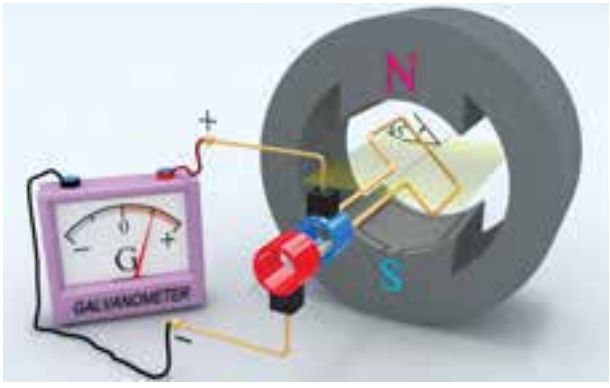
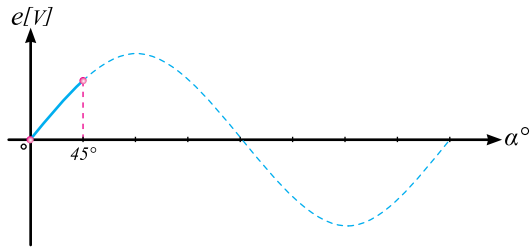
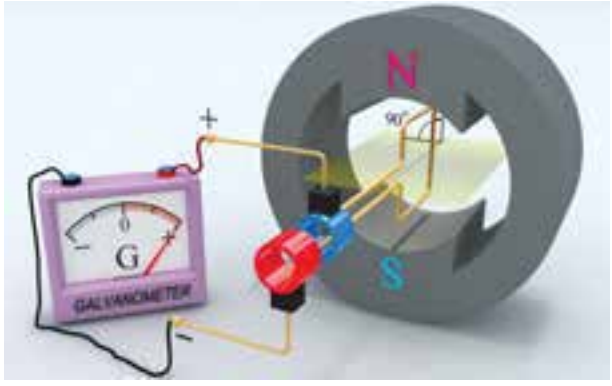


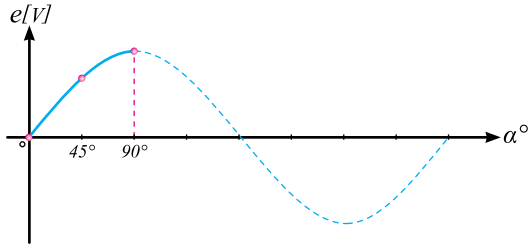


شکل ۳۳ ـ ۲

در ادمه دَوران حلقه در فاصله $۴۵^\circ \langle \alpha \langle ۹۰^\circ$ فورانی که در سطح حلقه محصور می‌شود هم‌چنان رو به کاهش است تا این‌که در $\alpha = ۹۰^\circ$ به صفر می‌رسد. شکل (۳۴ ـ ۲). این موضوع را عدم تشکیل تصویر حلقه روی سطح قطب S نیز تایید می‌کند. بنابراین در فاصله $۴۵^\circ \langle \alpha \langle ۹۰^\circ$ همانند فاصله $۰ \langle \alpha \langle ۴۵^\circ$ فوران نسبت به زمان در حلقه تغییر کرده است و طبق قانون القای الکترومغناطیس فاراده، نیروی محرکه القایی در حلقه ایجاد می‌شود.

از زمانی که حلقه صفحه خنثی را در شکل (۳۲ ـ ۲) ترک کرد، تغییرات فوران در سطح حلقه رو به افزایش بوده است. بنابراین مقدار نیروی محرکه القایی نیز زیاد شده است. تا در $\alpha = ۹۰^\circ$ 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.

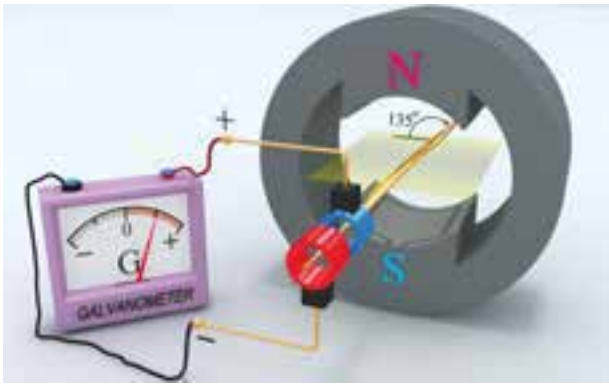


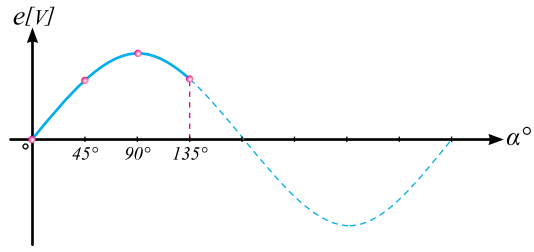


شکل ۳۴ ـ ۲

با ادامه دَوران حلقه زمانی فرا می‌رسد که صفحه حلقه مجدداً با صفحه خنثی مماس می‌شود. در این فاصله زاویه α از ۹۰° به ۱۸۰° می‌رسد. وضعیت حلقه در $\alpha = ۱۳۵^\circ$ و $\alpha = ۱۸۰^\circ$ در شکل‌های (۳۰ ـ ۲) و (۳۱ ـ ۲) نشان داده شده است. با مقایسه شکل‌های (۳۴ ـ ۲)، (۳۵ ـ ۲) و (۳۶ ـ ۲) مشاهده می‌شود در فاصله $۹۰^\circ \langle \alpha \langle ۱۸۰^\circ$ فورانی که توسط سطح حلقه محصور می‌شود به تدریج افزایش می‌یابد و در $\alpha = ۱۸۰^\circ$ به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد. این موضوع را بزرگ شدن تصویر فرضی سطح حلقه روی قطب S تایید می‌کند. بنابراین در فاصله $۹۰^\circ \langle \alpha \langle ۱۸۰^\circ$ همانند فاصله $۰ \langle \alpha \langle ۹۰^\circ$ فوران نسبت به زمان در حلقه

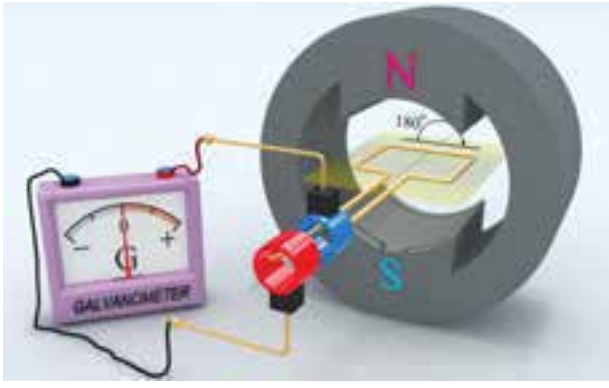
تغییر کرده اســت و طبق قانون القای الکترومغناطیسی فاراده نیروی محرکه در حلقه القا می‌شود.

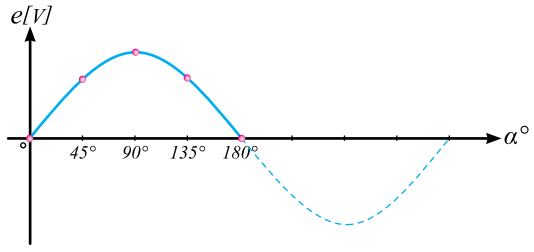




شکل ۳۵ ـ ۲

در فاصلــه $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ «تغییرات فوران نســبت بــه زمان» برای ســطح حلقه رو به کاهش بوده اســت. بنابرایــن مقــدار نیروی محرکه القایی نیز کم می‌شــود تا در $\alpha = 180^\circ$ هنگامی که ســطح حلقــه در صفحه خنثی قرار می‌گیرد تغییرات فوران نسبت به زمان صفر می‌شود. لذا نیروی محرکه در حلقه القا نمی‌شود.

