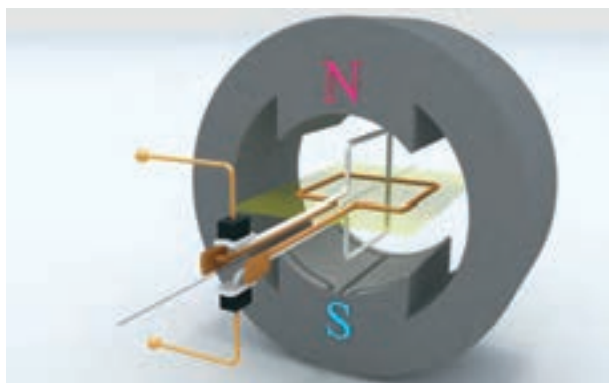
$L$  طول موثر هر بازوی حلقه در میدان مغناطیسی بر حسب [m]

$V$  سرعت حلقه بر حسب  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$\alpha$  زاویه بین سطح حلقه با صفحه خنثی بر حسب درجه

$e$  نیروی محرکه القایی بر حسب [V]

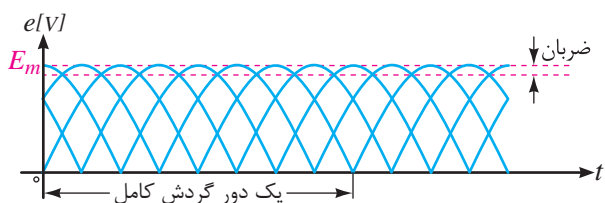
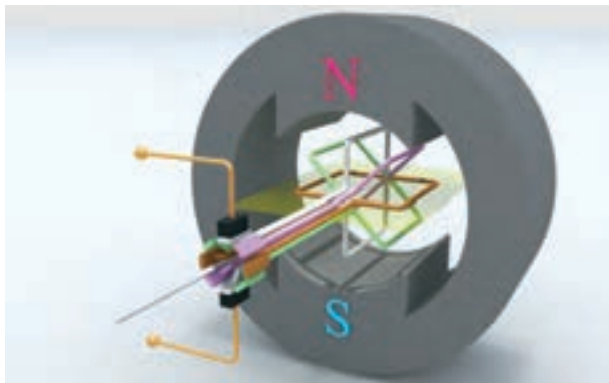




شکل ۴۷ - ۲

محركه القايی می‌توان از تعداد حلقه‌های بیشتری استفاده کرد (شکل ۴۸ - ۲). با افزایش بیشتر تعداد حلقه‌ها، ضربان نیروی محركه القايی تقریباً به صفر می‌رسد و مقدار متوسط نیروی محركه القايی  $E_{av}$  به حداکثر آن  $E_m$  نزدیک می‌شود. بدیهی است افزایش تعداد حلقه‌ها تا جایی که فضای میان قطب‌ها اجازه دهد امکان‌پذیر خواهد بود.

بدین ترتیب ضربان نیروی محركه القايی کاهش پیدا می‌کند و مقدار متوسط آن افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل (۲ - ۴۷) مشاهده می‌شود، با افزایش تعداد حلقه‌ها، تعداد تیغه‌های کموتاتور افزایش می‌یابد. در این شکل نسبت تیغه‌ها به حلقه‌ها «دو به یک» است. برای کاهش ضربان و بیش‌تر شدن متوسط نیروی

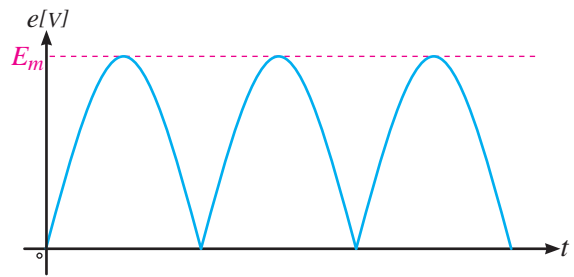
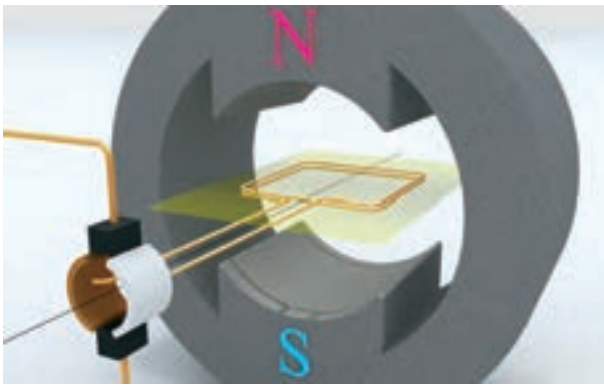


شکل ۴۸ - ۲

قانون القای الکترومغناطیسی فاراده  $(e = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t})$  افزایش تعداد دور حلقه  $N$  باعث افزایش نیروی محركه القايی  $e$  در آن می‌شود. در واقع در هر دور حلقه، نیروی محركه‌ای، القا می‌شود. از آنجایی که حلقه‌ها با یکدیگر سری شده‌اند، نیروی محركه القايی حلقه‌ها با یکدیگر جمع می‌شود و در نتیجه نیروی محركه القايی کلاف افزایش می‌یابد.

ب - اثر افزایش تعداد دور حلقه همان‌طور که گفته شد حداکثر مقدار نیروی محركه القايی  $E_m$  در ژنراتور ساده جریان مستقیم بسیار کم و در حد میکرو ولت می‌باشد. برای افزایش حداکثر مقدار نیروی محركه القايی  $E_m$  می‌توان به جای «حلقه» از «کلاف»<sup>۱)</sup> که از چندین حلقه سری با هم تشکیل شده است استفاده کرد (شکل ۴۹ - ۲). طبق رابطه



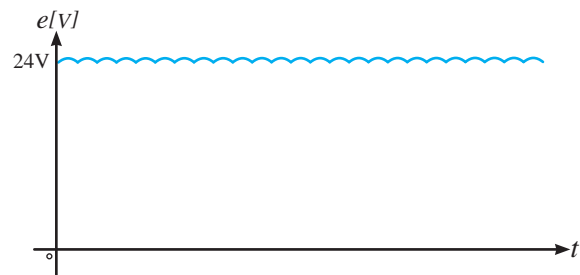
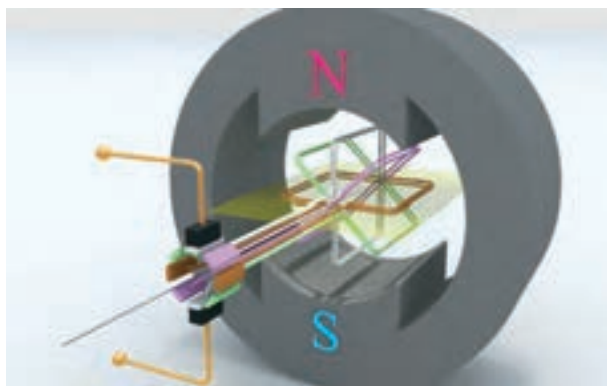


شکل ۴۹- ۲

ج - نتیجه گیری

می کند، ضربان آن نیز کاهش می یابد. در این صورت ژنراتور کاربرد عملی پیدا می کند و ولتاژ پایانه های آن برای مصرف کننده قابل استفاده می شود (شکل ۵۰ - ۲).

در عمل با جایگزینی «کلاف ها» به جای «حلقه» در ژنراتور ساده جریان مستقیم، ضمن اینکه مقدار متوسط نیروی محرکه القایی افزایش قابل توجهی پیدا



شکل ۵۰- ۲

پرسش ۲-۳

پرسش های صحیح، غلط

۱ - در ژنراتور ساده هر بار که حلقه وارد صفحه خنثی می شود نیروی محرکه القایی آن صفر می شود.

صحیح  غلط

۲ - با جایگزینی کموتاتور به جای رینگ ژنراتور ساده جریان متناوب به ژنراتور ساده جریان مستقیم تبدیل می شود.

صحیح  غلط

۳ - کموتاتور باعث می شود پلاریته ولتاژ القایی در

پرسش های کامل کردنی

۱ - در ژنراتور ساده با گردش حلقه ..... در سطح حلقه ایجاد می شود و طبق قانون ..... نیروی محرکه در حلقه ..... می شود.

۲ - در ژنراتور ساده با عبور حلقه از صفحه خنثی پلاریته ..... در حلقه ..... می شود.

۳ - در واقع جریان متناوب القایی داخل ژنراتور توسط ..... برای مصرف کننده ..... می شود.

زیر هر جاروبک ثابت بماند.

صحیح  غلط

### فعالیت ۲ - ۳

اگر جهت جریان الکتریکی هادی شکل (۵۱ - ۲) عوض شود با رسم خطوط میدان مغناطیسی قطبها و اطراف هادی، جهت نیروی مغناطیسی وارد به هادی را تعیین کنید.

همان طور که توضیح داده شد می توان نتیجه گرفت:

«به هر هادی حامل جریان در میدان مغناطیسی، نیروی مغناطیسی وارد می شود»، به طوری که «نیروی مغناطیسی سعی به بیرون راندن هادی از درون میدان مغناطیسی دارد».

به نیروی مغناطیسی وارد به هادی حامل جریان الکتریکی به احترام «لورنس<sup>۱</sup>» که مفاهیم میدانهای الکتریکی و مغناطیسی را شرح و تفصیل داده است، «نیروی لورنس<sup>۲</sup>» می گویند.

مقدار نیروی مغناطیسی از رابطه (۶ - ۲) به دست می آید:

$$F = BIL \quad (۲-۶)$$

در این رابطه:

$F$  نیروی مغناطیسی بر حسب نیوتن  $[N]$

$B$  چگالی فوران مغناطیسی بر حسب  $\left[\frac{wb}{m^2}\right]$

$I$  شدت جریان الکتریکی هادی بر حسب  $[A]$

$L$  طول مؤثر هادی که تحت تأثیر میدان مغناطیسی

قرار می گیرد بر حسب  $[m]$

مثال ۱ - ۲ - هادی به طول مؤثر  $[cm] ۲۰$  در میدان مغناطیسی با چگالی فوران  $\left[\frac{wb}{m^2}\right] ۰/۸$  به طور عمود بر خطوط میدان مغناطیسی مطابق شکل

### پرسش های تشریحی

۱ - معایب ژنراتور ساده جریان مستقیم را بنویسید.

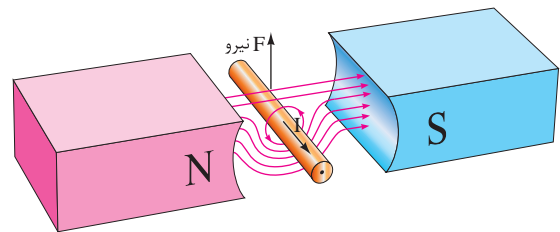
۲ - تأثیر افزایش تعداد حلقه ها و تعداد دور حلقه بر

کار ژنراتور ساده را توضیح دهید.

### ۲ - ۶ - نیروی مغناطیسی وارد بر هادی حامل

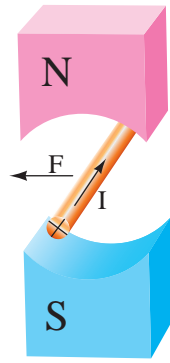
### جریان الکتریکی

یک هادی حامل جریان الکتریکی در میدان مغناطیسی قطب های  $N$  و  $S$  آهن ربایی قوی در نظر گرفته شده است (شکل ۵۱ - ۲).

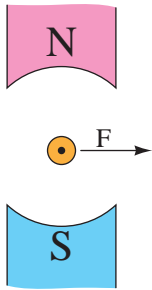


شکل ۵۱ - ۲

جهت میدان مغناطیسی قطبها از سوی قطب  $N$  به سمت قطب  $S$  می باشد. میدان مغناطیسی اطراف هادی حامل جریان الکتریکی با قانون شست تعیین شده است. مشاهده می شود در پایین هادی، جهت میدان مغناطیسی قطبها و جهت میدان مغناطیسی اطراف هادی هم جهت می باشد و یکدیگر را تقویت می کنند؛ اما در بالای هادی جهت میدان مغناطیسی آنها مخالف یکدیگر می باشد و همدیگر را تضعیف می کنند. لذا «نیروی مغناطیسی» به هادی از سوی میدان قوی تر به سمت میدان ضعیف تر وارد می شود و هادی را به سمت بالا حرکت می دهد.



شکل ۲-۵۳



شکل ۲-۵۴

### فعالیت ۲-۴

۱- جهت نیروی مغناطیسی شکل‌های (۲-۵۵)، (۲-۵۶) را با استفاده از قانون دست چپ تعیین کنید.



شکل ۲-۵۵

(۲-۴۵) قرار دارد. اگر از این هادی جریان  $[A] 10$  عبور کند، نیروی مغناطیسی وارد بر این هادی چند نیوتن است؟

حل:

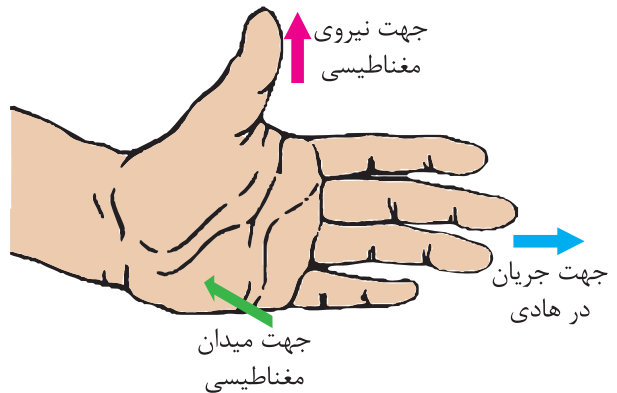
از رابطه (۲-۶) به دست می‌آید:

$$F = BIL$$

$$F = 0.1 \times 10 \times 20 \times 10^{-2} = 1/6 [N]$$

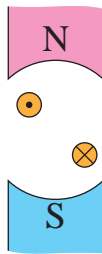
### ۲-۷- قانون دست چپ

برای تعیین جهت نیروی مغناطیسی، «قانون دست چپ» ارائه شده است. طبق این قانون اگر دست چپ خود را مطابق شکل (۲-۵۲) به گونه‌ای نگه دارید که فوران مغناطیسی از قطب N به کف دست وارد شود و انگشتان، جهت جریان الکتریکی هادی را نشان دهند، انگشت شست جهت نیروی مغناطیسی وارد به هادی را نشان می‌دهد.

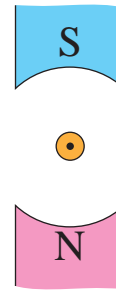


شکل ۲-۵۲

جهت نیروی مغناطیسی هادی حامل جریان، درون میدان مغناطیسی، توسط قانون دست چپ در شکل‌های (۲-۵۳) و (۲-۵۴) تعیین شده است.



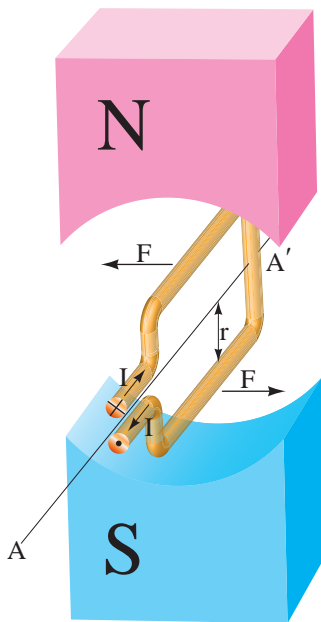
شکل ۵۸ - ۲



شکل ۵۶ - ۲

### ۸ - ۲ - گشتاور نیروی مغناطیسی وارد بر حلقه حامل جریان

حلقه حامل جریان الکتریکی، معلق در میان میدان مغناطیسی دو قطب آهن‌ربایی قوی که می‌تواند آزادانه حول محور  $AA'$  بگردد، فرض شده است. شکل (۲ - ۵۹). به بازوهای حامل جریان این حلقه، نیروی مغناطیسی در دو جهت مخالف، با مقدار مساوی وارد می‌شود. این نیروها در حلقه حامل جریان الکتریکی، «گشتاور»<sup>۱</sup> ایجاد می‌کنند<sup>۲</sup> و آن را حول محور می‌گردانند، لذا حلقه جابه‌جا می‌شود (شکل ۲ - ۶۰).



شکل ۵۹ - ۲

۲ - با مقایسه جهت نیروی مغناطیسی شکل‌های زیر، چه نتیجه‌ای به دست می‌آید:

الف - شکل (۲ - ۵۳) با شکل (۲ - ۵۴):

.....

.....

ب - شکل (۲ - ۵۳) با شکل (۲ - ۵۵):

.....

.....

پ - شکل (۲ - ۵۳) با شکل (۲ - ۵۶):

.....

.....

۳ - جهت نیروی مغناطیسی وارد به هادی‌های حامل جریان شکل‌های (۲ - ۵۷) و (۲ - ۵۸) را با کمک قانون دست چپ تعیین کنید.



شکل ۵۷ - ۲

۱. Torque

۲. گشتاور از حاصل ضرب نیروی مغناطیسی هر بازو در شعاع حلقه  $r$  به دست می‌آید و از رابطه  $T = F \times r$  محاسبه می‌شود. واحد گشتاور نیوتن متر است.

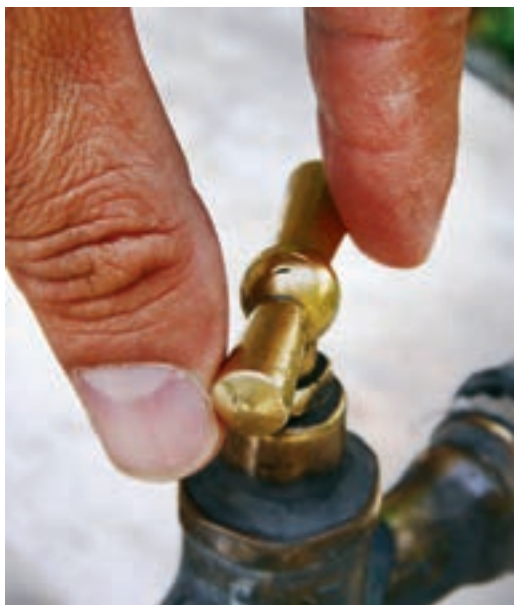
به کار می‌برد تا گشتاور آچار افزایش یابد و بگردد (شکل ۶۲ - ۲).



شکل ۶۲ - ۲

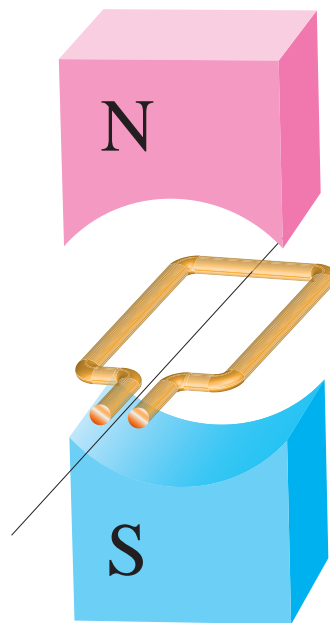
## فعالیت ۵ - ۲

۱ - چگونگی گشتاور در شکل (۶۳ - ۲) را بررسی کنید.



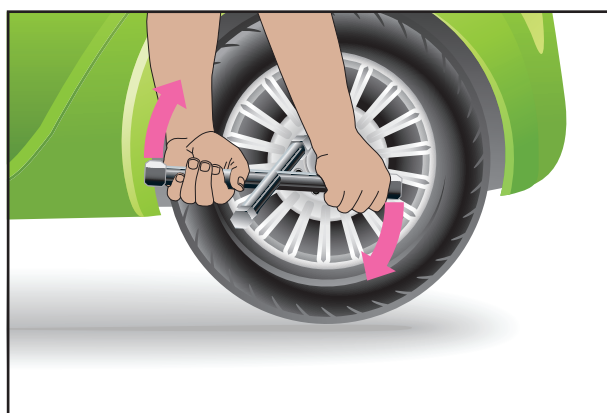
شکل ۶۳ - ۲

۲ - دو فرمان اتومبیل در شکل (۶۴ - ۲) نشان داده شده است. گرداندن کدام یک راحت است؟ برای پاسخ خود دلیل بیاورید.



شکل ۶۰ - ۲

گشتاور عامل گردش است. به طور مثال هنگامی که مکانیک برای باز کردن پیچ‌های چرخ اتومبیل از «آچار چرخ» استفاده می‌کند، وی با دستان خود، دو نیرو در جهت مخالف به آچار چرخ اعمال می‌کند. این نیروها حول محور آچار چرخ گشتاور ایجاد می‌کنند تا آن بگردد (شکل ۶۱ - ۲).

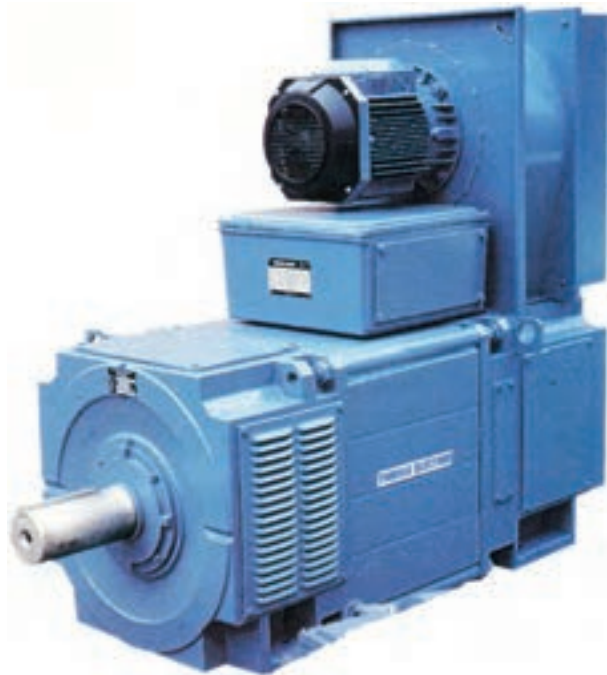


شکل ۶۱ - ۲

در صورتی که مکانیک نتواند این آچار چرخ را بگرداند، آچاری که طول بازوهای آن بلندتر است را

## ۹-۲- موتورهای جریان مستقیم

موتورهای جریان مستقیم<sup>۱</sup>، انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند. این موتورها بر اساس تأثیر میدان مغناطیسی قطب‌ها بر میدان مغناطیسی اطراف هادی حامل جریان الکتریکی کار می‌کنند (شکل ۶۵-۲).



شکل ۶۵-۲ موتور جریان مستقیم

به منظور آشنایی با موتورهای جریان مستقیم ابتدا به توضیح موتور ساده جریان مستقیم پرداخته می‌شود. این موتور ساختمانی مشابه ساختمان ژنراتور ساده جریان مستقیم دارد. گشتاور آن بسیار کم و کاربرد عملی ندارد. اما برای آشنایی با طرز کار موتورهای واقعی جریان مستقیم، مطالعه آن بسیار مفید است.

### ۱-۹-۲- طرز کار موتور ساده جریان مستقیم

موتور ساده جریان مستقیم در شکل (۶۶-۲) نشان داده شده است.



