ماشینهای الکتریکی I

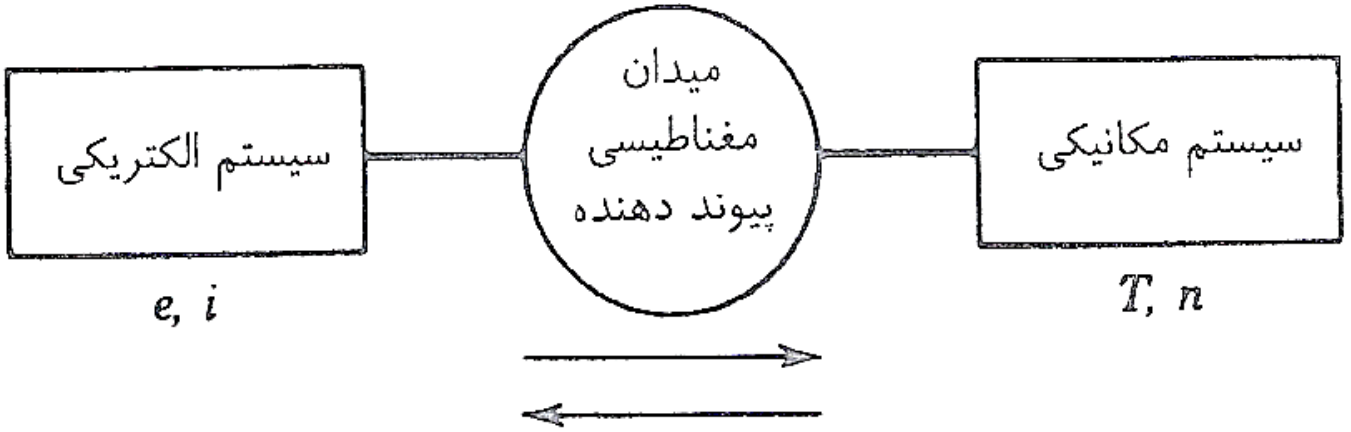
مدرس: دکتر گرگانی فیروزجاه

فصل سوم

ماشین های جریان مستقیم

اصول ماشینهای DC

ماشین الکتریکی رابطی بین سیستم الکتریکی و سیستم مکانیکی محسوب می شود



میدان مغناطیسی پیوند دهندهٔ سیستم الکتریکی و مغناطیسی

در سیستم الکتریکی کمیت هایی چون ولتاژ و جریان خودنمایی می کنند، اما در سیستم مکانیکی گشتاور و سرعت از کمیت های اساسی بشمار می روند.

محیط پیوند دهنده این دو سیستم مختلف میدان مغناطیسی نام دارد

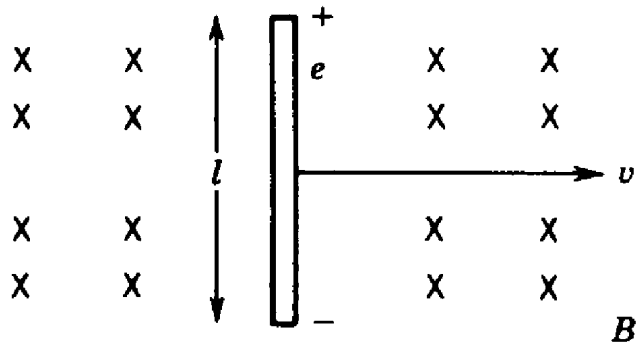
اصول ماشینهای DC

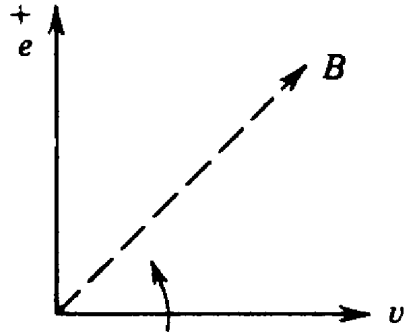
فرایند تبدیل انرژی از فرم الکتریکی به مکانیکی و بالعکس از دو پدیده الکترومغناطیسی زیر نشئت می گیرد.