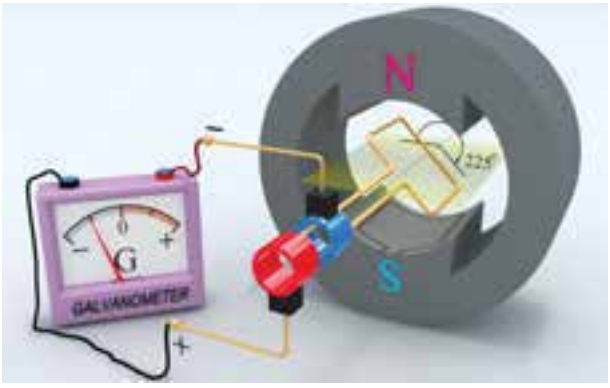


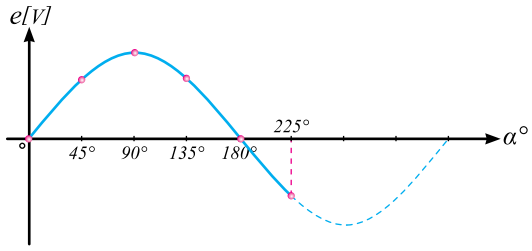


شکل ۳۶ ـ ۲

با ادامه دَوران حلقه، زاویه بین سطح حلقه و صفحه خنثی زیاد می‌شــود. وضعیت حلقه در $\alpha = 225^\circ$ در شــکل (۳۷ ـ ۲) و در $\alpha = 270^\circ$ در شــکل (۳۸ ـ ۲) نشان داده شده است.

بــا مقایســه شــکل‌های (۳۶ ـ ۲)، (۳۷ ـ ۲) و (۳۸ ـ ۲) مشــاهده می‌شــود در فاصله $180^\circ < \alpha < 270^\circ$ فورانی که در ســطح حلقه محصور می‌شــود به تدریج کاهش می‌یابــد و از بیش‌ترین مقدار در $\alpha = 180^\circ$ به کم‌ترین مقدار در $\alpha = 270^\circ$ می‌رســد و در این زوایه صفر می‌شود. کوچک شــدن تصویر فرضی سطح حلقه روی قطــب S این موضــوع را تایید می‌کند. بنابراین در این فاصله «فوران نسبت به زمان» در حلقه تغییر کرده اســت؛ لذا طبق قانون القای الکترومغناطیســی فاراده، نیروی محرکه در حلقه القا می‌شود.

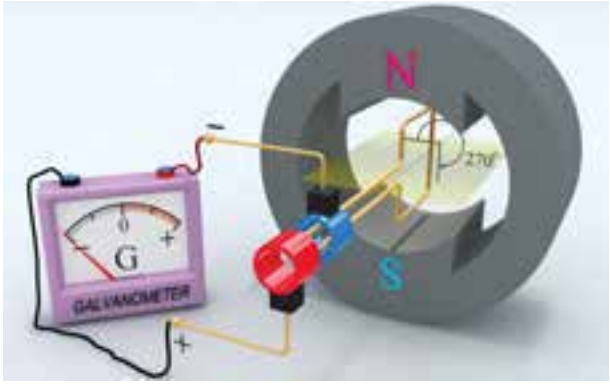


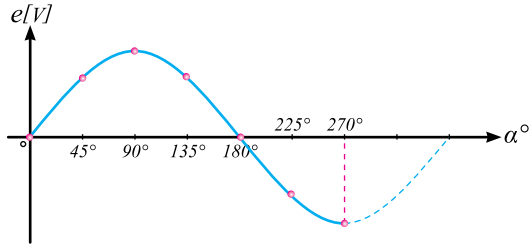


شکل ۳۷ ـ ۲

«تغییرات فوران نسبت به زمان» در فاصله $۱۸۰^\circ < \alpha < ۲۷۰^\circ$ در سطح حلقه افزایش یافته است. بنابراین مقدار نیروی محرکه القایی زیاد می‌شود. اما در این فاصله نسبت به فاصله $۰ < \alpha < ۹۰^\circ$ به علت گردش حلقه فوران قطب N از سمت دیگر سطح حلقه وارد حلقه می‌شود. لذا پلارتیه نیروی محرکه القایی در حلقه معکوس می‌شود و پلاریته ولتاژ القایی در زیر جاروبک‌ها نیز عوض می‌شود. تعویض پلاریته ولتاژ القایی در جاروبک‌ها باعث تغییر جهت جریان القایی در ولت‌متر می‌شود و جهت حرکت عقربه ولت‌متر عکس حالت قبل می‌شود. بنابراین شکل موج در زیر محور α جایی که E منفی است رسم می‌شود.

بیش‌ترین «تغییرات فوران نسبت به زمان» در $\alpha = ۲۷۰^\circ$ مانند $\alpha = ۹۰^\circ$ در سطح حلقه ایجاد می‌شود؛ لذا در این لحظه نیز حداکثر نیروی محرکه در حلقه القا می‌شود. شکل (۳۸ ـ ۲)



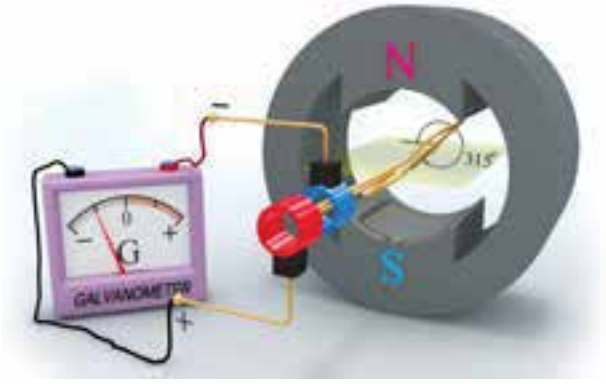


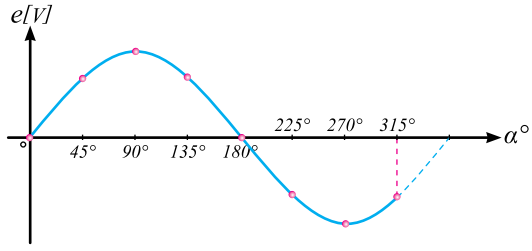
شکل ۳۸ ـ ۲

با ادامه دَوران حلقه زمانی فرا می‌رسد که صفحه حلقه مجدداً با صفحه خنثی مماس می‌شود. در این فاصله زاویه α از ۲۷۰° به ۳۶۰° می‌رسد. وضعیت حلقه در $\alpha = ۳۱۵^\circ$ در شکل (۳۴ ـ ۲) و در $\alpha = ۳۶۰^\circ$ در شکل (۳۵ ـ ۲) نشان داده شده است.