شکل ۶۴-۲

## پرسش ۴-۲

### پرسش‌های کامل کردنی

- ۱- مقدار نیروی مغناطیسی از رابطه ..... به دست می‌آید.
- ۲- برای تعیین ..... قانون دست چپ ارائه شده است.

### پرسش صحیح، غلط

- ۱- به هر هادی حامل جریان در میدان مغناطیسی، نیروی مغناطیسی وارد می‌شود.

صحیح  غلط

### پرسش تشریحی

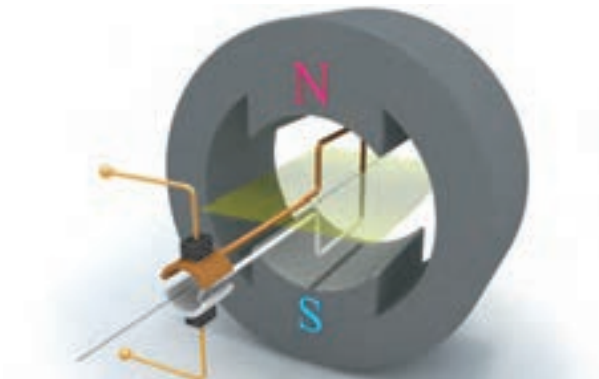
- ۱- قانون دست چپ را توضیح دهید. کاربرد آن را بنویسید.

## تمرین ۴-۲

- ۱- نیروی وارد به یک هادی حامل جریان الکتریکی ۲ آمپر در میدان مغناطیسی ۰/۵ تسلا برابر ۰/۱ نیوتن است. طول مؤثر هادی چند متر است؟



مادامی که جریان از بازوهای حلقه عبور می کند به آن ها نیروی مغناطیسی وارد می شود و حلقه تحت تأثیر گشتاور این نیروها به گردش خود ادامه می دهد (شکل ۲-۶۸).

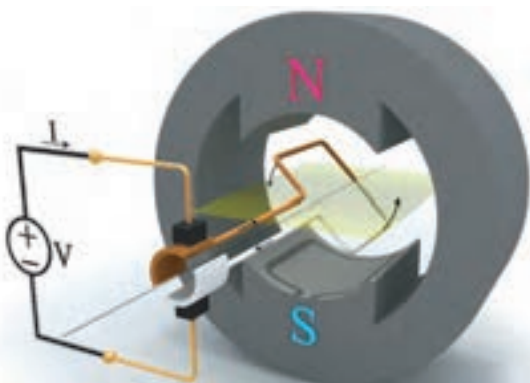


شکل ۲-۶۶

ساختمان آن مشابه ساختمان ژنراتور ساده جریان مستقیم می باشد و از چهار قسمت حلقه هادی، جاروبک، کموتاتور و قطب های مغناطیسی تشکیل شده است.

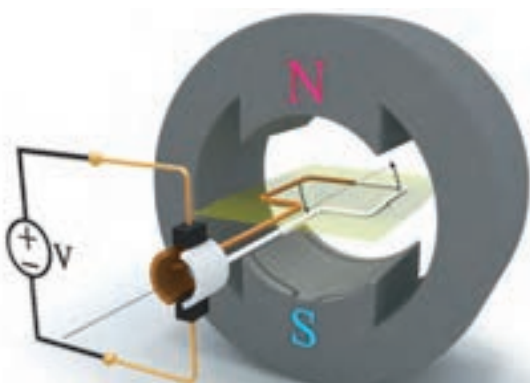
با اتصال منبع ولتاژ با جریان مستقیم به موتور ساده جریان مستقیم، جریان از قطب مثبت منبع، از طریق جاروبک به تیغه قهوه ای کموتاتور می رسد و وارد بازوی قهوه ای حلقه می شود و با عبور از بازوی سفید از طریق تیغه سفید کموتاتور و جاروبک به قطب منفی منبع می رسد.

به بازوهای حامل جریان حلقه، نیروی مغناطیسی وارد می شود که با قانون دست چپ جهت آنها تعیین می شود (شکل ۲-۶۷).



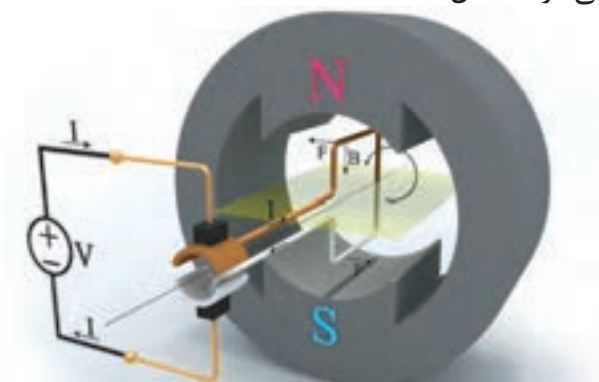
شکل ۲-۶۸

با گردش حلقه زمانی فرا می رسد که حلقه در صفحه خنثی قرار می گیرد. در این وضعیت اتصال جاروبک ها به کموتاتور قطع می شود و جریانی از حلقه نمی گذرد و با قطع جریان حلقه، نیروی مغناطیسی بازوهای آن صفر می شود. بنابراین در حلقه گشتاور ایجاد نمی شود (شکل ۲-۶۹).



شکل ۲-۶۹

اما سرعت اولیه حلقه باعث می شود که حلقه همچنان به حرکت خود ادامه دهد و صفحه خنثی را ترک کند. در این حالت مجدداً اتصال جاروبک ها به

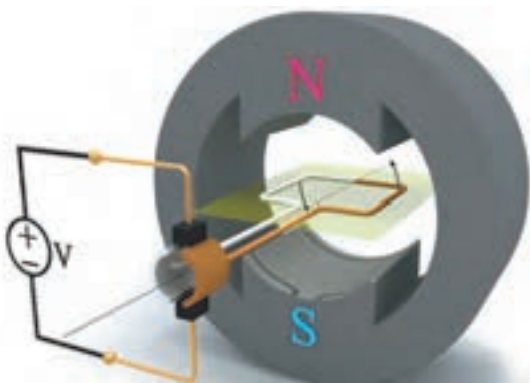


شکل ۲-۶۷

این دو نیروی مغناطیسی در دو جهت مخالف یکدیگر به هر دو بازوی حلقه وارد می شوند و گشتاور ایجاد می کنند و باعث گردش حلقه حول محورش خواهند شد.



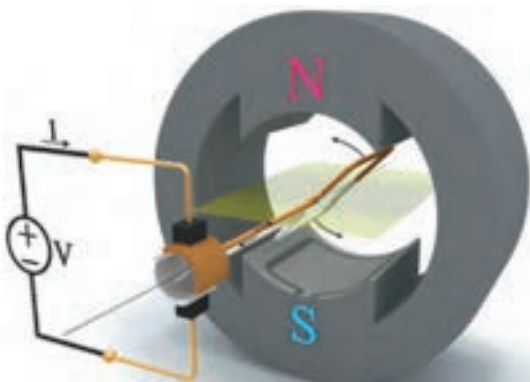
تیغه‌های کموتاتور برقرار می‌شود (شکل ۷۰ - ۲).



شکل ۷۲ - ۲

اتصال جاروبک‌ها به کموتاتور قطع می‌شود و جریانی از حلقه نمی‌گذرد و در حلقه گشتاور ایجاد نمی‌شود و گشتاور آن صفر می‌شود.

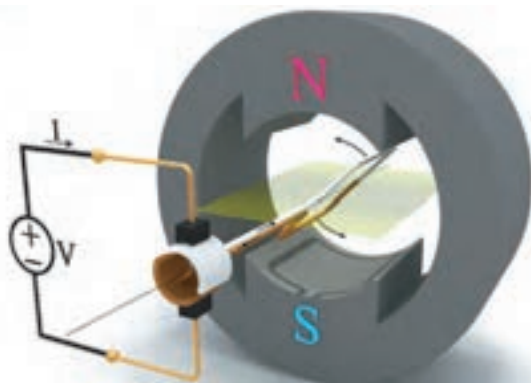
اما همچنان که توضیح داده شد، سرعت اولیه حلقه، آن را از صفحه خنثی خارج می‌کند تا اتصال جاروبک‌ها به تیغه‌های کموتاتور برقرار شود (شکل ۷۳ - ۲).



شکل ۷۳ - ۲

مشاهده می‌شود دوباره تیغه‌های کموتاتور نسبت به جاروبک‌ها تعویض می‌شوند و جهت جریان حلقه را عوض می‌کنند تا گشتاور در همان جهت قبلی در حلقه ایجاد شود و همچنان حلقه می‌گردد.

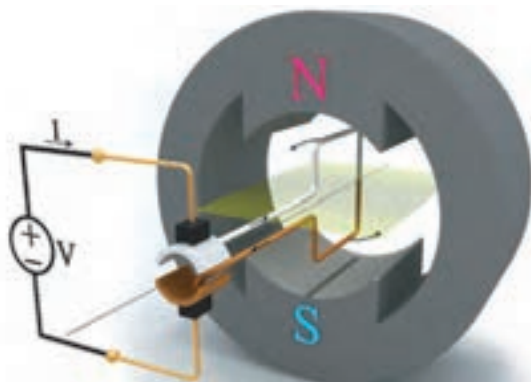
گردش حلقه ادامه می‌یابد تا سطح حلقه مجدداً عمود بر صفحه خنثی قرار می‌گیرد (شکل ۷۴ - ۲).



شکل ۷۰ - ۲

مشاهده می‌شود تیغه‌های کموتاتور نسبت به جاروبک‌ها تعویض شده‌اند و جهت جریان در حلقه تغییر کرده است. با توجه به جهت نیروهای مغناطیسی وارد به هر بازو که به کمک قانون دست چپ تعیین می‌شود، گشتاور در همان جهت قبلی در حلقه ایجاد می‌شود و همچنان حلقه می‌گردد.

گردش حلقه ادامه می‌یابد تا که سطح حلقه عمود بر صفحه خنثی می‌شود. در این حالت بیشترین گشتاور در حلقه ایجاد می‌شود (شکل ۷۱ - ۲).

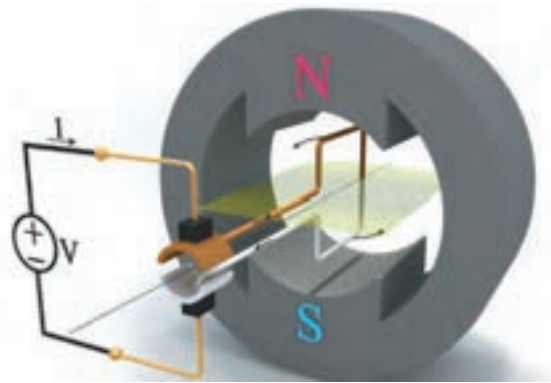


شکل ۷۱ - ۲

گردش حلقه ناشی از گشتاور نیروهای مغناطیسی بازوهای آن ادامه می‌یابد تا این که حلقه مجدداً در صفحه خنثی قرار می‌گیرد (شکل ۷۲ - ۲).

اصطلاحاً «راه اندازی» نمی‌شود.

گشتاور بسیار کم و یکنواخت نبودن گشتاور و همچنین عدم راه‌اندازی هنگامی که حلقه در صفحه خنثی است، از معایب موتور ساده جریان مستقیم محسوب می‌شود و باعث شده است تا این موتور غیرقابل استفاده باشد.



شکل ۷۴-۲

در این حالت بیشترین گشتاور در حلقه ایجاد می‌شود. در این جا حلقه با  $360^\circ$  درجه گردش به موقعیت اول خود در شکل (۶۷-۲) رسیده است. بدیهی است که گردش حلقه ادامه می‌یابد.

در موتور ساده جریان مستقیم با قرار گرفتن حلقه در صفحه خنثی گشتاور وارد به آن صفر می‌شود. هرگاه حلقه عمود بر صفحه خنثی قرار می‌گیرد گشتاور وارد به آن حداکثر می‌شود. بنابراین در حین گردش حلقه، مقدار لحظه‌ای گشتاور تغییر می‌کند و یکنواخت نیست! همچنین مقدار گشتاور بسیار کم و غیر کاربردی است و یکنواخت نبودن آن باعث شده است تا موتور ساده جریان مستقیم غیرقابل استفاده شود.

همچنین اگر حلقه در صفحه خنثی قرار داشته باشد و به منبع ولتاژ متصل شود، جاروبک‌ها به کموتاتور اتصال ندارند و جریان از حلقه عبور نمی‌کند و گشتاور در آن ایجاد نمی‌شود. لذا حلقه گردش نمی‌کند و

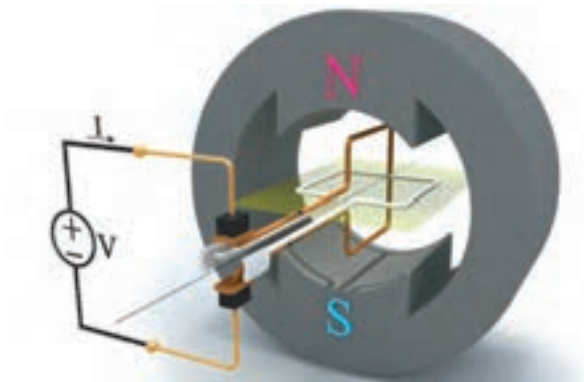
## ۲-۹-۲- اثر افزایش تعداد حلقه‌ها و تعداد دور آن

### در موتور ساده جریان مستقیم

#### الف- اثر افزایش تعداد حلقه

برای یکنواخت شدن گشتاور و راه‌اندازی در هر وضعیتی، تعداد حلقه‌ها را در موتور ساده جریان مستقیم افزایش می‌دهند.

موتور جریان مستقیم با دو حلقه عمود بر هم که روی یک محور قرار گرفته‌اند در شکل (۷۵-۲) نشان داده شده است.



شکل ۷۵-۲

در این شکل جاروبک‌ها به کموتاتور حلقه قهوه‌ای

۱. مقدار لحظه‌ای گشتاور در موتور ساده جریان مستقیم از رابطه  $T = 2NBLI r \sin \alpha$  به دست می‌آید.

در این رابطه:

$N$  تعداد دور حلقه

$B$  چگالی فوران مغناطیسی قطب‌ها بر حسب  $[T]$

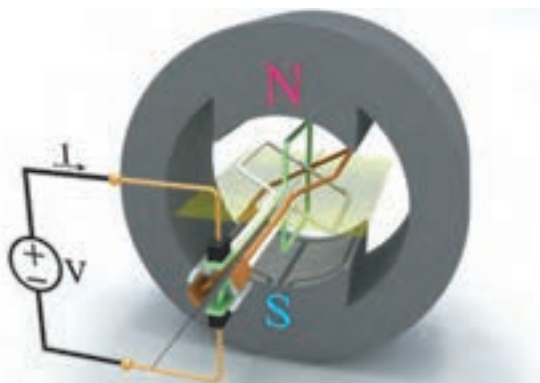
$L$  طول مؤثر هر بازوی حلقه در میدان مغناطیسی بر حسب  $[m]$

$I$  شدت جریان حلقه بر حسب  $[A]$

$r$  شعاع حلقه بر حسب  $[m]$

$\alpha$  زاویه بین سطح حلقه با صفحه خنثی بر حسب درجه

$T$  گشتاور بر حسب  $[N.m]$



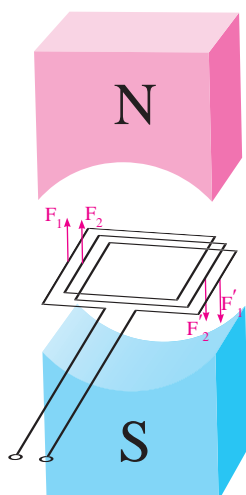
شکل ۲-۷۷

جاروبک‌ها همواره به کموتاتوری اتصال می‌یابند که حلقه مربوط به آن در وضعیت گشتاور حداکثر قرار دارد.

ب - افزایش تعداد دور حلقه

گشتاور ایجاد شده در موتور ساده جریان مستقیم تک حلقه‌ای شکل (۶۶ - ۲) بسیار کم بوده و کاربردی نمی‌باشد؛ این عیب بزرگی برای موتور ساده محسوب می‌شود.

به منظور افزایش گشتاور از حلقه با تعداد دور بیشتر (کلاف) استفاده می‌شود (شکل ۷۸ - ۲).

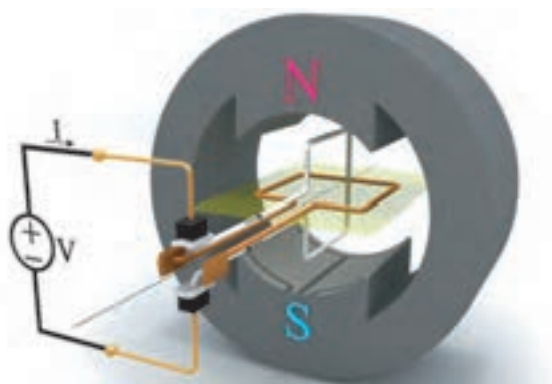


شکل ۲-۷۸

در این صورت در هر دور حلقه گشتاور ایجاد می‌شود و گشتاور افزایش می‌یابد.

اتصال دارند، لذا با اتصال منبع ولتاژ، جریان از حلقه قهوه‌ای می‌گذرد و در آن گشتاور ایجاد می‌شود. در این شرایط کموتاتور حلقه سفید به جاروبک‌ها اتصال ندارد و از حلقه سفید جریانی نمی‌گذرد و در آن گشتاور ایجاد نمی‌شود. حلقه‌ها در اثر گشتاور حلقه قهوه‌ای شروع به گردش می‌کنند.

با گردش حلقه‌ها، کموتاتور نیز می‌گردد و جاروبک‌ها از کموتاتور حلقه قهوه‌ای جدا می‌شوند و به جاروبک حلقه سفید اتصال می‌یابند (شکل ۷۶ - ۲).



شکل ۲-۷۶

در این شرایط جریان از حلقه سفید می‌گذرد و در آن گشتاور ایجاد می‌شود. حلقه قهوه‌ای فاقد جریان می‌شود و در آن گشتاور ایجاد نمی‌شود. این بار حلقه‌ها به سبب گشتاور ایجاد شده در حلقه سفید گردش می‌کنند.

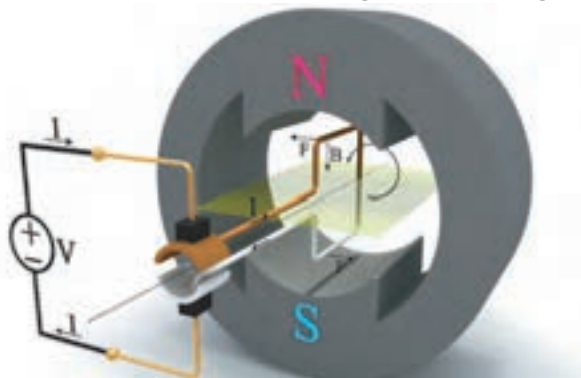
به طوری که مشاهده شد با قرار دادن دو حلقه عمود بر هم، که بر روی یک محور قرار دارند لحظه‌ای وجود نخواهد داشت که هر دو حلقه فاقد جریان شوند. لذا گشتاور هیچ‌گاه صفر نمی‌شود. بنابراین تغییرات گشتاور کاهش می‌یابد و موتور در هر وضعیتی راه‌اندازی می‌شود.

یک موتور جریان مستقیم با سه حلقه در شکل (۷۷ - ۲) نشان داده شده است.

۱. با توجه به رابطه گشتاور  $T = F \times r$  به هر یک از بازوی حلقه‌ها نیرویی وارد می‌شود. این نیروها با یکدیگر جمع می‌شوند و به صورت یک نیروی واحد گشتاور بزرگ‌تری ایجاد می‌کنند.

### ۳-۹-۲- تغییر جهت گردش

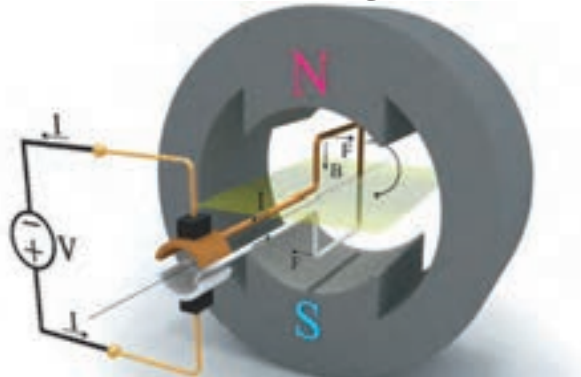
موتور ساده جریان مستقیم متصل به منبع ولتاژ در شکل (۲-۷۹) نشان داده شده است.



شکل ۲-۷۹

جریان الکتریکی پس از خروج از پلاریته مثبت منبع از طریق جاروبک و تیغه کموتاتور به حلقه می‌رسد و با عبور از آن از طریق تیغه کموتاتور و جاروبک به پلاریته منفی منبع می‌رسد. جهت نیروی مغناطیسی هر بازو با به کار بردن قانون دست چپ مطابق شکل تعیین می‌شود. گشتاور ناشی از این نیروها، حلقه را حول محورش در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌گرداند.

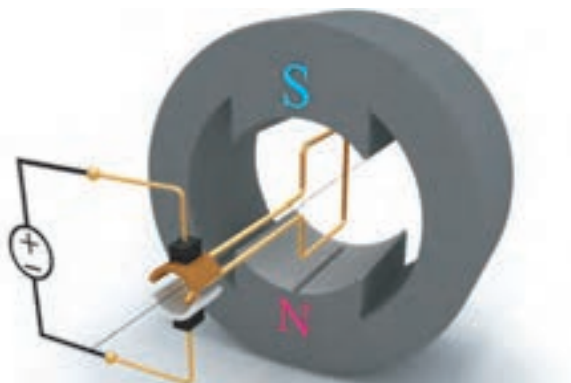
با تعویض پلاریته‌های منبع ولتاژ، جهت جریان در حلقه عوض می‌شود. لذا جهت نیروهای مغناطیسی وارد به هر بازوی حلقه نیز عوض می‌شود و گشتاور ناشی از این نیروها، حلقه را حول محورش در جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌گرداند. شکل (۲-۸۰).



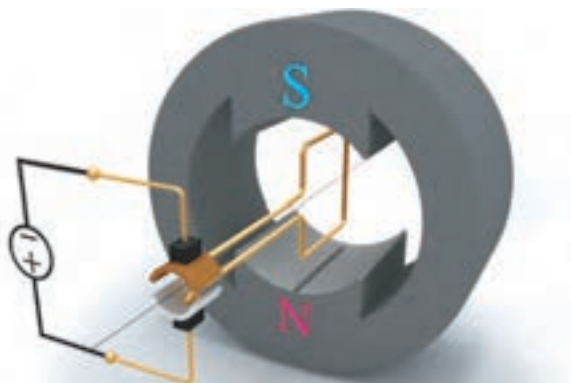
شکل ۲-۸۰

### فعالیت ۶-۲

۱- جهت گردش حلقه در شکل‌های (۲-۸۱) و (۲-۸۲) را تعیین کنید.