الف: اگر یک هادی در میدان مغناطیسی حرکت کند، در هادی ولتاژ القاء می گردد.

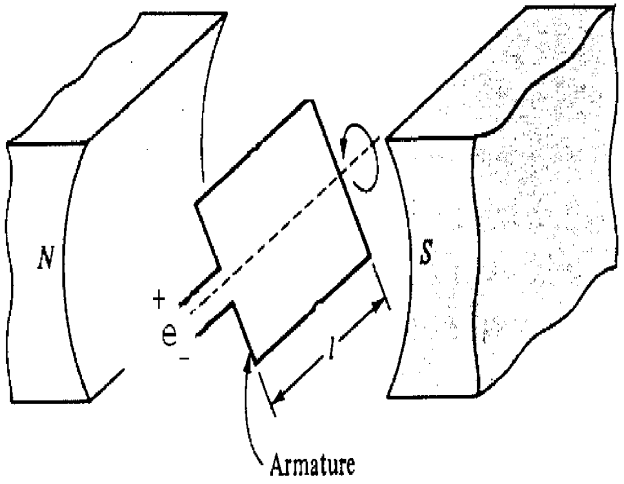
ب: اگر هادی حامل جریان در یک میدان مغناطیسی قرار گیرد، به آن هادی نیروی مکانیکی وارد می شود .

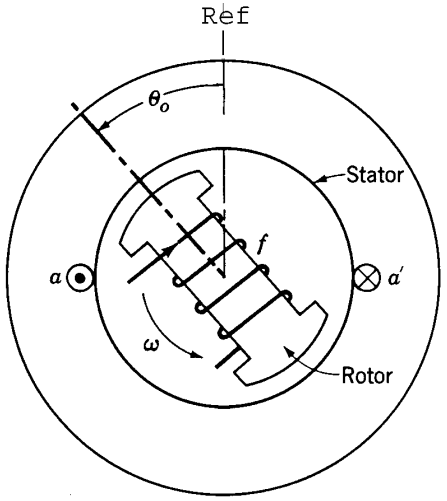
الف: اگر یک هادی در میدان مغناطیسی حرکت کند، در هادی ولتاژ القاء می گردد.





X indicates B into the paper





$$e_{ind} = (v \times B) \cdot l \ , \ e_{ind} = v B l \quad for \ \ v \perp B \perp l$$

$$e_{ind} = (v \times B)\, l$$

where:

v – velocity of the wire

B – magnetic field density

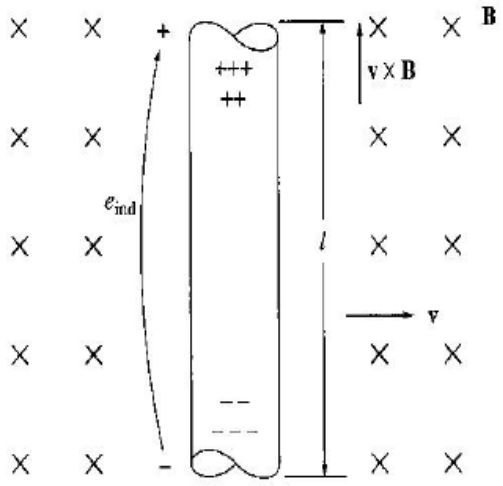
l – length of the wire in the magnetic field

Note: The value of l (length) is dependent upon the angle at which the wire cuts through the magnetic field. Hence a more complete formula will be as follows:

$$e_{ind} = (v \times B) l \cos\theta$$

where:

θ - angle between the conductor and the direction of ($v \times B$)



The figure shows a conductor moving with a velocity of 5m/s to the right in the presence of a magnetic field. The flux density is 0.5T into the page, and the wire is 1m length, oriented as shown. What are the magnitude and polarity of the resulting induced voltage?