با مقایسه شکل‌های (۳۸ ـ ۲)، (۳۹ ـ ۲) و (۴۰ ـ ۲) مشاهده می‌شود در فاصله $۲۷۰^\circ < \alpha < ۳۶۰^\circ$ فورانی که توسط سطح حلقه محصور می‌شود به تدریج افزایش می‌یابد و در $\alpha = ۳۶۰^\circ$ به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد. این موضوع را بزرگ شدن تصویر فرضی

سطح حلقه روی قطب S تایید می‌کند. بنابراین در این فاصلـه «فوران نسـبت به زمان» در حلقـه تغییر کرده اسـت؛ لذا طبق قانـون القای الکترومغناطیسـی فاراده نیروی محرکه، در حلقه القا می‌شود.

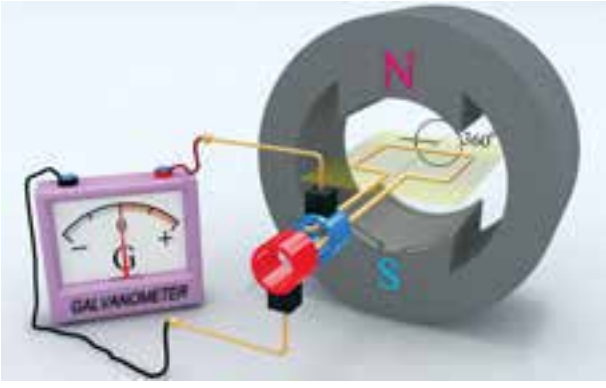


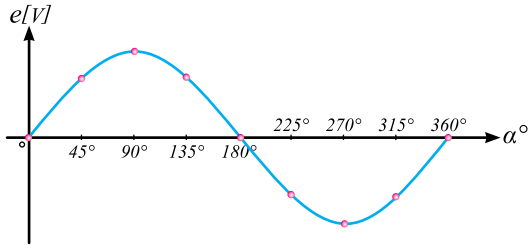


شکل ۳۹ ـ ۲

«تغییـرات فـوران نسـبت بـه زمـان» در فاصلـه $۲۷۰^\circ \langle \alpha \langle ۳۶۰^\circ$ در سطح حلقه کاهش می‌یابد. بنابراین مقدار نیروی محرکه القایی کم می‌شـود. در این فاصله نیز نسـبت بـه فاصله $۹۰^\circ \langle \alpha \langle ۱۸۰^\circ$ به علـت گردش حلقه فوران قطب N از سـمت دیگر سـطح حلقه وارد حلقه می‌شود. لذا پلاریته ولتاژ القایی در حلقه معکوس می‌شود و شکل موج در قسمت منفی دستگاه مختصات ε و α رسم می‌شود.

هنگامـی که سـطح حلقـه در صفحه خنثـی قرار می‌گیرد تغییرات فوران نسـبت به زمان صفر می‌شود؛ لذا نیروی محرکه القایی در حلقه صفر می‌شود.





شکل ۴۰ ـ ۲

موقعیـت حلقه در شـکل (۴۰ ـ ۲) همان موقعیت حلقه در شکل (۳۲ ـ ۲) می‌باشد که با یک دور گردش کامل، حلقه به موقعیت اول خود رسـیده است. بدیهی اسـت در صورت ادامه حرکت حلقه مجـدداً پدیده القا در حلقه صورت می‌گیرد و موج سینوسـی تکرار خواهد شد.

با توجه به توضیحاتی که برای یک دور گردش حلقه در شـکل‌های (۳۲ ـ ۲) الی (۴۰ ـ ۲) ارایه 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.

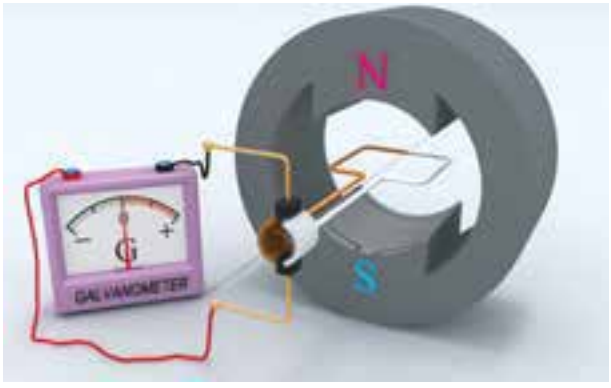
- تغییرات فوران در سطح حلقه متناسب با $\sin\alpha$ است، لذا شکل موج نیروی محرکه القایی، سینوسی است.
- هر بار که سطح حلقه وارد صفحه خنثی می‌شود نیروی محرکه القایی آن صفر می‌شود.
- هرگاه سطح حلقه عمود بر صفحه خنثی می‌شود حداکثر نیروی محرکه در حلقه، القا می‌شود.
- با عبور حلقه از صفحه خنثی پلاریته نیروی 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 مصرف‌کننده یکسو می‌شود.

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

با دَوران 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.



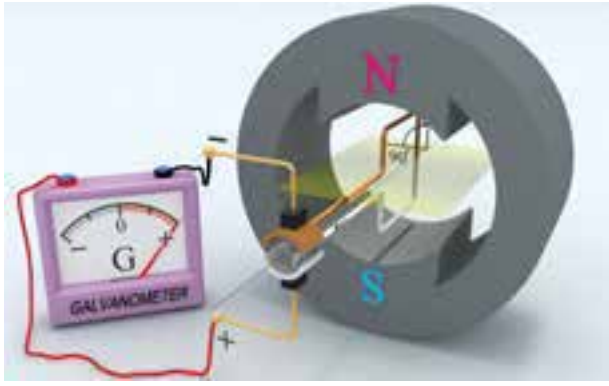
شکل ۴۱ ـ ۲

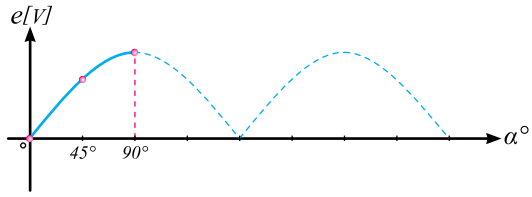
برای آشنایی با طرز کار ژنراتور ساده جریان مستقیم، حلقه حول محورش در جهت حرکت عقربه‌های ساعت دَوران داده شده است و در چند لحظه، جهت جریان القایی در حلقه و هم‌چنین جاروبک‌ها بررسی می‌شود.

با شروع دَوران، حلقه شکل (۴۱ ـ 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 ـ ۲) نشان داده شده است. با به کار بردن قانون دست راست جهت جریان القایی این دو بازو تعیین می‌شود. لذا برای بازو 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

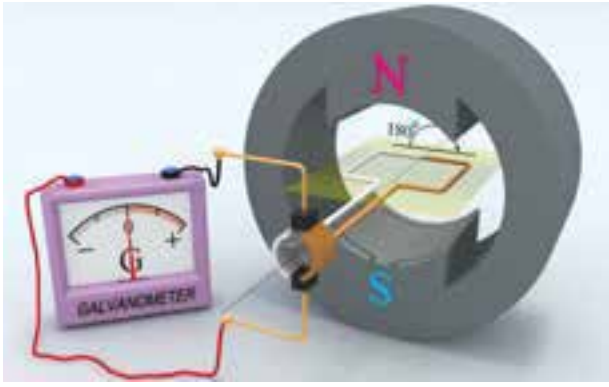
این بازو را نشان می‌دهند. همین کار برای بازوی سفید تکرار می‌شود تا جهت جریان القایی آن تعیین شود. مشاهده می‌شود جریان بازوی سفید توسط تیغه سفید کموتاتور به جاروبک پایین منتقل می‌شود و پس از عبور از گالوانومتر، عقربه آن منحرف می‌شود، و از طریق جاروبک بالا به تیغه قهوه‌ای کموتاتور منتقل می‌شود و به بازوی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

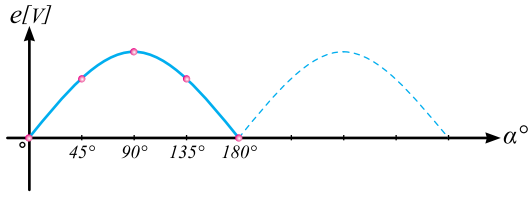




شکل ۴۲ ـ ۲

در ادامه دوران حلقه، زمانی فرا می‌رسد که سطح حلقه دوباره در صفحه‌ی خنثی قرار می‌گیرد. شکل (۴۳ ـ ۲). در این لحظه تغییرات فوران نسبت زمان در حلقه به صفر می‌رسد و در آن نیروی محرکه القا نمی‌شود. بنابراین در حلقه جریان القایی جاری نمی‌شود. گالوانومتر صفر را نشان می‌دهد.