شکل ۲-۸۱



شکل ۲-۸۲

۲- از مقایسه شکل (۲-۷۹) با شکل (۲-۸۰) چه نتیجه‌ای به دست می‌آید؟

.....

.....

.....

۳- از مقایسه شکل (۲-۷۹) با شکل (۲-۸۱) چه نتیجه‌ای به دست می‌آید؟

.....

.....

.....

۴ - از مقایسه شکل (۷۹ - ۲) با شکل (۸۲ - ۲) چه نتیجه‌ای به دست می‌آید؟

بنابراین با دو روش جهت گردش حلقه در موتور ساده جریان مستقیم تغییر می‌یابد این روش‌ها عبارتند از:

۱ - تعویض پلاریته منبع ولتاژ به منظور تغییر جهت جریان حلقه

۲ - تعویض محل قطب‌ها به منظور تغییر جهت میدان مغناطیسی

در موتورهای جریان مستقیم عملاً تعویض محل قطب‌ها به دلایلی که بعداً شرح داده می‌شود امکان‌پذیر نیست! لذا تغییر جهت گردش تنها با تغییر جهت جریان حلقه فراهم می‌شود.

## پرسش ۵ - ۲

### پرسش‌های کامل کردنی

۱ - موتورهای جریان مستقیم، انرژی ..... را به انرژی ..... تبدیل می‌کنند.

۲ - برای یکنواخت شدن گشتاور و راه‌اندازی در هر وضعیتی ..... را در موتور ساده جریان مستقیم ..... می‌دهند.

۳ - به منظور افزایش ..... از حلقه با ..... بیشتر استفاده می‌شود.

### پرسش‌های صحیح، غلط

۱ - در موتور ساده جریان مستقیم با قرار گرفتن حلقه

در صفحه خنثی گشتاور وارد به آن صفر می‌شود.

صحیح  غلط

۲ - در موتور ساده جریان مستقیم گشتاور بسیار زیاد و یکنواخت است.

صحیح  غلط

### پرسش‌های تشریحی

۱ - طرز کار موتور ساده جریان مستقیم را شرح دهید.

۲ - وظیفه کموتاتور در موتور ساده جریان مستقیم را بنویسید.

۳ - معایب موتور ساده جریان مستقیم را بنویسید.

۴ - اثر افزایش تعداد حلقه‌ها و تعداد دور حلقه در موتور ساده جریان مستقیم را شرح دهید.

۵ - برای تغییر جهت گردش در موتور ساده جریان مستقیم چه باید کرد؟

## ۱۰ - ۲ - ساختمان ماشین‌های جریان مستقیم

پس از آشنایی با طرز کار ماشین‌های ساده جریان مستقیم (ژنراتور و موتور) اینک به ساختمان آنها پرداخته می‌شود.

ماشین‌های جریان مستقیم در عمل دارای ساختمان پیچیده‌تری می‌باشند و به لحاظ شکل ظاهری کمی متفاوت هستند. این پیچیدگی و تفاوت در مقایسه آنها با ماشین‌های جریان متناوب محسوس می‌باشد، تصویر ظاهری یک ماشین جریان مستقیم در شکل (۸۳ - ۲) نشان داده شده است.





شکل ۸۴-۲

بر روی بدنه تخته کلم قرار دارد. با هدایت سرهای سیم پیچی های ماشین به سوی تخته کلم، امکان اتصال به مدار خارجی فراهم می شود. در ماشین هایی که ارزانی نقش مهمتری در مقابل وزن دارد، بدنه را از جنس چدن می سازند؛ در غیر این صورت بدنه را از جنس فولاد انتخاب می نمایند.

### قطب های مغناطیسی

تامین میدان مغناطیسی مورد نیاز ماشین جریان مستقیم وظیفه قطب های مغناطیسی است، قطب های مغناطیسی در بدنه ماشین جاسازی می شوند و در صورت نیاز با پیچ محکم خواهند شد. تعداد قطب های مغناطیسی همواره زوج است و جنس آن از ورقه های



شکل ۸۲-۲ ماشین جریان مستقیم

ساختمان ماشین های جریان مستقیم از دو قسمت اصلی تشکیل شده است:  
قسمت ساکن یا استاتور<sup>۱</sup>  
قسمت متحرک یا رتور<sup>۲</sup>  
قسمت های ساکن و متحرک دارای اجزائی می باشند که در ادامه به آنها پرداخته می شود.

### ۱-۱۰-۲- اجزای قسمت ساکن

قسمت ساکن یا استاتور یک ماشین جریان مستقیم در شکل (۸۴-۲) نشان داده شده است. اجزای آن عبارتند از:

- بدنه
- قطب های مغناطیسی
- سیم پیچی میدان
- جاروبک و جاروبک نگه دار

### بدنه

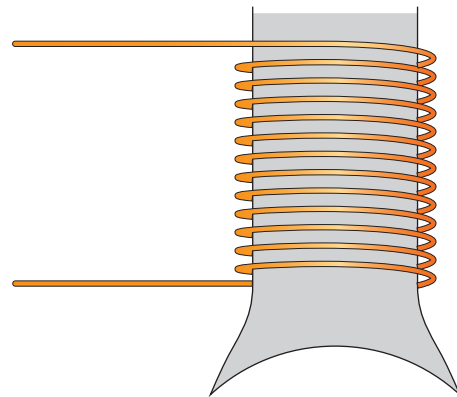
بدنه<sup>۳</sup> نقش تکیه گاه و حفاظت از سایر اجزای ماشین را ایفا می کند. بر روی بدنه پایه ها قرار دارند تا بوسیله پیچ و مهره، ماشین در محل مورد نظر نصب شود.

فولاد الکتریکی می‌باشد.

در برخی از ماشین‌های جریان مستقیم در بین قطب‌های مغناطیسی، قطب‌هایی به نام «قطب کموتاسیون<sup>۱</sup>» یا «میان قطب<sup>۲</sup>» تعبیه می‌شود که به وظایف آن‌ها بعداً پرداخته می‌شود.

### سیم پیچی میدان

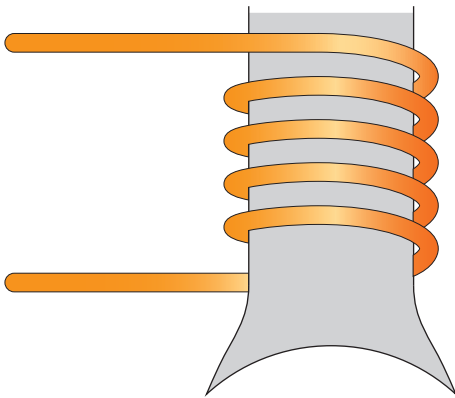
با اعمال جریان dc به سیم پیچی میدان<sup>۳</sup>، میدان مغناطیسی اصلی ماشین جریان مستقیم فراهم می‌شود. برای ایجاد میدان مغناطیسی در قطب‌های ماشین نیاز به آمپر دور مشخصی است. برای جریان‌های کم بایستی تعداد دور سیم پیچی میدان زیاد باشد ولی چون مقدار جریان کم است، سطح مقطع سیم کم می‌باشد. شکل (۸۵ - ۲)



شکل ۸۵ - ۲ سیم پیچی میدان برای جریان کم

در جریان‌های زیاد تعداد دور کمی برای سیم پیچی میدان لازم است، ولی چون جریان زیاد است بایستی سطح مقطع سیم بزرگ باشد (شکل ۸۶ - ۲).

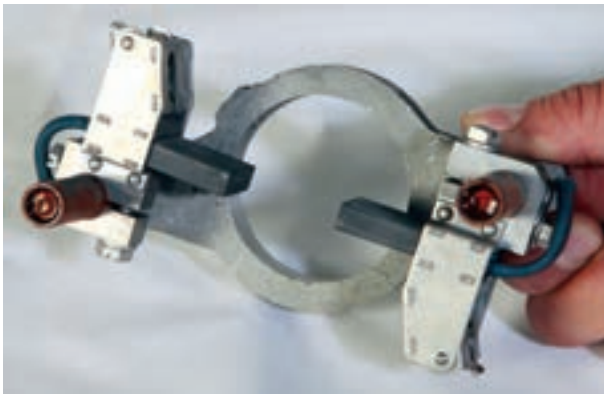
از آنجایی که «سیم پیچی میدان» در قسمت ساکن ماشین‌های جریان مستقیم قرار دارد آن را «سیم پیچی استاتور» نیز خطاب می‌کنند. و به‌طور کلی اصطلاح «سیم پیچی» به آن اطلاق می‌شود.



شکل ۸۶ - ۲ سیم پیچی میدان برای جریان زیاد

### جاروبک و جاروبک نگهدار

در قسمت ساکن ماشین‌های جریان مستقیم وسیله‌ای به نام جاروبک نگهدار<sup>۴</sup> نصب شده است. وظیفه جاروبک نگهدار، قرار دادن صحیح جاروبک‌ها روی تیغه‌های کموتاتور است. جاروبک‌ها در جاروبک نگهدار قرار می‌گیرند و توسط فنری با فشار قابل تنظیم بر روی کموتاتور فشار داده می‌شوند (شکل ۸۷ - ۲).



شکل ۸۷ - ۲ جاروبک نگهدار

### ۲- ۱۰- ۲- اجزای قسمت متحرک

قسمت متحرک یا رتور یک ماشین جریان مستقیم در شکل (۸۸ - ۲) نشان داده شده است.





شکل ۸۹ - ۲ هسته رتور با تهویه محوری

در رتورهای با تهویه شعاعی هسته از چند دسته ورق با طول ۴ تا ۱۰ سانتی‌متر که با یکدیگر ۸ تا ۱۰ میلی‌متر فاصله دارند تشکیل می‌گردد (شکل ۹۰ - ۲).



شکل ۹۰ - ۲ هسته با تهویه شعاعی

### سیم‌پیچی رتور

سیم‌پیچی رتور از کلاف‌های مشابهی تشکیل شده



شکل ۸۸ - ۲ رتور ماشین جریان مستقیم

اجزای آن عبارت است از:

- هسته رتور
- سیم‌پیچی رتور
- کموتاتور
- محور
- پروانه خنک‌کننده

وظیفه هر یک از این اجزا به شرح زیر است.

### هسته رتور

هسته رتور از ورقه‌های فولادی سیلیس‌دار ساخته می‌شود که با یک لایه نازک از هم عایق شده‌اند بر روی هسته رتور شیارهایی<sup>۱</sup> تعبیه شده است تا سیم‌پیچ‌ها در داخل آن‌ها قرار گیرند. این شیارها ممکن است به صورت باز یا نیمه باز باشند.

در هنگام کار ماشین‌های جریان مستقیم هسته رتور گرم می‌شود. برای خنک شدن هسته، معمولاً رتورها را به صورت «تهویه محوری» یا «تهویه شعاعی» می‌سازند. در رتورهای با تهویه محوری، سوراخ‌هایی در امتداد هسته ایجاد می‌کنند تا در اثر نفوذ جریان هوا به این سوراخ‌ها هسته خنک شود (شکل ۸۹ - ۲).

برای سایر اجزای رتور می‌باشد. محور باید از فولادی تهیه شود که خاصیت مغناطیسی آن کم، اما استحکام مکانیکی کافی در مقابل تنش‌های برشی، خمشی، کششی و پیچشی را دارا باشد.

### پروانه خنک کننده

پروانه خنک کننده<sup>۳</sup> یا «فن» با ایجاد جریان هوا در داخل ماشین، موجب انتقال سریع‌تر گرمای ایجاد شده به خارج از ماشین می‌شود. لذا دمای کار ماشین در یک حد مشخص محدود می‌شود و سبب ازدیاد عمر مفید ماشین خواهد شد.

پروانه خنک کننده ماشین‌های جریان مستقیم با قدرت کم روی محور رتور نصب می‌شود و با گردش رتور می‌گردد و جریان هوا را به وجود می‌آورد. (شکل ۸۸ - ۲) اما ماشین‌های با قدرت متوسط و زیاد فاقد پروانه خنک کننده روی محور رتور می‌باشند و تهویه ماشین توسط فن جداگانه‌ای که دارای فیلتر هوا به منظور جذب ذرات گرد و غبار می‌باشد و توسط یک موتور سه فاز به گردش در می‌آید صورت می‌پذیرد. تصویر یک ماشین جریان مستقیم مجهز به فن جداگانه در شکل (۹۲ - ۲) نشان داده شده است.



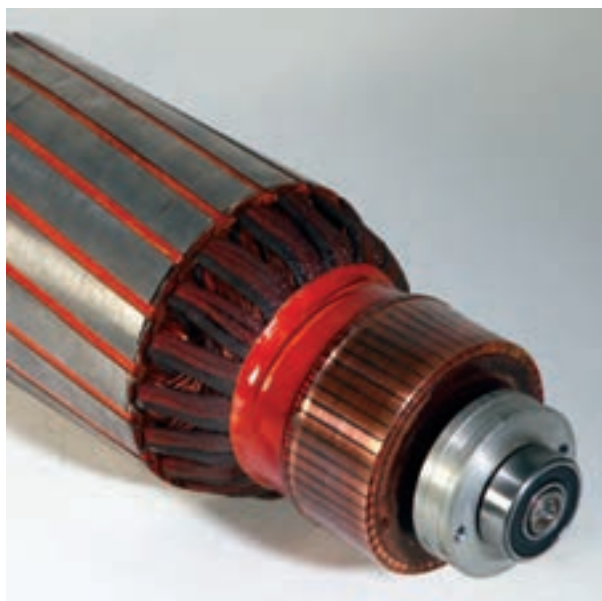
شکل ۹۲ - ۲ ماشین جریان مستقیم مجهز به فن جداگانه

است. این سیم‌پیچی مبتنی بر اصول فنی می‌باشد و از طراحی ماشین‌های جریان مستقیم تبعیت می‌کند. در بخش ۱۱ - ۲ در حد مورد نیاز، سیم‌پیچی رتور مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

از آنجایی که در ماشین‌های جریان مستقیم ولتاژ اصلی در «سیم‌پیچی رتور» القا می‌شود اصطلاح «سیم‌پیچی آرمیچر» نیز به آن اطلاق می‌شود. «رتور» ماشین‌های جریان مستقیم نیز به «آرمیچر» موسوم است.

### کموتاتور

کموتاتور<sup>۱</sup> از تیغه‌های مسی که توسط عایق میکا نسبت به یکدیگر و محور ماشین عایق شده‌اند تشکیل می‌شود. ابتدا و انتهای کلاف‌های سیم‌پیچی رتور توسط لحیم و یا پرس کردن به تیغه کموتاتور وصل می‌شود (شکل ۹۱ - ۲).

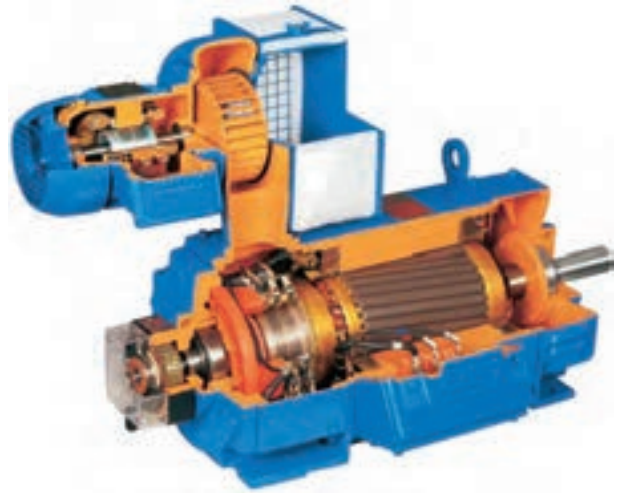


شکل ۹۱ - ۲ کموتاتور

### محور

محور<sup>۲</sup> رتور ماشین‌های جریان مستقیم تکیه‌گاهی

تصویر برش خورده یک ماشین جریان مستقیم با فن جداگانه در شکل (۹۳ - ۲) نشان داده شده است. در این شکل فیلتر و فن را مشاهده می‌کنید.



شکل ۹۳ - ۲

## پرسش ۶ - ۲

### پرسش‌های کامل کردنی

- ۱ - تأمین میدان مغناطیسی مورد نیاز ماشین جریان مستقیم وظیفه ..... است.
- ۲ - سیم‌پیچی میدان، برای جریان‌های کم دارای تعداد دور ..... و سطح مقطع سیم ..... می‌باشد.
- ۳ - وظیفه جاروبک نگهدار، قرار دادن صحیح ..... روی تیغه‌های ..... است.
- ۴ - روش تهویه رتور ماشین‌های جریان مستقیم به صورت ..... و ..... است.
- ۵ - در ماشین‌های جریان مستقیم ولتاژ اصلی در ..... القا می‌شود.
- ۶ - کموتاتور از تیغه‌های ..... که توسط عایق ..... نسبت به یکدیگر و محور ماشین عایق شده‌اند

تشکیل شده است.

## پرسش‌های صحیح، غلط

- ۱ - بدنه نقش تکیه‌گاه و محافظت از سایر اجزای ماشین را ایفا می‌کند.

صحیح  غلط

- ۲ - تعداد قطب‌های ماشین همواره فرد است و جنس آن از ورقه فولادی است.

صحیح  غلط

## پرسش‌های تشریحی

- ۱ - اجزای قسمت ساکن ماشین‌های جریان مستقیم را نام ببرید.
- ۲ - سیم‌پیچی میدان برای جریان‌های زیاد چگونه طراحی می‌شود؟
- ۳ - اجزای قسمت متحرک ماشین‌های جریان مستقیم را نام ببرید.
- ۴ - روش‌های تهویه رتور ماشین‌های جریان مستقیم را توضیح دهید.
- ۵ - چرا به رتور ماشین‌های جریان مستقیم، آرمیچر می‌گویند؟
- ۶ - ویژگی‌های محور رتور را بنویسید.
- ۷ - وظیفه پروانه خنک کننده را بنویسید.
- ۸ - تهویه ماشین‌های جریان مستقیم با قدرت کم و زیاد چگونه صورت می‌پذیرد؟

## ۱۱-۲-سیم پیچی آرمیچر ماشین های جریان

### مستقیم

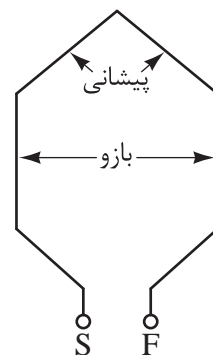
در ماشین های جریان مستقیم، نحوه سری و موازی کردن کلاف های سیم پیچی رتور تحت عنوان «سیم پیچی آرمیچر»<sup>۱</sup> مطرح می شود. به طور کلی اصطلاح «سیم پیچی آرمیچر» به سیم پیچی هایی اطلاق می شود که نیروی محرکه اصلی در آنها القا می شود.

در این بخش به شیوه های اتصال کلاف های سیم پیچی آرمیچر به یکدیگر از طریق تیغه های کموتاتور پرداخته می شود. با معرفی روش های «ترسیم سیم پیچی آرمیچر» به تأثیر این شیوه ها بر نیروی محرکه القایی، جریان و گشتاور ماشین های جریان مستقیم اشاره خواهد شد.<sup>۲</sup>

برخی از واژه های مربوط به سیم پیچی در ذیل آورده

شده است:

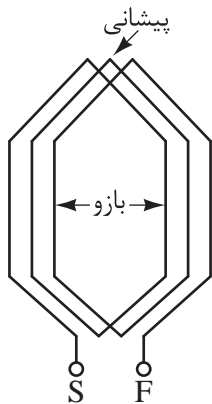
«حلقه»<sup>۳</sup> شامل یک دور هادی است. قسمتی از حلقه که درون شیار قرار می گیرد «بازو» نام دارد و قسمتی که در بیرون شیار قرار می گیرد «پیشانی» نامیده می شود. هر حلقه دارای یک سر و ته می باشد. سر حلقه را با حرف «S»<sup>۴</sup> و ته آن را با حرف «F»<sup>۵</sup> نشان می دهند (شکل ۹۴-۲).



شکل ۹۴-۲

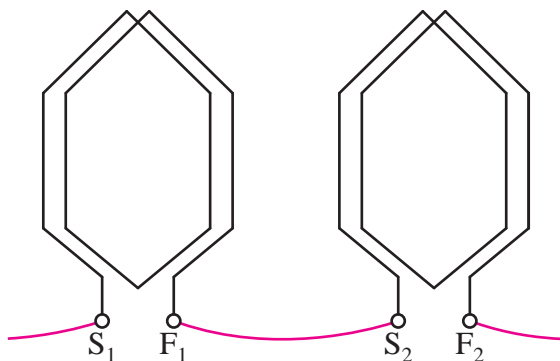
«کلاف»<sup>۶</sup> از اتصال سری چندین حلقه تشکیل شده

است. برای کلاف نیز می توان همانند حلقه، بازو، پیشانی و سر و ته در نظر گرفت (شکل ۹۵-۲).

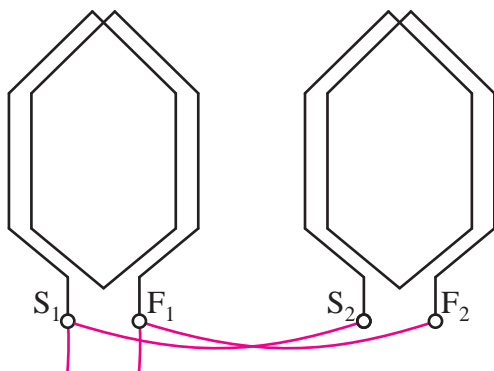


شکل ۹۵-۲

«سیم پیچی»<sup>۷</sup> از اتصال چندین کلاف تشکیل شده است. این اتصال می تواند به صورت سری یا موازی و یا ترکیب سری و موازی باشد (شکل ۹۶-۲).



الف - اتصال سری کلاف ها



ب - اتصال موازی کلاف ها

شکل ۹۶-۲

۱. جزئیات بیشتر سیم پیچی آرمیچر را در درس «تکنولوژی کارگاه سیم پیچی» خواهید آموخت.

۲. Winding ۷

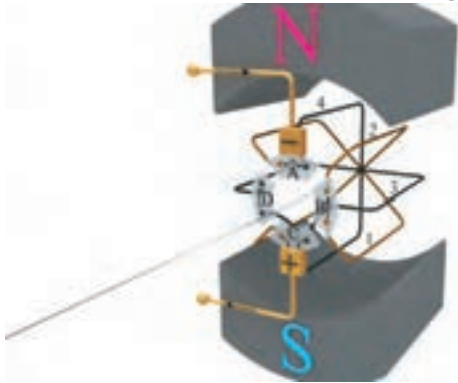
۳. Coil ۶

۴. Final ۵

۵. Start ۴

۶. Turn ۳

نمونه‌ای از سری و موازی شدن حلقه‌ها در شکل (۹۸ - ۲) نشان داده شده است.



شکل ۹۸-۲ طرح یک ماشین ۴ کلافی

این شکل یک ماشین جریان مستقیم دو قطب با چهار کلاف و چهار تیغه کموتاتور را نشان می‌دهد. به منظور پرهیز از شلوغ شدن شکل کلاف‌ها به صورت حلقه نشان داده شده‌اند.