$$e_{ind} = (v \times B) \cdot l = (vB \sin 90)\, L \cos 0$$

$$= (5m/s)(0.5T)(1m) =$$

$$2.5\, volts$$

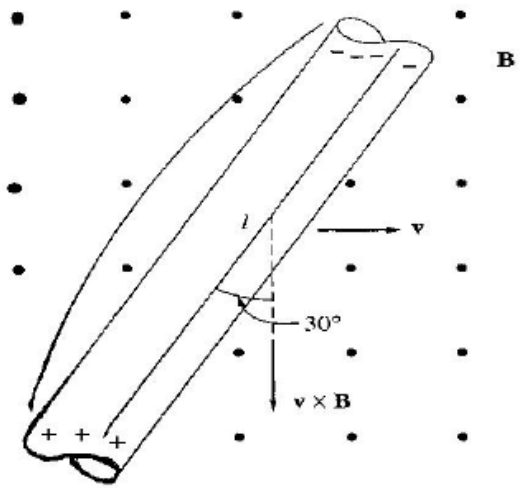


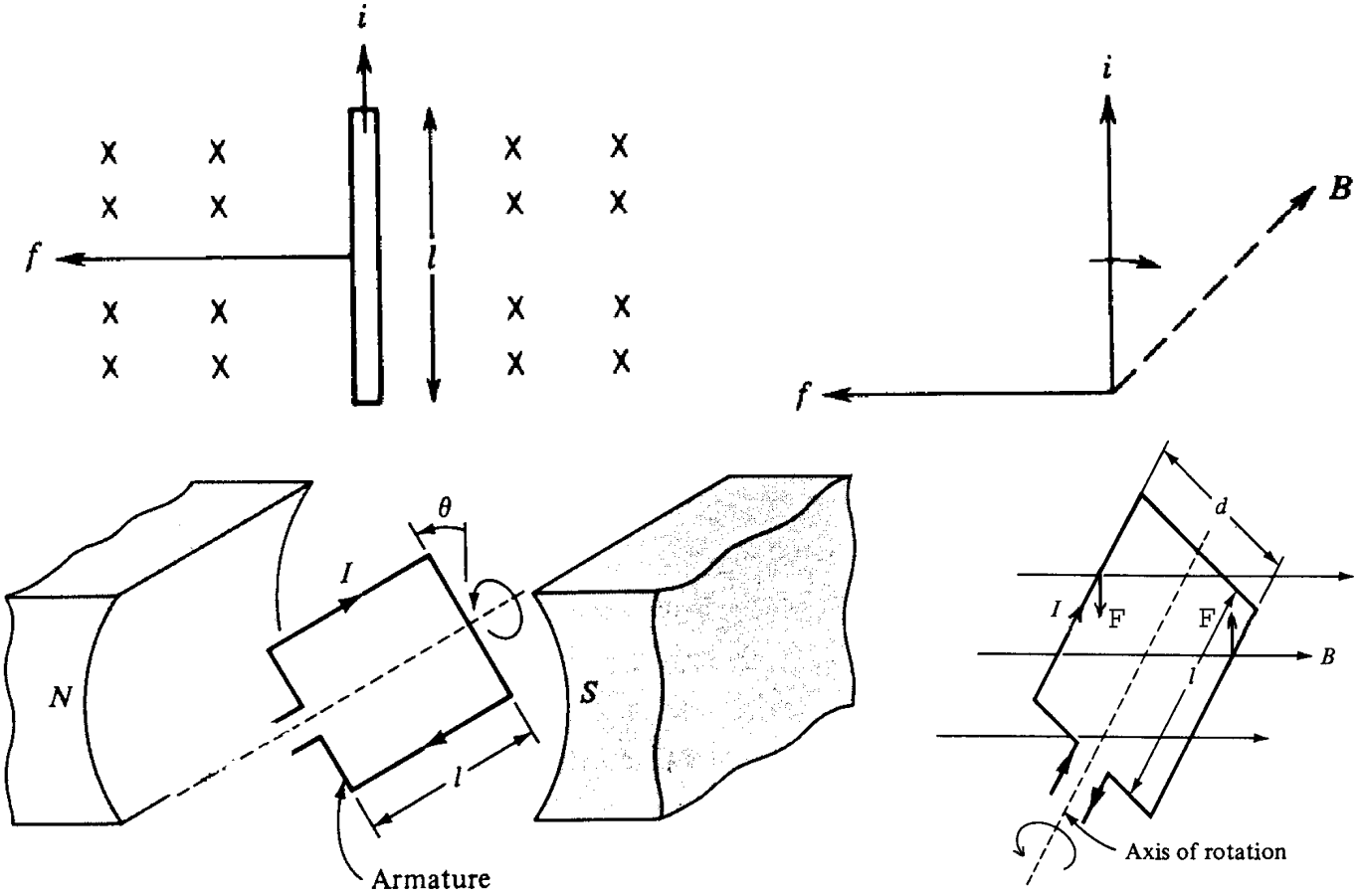
Figure shows a conductor moving with a velocity of 10m/s to the right in a magnetic field. The flux density is 0.5T, out of the page, and the wire is 1m in length. What are the magnitude and polarity of the resulting induced voltage?