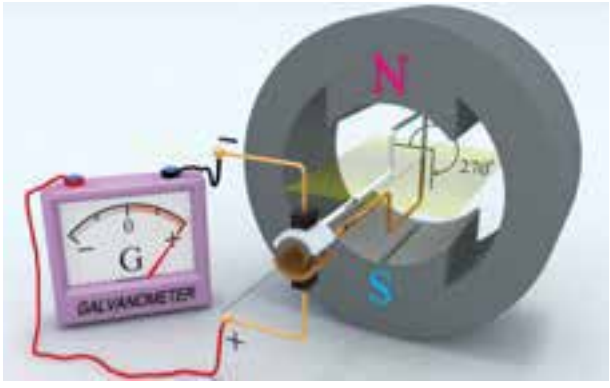


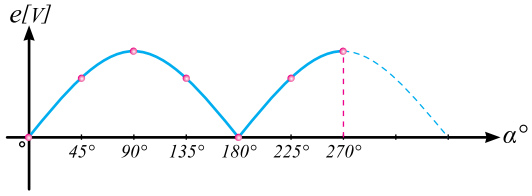


شکل ۴۳ ـ ۲

با ادامه دَوران حلقه زمانی فرا می‌رسد که بازوی سفید حلقه در مقابل قطب N و بازوی قهوه‌ای حلقه در مقابل قطب S قرار می‌گیرد. شکل (۴۴ ـ ۲) با به‌کار 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 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

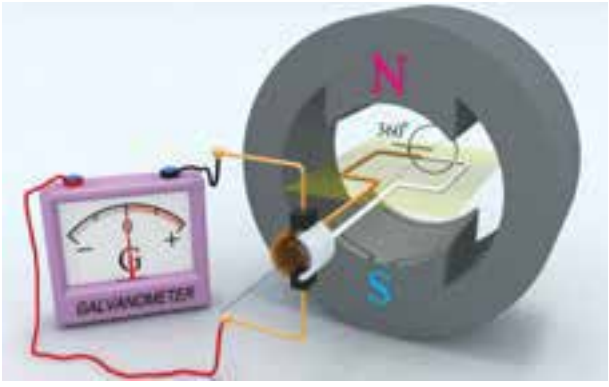
می‌شود و به بازوی سفید حلقه می‌رسد. جاروبک پایین کـه هم‌چنان جریان القایی از آن خارج می‌شـود دارای پلارتیه مثبت و جاروبک بالا که هم‌چنان جریان القایی به آن وارد می‌شود دارای پلارتیه منفی است. عدم تغییر جهت جریان در گالوانومتر باعث شـد تـا عقربه آن در همان جهت قبلی انحراف پیدا کند. بنابراین شکل موج نیروی محرکه القایی نیز در همان جهت قبلی ترسـیم می‌شود.

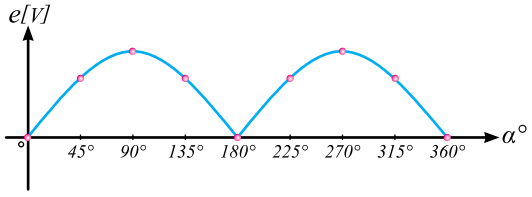




شکل ۴۴ ـ ۲

در ادامه دَوران حلقه، زمانی فرا می‌رسـد که سـطح حلقـه دوباره در صفحه خنثی قرار می‌گـیرد. شـکل (۴۵ ـ ۲). در این لحظه تغییرات فوران نسـبت به زمان در حلقـه به صفر می‌رسـد و در آن طبـق قانون القای الکترومغناطیسـی فاراده، نیروی محرکه القا نمی‌شـود. بنابراین در حلقه جریان القایی جاری نخواهد شـد. در ایـن حالت حلقه یک دور کامل دَوران کرده اسـت و با پیمودن ۳۶۰° 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.





شکل ۴۵ ـ ۲

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 می‌رسـد و سـپس دوباره به صفر بر می‌گردد. برای بیان اندازه واقعی نیروی محرکه القایی «مقدار متوسـط[۱]» آن محاسبه می‌شود. مقدار متوسط، میانگین مقادیر لحظه‌ای نیروی محرکه القایی است که چیزی بین صفر و حداکثر می‌باشد. برای شکل موج (۴۵ ـ ۲) مقدار متوسط برابر است با:

$$E_{av} = \frac{2E_m}{\pi} = 0/637E_m \qquad (۲-۵)$$

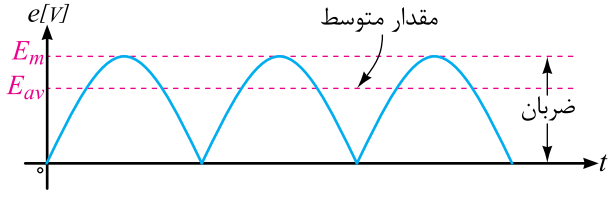
۱. Average Value

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[1]» آن بسیار زیاد است، شکل (۴۶ ـ ۲). بنابراین مقدار کمِ متوسطِ 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 ـ 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 حلقه در صفحه خنثی، نیروی محرکه القایی در حلقه صفر می‌شود.
- هنگامی‌که 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 ـ ۵ ـ ۲ ـ اثر افزایش تعداد حلقه‌ها و تعداد دور آن در ژنراتور ساده جریان مستقیم

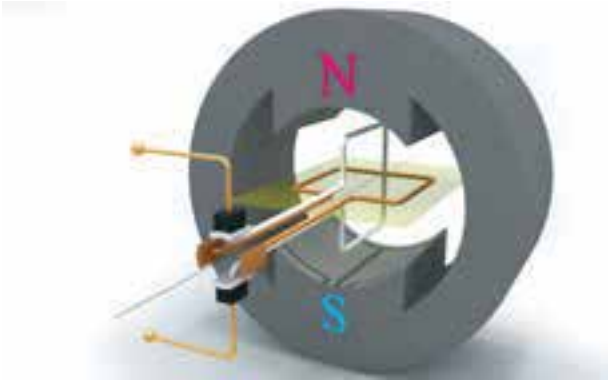
الف ـ اثر افزایش تعداد حلقه‌ها

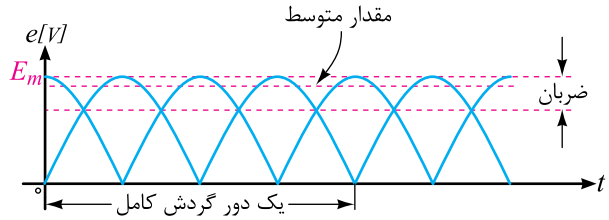
برای کاهش ضربان و افزایش مقدار متوسط نیروی محرکه القایی به‌جای استفاده از یک حلقه می‌توان از دو حلقه که نسبت به یک‌دیگر اختلاف فاز مکانی دارند استفاده کرد. در این صورت نیروی محرکه القایی این دو حلقه نیز نسبت به یک‌دیگر اختلاف فازی معادل اختلاف فاز مکانی حلقه‌ها پیدا می‌کند. شکل (۴۷ ـ ۲)