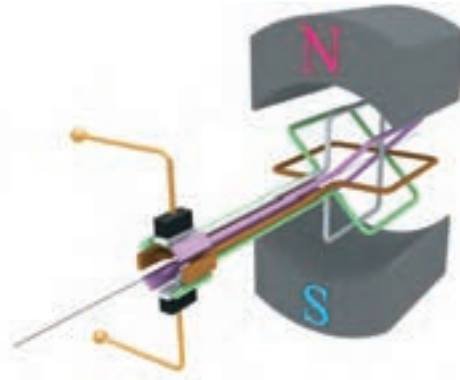
دو حلقه مشکی از طریق تیغه D و دو حلقه قهوه‌ای از طریق تیغه B با هم سری شده‌اند؛ هر یک از حلقه‌های مشکی و قهوه‌ای از طریق تیغه‌های A و C با هم موازی خواهند شد. بدین ترتیب جریان الکتریکی از طریق جاروبک به تیغه A وارد می‌شود و پس از عبور از حلقه‌های مشکی و قهوه‌ای به تیغه C می‌رسد و از طریق جاروبک خارج می‌شود. لذا جریان الکتریکی از تمام حلقه‌ها می‌گذرد و آنها در کار ماشین مؤثر خواهند شد.

ترسیم سیم‌پیچی آرمیچر مطابق شکل (۹۸ - ۲) بسیار دشوار است. لذا روش‌های ترسیمی دیگری به کار می‌رود. این روش‌ها عبارت است از:

- دیاگرام دایره‌ای (مقطعی)
- دیاگرام خطی (راه جریان)
- دیاگرام گسترده (باز)
- دیاگرام سریع (دندان‌اره‌ای)

## ۱۲-۲- روش‌های ترسیم سیم‌پیچی آرمیچر

در قسمت‌های قبل مشاهده شد برای قابل استفاده و کاربردی شدن ژنراتور و موتور ساده جریان مستقیم تعداد حلقه‌های آنها افزایش داده می‌شود (شکل‌های ۴۸ - ۲ و ۷۷ - ۲). ماشین جریان مستقیمی با چهار حلقه و هشت تیغه کموتاتور در نظر است (شکل ۹۷ - ۲).



شکل ۹۷-۲

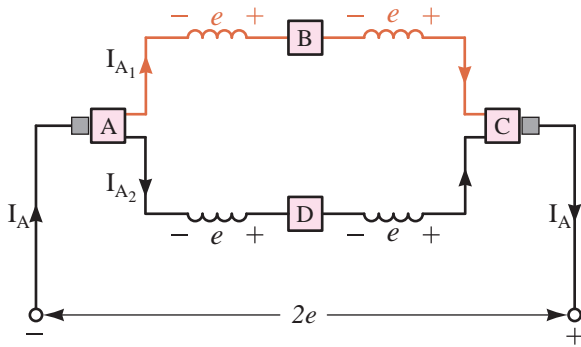
مشاهده می‌شود در هر لحظه فقط یک یا دو حلقه دارای جریان می‌شوند و حلقه‌های دیگر فاقد جریان الکتریکی هستند و نقش مؤثری در تمام لحظات در ماشین ایفا نمی‌کنند. در واقع به دلیل عدم ارتباط الکتریکی بین این حلقه‌ها، افزایش بیشتر تعداد حلقه‌ها با این شیوه تأثیر چندانی در کارایی ماشین نگذاشته است.

برای برقراری ارتباط الکتریکی بین حلقه‌ها روش‌هایی به کار گرفته می‌شود که حلقه‌ها را به صورت سری و موازی از طریق تیغه‌های کموتاتور به یکدیگر متصل می‌کنند تا جریان الکتریکی از آنها عبور کند. با این عمل در موتورهای تغییرات گشتاور به حداقل مقدار ممکن می‌رسد و گشتاور یکنواخت خواهد شد و در ژنراتورها ضربان نیروی محرکه القایی نیز به حداقل مقدار ممکن می‌رسد و مقدار متوسط آن افزایش می‌یابد.



## ۱- ۱۲- ۲- دیاگرام دایره‌ای

دیاگرام دایره‌ای، نمای روبروی رتور و کموتاتور است. در این دیاگرام «سربندی کلاف‌های سیم‌پیچی آرمیچر» یعنی اتصال سر و ته کلاف به تیغه‌های کموتاتور مشخص می‌شود و جهت جریان هر یک از بازوهای کلاف در هر یک از شیارهای رتور نشان داده می‌شود. کلاف‌های رتور و کموتاتور شکل (۲-۹۸) در شکل (۲-۹۹) نشان داده شده است.



شکل ۱۰۰-۲ دیاگرام خطی ماشین چهار کلافی دو قطب

در این شکل لحظه‌ای که جاروبک‌ها با تیغه‌های A و C کموتاتور در تماس هستند مشاهده می‌شود. جریان آرمیچر  $I_A$  از طریق تیغه A کموتاتور بین دو راه جریان که توسط کلاف‌های قهوه‌ای و مشکی ایجاد شده است تقسیم می‌شود و جریان‌های  $I_{A_1}$  و  $I_{A_2}$  را در هر مسیر جاری می‌کند. کلاف‌های هر یک از این راه‌های جریان توسط تیغه‌های B و D کموتاتور سری شده‌اند و نیروی محرکه القایی  $e$  آنها با هم جمع می‌شود و ولتاژ  $2e$  را بین تیغه‌های A و C کموتاتور به وجود می‌آورند.

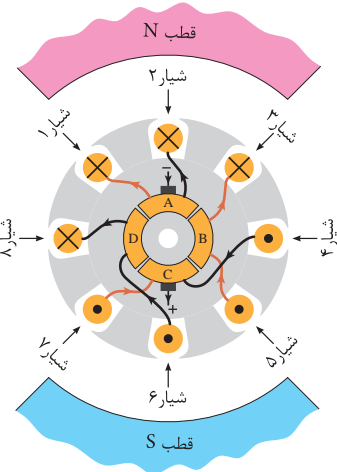
تعداد راه‌های جریان را با  $a$  نشان می‌دهند لذا در این دیاگرام  $a = 2$  است.

### فعالیت ۲-۶

با گردش رتور و قرار گرفتن جاروبک‌ها در مقابل تیغه‌های B و D نحوه سری و موازی شدن کلاف و تقسیم جریان را بررسی کنید.

### ۳- ۱۲- ۲- دیاگرام گسترده

دیاگرام گسترده، موقعیت هر کلاف در شیارهای رتور و نحوه اتصال سر و ته آنها را به تیغه‌های کموتاتور



شکل ۹۹-۲

## ۲- ۱۲- ۲- دیاگرام خطی

در دیاگرام خطی چگونگی ارتباط کلاف‌ها به یکدیگر و اتصال سر و ته آنها به تیغه‌های کموتاتور به صورت دیگری ترسیم می‌شود.

این دیاگرام نشان می‌دهد چگونه با موازی شدن کلاف‌ها، مسیرهای موازی برای عبور جریان الکتریکی ایجاد می‌شود و کلاف‌هایی که در این مسیرها قرار می‌گیرند با یکدیگر سری می‌شوند تا نیروی محرکه القایی آنها با هم جمع شود. هر یک از این مسیرهای موازی جریان «راه جریان» نام دارد.

دیاگرام خطی کلاف‌های سیم‌پیچی آرمیچر شکل

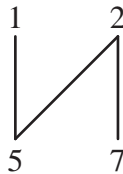
#### ۴-۱۲-۲- دیاگرام سریع

دیاگرام سریع موقعیت هر بازوی کلاف در شیارهای رتور را نشان می‌دهد. معمولاً دیاگرام سریع بعد از دیاگرام گسترده ترسیم می‌شود. با توجه به دیاگرام گسترده شکل (۲-۱۰۱) مشاهده می‌شود کلافی که یکی از بازوهای آن در شیار ۱ رتور قرار دارد، بازوی دیگر آن در شیار ۵ قرار گرفته است. این فرایند در دیاگرام سریع به صورت شکل (۲-۱۰۲) نشان داده می‌شود.



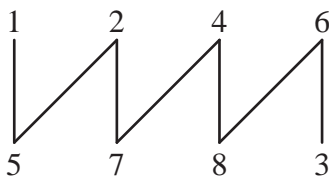
شکل ۲-۱۰۲

بازوی کلاف بعدی در شیارهای ۲ و ۷ قرار گرفته است لذا دیاگرام سریع به صورت شکل (۲-۱۰۳) در می‌آید.



شکل ۲-۱۰۳

با ادامه این روند دیاگرام سریع شکل (۲-۱۰۱) به صورت شکل (۲-۱۰۴) تکمیل می‌شود.



شکل ۲-۱۰۴

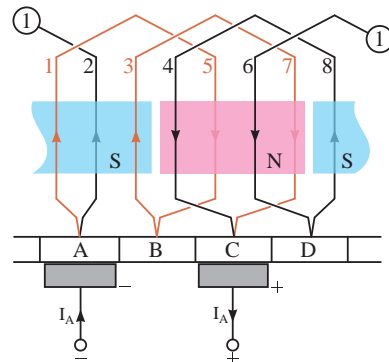
در صورتی که در شیارهای رتور دو بازو از دو کلاف قرار داشته باشد. بازویی را که در زیر قرار می‌گیرد با

نشان می‌دهد. در این دیاگرام با توجه به جهت جریان در کلاف‌ها محل قطب‌های مغناطیسی سیم‌پیچی آرمیچر نیز مشخص می‌شود.

از دیاگرام گسترده اطلاعات مربوط به سیم‌پیچی و سربندی کلاف‌های سیم‌پیچی آرمیچر به دست می‌آید و برای سیم‌پیچی عملی آرمیچر مناسب‌تر است.

در ترسیم دیاگرام گسترده، رتور و کموتاتور را که استوانه‌ای هستند برش طولی، در امتداد شیارها می‌دهند و آنها را به صورت صفحه‌ای ترسیم می‌کنند. به تعداد شیارهای رتور خطوطی به طور عمودی رسم می‌شود. در صورتی که در هر شیار دو بازو از دو کلاف مختلف قرار گرفت، بازویی که در بالای شیار قرار می‌گیرد با خط پر و بازویی که در پایین شیار قرار می‌گیرد با خط چین نشان می‌دهند.

با ایجاد یک برش فرضی در شکل (۲-۹۸) دیاگرام گسترده آن مطابق شکل (۲-۱۰۱) ترسیم می‌شود.



شکل ۲-۱۰۱ دیاگرام گسترده ماشین چهار کلافی دو قطب

جریان آرمیچر  $I_A$  از طریق جاروبک متصل به تیغه A کموتاتور به سیم‌پیچی وارد می‌شود و از طریق جاروبک متصل به تیغه C کموتاتور از آن خارج می‌شود. مشاهده می‌شود بازوی کلاف‌های با جهت جریان یکسان در کنار هم قرار گرفته‌اند و به طور مشترک قطب‌های مغناطیسی در رتور به وجود می‌آورند.



اعداد پریم‌دار نشان می‌دهند.

قطبی آن چقدر است؟

حل:

گام قطبی از رابطه (۷ - ۲) به دست می‌آید و برابر است با:

$$y_p = \frac{S}{P} = \frac{4}{2} = 2 \text{ شیار}$$

### گام رفت

فاصله بین بازوهای یک کلاف سیم‌پیچی آرمیچر بر حسب شیار رتور را «گام رفت» گویند.

شکل (۵ - ۱۰۲) گام رفت را با  $y_1$  نشان می‌دهند و از رابطه (۸ - ۲) به دست می‌آید.

$$y_1 = \frac{S}{P} \pm \varepsilon \quad (2-8)$$

در این رابطه:

S تعداد شیارهای رتور

P تعداد قطب‌های رتور

$\varepsilon$  کوچک‌ترین عددی که کسر  $\frac{S}{P}$  را گویا می‌کند.

$y_1$  گام رفت

در رابطه (۸ - ۲) اگر:

$\varepsilon = 0$  باشد، گام رفت برابر با گام قطبی خواهد شد و سیم‌پیچی را با «گام کامل»<sup>۴</sup> گویند.

$\varepsilon < 0$  منفی باشد، گام رفت کوچک‌تر از گام قطبی می‌شود و سیم‌پیچی را با «گام کوتاه»<sup>۵</sup> گویند.

$\varepsilon > 0$  مثبت باشد، گام رفت بزرگ‌تر از گام قطبی می‌شود و سیم‌پیچی را با «گام بلند»<sup>۶</sup> گویند.

## ۱۳ - ۲ - گام‌های سیم‌پیچی آرمیچر

سیم‌پیچی آرمیچر با گام‌های آن شناسایی می‌شود.

این گام‌ها عبارتند از:

- گام قطبی<sup>۱</sup>
- گام رفت<sup>۲</sup> (گام جلو)
- گام برگشت<sup>۳</sup> (گام عقب)
- گام سیم‌پیچی<sup>۴</sup>
- گام کموتاتور<sup>۵</sup>

### گام قطبی

با عبور جریان الکتریکی از سیم‌پیچی آرمیچر در اطراف رتور آن قطب‌های مغناطیسی تشکیل می‌شود.

فاصله بین مرکز تا مرکز دو قطب غیرهمنام مجاور یکدیگر بر حسب شیار رتور را «گام قطبی» گویند.

گام قطبی را با  $y_p$  نشان می‌دهند و از رابطه (۷ - ۲) به دست می‌آید.

$$y_p = \frac{S}{P} \quad (2-7)$$

در این رابطه:

S تعداد شیارهای رتور

P تعداد قطب‌های رتور

$y_p$  گام قطبی بر حسب شیار رتور

مثال ۳ - ۲ - رتور ماشین جریان مستقیمی<sup>۴</sup>

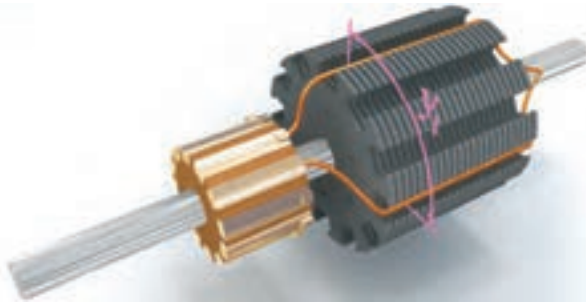
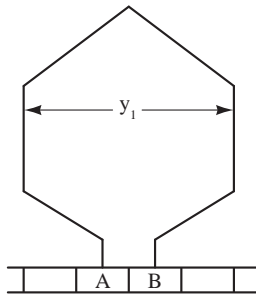
شیار دارد. اگر رتور دو قطب سیم‌پیچی شده باشد گام

۴. Coil Pitch  
۵. Long Pitch

۳. Back Pitch  
۶. Short Pitch

۲. Forward Pitch  
۶. Full Pitch

۱. Pole Pitch  
۵. Commutator Pitch



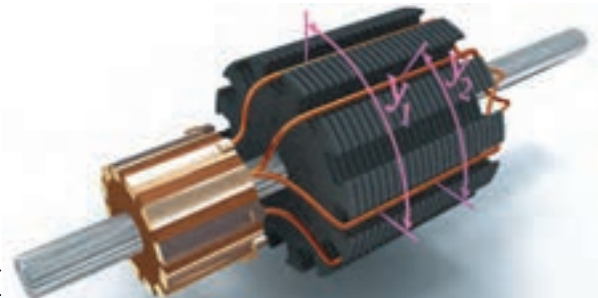
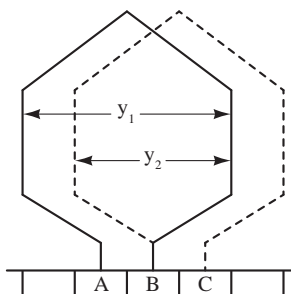
شکل ۱۰۵-۲

### فعالیت ۸-۲

- ۱- چرا در رابطه (۸-۲)  $\varepsilon$  مطرح شده است.
- ۲- در مثال (۳-۲) چرا  $\varepsilon = -\frac{3}{4}$  انتخاب نشده است.

#### گام برگشت

فاصله بین بازوی دوم از کلاف اول تا بازوی اول از کلاف دوم سیم‌پیچی آرمیچر بر حسب شیار رتور را «گام برگشت» می‌گویند و آن را با  $y_p$  نشان می‌دهند (شکل ۱۰۶-۲).



شکل ۱۰۶-۲

#### گام کموتاتور

فاصله بین سر و ته یک کلاف روی کموتاتور بر حسب تعداد عایق بین تیغه‌های کموتاتور را «گام کموتاتور» می‌گویند. و آن را با  $y_c$  نشان می‌دهند (شکل ۱۰۷-۲).

**مثال ۳-۲-۲** - رتور یک ماشین جریان مستقیم دارای چهار قطب و یازده شیار می‌باشد، گام رفت را تعیین کنید.

حل:

گام رفت از رابطه (۸-۲) به دست می‌آید:

$$y_1 = \frac{S}{P} \pm \varepsilon = \frac{11}{4} \pm \varepsilon$$

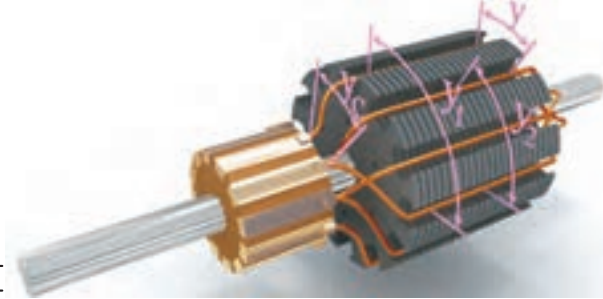
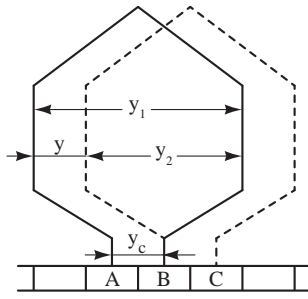
کسر  $\frac{11}{4}$  گویا نیست و با  $\frac{1}{4} = +\varepsilon$  گویا می‌شود.

$$y_1 = \frac{11}{4} + \frac{1}{4} = 3$$

$\varepsilon > 0$  انتخاب شد؛ پس سیم‌پیچی با گام بلند است.

#### گام سیم‌پیچی

فاصله بین دو بازوی اول دو کلاف متوالی سیم‌پیچی آرمیچر بر حسب شیار رتور را «گام سیم‌پیچی» گویند و آن را با  $y$  نشان می‌دهند (شکل ۱۰۷-۲).



شکل ۱۰۷-۲

### پرسش‌های تشریحی

- ۱ - مفاهیم مربوط به سیم‌پیچی آرمیچر را تعریف کنید:
- الف - حلقه      ب - کلاف      پ - سیم‌پیچی
- ۲ - روش‌های ترسیمی سیم‌پیچی آرمیچر را نام ببرید.
- ۳ - گام‌های سیم‌پیچی آرمیچر را نام ببرید.
- ۴ - گام قطبی را تعریف کنید و رابطه آن را بنویسید.
- ۵ - گام برگشت را تعریف کنید.
- ۶ - گام کموتاتور را تعریف کنید.

### تمرین ۲-۷

- ۱ - گام قطبی رتور یک ماشین جریان مستقیم دو قطب برابر ۶ می‌باشد. تعداد شیارهای رتور را به دست آورید.
- ۲ - رتور یک ماشین جریان مستقیم دارای چهار قطب و سیزده شیار می‌باشد. گام رفت را به دست آورید.

### پرسش ۲-۷

#### پرسش‌های کامل کردنی

- ۱ - دیاگرام ..... نمای روبروی رتور و کموتاتور است.
- ۲ - دیاگرام گسترده موقعیت هر کلاف در ..... و نحوه اتصال سر و ته آنها را به ..... نشان می‌دهد.
- ۳ - فاصله بین بازوهای یک کلاف بر حسب شیار رتور را ..... گویند.

#### پرسش‌های صحیح، غلط

- ۱ - دیاگرام خطی نشان می‌دهد چگونه با موازی شدن کلاف‌ها، مسیره‌های موازی برای عبور جریان الکتریکی ایجاد می‌شود.
 

<input type="checkbox"/> غلط	<input type="checkbox"/> صحیح
------------------------------	-------------------------------
- ۲ - دیاگرام سریع موقعیت هر بازوی کلاف در شیارهای رتور را نشان می‌دهد.
 

<input type="checkbox"/> غلط	<input type="checkbox"/> صحیح
------------------------------	-------------------------------
- ۳ - فاصله بین دو بازوی اول دو کلاف متوالی بر حسب شیار را گام سیم‌پیچی گویند.
 

<input type="checkbox"/> غلط	<input type="checkbox"/> صحیح
------------------------------	-------------------------------

## ۱۴-۲- روش‌های سیم‌پیچی آرمیچر

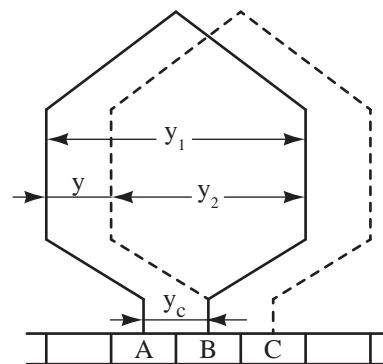
برای اتصال کلاف‌های سیم‌پیچی آرمیچر به تیغه‌های کموتاتور ماشین‌های جریان مستقیم روش‌های گوناگونی وجود دارد. اما دو روش آن به نام «حلقوی<sup>۱</sup>» و «موجی<sup>۲</sup>» مشهورتر است. انجام هر یک از این اتصال‌ها به ترتیب باعث ایجاد «سیم‌پیچی حلقوی<sup>۳</sup>» و «سیم‌پیچی موجی<sup>۴</sup>» در رتور می‌شود.

سیم‌پیچی‌های حلقوی و موجی از نظر شکل سیم‌پیچی و نحوه اتصال کلاف‌ها به تیغه‌های کموتاتور با یکدیگر متفاوت هستند. این تفاوت در تعداد راه‌های جریان و ترتیب اتصال سر و ته کلاف‌ها به تیغه‌های کموتاتور می‌باشد.

سیم‌پیچی‌های حلقوی و موجی به دو صورت «ساده» و «مرکب» اجرا می‌شوند.

### ۱۴-۲-۱- سیم‌پیچی حلقوی ساده

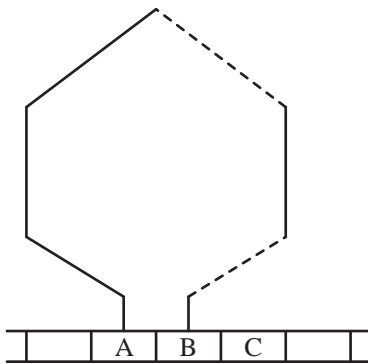
سربندی دو کلاف به تیغه‌های کموتاتور به صورت سیم‌پیچی حلقوی ساده به همراه گام‌های آن در دیگرام گسترده شکل (۲-۱۰۸) نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۰۸ دیگرام گسترده دو کلاف از سیم‌پیچی حلقوی ساده

در این شکل ته هر کلاف به یک تیغه کموتاتور اتصال می‌یابد و این تیغه محل اتصال سر کلاف بعدی خواهد شد و این روند ادامه می‌یابد تا این که تمام سر و ته کلاف‌ها به ترتیب به تیغه و تیغه مجاور آن متصل می‌شود. این نوع سیم‌پیچی اسم حقیقی خود را دارد؛ زیرا کلاف‌ها پس از اتصال به تیغه‌های کموتاتور تشکیل حلقه‌های پشت سر هم را می‌دهند.