$$e_{ind} = (v \times B) \cdot l = (vB \sin 90) L \cos 30$$

$$= (10m/s)(0.5T)(1m) \cos 30 =$$

$$4.33\, volts$$

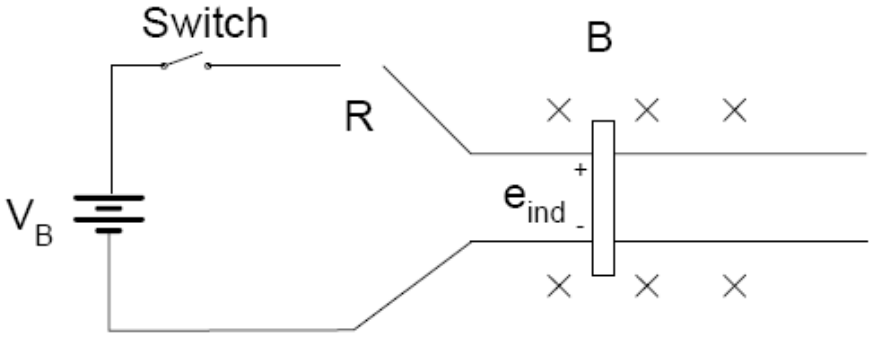
ب: اگر هادی حامل جریان در یک میدان مغناطیسی قرار گیرد، به آن هادی نیروی مکانیکی وارد می شود .



$$F_{ind} = i(l \times B)\ ,\ F_{ind} = i\,l\,B \quad for \quad l \perp B$$

ماشین DC خطی

- ماشین DC خطی ساده ترین وسیله برای فهم مبانی ماشینهای DC میباشد.
- ماشین DC خطی در عین سادگی بر مبنای اصول ماشینهای واقعی (موتورها و ژنراتورها) عمل میکند و رفتاری مشابه آنها از خود نشان میدهد.



Production of Force on a current carrying conductor

$$F = i(l \times B)$$

Voltage induced on a current carrying conductor moving in a magnetic field

$$e_{ind} = (v \times B)\, l$$

Kirchoff's voltage law

$$V_B - iR - e_{ind} = 0$$
$$\therefore V_B = e_{ind} + iR$$

Newton's Law for motion

$$F_{net} = ma$$

اجزای یک ماشین DC خطی

۱- باتری (V_B)

۲- کلید

۳- مقاومت اهمی کلیه اجزای مدار (R) شامل مقاومت داخلی باتری ، مقاومت هادیها و ...

۴- میدان مغناطیسی با چگالی شار B بطرف داخل صفحه

۵- ریلهای هادی جهت تغذیه و هدایت آرمیچر

۶- آرمیچر (هادی با طول l و جرم m) که میتواند آزادانه (بدون اصطکاک) روی ریلها حرکت کند.