---

۱. Ripple

مقدار لحظه‌ای نیروی محرکه القایی e در ژنراتور ساده جریان مستقیم از رابطه $e = 2NBLV\sin\alpha$ به‌دست 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 $\left[\frac{m}{s}\right]$
α زاویه بین سطح حلقه با صفحه خنثی بر حسب درجه
e نیروی محرکه القایی بر حسب [V]



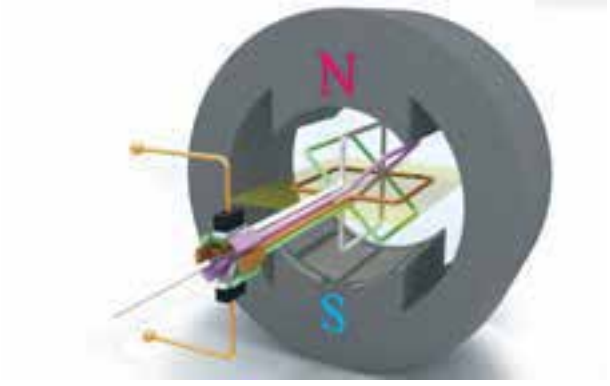


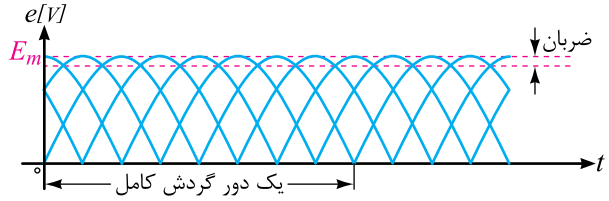
شکل ۴۷ ـ ۲

بدین ترتیب ضربان نیروی محرکه القایی کاهش پیدا می‌کند و مقدار متوسط آن افزایش می‌یابد.

همان‌طور که در شکل (۴۷ ـ ۲) 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 محرکه القایی می‌توان از تعداد حلقه‌های بیش‌تری استفاده کرد. شکل (۴۸ ـ ۲). با افزایش بیش‌تر تعداد حلقه‌ها، ضربان نیروی محرکه القایی تقریباً به صفر می‌رسد و مقدار متوسط نیروی محرکه القایی 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.



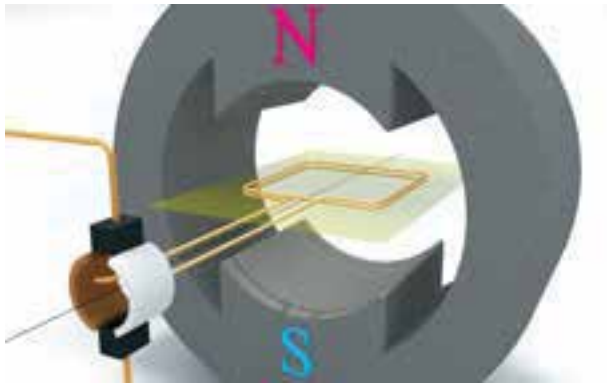


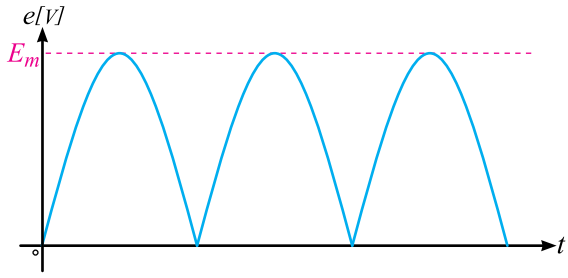
شکل ۴۸ ـ ۲

ب ـ اثر افزایش تعداد دور حلقه

همان‌طور که گفته شد حداکثر مقدار نیروی محرکه القایی E_m در ژنراتور ساده جریان مستقیم بسیار کم و در حد میکرو ولت می‌باشد. برای افزایش حداکثر مقدار نیروی محرکه القایی E_m می‌توان به‌جای «حلقه» از «کلاف[1]» که از چندین حلقه سری با هم تشکیل شده است استفاده کرد. شکل (۴۹ ـ ۲). طبق رابطه قانون القای الکترومغناطیسی فاراده $\left(e = N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}\right)$ افزایش تعداد دور حلقه N باعث افزایش نیروی محرکه القایی e در آن می‌شود. در واقع در هر دور حلقه، نیروی محرکه‌ای، القا می‌شود. از آنجایی که حلقه‌ها با یک‌دیگر سری شده‌اند، نیروی محرکه القایی حلقه‌ها با یک‌دیگر جمع می‌شود و در نتیجه نیروی محرکه القایی کلاف افزایش می‌یابد.

۱. Coil

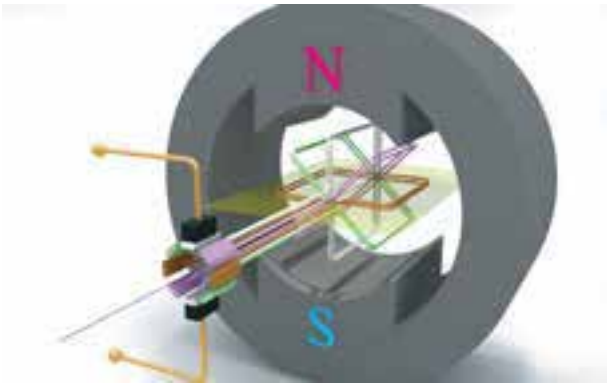


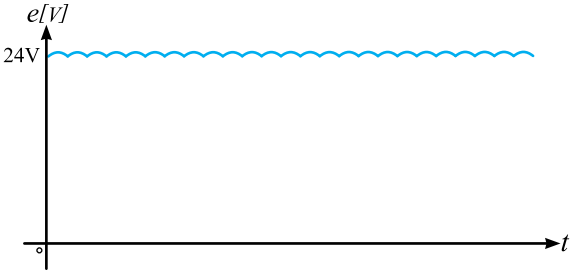


شکل ۴۹ ـ ۲

ج ـ نتیجه‌گیری

در عمل بـا جایگزینی «کلاف‌هـا» به‌جای «حلقه» در ژنراتور سـاده جریان مسـتقیم، ضمن این‌که مقدار متوسط نیروی محرکه القایی افزایش قابل توجهی پیدا می‌کنـد، ضربان آن نیز کاهـش می‌یابد. در این صورت ژنراتور کاربـرد عملی پیدا می‌کند و ولتاژ پایانه‌های آن بـرای مصـرف‌کننده قـابل اسـتفاده می‌شود. شـکل (۵۰ ـ ۲)





شکل ۵۰ ـ ۲

پرسش ۳ ـ ۲

پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ در ژنراتـور سـاده با گردش حلقـه ..... در سطح حلقه ایجاد می‌شـود و طبق قانون ..... نیروی محرکه در حلقه ..... می‌شود.

۲ ـ در ژنراتور سـاده با عبـور حلقه از صفحه خنثی پلاریته ..... در حلقه ..... می‌شود.