سیم‌پیچی حلقوی به دو صورت «راست‌گرد» یا «پیش‌رونده<sup>۵</sup>» و «چپ‌گرد» یا «پس‌رونده<sup>۶</sup>» سربندی می‌شود. سربندی کلاف از نوع راست‌گرد در شکل (۲-۱۰۹) نشان داده شده است.

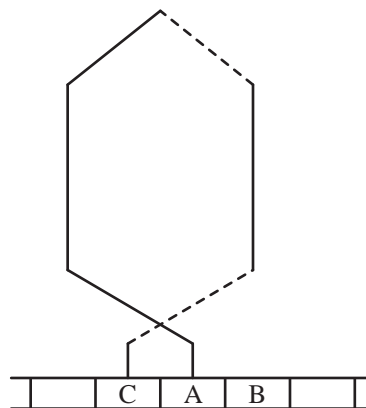


شکل ۲-۱۰۹ کلاف با سربندی حلقوی راست‌گرد

در سیم‌پیچی راست‌گرد ته کلاف به تیغه کموتاتوری که در سمت راست سر کلاف قرار دارد اتصال داده می‌شود.

سربندی کلاف از نوع چپ‌گرد در شکل (۲-۱۱۰) نشان داده شده است. در سیم‌پیچی چپ‌گرد ته کلاف به تیغه کموتاتوری که در سمت چپ سر کلاف قرار دارد اتصال داده می‌شود.

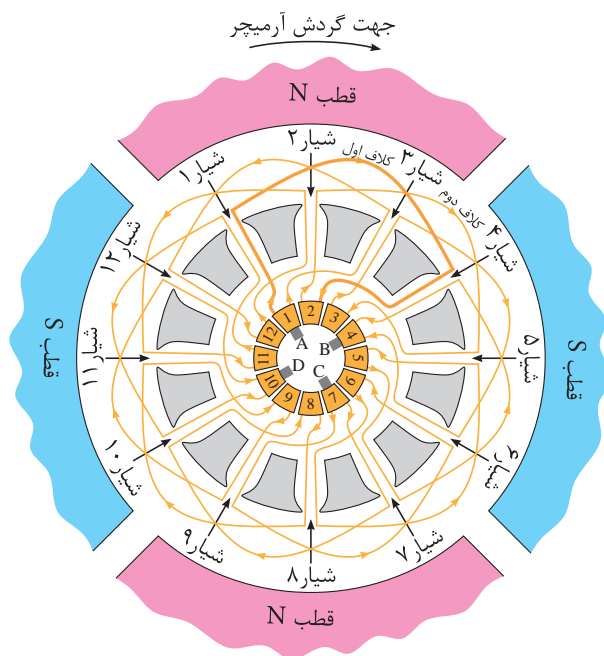
در این شکل یکی از کلاف‌ها پررنگ‌تر نشان داده شده است؛ آن را کلاف اول می‌نامیم. بازوی اول این کلاف در شیار ۱ رتور قرار دارد و بازوی دوم آن در شیار ۴ رتور قرار گرفته است. بین بازوی اول و دوم این کلاف ۳ شیار فاصله است و طبق تعریف، گام رفت  $y_1 = 3$  می‌شود. چون گام رفت با گام قطبی برابر است سیم‌پیچی «گام کامل» می‌باشد.



شکل ۱۱۰- ۲ کلاف با سربندی حلقوی چپ‌گرد

سر کلاف اول به تیغه ۱ کموتاتور اتصال دارد. این کلاف در طی مسیری راست‌گرد پس از عبور از شیارهای ۱ و ۴، ته آن به تیغه ۲ کموتاتور متصل شده است. بین سر و ته این کلاف یک عایق از کموتاتور قرار دارد. بنابراین طبق تعریف، گام کموتاتور  $y_c = +1$  می‌شود و سیم‌پیچی راست‌گرد است.

دیگرام دایره‌ای سیم‌پیچی حلقوی ساده چهار قطب رتور ۱۲ شیار با ۱۲ تیغه کموتاتور در شکل (۱۱۱ - ۲) نشان داده شده است.



کلاف بعدی کلاف دوم نامیده می‌شود که بازوی اول آن در شیار ۲ و بازوی دوم این کلاف در شیار ۵ رتور قرار می‌گیرد. سر کلاف دوم به تیغه ۲ کموتاتور که ته کلاف اول به آن متصل شده بود، اتصال می‌یابد و ته آن به تیغه ۳ کموتاتور متصل می‌شود. این روند در جاگذاری کلاف‌های بعدی در شیارهای رتور و اتصال سر و ته آنها به تیغه‌های کموتاتور ادامه می‌یابد تا آن که انتهای آخرین کلاف به ابتدای کلاف اول در تیغه ۱ وصل شود. بدین ترتیب سیم‌پیچی رتور به صورت حلقوی ساده تکمیل می‌شود.

شکل ۱۱۱- ۲ دیگرام دایره‌ای رتور ۱۲ شیار ۴ قطب با سیم‌پیچی حلقوی ساده

بازوی دوم کلاف اول در شیار ۴ رتور و بازوی اول کلاف دوم در شیار ۲ رتور قرار دارد. بین این دو بازو ۲ شیار فاصله است که طبق تعریف، گام برگشت  $y_p = 2$  می‌شود.

رتور ۱۲ شیار و ۴ قطب دارد و از رابطه (۷ - ۲) گام قطبی به دست می‌آید:

$$y_p = \frac{S}{P} = \frac{12}{4} = 3$$

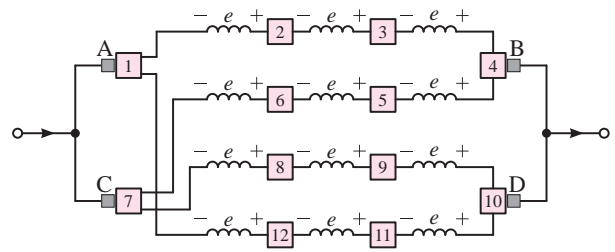
بازوی اول کلاف اول در شیار ۱ رتور و بازوی اول کلاف دوم در شیار ۲ رتور قرار دارد. بین این دو بازو

یک شیار فاصله است و طبق تعریف، گام سیم پیچی  $y=1$  می شود.

سیم پیچی حلقوی ساده است؛ تعداد جاروبکها برابر تعداد قطبها است، لذا از ۴ جاروبک با پهنایی برابر با عرض تیغه کموتاتور استفاده می شود.

جاروبکها بر روی تیغههایی از کموتاتور قرار داده می شود که جریان کلافها به آنها وارد یا از آنها خارج می شود. مطابق شکل جریان از تیغه های شماره ۱ و ۷ کموتاتور خارج می شود و به تیغه های شماره ۴ و ۱۰ کموتاتور وارد می شود؛ لذا چهار جاروبک A، B، C و D به روی این تیغهها قرار می گیرند. بدیهی است پلاریته ولتاژ جاروبکهای A و C و جاروبکهای B و D یکی است. چرا؟

دیاگرام خطی سیم پیچی حلقوی ساده مربوط به دیاگرام دایره ای شکل (۱۱۱ - ۲) در شکل (۱۱۲ - ۲) نشان داده شده است.



شکل ۱۱۲ - ۲ دیاگرام خطی رنور ۱۲ شیار ۴ قطب با سیم پیچی حلقوی ساده

در دیاگرام خطی شکل (۱۱۲ - ۲) مشاهده می شود میان دو تیغه مجاور کموتاتور یک کلاف قرار گرفته است. این کلافها از طریق تیغه های کموتاتور با یکدیگر سری شده اند.

جاروبکهای هم پلاریته B و D و جاروبکهای هم پلاریته A و C به یکدیگر ارتباط داده شده اند. بدین

ترتیب چهار مسیر شکل می گیرد و کلافهای آرمیچر در این مسیرها توزیع می شوند.

جریان پس از عبور از جاروبکهای A و C در چهار مسیر تقسیم می شود. هر یک از این مسیرها راهی برای عبور جریان است. لذا چهار «راه جریان» ایجاد شده است. یعنی  $a=4$  می باشد.

مشاهده می شود در سیم پیچی حلقوی ساده تعداد راههای جریان با تعداد قطبها برابر است. بنابراین:

$$a = P \quad (2-9)$$

با توجه به دیاگرام خطی شکل (۱۱۲ - ۲) مشاهده می شود کلافها در هر راه جریان با یکدیگر سری می شوند، لذا نیروی محرکه القایی آنها با هم جمع می شود. اگر نیروی محرکه القایی هر کلاف  $e$  ولت باشد از آنجایی که در هر راه جریان ۳ کلاف قرار دارد، نیروی محرکه القایی در هر راه جریان  $3e$  ولت خواهد شد. ولتاژ میان دو جاروبک A و B یا C و D با نیروی محرکه القایی در هر راه جریان یعنی  $3e$  ولت برابر است. کلافهای هر یک از این راههای جریان پس از این که با یکدیگر سری شدند به وسیله اتصال جاروبکها به تیغه های کموتاتور با هم موازی می شوند. بدین ترتیب جریان آرمیچر بین راههای جریان تقسیم می شود. اگر جریان هر مسیر جریان  $I_a$  آمپر باشد از آنجایی که آرمیچر ۴ راه جریان دارد لذا جریان آرمیچر  $4I_a$  آمپر خواهد شد. بنابراین بین جریان آرمیچر و جریان هر راه جریان رابطه  $(10-2)$  برقرار است.

$$I_a = \frac{I_A}{a} \quad (2-10)$$



در این رابطه:

$I_{a_1}$  جریان هر راه جریان

$a$  تعداد راه‌های جریان

$I_A$  جریان آرمیچر

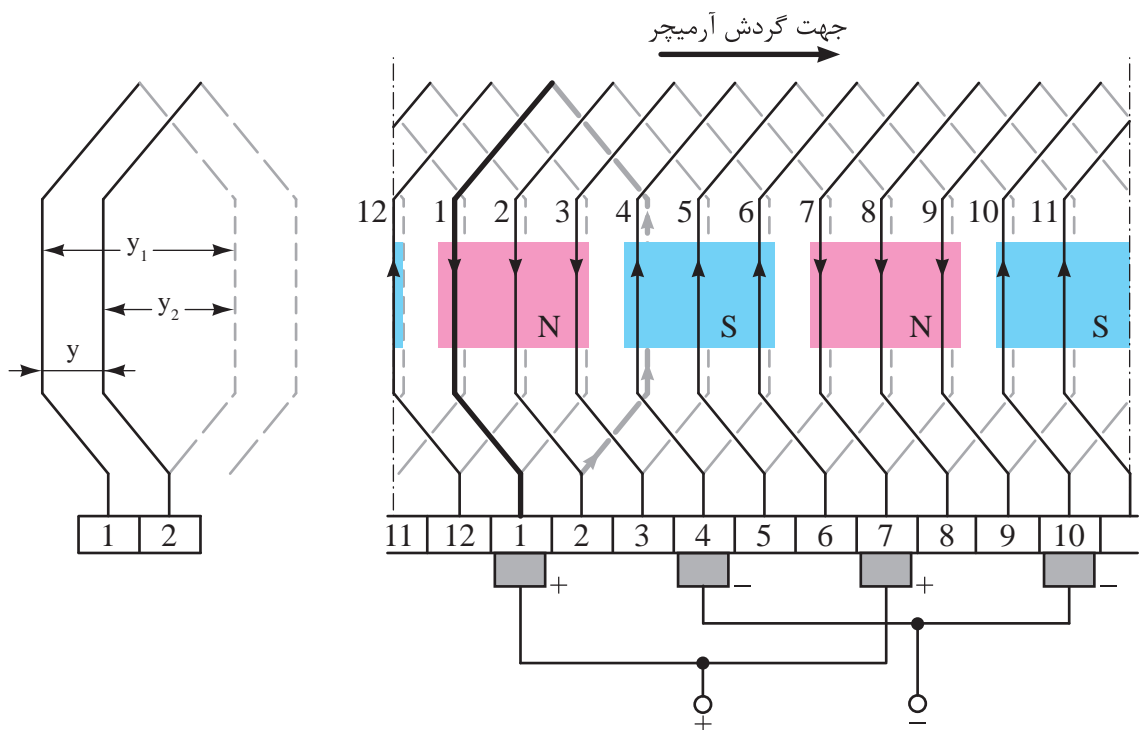
تقسیم جریان بین راه‌های جریان در سیم‌پیچی حلقوی باعث می‌شود از کلاف‌های آرمیچر در هر راه، جریان کمتری عبور کند و سطح مقطع هادی‌های آنها کاهش یابد.

دیاگرام گسترده سیم‌پیچی حلقوی ساده مربوط به دیاگرام دایره‌ای شکل (۱۱۱ - ۲) در شکل (۱۱۳ - ۲) نشان داده شده است. از آنجایی که در هر شیپار رتور دو بازو از دو کلاف قرار گرفته است در دیاگرام گسترده، بازویی که در شیپار زیر قرار می‌گیرد را با خط چین نشان می‌دهند.

## فعالیت ۷ - ۲

گام‌های سیم‌پیچی شکل (۱۱۳ - ۲) را به دست

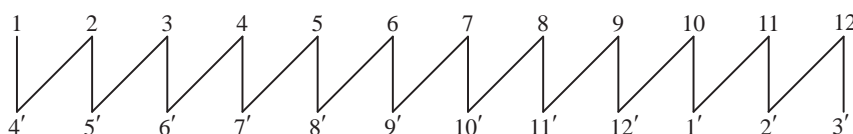
آورید.



شکل ۱۱۳ - ۲ دیاگرام گسترده رتور ۱۲ شیپار چهار قطب با سیم‌پیچی حلقوی ساده

شیپار در زیر قرار می‌گیرد با اعداد پریم‌دار نشان داده می‌شود.

دیاگرام سریع سیم‌پیچی حلقوی ساده مربوط به دیاگرام دایره‌ای شکل (۱۱۱ - ۲) در شکل (۱۱۴ - ۲) نشان داده شده است. در دیاگرام سریع بازویی که در



شکل ۱۱۴ - ۲ دیاگرام سریع رتور ۱۲ شیپار چهار قطب با سیم‌پیچی حلقوی ساده

سیم‌پیچی حلقوی ساده با خصوصیات زیر شناسایی خواهد شد:

- گام کموتاتور  $y_c = \pm 1$  است. در صورتی که  $y_c = +1$  باشد سیم‌پیچی حلقوی ساده راست‌گرد است. در صورتی که  $y_c = -1$  باشد سیم‌پیچی را حلقوی ساده چپ‌گرد می‌نامند.
  - تعداد جاروبک‌ها برابر تعداد قطب‌ها می‌باشد (شکل ۱۱۱ - ۲).
  - پهنای هر جاروبک با عرض تیغه کموتاتور برابر است (شکل ۱۱۳ - ۲).
  - تعداد راه‌های جریان برابر تعداد قطب‌ها است (شکل ۱۱۲ - ۲).
- روابط  $y = y_c$  و  $y = y_1 - y_2$  حاکم است (شکل ۱۰۸ - ۲).

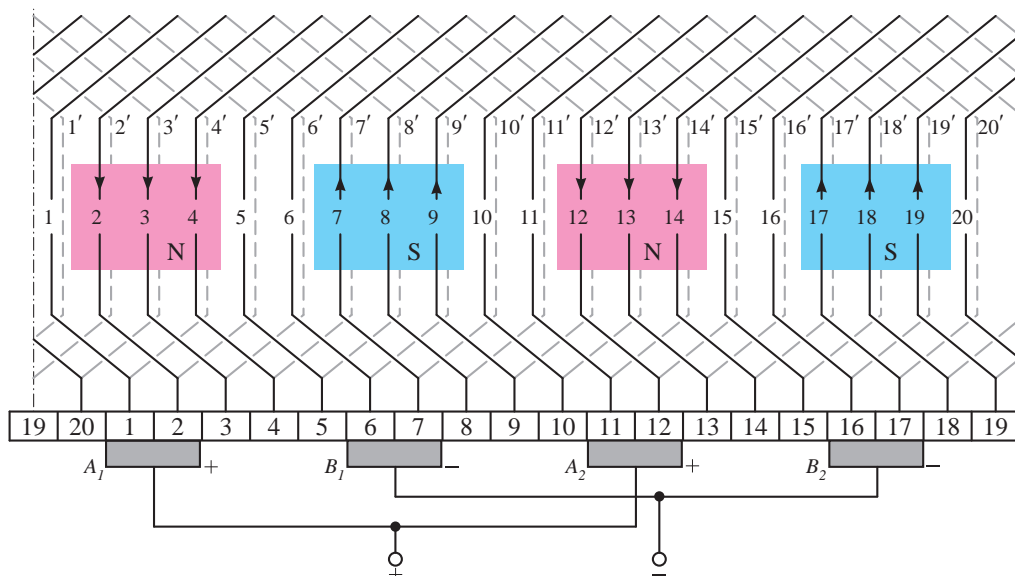
موازی شده‌اند و به همین دلیل نیز به آن مرکب گویند. در بین اصطلاحات سیم‌پیچی آرمیچر،  $m$  را «درجه ترکیب» نامیده‌اند.  $m$  نشان می‌دهد سیم‌پیچی مرکب از چند سیم‌پیچی ساده تشکیل شده است.  $m=1$  یعنی رتور دارای یک سیم‌پیچی حلقوی ساده می‌باشد و  $m=2$  یعنی رتور دارای دو سیم‌پیچی حلقوی ساده است که در اصطلاح آن را «سیم‌پیچی حلقوی مرکب دوگانه» می‌نامند. این روند نام‌گذاری می‌تواند ادامه یابد.

در سیم‌پیچی حلقوی مرکب سر و ته کلاف‌های هر یک از سیم‌پیچی‌های حلقوی ساده به تیغه‌های کموتاتور به فاصله  $\frac{m}{p}$  متصل می‌شوند. جاروبک نیز با پهنای خود تیغه‌های کموتاتور مجاور یکدیگر را به هم ارتباط می‌دهد. بدیهی است پهنای جاروبک  $m$  برابر عرض تیغه کموتاتور انتخاب می‌شود تا  $m$  سیم‌پیچی حلقوی ساده را با هم موازی کند.

دیاگرام گسترده سیم‌پیچی حلقوی مرکب دوگانه یک رتور ۲۰ شیار ۴ قطب در شکل (۱۱۵ - ۲) نشان داده شده است.

## ۲-۱۴-۲ سیم‌پیچی حلقوی مرکب

سیم‌پیچی حلقوی مرکب از  $m$  سیم‌پیچی حلقوی ساده مستقل از یکدیگر تشکیل می‌شود که با هم



شکل ۱۱۵ - ۲ دیاگرام گسترده سیم‌پیچی حلقوی مرکب دو گانه رتور ۲۰ شیار چهار قطب

$y_C$  گام کموتاتور

سیم‌پیچی حلقوی مرکب نسبت به سیم‌پیچی حلقوی ساده، دارای تعداد راه جریان بیشتری است لذا از آن در سیم‌پیچی آرمیچر ماشین‌هایی استفاده می‌شود که برای جریان خیلی زیاد طراحی شده‌اند.

## فعالیت ۹ - ۲

گام‌های سیم‌پیچی شکل (۱۱۵ - ۲) را تعیین کنید. با توجه به مطالب بخش‌های ۱ - ۱۴ - ۲ و ۲ - ۱۴ - ۲ می‌توان درباره سیم‌پیچی حلقوی به نکات زیر اشاره داشت:

● با استفاده از سیم‌پیچی حلقوی مرکب امکان استفاده از سیم‌پیچی آرمیچر در جریان‌های بیشتر فراهم می‌شود.

● درجه ترکیب  $m$  نشان می‌دهد که سیم‌پیچی آرمیچر از چند سیم‌پیچی ساده تشکیل شده است.

● گام کموتاتور  $y_C = \pm m$  است. علامت مثبت برای سیم‌پیچی راست‌گرد و علامت منفی برای سیم‌پیچی چپ‌گرد منظور می‌شود.

● تعداد جاروبک‌ها برابر تعداد قطب‌ها است.

● پهنای هر جاروبک  $m$  برابر عرض تیغه کموتاتور می‌باشد.

این سیم‌پیچی شامل دو سیم‌پیچی حلقوی ساده ۴ قطب است که مستقل از یکدیگر می‌باشند. لذا  $m=2$  است. به همین دلیل آن را مرکب دوگانه نامیده‌اند. هر یک از این سیم‌پیچی‌های حلقوی ساده طبق رابطه (۹-۲) دارای ۴ راه جریان می‌باشند. پهنای جاروبک ۲ برابر عرض یک تیغه کموتاتور انتخاب شده است تا دو تیغه مجاور یکدیگر را به هم ارتباط دهد. بدین ترتیب دو سیم‌پیچی حلقوی ساده با یکدیگر موازی می‌شوند و آرمیچر دارای ۸ راه جریان می‌شود. مشاهده می‌شود تعداد راه‌های جریان به ۲ برابر تعداد قطب‌ها افزایش یافته است. بنابراین در حالت کلی تعداد راه‌های جریان از رابطه (۱۱ - ۲) به دست می‌آید.

$$a = mP \quad (2-11)$$

در این رابطه:

$P$  تعداد قطب

$m$  درجه ترکیب

$a$  تعداد راه جریان

در شکل (۱۱۳ - ۲) گام کموتاتور ۲ است که با درجه ترکیب  $m$  برابر شده است. لذا در حالت کلی می‌توان از رابطه (۱۲ - ۲) گام کموتاتور سیم‌پیچی حلقوی را به دست آورد.

$$y_C = \pm m \quad (2-12)$$

در این رابطه:

$m$  درجه ترکیب

$+m$  برای سیم‌پیچی راست‌گرد

$-m$  برای سیم‌پیچی چپ‌گرد

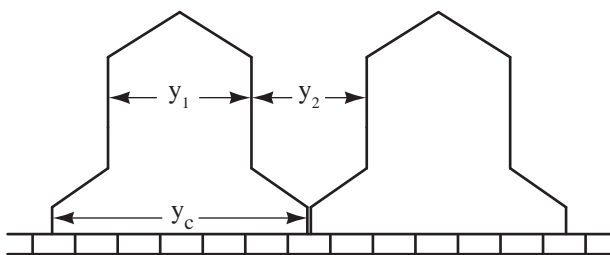
۲ - رتور ۱۵ شیار یک ماشین جریان مستقیم چهار قطب به صورت حلقوی مرکب دوگانه سیم‌پیچی شده است. مطلوب است:

الف - گام‌های سیم‌پیچی

ب - تعداد راه‌های جریان

### ۳ - ۱۴ - ۲ - سیم‌پیچی موجی ساده

سربندی دو کلاف به تیغه‌های کموتاتور به صورت سیم‌پیچی موجی ساده به همراه گام‌های آن در شکل (۱۱۶ - ۲) نشان داده شده است.