۳ ـ در واقـع جریـان متناوب القایـی داخل ژنراتور توسط ..... برای مصرف کننده ..... می‌شود.

پرسش‌های صحیح ـ غلط

۱ ـ در ژنراتـور سـاده هر بار که حلقـه وارد صفحه خنثی می‌شود نیروی محرکه القایی آن صفر می‌شود.

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ بـا جایگزینی کموتاتور به جـای رینگ ژنراتور سـاده جریان متناوب به ژنراتور سـاده جریان مستقیم تبدیل می‌شود.

صحیح ☐ غلط ☐

۳ ـ کموتاتور باعث می‌شـود پلاریته ولتاژ القایی در

زیر هر جاروبک ثابت بماند.

صحیح ☐ غلط ☐

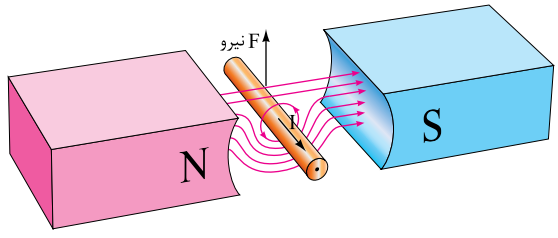
پرسش‌های تشریحی

۱ ـ معایب ژنراتور ساده جریان مستقیم را بنویسید.

۲ ـ تاثیر افزایش تعداد حلقه‌ها و تعداد دور حلقه بر کار ژنراتور ساده را توضیح دهید.

۶ ـ ۲ ـ نیروی مغناطیسی وارد بر هادی حامل جریان الکتریکی

یک هادی حامل جریان الکتریکی در میدان مغناطیسی قطب‌های N و S آهن‌ربایی قوی در نظر گرفته شده است. شکل (۵۱ ـ ۲)



شکل ۵۱ ـ ۲

جهت میدان مغناطیسی قطب‌ها از سوی قطب N به سمت قطب S می‌باشد. میدان مغناطیسی اطراف هادی حامل جریان الکتریکی با قانون شست تعیین شده است. مشاهده می‌شود در پایین هادی، جهت میدان مغناطیسی قطب‌ها و جهت میدان مغناطیسی اطراف هادی هم جهت می‌باشد و یکدیگر را تقویت می‌کنند؛ اما در بالای هادی جهت میدان مغناطیسی آن‌ها مخالف یکدیگر می‌باشد و هم‌دیگر را تضعیف می‌کنند. لذا «نیروی مغناطیسی» به هادی از سوی میدان قوی‌تر به سمت میدان ضعیف‌تر وارد می‌شود و هادی را بسمت بالا حرکت می‌دهد.

فعالیت ۳ ـ ۲

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

همان‌طور که توضیح داده شد می‌توان نتیجه گرفت:

«به هر هادی حامل جریان در میدان مغناطیسی، نیروی مغناطیسی وارد می‌شود»، به‌طوری 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[1]» که مفاهیم میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را شرح و تفصیل داده است، «نیروی لورنس[2]» می‌گویند.

مقدار نیروی مغناطیسی از رابطه (۶ ـ ۲) به‌دست می‌آید:

$$F = BIL \qquad (۲-۶)$$

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 موثر هادی که تحت تاثیر میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد بر حسب [m]

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

۱. Lorentz ۲. Lorentz Force

(۴۵ ـ ۲) قـرار دارد. اگـر از این هادی جریان [A] ۱۰ عبور کند، نیروی مغناطیسـی وارد بـر این هادی چند نیوتن است؟

حل:

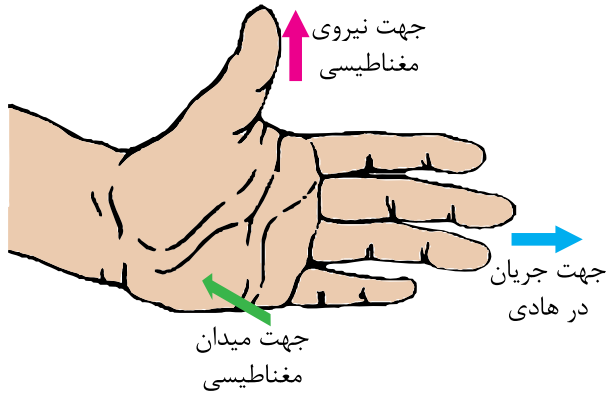
از رابطه (۶ ـ ۲) به‌دست می‌آید:

$$F = BIL$$

$$F = ۰/۸ \times ۱۰ \times ۲۰ \times ۱۰^{-۲} = ۱/۶[N]$$

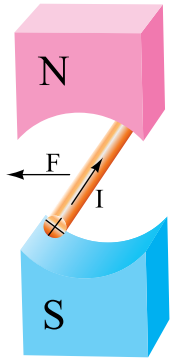
۷ ـ ۲ ـ قانون دست چپ

برای تعیین جهت نیروی مغناطیسی، «قانون دست چپ[۱]» ارایه شـده است. طبق این قانون اگر دست چپ خود را مطابق شـکل (۵۲ ـ ۲) به گونه‌ای نگه دارید که فوران مغناطیسـی از قطب N به کف دست وارد شود و انگشـتان، جهت جریان الکتریکی هادی را نشان دهند، انگشت شست جهت نیروی مغناطیسی وارد به هادی را نشان می‌دهد.

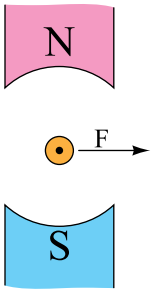


شکل ۵۲ ـ ۲

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



شکل ۵۳ ـ ۲



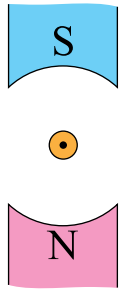
شکل ۵۴ ـ ۲

فعالیت ۴ ـ ۲

۱ ـ جـهت نـیروی مغناطیسـی شـکل‌هـای (۵۵ ـ ۲)، (۵۶ ـ ۲) را با اسـتفاده از قانون دسـت چپ تعیین کنید.

شکل ۵۵ ـ ۲

۱. Left Hand Rule



شکل ۵۶ ـ ۲

۲ ـ با مقایسه جهت نیروی مغناطیسی شکل‌های زیر، چه نتیجه‌ای به‌دست می‌آید:

الف ـ شکل (۵۳ ـ ۲) با شکل (۵۴ ـ ۲):

.....

.....

.....

ب ـ شکل (۵۳ ـ ۲) با شکل (۵۵ ـ ۲):

.....

.....

.....

پ ـ شکل (۵۳ ـ ۲) با شکل (۵۶ ـ ۲):

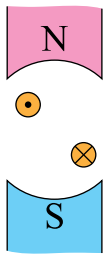
.....

.....

.....