شکل ۱۱۶ - ۲ دیگرام گسترده دو کلاف از سیم‌پیچی موجی ساده در این شکل مشاهده می‌شود سر و ته هر کلاف با فاصله‌ای زیاد به اندازه  $y_c$  به دو تیغه کموتاتور متصل می‌شود و ته هر کلاف محل اتصال سر کلاف بعدی خواهد شد و این روند ادامه می‌یابد تا این که سر و ته همه کلاف‌ها به تیغه‌های کموتاتور متصل می‌شوند.

سیم‌پیچی موجی نیز به دو صورت «راست‌گرد» یا «پیش‌رونده» و «چپ‌گرد» یا «پس‌رونده» سربندی می‌شود. سربندی دو کلاف به صورت راست‌گرد در شکل (۱۱۷ - ۲) نشان داده شده است. در سیم‌پیچی راست‌گرد ته کلاف دوم به تیغه کموتاتور سمت راست سرکلاف اول اتصال داده شده است.

● تعداد راه‌های جریان  $m$  برابر تعداد قطب‌ها است.

$$a = mP \text{ یعنی}$$

● گام سیم‌پیچی برابر است با  $y = y_c$

● رابطه  $y = y_1 - y_2$  همواره حاکم است.

● جریان هر راه برابر است با  $I_{a1} = \frac{I_A}{a}$

### پرسش ۸ - ۲

۱ - تفاوت سیم‌پیچی‌های حلقوی و موجی از نظر

شکل سیم‌پیچی را بنویسید.

۲ - دیگرام گسترده دو کلاف از سیم‌پیچی حلقوی

ساده را رسم کنید و گام‌های سیم‌پیچی را بر روی آن نشان دهید.

۳ - خصوصیات سیم‌پیچی حلقوی ساده را بنویسید.

۴ - خصوصیات سیم‌پیچی حلقوی مرکب را

بنویسید.

۵ - تفاوت سیم‌پیچی حلقوی راست‌گرد با چپ‌گرد

را با رسم شکل نشان دهید.

۶ - گام‌های سیم‌پیچی شکل (۱۱۱ - ۲) را تعیین

کنید.

### تمرین ۸ - ۲

۱ - برای رتور ۱۹ شیار یک ماشین جریان مستقیم

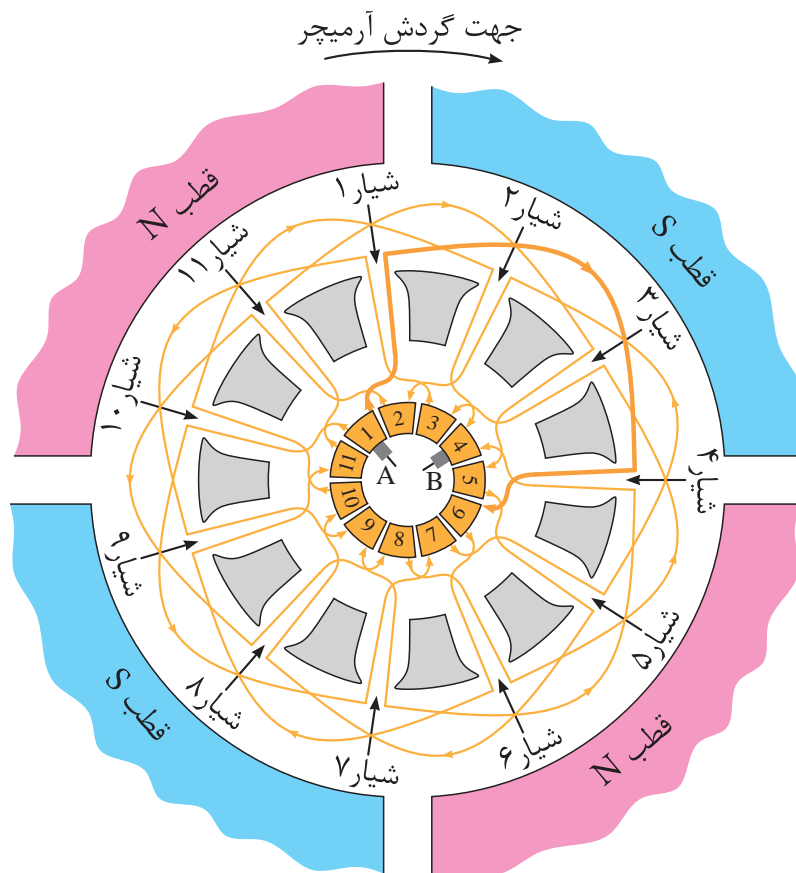
که به صورت حلقوی ساده راست‌گرد با چهار قطب

سیم‌پیچی شده است گام‌های سیم‌پیچی و تعداد

راه‌های مسیر جریان را تعیین کنید.

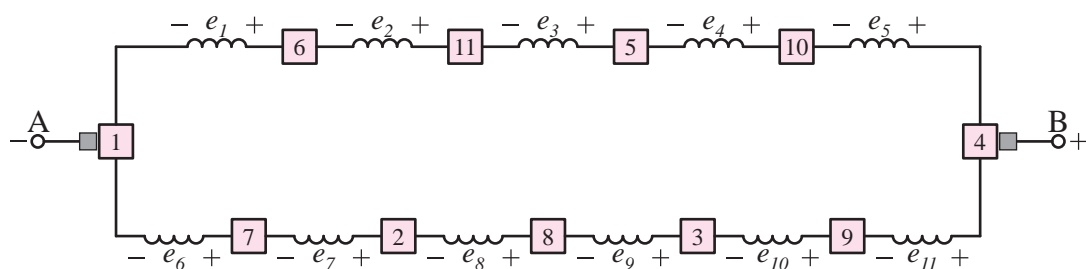


جاریت‌ها بر روی تیغه‌هایی از کموتاتور قرار می‌گیرند که جریان کلاف‌ها به آنها وارد یا از آنها خارج می‌شود. جریان از تیغه شماره ۱ کموتاتور خارج و به جاریت‌ها بر روی تیغه‌هایی از کموتاتور قرار می‌گیرند. لذا جاریت A به روی تیغه شماره ۱ و جاریت B به روی تیغه شماره ۴ کموتاتور قرار می‌گیرند.



شکل ۱۱۹ - ۲ دیاگرام مدور رتور ۱۱ شیار ۴ قطب با سیم‌پیچی موجی ساده

دیاگرام خطی سیم‌پیچی موجی ساده مربوط به نشان داده شده است. دیاگرام دایره‌ای شکل (۱۱۹ - ۲) در شکل (۱۲۰ - ۲)



شکل ۱۲۰ - ۲ دیاگرام خطی رتور ۱۱ شیار با قطب با سیم‌پیچی موجی ساده

در این شکل کلاف‌ها از طریق تیغه‌های کموتاتور با یکدیگر سری شده‌اند. با قرار گرفتن جاریت‌ها به روی تیغه‌های کموتاتور دو مسیر شکل می‌گیرد و کلاف‌های آرمیچر در این دو مسیر توزیع می‌شوند.



خواهد شد. بنابراین بین جریان آرمیچر و جریان هر راه جریان همان رابطه (۱۰ - ۲) برقرار است.

$$I_{a1} = \frac{I_A}{a}$$

سیم‌پیچی موجی ساده انتخاب مناسبی برای آرمیچرهای ولتاژ زیاد و جریان نسبتاً کم می‌باشد. زیرا در سیم‌پیچی موجی در هر راه جریان تعداد بیشتری از کلاف‌ها با هم سری می‌شوند و سیم‌پیچی آرمیچر ولتاژ بیشتری را خواهد داشت. تعداد کم راه‌های جریان امکان تحمل جریان‌های زیاد از سیم‌پیچی موجی ساده را سلب می‌کند.

دیاگرام گسترده سیم‌پیچی موجی ساده مربوط به دیاگرام دایره‌ای شکل (۱۱۹ - ۲) در شکل (۱۲۱ - ۲) نشان داده شده است.

### فعالیت ۱۰-۲

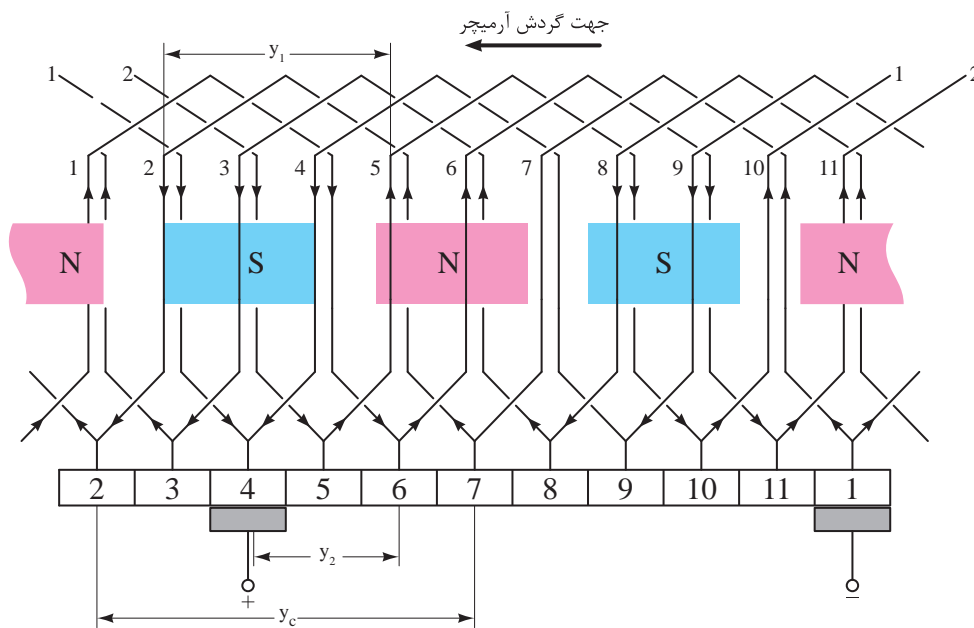
گام‌های سیم‌پیچی  $y_c$ ،  $y_1$ ،  $y_2$  و  $y$  شکل (۱۲۱ - ۲) را به دست آورید.

جریان ورودی به آرمیچر پس از عبور از جاروبک بین این دو مسیر تقسیم می‌شود. هر یک از این مسیرها راهی برای عبور جریان است. لذا دو «راه جریان» ایجاد شده است. یعنی:

$$a = 2 \quad (2-13)$$

مشاهده می‌شود در سیم‌پیچی موجی ساده تعداد راه‌های جریان مستقل از تعداد قطب‌ها می‌باشد و هیچ ارتباطی با یکدیگر ندارد.

با توجه به دیاگرام خطی شکل (۱۲۰ - ۲) مشاهده می‌شود کلاف‌های سیم‌پیچی آرمیچر در ۲ راه جریان توزیع شده‌اند. کلاف‌ها در هر راه جریان با یکدیگر سری می‌شوند و نیروی محرکه القایی آن‌ها با یکدیگر جمع می‌شود. کلاف‌های هر یک از این راه‌های جریان پس از این که با یکدیگر سری شدند بوسیله اتصال جاروبک‌ها به تیغه‌های کموتاتور با هم موازی می‌شوند. بدین ترتیب جریان آرمیچر بین دو راه جریان تقسیم می‌شود. اگر جریان هر مسیر جریان  $I_{a1}$  آمپر باشد از آنجایی که آرمیچر ۲ راه جریان دارد لذا جریان آرمیچر  $2I_{a1}$  آمپر



شکل ۱۲۱ - ۲ دیاگرام گسترده رتور ۱۱ شیار، ۴ قطب موجی ساده

#### ۴-۱۴-۲-سیم پیچی موجی مرکب

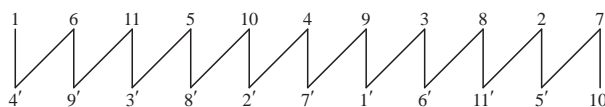
سیم پیچی موجی مرکب از  $m$  سیم پیچی موجی ساده مستقل از یکدیگر تشکیل می شود که با هم موازی شده اند و به همین دلیل نیز به آن مرکب گویند. در این سیم پیچی نیز  $m$  نشان می دهد سیم پیچی مرکب از چند سیم پیچی ساده تشکیل شده است.  $m=1$  یعنی رتور دارای یک سیم پیچی موجی ساده است.  $m=2$  یعنی رتور دارای دو سیم پیچی موجی ساده است که در اصطلاح آن را «سیم پیچی موجی مرکب دوگانه» می نامند. این روند نام گذاری می تواند ادامه یابد.

در سیم پیچی موجی مرکب سر و ته کلاف های هر یک از سیم پیچی های موجی ساده به تیغه های کموتاتور به فاصله  $\frac{m}{4}$  متصل می شوند.

جاروبک نیز با پهنای خود تیغه های کموتاتور مجاور یکدیگر را به هم ارتباط می دهد. بدیهی است پهنای جاروبک  $m$  برابر عرض تیغه کموتاتور انتخاب می شود تا  $m$  سیم پیچی موجی ساده را با هم موازی کند.

دیاگرام گسترده سیم پیچی موجی مرکب دوگانه یک رتور ۱۸ شیار ۴ قطب در شکل (۲-۱۲۳) نشان داده شده است.

دیاگرام سریع سیم پیچی موجی ساده مربوط به دیاگرام دایره ای شکل (۲-۱۱۹) در شکل (۲-۱۲۲) نشان داده شده است.

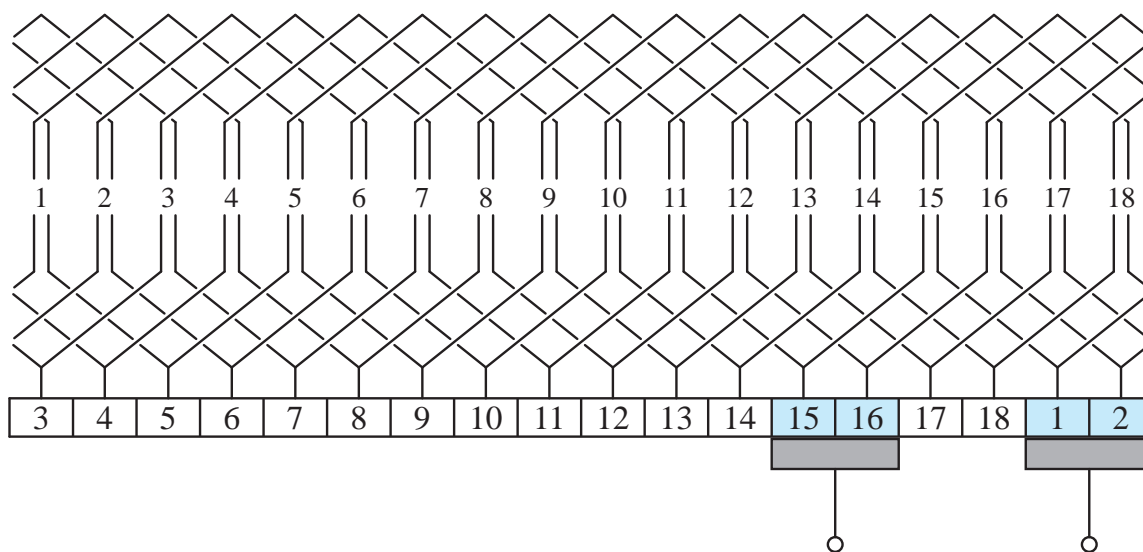


شکل ۱۲۲-۲ دیاگرام سریع رتور ۱۱ شیار چهار قطب با سیم پیچی موجی ساده

در دیاگرام سریع بازویی که در شیار در زیر قرار می گیرد با اعداد پریم دار نشان داده می شود.

سیم پیچی موجی ساده با خصوصیات زیر شناسایی خواهد شد:

- تعداد جاروبک ها ۲ عدد می باشد (شکل ۲-۱۱۹).
- پهنای هر جاروبک برابر  $m$  عرض تیغه کموتاتور است (شکل ۲-۱۲۰).
- تعداد راه های جریان برابر ۲ می باشد (شکل ۲-۱۲۰).
- روابط  $y = y_1 + y_2$  و  $y = y_c$  حاکم است (شکل ۲-۱۱۶).



شکل ۱۲۳-۲ دیاگرام گسترده سیم پیچی موجی مرکب دوگانه رتور ۱۸ شیار ۴ قطب

$C$  تعداد تیغه‌های کموتاتور

$m$  درجه ترکیب

$+m$  برای سیم‌پیچی راست‌گرد

$-m$  برای سیم‌پیچی چپ‌گرد

$P$  تعداد قطب

$y_C$  گام کموتاتور

سیم‌پیچی موجی مرکب نسبت به موجی ساده، دارای تعداد راه جریان بیشتری است. لذا سیم‌پیچی آرمیچر می‌تواند جریان بیشتری داشته باشد. ضمن این‌که تغییری در ولتاژ سیم‌پیچی آرمیچر با سیم‌پیچی موجی مرکب نسبت به موجی ساده ایجاد نخواهد شد. با توجه به مطلب بخش‌های ۳ - ۱۴ - ۲ و ۴ - ۱۴ - ۲ می‌توان درباره سیم‌پیچی موجی به نکات زیر اشاره داشت:

● با استفاده از سیم‌پیچی موجی مرکب امکان استفاده از سیم‌پیچی آرمیچر در جریان‌های بیشتر فراهم می‌شود.

● درجه ترکیب  $m$  نشان می‌دهد که سیم‌پیچی آرمیچر از چند سیم‌پیچی ساده تشکیل شده است.

● گام کموتاتور  $y_C = \frac{2(c \pm m)}{P}$  است. علامت مثبت برای سیم‌پیچی راست‌گرد و علامت منفی برای سیم‌پیچی چپ‌گرد منظور می‌شود.

● تعداد جاروبک‌ها به تعداد قطب‌ها بستگی ندارد و به‌طور ثابت ۲ عدد می‌باشد.

● پهنای هر جاروبک  $m$  برابر عرض تیغه‌های

این سیم‌پیچی شامل دو سیم‌پیچی موجی ساده ۴ قطب است که مستقل از یکدیگر می‌باشند؛ لذا  $m=2$  است. به همین دلیل آن را مرکب دوگانه نامیده‌اند. هر یک از این سیم‌پیچی‌های موجی ساده طبق رابطه (۱۳-۲) دارای ۲ راه جریان می‌باشند. پهنای جاروبک ۲ برابر عرض یک تیغه کموتاتور انتخاب شده است تا دو تیغه مجاور یکدیگر را به هم ارتباط دهد. بدین ترتیب دو سیم‌پیچی موجی ساده با یکدیگر موازی می‌شوند و سیم‌پیچی آرمیچر دارای ۴ راه جریان می‌شود. مشاهده می‌شود تعداد راه‌های جریان به ۲ برابر تعداد راه‌های جریان سیم‌پیچی موجی ساده افزایش یافته است. بنابراین در حالت کلی تعداد راه‌های جریان از رابطه (۱۴-۲) به دست می‌آید.

$$a = 2m \quad (2-14)$$

در این رابطه:

$m$  درجه ترکیب

$a$  تعداد راه جریان

## فعالیت ۱۱ - ۲

گام‌های سیم‌پیچی  $y_C, y_1, y_2$  و  $y$  را در شکل (۱۲۳-۲) به دست آورید.

گام کلکتور در سیم‌پیچی‌های موجی اعم از ساده یا مرکب از رابطه (۱۵-۲) محاسبه می‌شود.

$$y_C = \frac{2(c \pm m)}{P} \quad (2-15)$$

در این رابطه:

کمو تاتور است.

## ۱۵-۲- کمیت‌های الکتریکی سیم‌پیچی

### آرمیچر

کمیت‌های الکتریکی سیم‌پیچی آرمیچر شامل نیروی محرکه القایی، جریان، مقاومت الکتریکی و گشتاور است. نوع سیم‌پیچی آرمیچر یکی از عواملی است که در مقدار هر یک از این کمیت‌ها مؤثر است. با انتخاب نوع سیم‌پیچی مناسب می‌توان مقدار مطلوب هر یک از این کمیت‌ها را به‌دست آورد.

● تعداد راه‌های جریان  $a = 2m$  می‌باشد.

● گام سیم‌پیچی برابر است با  $y = y_C$

● رابطه  $y = y_1 + y_2$  همواره حاکم است.

● جریان هر راه جریان برابر است با  $I_{a1} = \frac{I_A}{a}$

### پرسش ۹-۲

#### ۱- ۱۵-۲- نیروی محرکه القایی

در روش‌های سیم‌پیچی مشاهده شد در هر راه جریان کلاف‌های سیم‌پیچی آرمیچر از طریق تیغه‌های کمو تاتور با یکدیگر سری می‌شوند. لذا نیروی محرکه القایی هر کلاف  $e$ ، در هر راه جریان، با یکدیگر جمع می‌شود. این موضوع در دیاگرام گسترده به‌خوبی مشهود است. با مقایسه دیاگرام گسترده سیم‌پیچی‌های حلقوی و موجی شکل‌های (۱۱۲-۲) و (۱۲۰-۲) مشاهده می‌شود تعداد کلاف‌های هر راه جریان سیم‌پیچی موجی بیشتر از سیم‌پیچی حلقوی است. لذا نیروی محرکه القایی هر مسیر جریان در سیم‌پیچی موجی بیشتر از سیم‌پیچی حلقوی است. این موضوع بیانگر تأثیر نوع سیم‌پیچی بر نیروی محرکه القایی آرمیچر است.

نیروی محرکه القایی سیم‌پیچی آرمیچر، ناشی از گردش رتور در میدان مغناطیسی استاتور است. بنابراین در ماشین‌های جریان مستقیم در حالت موتوری یا ژنراتوری با گردش رتور، نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچی آرمیچر ایجاد خواهد شد.

نیروی محرکه القایی سیم‌پیچی ماشین‌های جریان مستقیم در حالت موتوری یا ژنراتوری از رابطه

۱- دیاگرام گسترده دو کلاف از سیم‌پیچی موجی ساده را رسم کنید و گام‌های سیم‌پیچی را بر روی آن نشان دهید.

۲- خصوصیات سیم‌پیچی موجی ساده را بنویسید.

۳- خصوصیات سیم‌پیچی موجی مرکب را بنویسید.

۴- تفاوت سیم‌پیچی موجی راست‌گرد با چپ‌گرد را با رسم شکل نشان دهید.

۵- گام‌های سیم‌پیچی شکل (۱۱۷-۲) را به‌دست آورید.

### تمرین ۹-۲

۱- رتور ۱۱ شیار یک ماشین جریان مستقیم را به‌صورت موجی ساده چهار قطب چپ‌گرد سیم‌پیچی شده است مطلوب است:

الف - گام‌های سیم‌پیچی

ب - تعداد راه‌های جریان

(۱۶ - ۲) به دست می آید.

## فعالیت ۱۲ - ۲

نیروی محرکه القایی در سیم پیچی آرمیچر مثال ۴ - ۲ را به ازای سیم پیچی موجی ساده به دست آورید. از مقایسه جوابها چه نتیجه ای به دست می آید.

معمولاً رابطه (۱۶ - ۲) را در  $\frac{2\pi}{60}$  ضرب می کنند.

$$E_A = \frac{P}{a} \cdot Z \cdot \varphi \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{2\pi}{2\pi} \quad (2-17)$$

در رابطه (۱۷ - ۲) کمیت هایی که در یک ماشین جریان مستقیم ثابت هستند و در حین کار ماشین تغییر نمی کنند را ضریب ثابت  $K$  می نامند و واحد آن  $\frac{1}{rad}$  است.

$$K = \frac{P}{a} \cdot \frac{Z}{2\pi} \quad (2-18)$$

همچنین در رابطه (۱۷ - ۲) حاصل  $\frac{n \cdot 2\pi}{60}$  بیانگر سرعت زاویه ای  $\omega$  می باشد. سرعت زاویه ای عبارت مقدار زاویه ای که رتور در مدت یک ثانیه طی می کند.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (2-19)$$

در این رابطه:

$n$  سرعت گردش رتور بر حسب دور بر دقیقه [R.P.M]

$\omega$  سرعت زاویه ای رتور بر حسب رادیان بر ثانیه  $\left[ \frac{rad}{sec} \right]$

با جایگزینی مقادیر  $K$  و  $\omega$  از روابط (۱۸ - ۲) و (۱۹ - ۲) در رابطه (۱۷ - ۲) خواهیم داشت:

$$E_A = \frac{P}{a} \cdot Z \cdot \varphi \cdot \frac{n}{60} \quad (2-16)$$

در این رابطه:

$n$  سرعت گردش رتور بر حسب دور بر دقیقه

[RPM]

$\varphi$  فوران هر قطب بر حسب وبر [wb]

$Z$  تعداد هادی های درون شیارهای رتور

$P$  تعداد قطب های استاتور

$a$  تعداد راه جریان سیم پیچی آرمیچر

$E_A$  نیروی محرکه القایی سیم پیچی آرمیچر بر

حسب ولت [V]

مثال ۴ - ۲ - رتور یک ماشین جریان مستقیم

دارای سیم پیچی حلقوی ساده، ۴ قطب و فوران هر

قطب  $wb$  ۰/۰۱ دارای ۱۰۰۰ هادی در شیارهای رتور

با سرعت  $RPM$  ۱۲۰۰ می گردد. نیروی محرکه القایی

در سیم پیچی آرمیچر چند ولت است؟

حل:

سیم پیچی حلقوی ساده است لذا  $m=1$  است.

در سیم پیچی حلقوی داریم:

$$a = mP$$

از رابطه (۱۶ - ۲) خواهیم داشت:

$$E_A = \frac{P}{a} \cdot Z \cdot \varphi \cdot \frac{n}{60}$$

$$E_A = \frac{4}{4} \times 1000 \times 0.01 \times \frac{1200}{60} = 200 [V]$$

نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچی آرمیچر از رابطه (۲۱ - ۲) نیز قابل محاسبه است.

$$E_A = \frac{Z \cdot E_C}{a} \quad (2-21)$$

در این رابطه:

$E_A$  نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچی آرمیچر

$Z$  تعداد هادی‌های درون شیارهای آرمیچر

$a$  تعداد راه جریان سیم‌پیچی آرمیچر

$E_C$  نیروی محرکه القایی در هر هادی آرمیچر

**مثال ۶ - ۲ -** رتور یک ماشین جریان مستقیم

دارای سیم‌پیچی‌های حلقوی ساده چهار قطب می‌باشد.

این سیم‌پیچی شامل ۲۰۰ هادی است و نیروی محرکه

القایی هر هادی ۲ ولت می‌باشد. نیروی محرکه القایی

در سیم‌پیچی آرمیچر چند ولت است.

حل:

سیم‌پیچی حلقوی ساده است لذا  $m=1$  می‌باشد.

در سیم‌پیچی حلقوی داریم:

$$a = mP$$

$$a = 1 \times 4 = 4$$

نیروی محرکه القایی در هر هادی ۲ ولت است.

یعنی:

$$E_C = 2V$$

از رابطه ۲۱ - ۲ خواهیم داشت:

$$E_A = \frac{Z \cdot E_C}{a}$$

$$E_A = \frac{200 \times 2}{4} = 100 [V]$$

$$E_A = K \cdot \phi \cdot \omega \quad (2-20)$$

رابطه (۲۰ - ۲) نشان می‌دهد نیروی محرکه القایی

در سیم‌پیچی آرمیچر یک ماشین جریان مستقیم تابع

سرعت رتور و فوران قطب‌های آن است.

**مثال ۵ - ۲ -** نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچی

آرمیچر یک ماشین جریان مستقیم با فوران هر قطب

۲۰ mwb و سرعت رتور RPM ۶۰۰ برابر ۱۲۰ ولت

است. ضریب ثابت ماشین چقدر است؟

حل:

واحد فوران به وبر تبدیل می‌شود، لذا خواهیم

داشت:

$$\phi = 20 \times 10^{-3} [wb]$$

سرعت زاویه از رابطه (۱۹ - ۲) به دست می‌آید؛ در

صورتی که فرض شود  $\pi = 3$  خواهیم داشت:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \times 3 \times 600}{60} = 60 \left[ \frac{rad}{sec} \right]$$

از رابطه (۲۰ - ۲) ضریب ثابت به دست خواهد آمد.

$$E_A = K \cdot \phi \cdot \omega$$

$$K = \frac{E}{\phi \cdot \omega} = \frac{120}{20 \times 10^{-3} \times 60} = 100 \left[ \frac{1}{rad} \right]$$

## فعالیت ۱۳ - ۲

نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچی آرمیچر مثال

۵ - ۲ را در سرعت RPM ۹۰۰ به دست آورید. از

مقایسه جواب‌ها چه نتیجه‌ای به دست می‌آید؟

## فعالیت ۱۴ - ۲

نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچی آرمیچر مثال ۶-۲ را به ازای سیم‌پیچی موجی ساده چند ولت می‌شود؟

### ۲-۱۵-۲- جریان

در روش‌های سیم‌پیچی حلقوی و موجی بخش ۱۴-۲ در شکل‌های (۱۱۲-۲) و (۱۲۰-۲) نشان داده شد کلاف‌های سیم‌پیچی آرمیچر بین راه‌های جریان توزیع می‌شوند و با اتصال جاروبک‌ها به تیغه‌های کموتاتور، راه‌های جریان با هم موازی خواهند شد. جریان هر راه جریان  $I_{A1}$  با یکدیگر جمع می‌شوند و جریان آرمیچر  $I_A$  به وجود می‌آید. در این دو شکل مشاهده می‌شود جریان هر مسیر جریان برابر جریان هر کلاف است که با جریان هر هادی درون شیارهای آرمیچر، تفاوتی ندارد. در دیاگرام گسترده سیم‌پیچی حلقوی ساده شکل (۱۱۲-۲) نسبت به دیاگرام گسترده سیم‌پیچی موجی ساده شکل (۱۲۰-۲) تعداد راه‌های جریان بیشتری ایجاد شده است، لذا سیم‌پیچی حلقوی نسبت به سیم‌پیچی موجی تحمل جریان بیشتری را خواهد داشت. این موضوع تأثیر نوع سیم‌پیچی بر جریان آرمیچر را نشان می‌دهد.

جریان آرمیچر با توجه به نوع سیم‌پیچی از رابطه (۱۰-۲) به صورت زیر به دست می‌آید.

$$I_A = aI_{a1} \quad (2-22)$$

مثال ۷-۲- رتور یک ماشین جریان مستقیم دارای سیم‌پیچی موجی ساده، ۴ قطب می‌باشد. اگر

جریان هر راه جریان ۴ آمپر باشد، جریان سیم‌پیچی آرمیچر چند آمپر است؟

حل:

سیم‌پیچی موجی ساده است لذا  $m=1$  است.

در سیم‌پیچی موجی داریم:

$$a = 2m$$

$$a = 2 \times 1 = 2$$

از رابطه (۲۲-۲) خواهیم داشت:

$$I_A = aI_{a1}$$

$$I_A = 2 \times 4 = 8 \text{ [A]}$$

## فعالیت ۱۵ - ۲

جریان سیم‌پیچی آرمیچر مثال ۷-۲ را به ازای سیم‌پیچی حلقوی ساده به دست آورید. از مقایسه جواب‌ها چه نتیجه‌ای به دست می‌آید.

### ۳-۱۵-۲- مقاومت الکتریکی

سیم‌پیچی آرمیچر از کلاف‌هایی تشکیل شده است که هر کدام از آنها دارای مقاومت اهمی هستند. هنگامی که این کلاف‌ها در سیم‌پیچی‌های حلقوی یا موجی از طریق تیغه‌های کموتاتور در هر راه جریان با هم سری می‌شوند، هر راه جریان دارای مقاومت الکتریکی می‌شود. با اتصال جاروبک‌ها به تیغه‌های کموتاتور، راه‌های جریان با هم به صورت موازی در می‌آیند و مقاومت الکتریکی آنها با هم موازی می‌شوند. بدین ترتیب مقاومت الکتریکی، بین دو جاروبک مثبت و منفی به وجود می‌آید که آن را «مقاومت الکتریکی سیم‌پیچی آرمیچر» می‌نامند و با  $R_A$  نشان می‌دهند.

مقاومت الکتریکی سیم‌پیچی آرمیچر از رابطه



## فعالیت ۱۶ - ۲

مقاومت الکتریکی سیم پیچی آرمیچر مثال ۷ - ۲ به ازای سیم پیچی موجی مرکب دوگانه چند اهم می شود.

## ۴ - ۱۵ - ۲ - گشتاور تولیدی

گشتاور تولیدی<sup>۱</sup> سیم پیچی آرمیچر، ناشی از نیرویی است که از طرف میدان مغناطیسی قطب های استاتور به هادی های حامل جریان در شیارهای رتور وارد می شود. این گشتاور را بعضاً «گشتاور آرمیچر» یا «گشتاور الکترومغناطیسی»<sup>۲</sup> می نامند و مقدار آن از رابطه (۲۴ - ۲) به دست می آید.

$$T_A = \frac{P}{A} \cdot Z \cdot \varphi \cdot \frac{I_A}{2\pi} \quad (2-24)$$

در این رابطه:

$I_A$  جریان سیم پیچی آرمیچر بر حسب آمپر [A]

$\varphi$  فوران قطب ها بر حسب وبر [wb]

Z تعداد هادی های درون شیارهای آرمیچر

P تعداد قطب های استاتور

a تعداد راه جریان سیم پیچی آرمیچر

$T_A$  گشتاور آرمیچر بر حسب نیوتن متر [N.m]

مثال ۹ - ۲ - یک ماشین جریان مستقیم با

سیم پیچی موجی مرکب دوگانه ۴ قطب و فوران قطب wb ۰/۰۱ دارای ۵۰۰ هادی در شیارهای آرمیچر است. اگر جریان سیم پیچی آرمیچر ۱۲ آمپر باشد. گشتاور آرمیچر چند نیوتن متر خواهد شد.

حل:

$$R_A = \frac{Z \cdot R_t}{2a^2} \quad (2-23)$$

که در این رابطه:

$R_t$  مقاومت الکتریکی یک حلقه از کلاف های

سیم پیچی آرمیچر

Z تعداد هادی های درون شیارهای آرمیچر

a تعداد راه جریان

$R_A$  مقاومت الکتریکی سیم پیچی آرمیچر

مثال ۸ - ۲ - رتور یک ماشین جریان مستقیم

دارای سیم پیچی حلقوی مرکب دوگانه، ۴ قطب می باشد. این سیم پیچی شامل ۲۰۰۰ حلقه است و مقاومت الکتریکی هر حلقه  $0.004 \Omega$  می باشد. مقاومت الکتریکی سیم پیچی آرمیچر چند اهم است؟

حل:

سیم پیچی حلقوی مرکب دوگانه است؛ لذا  $m=2$

می باشد.

در سیم پیچی حلقوی داریم:

$$a = mP$$

هر حلقه دارای ۲ هادی است. پس تعداد هادی ها دو برابر تعداد حلقه های سیم پیچی است. یعنی:

$$Z = 2N$$

$$Z = 2 \times 2000 = 4000$$

از رابطه (۲۳ - ۲) خواهیم داشت.

$$R_A = \frac{Z \cdot R_t}{2a^2}$$

$$R_A = \frac{4000 \times 0.004}{2 \times 8^2} = 0.125 [\Omega]$$

حل:

از رابطه (۲۵ - ۲) ضریب ثابت به دست می آید:

$$T_A = K \cdot \phi \cdot I_A$$

$$K = \frac{T_A}{\phi \cdot I_A} = \frac{2}{0.01 \times 10} = 20 \left[ \frac{1}{rad} \right]$$

### فعالیت ۱۸ - ۲

گشتاور آرمیچر مثال ۱۰ - ۲ را در صورتی که جریان آرمیچر به ۱۵ A و فوران قطبها ۰/۰۵ wb افزایش یابند را به دست آورید.

### تمرین ۱۰ - ۲

- ۱ - رتور یک ماشین جریان مستقیم دارای سیم پیچی حلقوی ساده با ۱۰۰۰ هادی و فوران زیر هر قطب ۲۰ mwb با چه سرعتی گردانده شود تا نیروی محرکه القایی ۱۲۰ ولت ایجاد شود؟
- ۲ - رتور یک ماشین جریان مستقیم چهار قطب با ۱۰۰۰ هادی و فوران زیر هر قطب ۱۰ mwb با سرعت ۶۰۰ RPM گردانده می شود. نیروی محرکه القایی را در دو حالت زیر به دست آورید:
- الف - سیم پیچی حلقوی مرکب دو گانه
- ب - سیم پیچی موجی مرکب دو گانه
- ۳ - سیم پیچی آرمیچر یک ماشین جریان مستقیم ۶ قطب با فوران زیر هر قطب ۱۰ mwb دارای ۱۰۰۰ هادی می باشد. رتور با سرعت ۱۲۰۰ RPM گردانده می شود. مطلوب است محاسبه نیروی محرکه القایی

سیم پیچی آرمیچر موجی مرکب دو گانه است. لذا

$m=2$  است. در سیم پیچی موجی داریم:

$$a = 2m$$

$$a = 2 \times 2 = 4$$

گشتاور آرمیچر از رابطه (۲۳ - ۲) به دست می آید:

$$T_A = \frac{P}{A} \cdot Z \cdot \phi \cdot \frac{I_A}{2\pi}$$

در صورتی که  $\pi = 3$  فرض شود:

$$T_A = \frac{4}{4} \times 500 \times 0.01 \times \frac{12}{2\pi} = 10 \text{ [N.m]}$$

### فعالیت ۱۷ - ۲

گشتاور آرمیچر مثال ۹ - ۲ به ازای سیم پیچی

حلقوی مرکب دو گانه چند نیوتن متر است؟

در رابطه گشتاور آرمیچر حاصل  $\frac{P}{A} \cdot \frac{Z}{2\pi}$  بیانگر ضریب ثابت K است. لذا با جایگزینی مقدار K در رابطه (۲۴ - ۲) خواهیم داشت.

$$T_A = K \cdot \phi \cdot I_A \quad (2-25)$$

رابطه (۲۵ - ۲) نشان می دهد، گشتاور آرمیچر تابع

فوران قطبها و جریان آرمیچر است.

مثال ۱۰ - ۲ - یک ماشین جریان مستقیم با

جریان آرمیچر ۱۰ A و فوران قطب ۰/۰۱ wb گشتاور

۲ N.m تولید می کند. ضریب ثابت ماشین چقدر است؟

سیم‌پیچی آرمیچر در حالت‌های جدول زیر:

$E_A = \dots\dots\dots$	الف - سیم‌پیچی آرمیچر حلقوی ساده
$E_A = \dots\dots\dots$	ب - سیم‌پیچی آرمیچر حلقوی مرکب دوگانه
$E_A = \dots\dots\dots$	ج - سیم‌پیچی آرمیچر موجی ساده
$E_A = \dots\dots\dots$	د - سیم‌پیچی آرمیچر موجی مرکب دوگانه

از نتایج به دست آمده چه نتیجه‌ای حاصل می‌شود؟

است کمیت‌های الکتریکی سیم‌پیچی آرمیچر که در حالت‌های جدول زیر آمده است. پس از تکمیل جدول، بر روی نتایج بحث کنید.

۴- رتور یک ماشین جریان مستقیم دارای سیم‌پیچی ۴ قطب می‌باشد. این سیم‌پیچی شامل ۱۰۰۰ حلقه است. نیروی محرکه القایی، مقاومت و جریان هر حلقه به ترتیب [V] ۱۰، [Ω] ۰/۱ و [A] ۴ است. مطلوب

$E_A$ [V]	$R_A$ [Ω]	$I_A$ [A]	$a$	$m$	
					سیم‌پیچی حلقوی ساده
					سیم‌پیچی حلقوی مرکب دوگانه
					سیم‌پیچی موجی ساده
					سیم‌پیچی موجی مرکب دوگانه

### ۱۶- ۲- عکس‌العمل آرمیچر

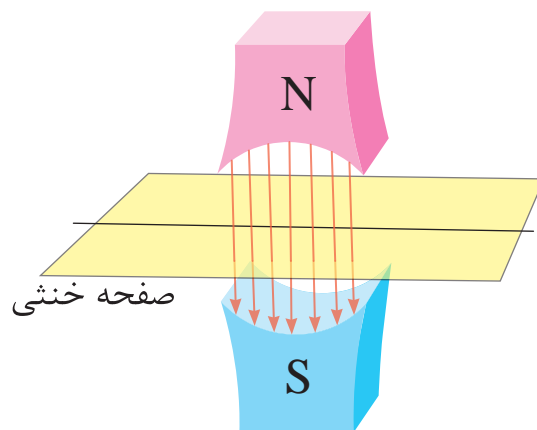
میدان مغناطیسی میان دو قطب غیرهمنام «میدان طولی» نام دارد؛ خطوط مغناطیسی میدان طولی به‌طور مستقیم موازی با یکدیگر بین دو قطب غیرهمنام قرار گرفته‌اند. می‌توان صفحه‌ای فرضی، عمود بر میدان طولی در نظر گرفت و آن را «صفحه خنثی»<sup>۱</sup> نامید (شکل ۱۲۴ - ۲).

۵- یک ماشین جریان مستقیم با سیم‌پیچی حلقوی ساده ۶ قطب و فوران قطب ۲۰ mwb دارای ۱۰۰۰ هادی در شیارهای آرمیچر است. اگر گشتاور آرمیچر ۵ N.m باشد، جریان سیم‌پیچی آرمیچر چند آمپر است؟

۶- یک ماشین جریان مستقیم با سیم‌پیچی موجی ساده ۲ قطب و فوران قطب ۰/۰۲ wb دارای ۶۰۰ هادی در شیارهای آرمیچر است. اگر جریان آرمیچر ۵A باشد گشتاور آرمیچر چند نیوتن متر خواهد شد؟

عرضی قوی تر خواهد شد.

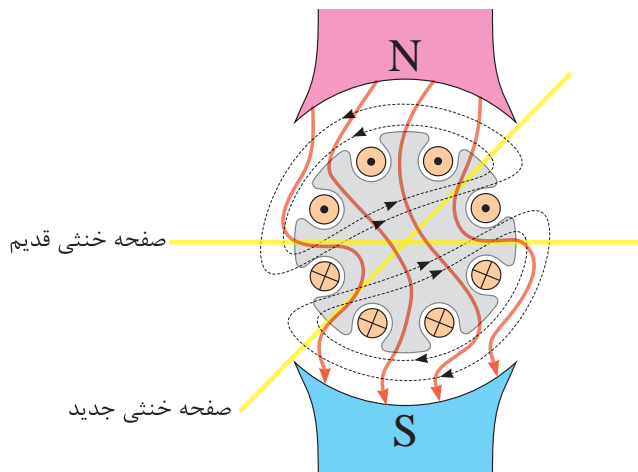
در ماشین‌های جریان مستقیم چون سیم‌پیچی آرمیچر در میان قطب‌ها قرار دارد، میدان قطب‌ها و میدان ناشی از عبور جریان از سیم‌پیچی آرمیچر بر هم‌دیگر تأثیر می‌گذارند و باعث تغییر شکل میدان طولی می‌شوند (شکل ۱۲۶ - ۲).



شکل ۱۲۴ - ۲ میدان مغناطیسی طولی قطب‌ها و صفحه خنثی

با قرار گرفتن هر یک از کلاف‌های سیم‌پیچی آرمیچر در موقعیت صفحه خنثی، نیروی محرکه در آنها القا نمی‌شود. به همین دلیل این صفحه را خنثی نامیده‌اند.

در حالت ژنراتوری با اتصال آرمیچر به مصرف‌کننده در هادی‌های آن جریان القایی جاری می‌شود و در حالت موتوری با اتصال آرمیچر به منبع جریان مستقیم یا یک باتری، هادی‌های آن حامل جریان خواهند شد. با جاری شدن جریان در هادی‌های سیم‌پیچی آرمیچر، در اطراف رتور میدان مغناطیسی به وجود می‌آید. این میدان را «میدان عرضی» می‌نامند (شکل ۱۲۵ - ۲).

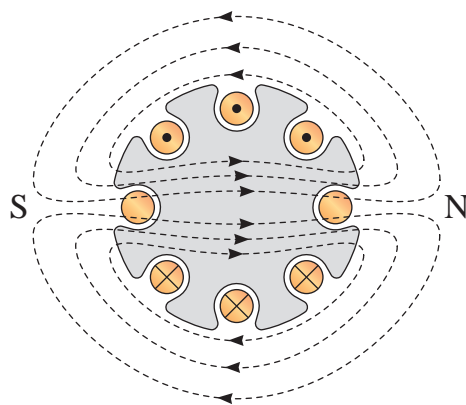


شکل ۱۲۶ - ۲

تأثیر میدان عرضی رتور بر میدان طولی قطب‌ها را «عکس‌العمل آرمیچر»<sup>۱</sup> می‌نامند.

عکس‌العمل آرمیچر پیامدهایی برای ماشین جریان مستقیم به همراه می‌آورد که عبارتند از:

- عکس‌العمل آرمیچر باعث ایجاد اعوجاج و تضعیف میدان طولی قطب‌ها می‌شود. لذا مقدار نیروی محرکه القایی در هادی‌های سیم‌پیچی آرمیچر کاهش می‌یابد. کم شدن نیروی محرکه القایی در ژنراتورها باعث کاهش ولتاژ خروجی می‌شود و در موتورها باعث افزایش جریان موتور خواهد شد.
- عکس‌العمل آرمیچر سبب جابه‌جایی صفحه خنثی می‌شود و آن را به محل جدیدی منتقل می‌کند. لذا هنگامی که هادی‌های سیم‌پیچی آرمیچر در



شکل ۱۲۵ - ۲ میدان مغناطیسی عرضی رتور

هر قدر جریان سیم‌پیچی آرمیچر بیشتر باشد میدان

هستند که در ادامه توضیح داده شده‌اند.

### ۱- ۱۷- ۲- جابه‌جایی محل جاروبک‌ها

برای کاهش جرقه زیر جاروبک‌ها می‌توان محل جاروبک‌ها را روی کموتاتور به اندازه جابه‌جایی صفحه خنثی جابه‌جا کرد و آنها را به محل جدید صفحه خنثی برد. ولی اجرای آن معمولاً با مشکلاتی همراه است که به آن اشاره خواهد شد.