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

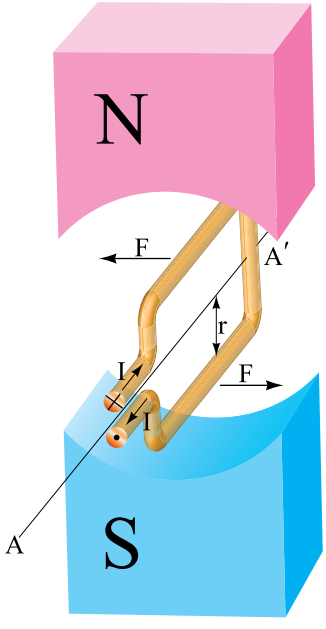
شکل ۵۷ ـ ۲



شکل ۵۸ ـ ۲

۸ ـ ۲ ـ گشتاور نیروی مغناطیسی وارد بر حلقه حامل جریان

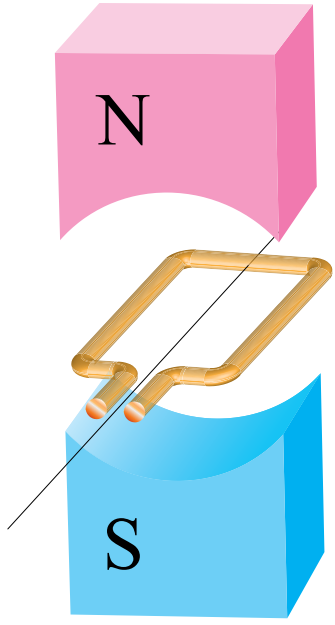
حلقه حامل جریان الکتریکی، معلق در میان میدان مغناطیسی دو قطب آهن‌ربایی قوی که می‌تواند آزادانه حول محور AA′ بگردد، فرض شده است. شکل (۵۹ ـ ۲). به بازوهای حامل جریان این حلقه، نیروی مغناطیسی در دو جهت مخالف، با مقدار مساوی وارد می‌شود. این نیروها در حلقه حامل جریان الکتریکی، «گشتاور[1]» ایجاد می‌کنند[2] و آن را حول محور می‌گردانند، لذا حلقه جابه‌جا می‌شود. شکل (۶۰ ـ ۲)



شکل ۵۹ ـ ۲

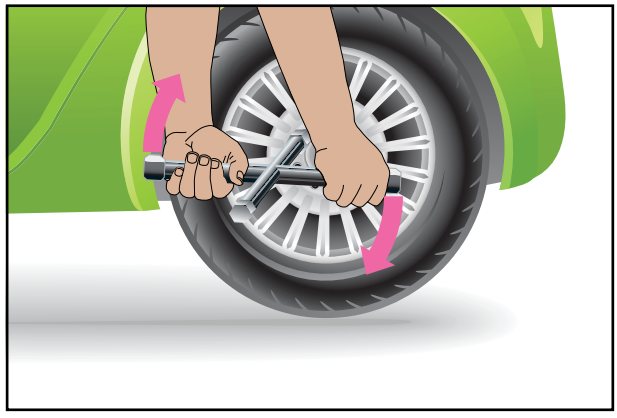
۱. Torque

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



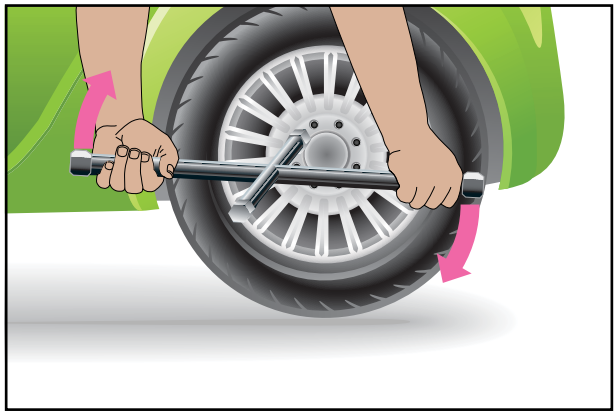
شکل ۶۰ ـ ۲

گشـــتاور عامل گردش است. به‌طور مثال هنگامی‌که مکانیـــک برای بازکردن پیچ‌های چرخ اتومبیل از «آچار چرخ» اســـتفاده می‌کند، وی با دستان خود، دو نیرو در جهت مخالف به آچار چرخ اعمـــال می‌کند. این نیروها حـــول محور آچار چرخ گشـــتاور ایجـــاد می‌کنند تا آن بگردد. شکل (۶۱ ـ ۲)



شکل ۶۱ ـ ۲

در صورتی‌کـــه مکانیـــک نتوانـــد این آچـــار چرخ را بگرداند، آچـــاری که طول بازوهای آن بلندتر اســـت را به‌کار می‌برد تا گشتاور آچار افزایش یابد و بگردد. شکل (۶۲ ـ ۲)



شکل ۶۲ ـ ۲

فعالیت ۵ ـ ۲

۱ ـ چگونگی گشـــتاور در شکل (۶۳ ـ ۲) را بررسی کنید.

شکل ۶۳ ـ ۲

۲ ـ دو فرمان اتومبیل در شکل (۶۴ ـ ۲) نشان داده شده اســـت. گرداندن کدام‌یک راحت است؟ برای پاسخ خود دلیل بیاورید.

شکل ۶۴ ـ ۲

پرسش ۴ ـ ۲

پرسش‌های کامل کردنی

۱ ـ مقدار نیروی مغناطیسی از رابطه ..... به‌دست می‌آید.

۲ ـ برای تعیین ..... قانون دست چپ ارایه شده است.

پرسش صحیح غلط

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

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش تشریحی

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

تمرین ۴ ـ ۲

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

۹ ـ ۲ ـ موتورهای جریان مستقیم

موتورهای جریان مستقیم[۱]، انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند. این موتورها بر اساس تاثیر میدان مغناطیسی قطب‌ها بر میدان مغناطیسی اطراف هادی حامل جریان الکتریکی کار می‌کنند. شکل (۶۵ ـ ۲)

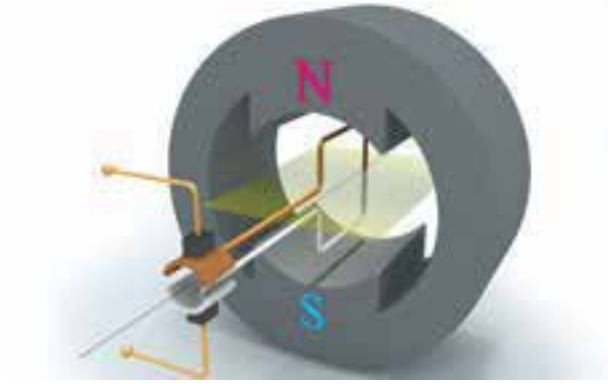
شکل ۶۵ ـ ۲ موتور جریان مستقیم

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 ـ ۹ ـ ۲ ـ طرز کار موتور ساده جریان مستقیم

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

۱. Direct Current Motors

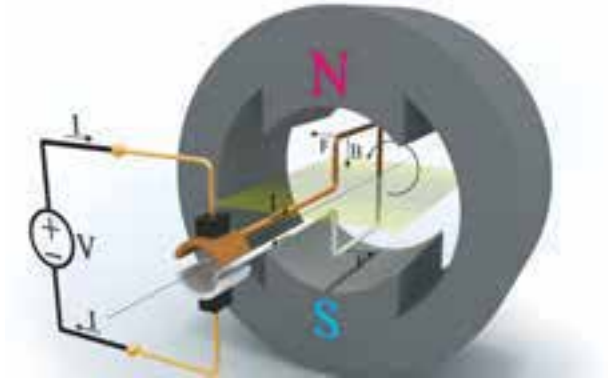


شکل ۶۶ ـ ۲

ساختمان آن مشـــابه ساختمان ژنراتور ساده جریان مستقیم می‌باشد و از چهار قسمت حلقه هادی، جاروبک و قطب‌های مغناطیسی تشکیل شده است.