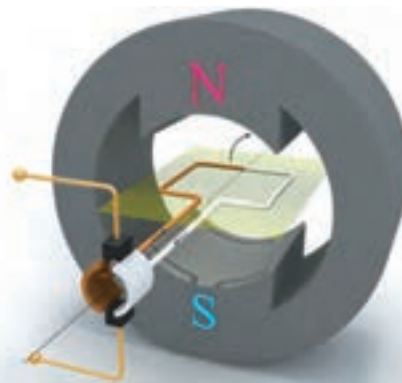
● میزان جابه‌جایی صفحه خنثی تابع جریان آرمیچر است. بنابراین هر دفعه که جریان آرمیچر تغییر کند باید محل جاروبک‌ها را تنظیم کرد.

● صفحه خنثی در ژنراتورها در جهت چرخش آرمیچر و در موتورها برخلاف جهت چرخش آرمیچر جابه‌جا می‌شود. بنابراین متناسب با حالت ژنراتوری یا موتوری محل جاروبک‌ها تنظیم خواهد شد.

● جابه‌جا کردن جاروبک‌ها جرقه زیر جاروبک‌ها را کاهش می‌دهد اما در بهبود دیگر پیامدهای عکس‌العمل آرمیچر اثر ندارد.

در عمل جاروبک‌ها را به ازای دو سوم بار کامل ماشین جابه‌جا و ثابت می‌کنند. در این حالت، در بی‌باری و تا حدودی در بار کامل جرقه زده می‌شود. روش جابه‌جا کردن جاروبک‌ها برای کاهش جرقه منسوخ شده است. امروزه جابه‌جایی جاروبک‌ها تنها در ماشین‌های جریان مستقیم کوچک و بسیار کوچک به کار می‌رود. علت این که در این ماشین‌ها هنوز این روش استفاده می‌شود این است که راه‌حل‌های بهتر در چنین ماشین‌های کوچکی اقتصادی نیستند (شکل ۱۲۸ - ۲).

محل قدیم صفحه خنثی قرار می‌گیرند در آنها نیروی محرکه القا می‌شود. در این لحظه هادی‌ها توسط جاروبک‌ها روی کموتاتور اتصال کوتاه شده‌اند (شکل ۱۲۷ - ۲).



شکل ۱۲۷ - ۲

بنابراین جریان شدیدی از هادی‌ها می‌گذرد. این جریان می‌تواند به سیم‌پیچی آرمیچر صدمه بزند و در محل تماس جاروبک‌ها با کموتاتور جرقه به وجود آورد. حرارت ناشی از جرقه به کموتاتور آسیب می‌رساند.

### ۱۷- ۲- روش‌های مقابله با عکس‌العمل

#### آرمیچر

شدت و ضعف پیامدهای عکس‌العمل آرمیچر تابع شدت جریان الکتریکی در هادی‌های سیم‌پیچی آرمیچر است. سه روش برای مقابله با این پیامدها ارایه شده است. این روش‌ها عبارتند از:

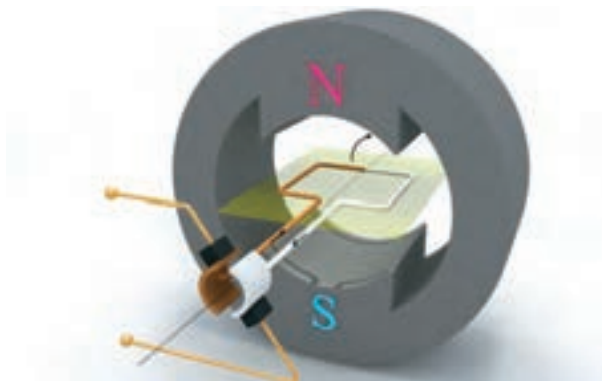
● جابه‌جایی محل جاروبک‌ها

● قطب‌های کموتاسیون<sup>۱</sup> یا میان قطب<sup>۲</sup>

● سیم‌پیچ‌های جبران‌کننده<sup>۳</sup>

هر یک از این روش‌ها دارای نقاط قوت و وضعی

میدان مغناطیسی مخالف با میدان عرضی رتور است. برای ایجاد این میدان مغناطیسی قطب‌های کوچکی به نام «قطب‌های کموتاسیون<sup>۱</sup>» یا «میان قطب<sup>۲</sup>» استفاده می‌شود. قطب‌های کموتاسیون در فاصله بین قطب‌های اصلی ماشین جریان مستقیم، در محل صفحه خنثی مقابل هادی‌هایی که در حال عبور از صفحه خنثی هستند قرار می‌گیرند.



شکل ۲-۱۲۸

میدان مغناطیسی قطب‌های کموتاسیون از طریق سیم‌پیچ آنها تولید می‌شود. سیم‌پیچ قطب‌های کموتاسیون با سیم‌پیچی آرمیچر سری هستند. بدین ترتیب میدان مغناطیسی آنها با میدان عرضی آرمیچر

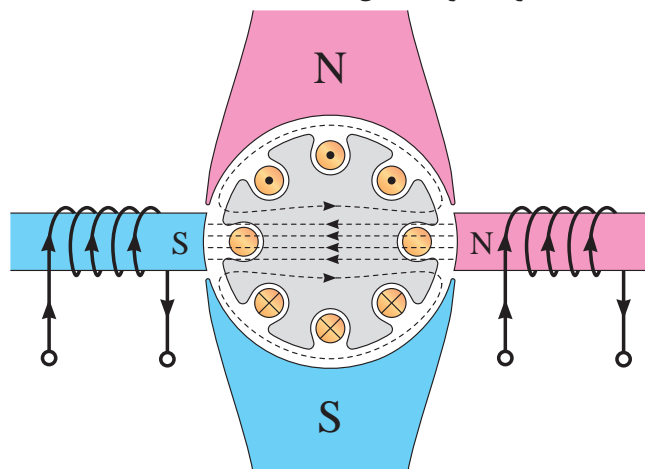
### ۲-۱۷-۲- قطب‌های کموتاسیون

روش مناسب مقابله با جرعه زیر جاروبک‌ها ایجاد

همانگ خواهد بود (شکل ۲-۱۲۹).



آرمیچر وجود دارد.



شکل ۲-۱۲۹

استفاده از قطب‌های کموتاسیون بسیار متداول است و در ماشین‌های جریان مستقیم با قدرت بالای ۱ اسب بخار استفاده می‌شود.

### ۲-۱۷-۳- سیم‌پیچی‌های جبران‌کننده

برای خنثی کردن عکس‌العمل آرمیچر و بهبود اعوجاج میدان طولی قطب‌ها از «سیم‌پیچی جبران‌کننده»<sup>۳</sup> استفاده می‌شود.

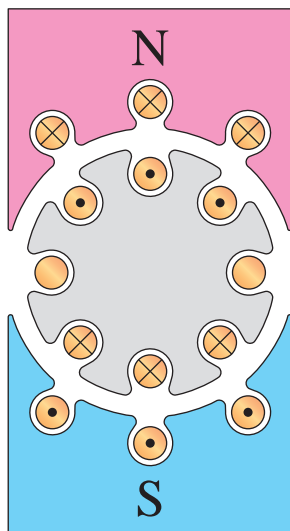
سیم‌پیچی‌های جبران‌کننده درون شیارهایی در کف قطب‌ها به موازات شیارهای آرمیچر قرار می‌گیرند و این سیم‌پیچی‌ها، با سیم‌پیچی آرمیچر سری می‌شوند

قطب‌های کموتاسیون جرعه زیر جاروبک‌ها را رفع می‌کنند اما در بهبود اعوجاج میدان طولی قطب‌ها اثری ندارند زیرا کوچک هستند و بُرد میدان مغناطیسی آنها کم است و به میدان طولی قطب‌ها نمی‌رسد. بنابراین همچنان کاهش نیروی محرکه القایی در هادی‌های



جهت جریان در سیم‌پیچی‌های جبران‌کننده مخالف جهت جریان در هادی‌های آرمیچر است که در مقابل آنها قرار می‌گیرد (شکل ۱۳۰ - ۲).

به طوری که هرگاه جریان آرمیچر تغییر کرد، جریان سیم‌پیچی‌های جبران‌کننده نیز تغییر کند. میدان مغناطیسی سیم‌پیچی‌های جبران‌کننده باید مخالف میدان مغناطیسی هادی‌های آرمیچر باشد. لذا



شکل ۱۳۰ - ۲

..... قوی‌تر خواهد شد.

۴ - صفحه خنثی در اثر عکس‌العمل آرمیچر ..... می‌شود.

۵ - سیم‌پیچی قطب‌های کموتاسیون با سیم‌پیچی آرمیچر ..... هستند.

۶ - برای خنثی کردن عکس‌العمل آرمیچر و بهبود اعوجاج در میدان طولی قطب از ..... استفاده می‌شود.

۷ - جهت جریان در سیم‌پیچی‌های جبران‌کننده ..... جهت جریان ..... است.

هرچند سیم‌پیچی‌های جبران‌کننده، اعوجاج در میدان طولی و جرکه زیر جاروبک‌ها را از بین می‌برند، اما نصب آنها قیمت ماشین‌های جریان مستقیم را افزایش می‌دهد. لذا سیم‌پیچی‌های جبران‌کننده در ماشین‌های جریان مستقیم با توان بالا که نصب آنها توجیه اقتصادی دارد استفاده می‌شود.

## پرسش ۱۱ - ۲

### پرسش‌های کامل کردنی

۱ - میدان مغناطیسی میان دو قطب غیرهمنام ..... نام دارد.

۲ - با قرار گرفتن هر یک از کلاف‌های آرمیچر در موقعیت ..... نیروی محرکه در آنها القا می‌شود.

۳ - هر قدر جریان آرمیچر ..... باشد میدان

### پرسش‌های صحیح، غلط

۱ - با قرار گرفتن هر یک از کلاف‌های آرمیچر در موقعیت صفحه خنثی نیروی محرکه در آنها القا می‌شود.

- ۳ - روش‌های مقابله با عکس‌العمل آرمیچر را نام ببرید.
- ۴ - وظیفه قطب‌های کموتاسیون را بنویسید.
- ۵ - چرا قطب‌های کموتاسیون اثری در بهبود اعوجاج میدان طولی ندارند؟
- ۶ - چرا سیم‌پیچی‌های جبران کننده با سیم‌پیچی آرمیچر سری می‌شوند؟

صحیح  غلط

۲ - میزان جابه‌جایی صفحه خنثی تابع جریان آرمیچر است.

صحیح  غلط

۳ - محل نصب قطب‌های کموتاسیون در فاصله بین قطب‌های اصلی ماشین جریان مستقیم است.

صحیح  غلط

۴ - قطب‌های کموتاسیون جرعه زیر جاروبک‌ها را رفع می‌کند.

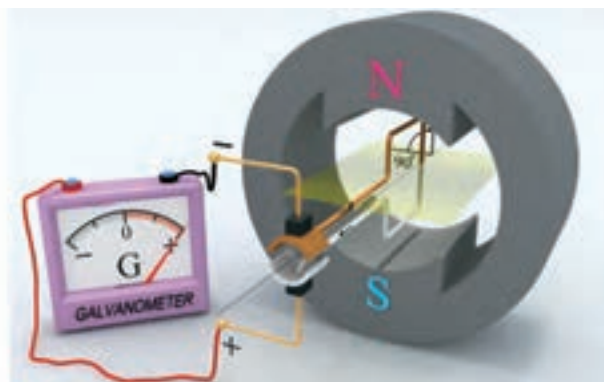
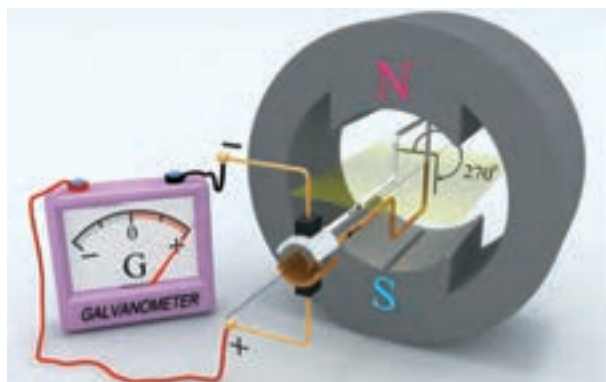
صحیح  غلط

### ۱۸ - ۲ - کموتاسیون

در بخش ۲ - ۵ - ۲ نشان داده شد وقتی هادی‌های سیم‌پیچی آرمیچر از حوزه قطب N وارد حوزه قطب S می‌شوند جهت جریان در آنها معکوس می‌شود. معکوس شدن جریان زمانی اتفاق می‌افتد که هادی‌ها از صفحه‌ی خنثی عبور می‌کنند (شکل ۱۳۱ - ۲).

### پرسش‌های تشریحی

- ۱ - میدان عرضی را تعریف کنید.
- ۲ - عکس‌العمل آرمیچر را توضیح دهید.



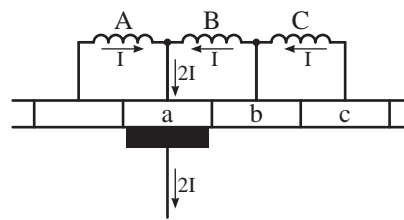
شکل ۱۳۱ - ۲

برای بررسی پدیده کموتاسیون یا معکوس شدن جهت جریان کلاف‌های آرمیچر در طی زمان کموتاسیون، قسمتی از کموتاتور و تعدادی از کلاف‌های آرمیچر در شکل (۱۳۲ - ۲) نشان داده شده است.

تغییر جهت جریان در کلاف‌های آرمیچر را «کموتاسیون»<sup>۱</sup> گویند. به هنگام کموتاسیون جاروبک‌ها از یک تیغه به تیغه دیگر کموتاتور می‌روند. مدت زمانی که طول می‌کشد تا جاروبک از یک تیغه به تیغه دیگر کموتاتور برود را «زمان کموتاسیون» گویند. و آن را با  $\Delta t$  نشان می‌دهند.

۱. Commutation

این شکل لحظه‌ای را نشان می‌دهد که کلاف B در صفحه خنثی قرار گرفته است. لذا نیروی محرکه در آن القا نمی‌شود و جریان آرمیچر توسط کلاف‌های A و C تأمین می‌شود.

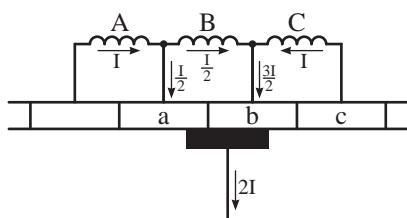


شکل ۲-۱۳۲

با گردش رتور سطح تماسی جاروبک با تیغه b کموتاتور بیش‌تر از تیغه a می‌شود و کلاف B از صفحه خنثی خارج خواهد شد و در آن نیروی محرکه القا می‌شود و جهت جریان آن معکوس می‌شود (شکل ۱۳۵ - ۲).

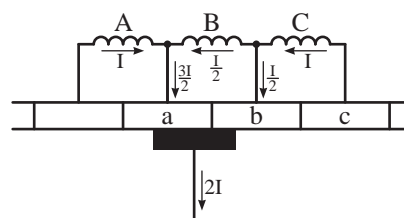
در این شکل هر کلاف I آمپر جریان دارد و جاروبک با تماس به تیغه a کموتاتور جریان کلاف‌های A و B را انتقال می‌دهد.

با گردش رتور لحظه‌ای فرا می‌رسد که جاروبک به تیغه‌های a و b کموتاتور تماس می‌یابد (شکل ۱۳۳ - ۲).



شکل ۲-۱۳۵

این شکل لحظه‌ای را نشان می‌دهد که کلاف B از صفحه خنثی خارج شده است و در اثر القای نیروی محرکه جریان آن به  $\frac{I}{2}$  رسیده است. سطح تماس جاروبک با تیغه‌های a و b باعث شده است که سهم کلاف A کمتر از سهم کلاف C در تأمین جریان آرمیچر باشد.

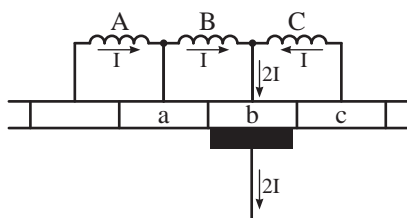


شکل ۲-۱۳۳

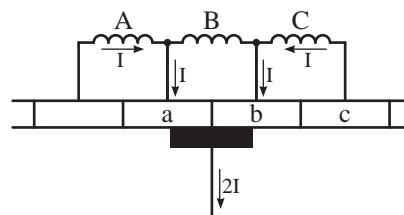
در ادامه گردش رتور جاروبک با تیغه b کموتاتور تماس می‌یابد و جریان کلاف‌های B و C را انتقال می‌دهد (شکل ۱۳۶ - ۲).

این شکل لحظه‌ای را نشان می‌دهد که جریان کلاف B در اثر کاهش القای نیروی محرکه به  $\frac{I}{2}$  کاهش یافته است و توسط جاروبک اتصال کوتاه شده است. سطح تماسی جاروبک‌ها با تیغه‌های a و b کموتاتور تقسیم جریان را تعیین می‌کند. لذا سهم کلاف C کمتر از سهم کلاف A در تأمین جریان آرمیچر شده است.

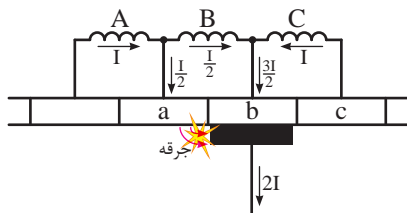
در ادامه گردش رتور لحظه‌ای فرا می‌رسد که سطح تماس جاروبک با تیغه‌های a و b کموتاتور مساوی می‌شود (شکل ۱۳۴ - ۲).



شکل ۲-۱۳۶



شکل ۲-۱۳۴



شکل ۱۳۷ - ۲ نمایش کموتاسیون بد

در این شکل فرض شده است جریان کلاف B در پایان زمان کموتاسیون به  $\frac{I}{2}$  رسیده است. بنابراین  $\frac{3I}{2}$  جریان آرمیچر توسط کلاف‌های B و C، و  $\frac{I}{2}$  آن توسط جریان کلاف A از طریق تیغه a کموتاتور به صورت جرقه بین تیغه کموتاتور و جاروبک تأمین شده است. این جرقه‌ها باعث وارد آمدن خساراتی به جاروبک و تیغه کموتاتور می‌شود.

برای بهبود «کموتاسیون بد» باید اثر نیروی ضد محرکه القایی  $U_{Cemf}$  در کلافی که کموتاسیون در آن انجام می‌شود را از بین برد. برای این منظور به هنگام کموتاسیون زمانی که کلاف به صفحه خنثی می‌رسد در آن نیروی محرکه‌ای به نام «نیروی محرکه القایی معکوس کننده» القا می‌کنند. جهت نیروی محرکه القایی معکوس کننده مخالف جهت نیروی ضد محرکه  $U_{Cemf}$  است و اثر آن را خنثی می‌کند. همچنین به معکوس شدن جهت جریان در کلاف کمک می‌کند. لذا کموتاسیون به‌طور کامل و صحیح صورت می‌گیرد و جرقه بین تیغه کموتاتور و جاروبک ایجاد نمی‌شود.

برای ایجاد نیروی محرکه القایی معکوس کننده، از میدان مغناطیسی قطب‌های کموتاسیون که در صفحه خنثی قرار دارند استفاده می‌شود. بنابراین قطب‌های

اگر معکوس شدن جریان کلاف B، یعنی تغییر کردن از +I به صفر، و سپس از صفر به -I، در طی زمان کموتاسیون کامل شود، در این صورت «کموتاسیون خوب» خواهد بود. کموتاسیون خوب به این معنی است که هیچ جرقه‌ای در جاروبک مشاهده نشود. اگر معکوس شدن جریان کلاف B در طی زمان کموتاسیون کامل نشود، در این صورت جرقه‌هایی بین جاروبک و تیغه‌های کموتاتور ایجاد خواهد شد، لذا «کموتاسیون بد» خواهد بود. مواردی که باعث ایجاد جرقه بین جاروبک و تیغه کموتاتور می‌شوند به شرح زیر است:

۱ - در طی زمان کموتاسیون تغییر جریان در کلاف اتصال کوتاه شده نیروی ضد محرکه  $U_{Cemf}$  القا می‌کند که از رابطه (۲۶ - ۲) به دست می‌آید.

$$U_{Cemf} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (2-26)$$

در این رابطه:

$U_{Cemf}$  نیروی ضد محرکه

L ضریب خودالقایی کلاف اتصال کوتاه شده

$\Delta I$  تغییرات جریان

$\Delta t$  زمان انجام کموتاسیون

نیروی ضد محرکه  $U_{Cemf}$  طبق قانون لنز با عامل به‌وجودآورنده‌اش یعنی «تغییرات جریان  $\Delta I$ » مخالفت می‌کند و مانع تغییر جهت جریان به‌طور کامل در پایان زمان کموتاسیون می‌شود و جریان کلاف به I نمی‌رسد (شکل ۱۳۷ - ۲).

### پرسش‌های صحیح، غلط

۱ - تغییر جریان در کلاف‌های آرمیچر را عکس‌العمل آرمیچر می‌نامند.

صحیح  غلط

۲ - برای بهبود کموتاسیون باید اثر نیروی ضدمحرکه القایی را از بین برد.

صحیح  غلط

### پرسش‌های تشریحی

۱ - کموتاسیون را تعریف کنید.

۲ - پیامد کموتاسیون ناقص چیست؟

۳ - به منظور بهبود کموتاسیون در ماشین‌های جریان مستقیم چه تدبیری اتخاذ می‌شود؟

کموتاسیون علاوه بر تعدیل عکس‌العمل آرمیچر، نقش خنثی‌کننده اثر خود القایی کلاف اتصال کوتاه شده سیم‌پیچی آرمیچر را در زمان کموتاسیون نیز به عهده دارد.

۲ - از دیگر علل ایجاد جرقه هنگام کموتاسیون، اشکالات مکانیکی زیر می‌باشد:

● ناصافی سطح تیغه‌های کموتاتور

● ناصافی و جذب نبودن جاروبک‌ها

● تنظیم نبودن جاروبک نگه‌دار

● تنظیم نبودن محور کموتاتور نسبت به محور رتور

● کثیف شدن سطح تیغه‌های کموتاتور در اثر ذرات چربی یا گرد و غبار

● قرار گرفتن پلیسه‌های بسیار ریز بین جاروبک و تیغه کموتاتور

بدیهی است که پس از شناسایی هر یک از اشکالات فوق نسبت به رفع آن اقدام می‌شود.

### پرسش ۱۲ - ۲

#### پرسش‌های کامل کردنی

۱ - تغییر جهت جریان در کلاف‌های آرمیچر را ..... می‌نامند.

۲ - مدت زمانی که طول می‌کشد تا جاروبک از یک تیغه به تیغه دیگر کموتاتور برود ..... نام دارد.

۳ - در مدت زمان کموتاسیون جهت جریان کلاف ..... می‌شود.