با اتصال منبع ولتاژ با جریان مستقیم به موتور ساده جریان مســـتقیم، جریان از قطب مثبت منبع، از طریق جاروبک به تیغه قهوه‌ای کموتاتور می‌رسد و وارد بازوی قهوه‌ای حلقه می‌شود و با عبور از بازوی سفید از طریق تیغه ســـفید کموتاتور و جاروبک بـــه قطب منفی منبع می‌رسد.

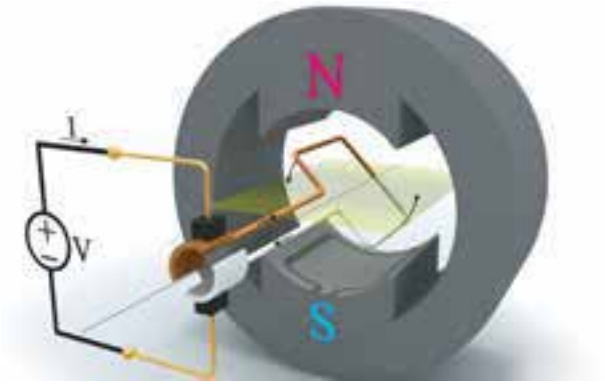
به بازوهای حامل جریان حلقه، نیروی مغناطیســـی وارد می‌شـــود که با قانون دست چپ جهت آن‌ها تعیین می‌شود. شکل (۶۷ ـ۲).



شکل ۶۷ ـ ۲

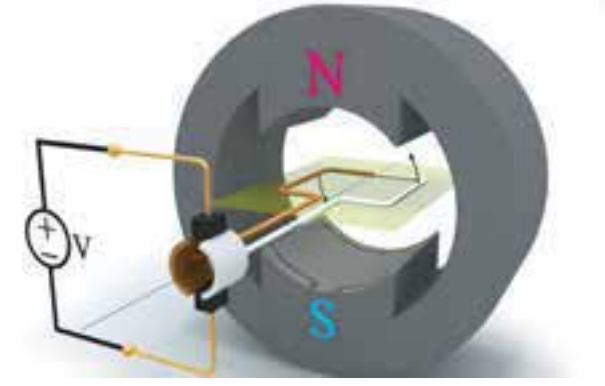
ایـــن دو نیـــروی مغناطیســـی در دو جهـــت مخالف یک‌دیگر به هر دو بازوی حلقه وارد می‌شـــوند و گشتاور ایجـــاد می‌کنند و باعـــث گردش حلقه حـــول محورش خواهند شد.

مادامی‌که جریـــان از بازوهای حلقه عبور می‌کند به آن‌ها نیروی مغناطیسی وارد می‌شود و حلقه تحت تاثیر گشـــتاور این نیروها به گردش خود ادامه می‌دهد. شکل (۶۸ ـ ۲)



شکل ۶۸ ـ ۲

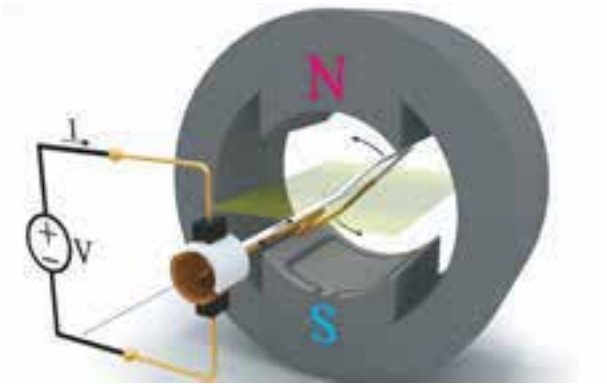
با گردش حلقه زمانی فرا می‌رسد که حلقه در صفحه خنثی قرار می‌گیـــرد. در این وضعیت اتصال جاروبک‌ها به کموتاتور قطع می‌شـــود و جریانی از حلقه نمی‌گذرد و با قطع جریان حلقه، نیروی مغناطیســـی بازوهای آن صفر می‌شود. بنابراین در حلقه گشتاور ایجاد نمی‌شود. شکل (۶۹ ـ ۲)



شکل ۶۹ ـ ۲

اما ســـرعت اولیـــه حلقه باعث می‌شـــود کـــه حلقه هم‌چنـــان به حرکت خود ادامـــه دهد و صفحه خنثی را ترک کنـــد. در این حالت مجدداً اتصـــال جاروبک‌ها به

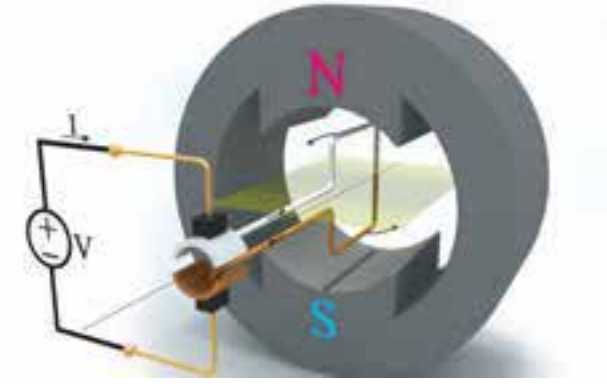
تیغه‌های کموتاتور برقرار می‌شود. شکل (۷۰ ـ ۲)



شکل ۷۰ ـ ۲

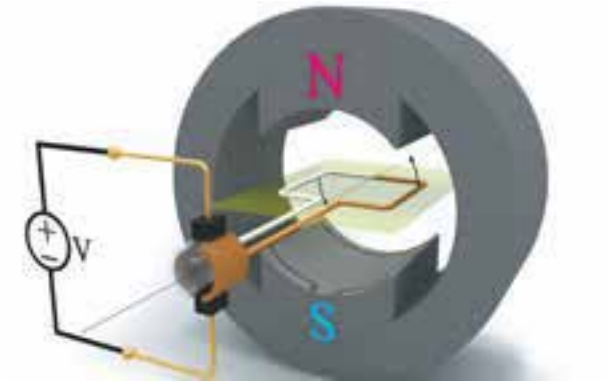
مشاهده می‌شود تیغه‌های کموتاتور نسبت به جاروبک‌ها تعویض شده‌اند و جهت جریان در حلقه تغییر کرده است. با توجه به جهت نیروهای مغناطیسی وارد به هر بازو که به کمک قانون دست چپ تعیین می‌شود، گشتاور در همان جهت قبلی در حلقه ایجاد می‌شود و هم‌چنان حلقه می‌گردد.

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



شکل ۷۱ ـ ۲

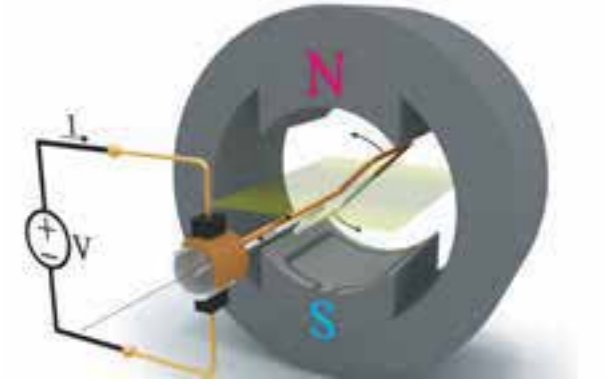
گردش حلقه ناشی از گشتاور نیروهای مغناطیسی بازوهای آن ادامه می‌یابد تا این‌که حلقه مجدداً در صفحه خنثی قرار می‌گیرد. شکل (۷۲ ـ ۲).



شکل ۷۲ ـ 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 ـ ۲).



شکل ۷۳ ـ 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 ـ ۲).