روابط اساسی حاکم بر یک ماشین DC خطی

سیم = آرمیچر = قطعه متحرک

$$F = i(l \times \mathrm{B})$$

F = نیروی وارده به سیم

$$F_{net} = m\,a$$

i = جریان عبوری از سیم

$$e_{ind} = (v \times \mathrm{B}) \cdot l$$

l = طول سیم

$$V_B - i\,R - e_{ind} = 0$$

B = چگالی شار مغناطیسی

$$V_B = e_{ind} + i\,R$$

m = جرم سیم

$$e_{ind} = V_B - i\,R$$

a = شتاب سیم

$$i = (V_B - e_{ind})/R$$

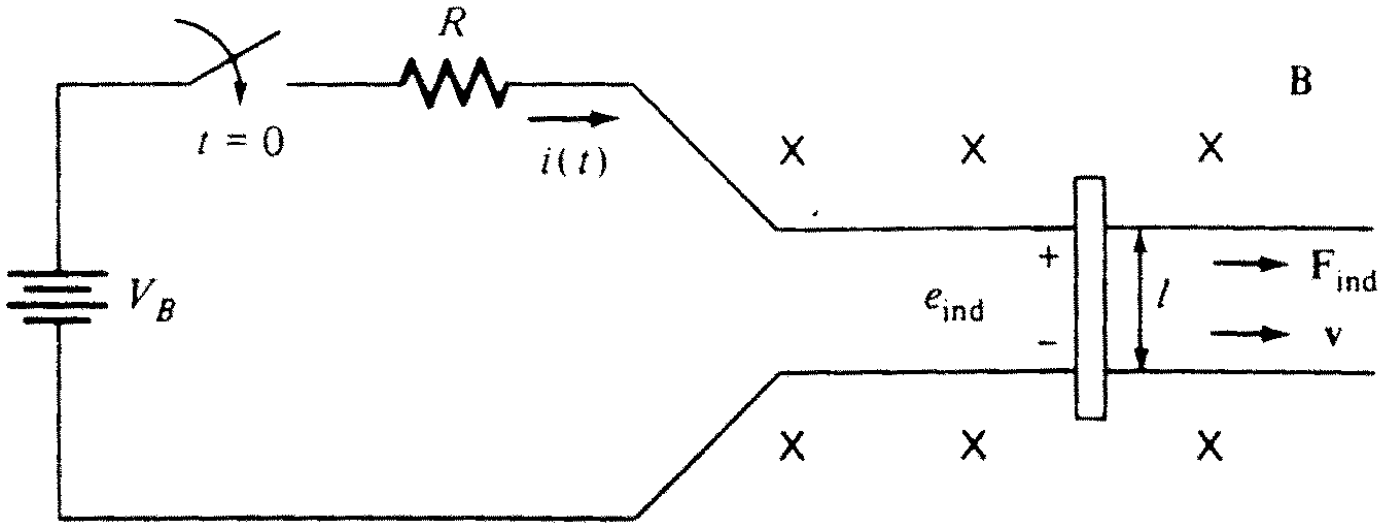
e_{ind} = نیروی محرکه القاشده در سیم

v = سرعت حرکت سیم

V_B = ولتاژ منبع یا باتری

R = مقاومت اهمی مدار

راه اندازی ماشین DC خطی



1) $close\ the\ switch$

2) $i = \dfrac{V_B - e_{ind}}{R}$

3) $F_{ind} = i\,l\,B$

4) $a = \dfrac{F_{ind}}{m}\ ,\ v = a\,t$

5) $e_{ind} = v\,B\,l$

۱– کلید بسته میشود .

۲– جریان از باتری به طرف ماشین جاری میشود .

۳– تحت تاثیرپدیده موتوری به سیم نیروارد میگردد.(به طرف راست)

۴– نیرو سبب حرکت ، شتاب و سرعت گرفتن سیم میگردد.

۵– حرکت سیم در میدان موجب القا ولتاژ در آن میگردد که نیروی ضد محرکه (back emf) نامیده میشود .

$$6)\quad i\downarrow = \frac{V_B - e_{ind}\uparrow}{R}$$

$$F_{ind\downarrow} = i_{\downarrow}\ l\ B$$

$$7)\quad V_B = e_{ind} = v_{ss}\ B\,l$$

$$i = 0\ ,\quad F = 0$$

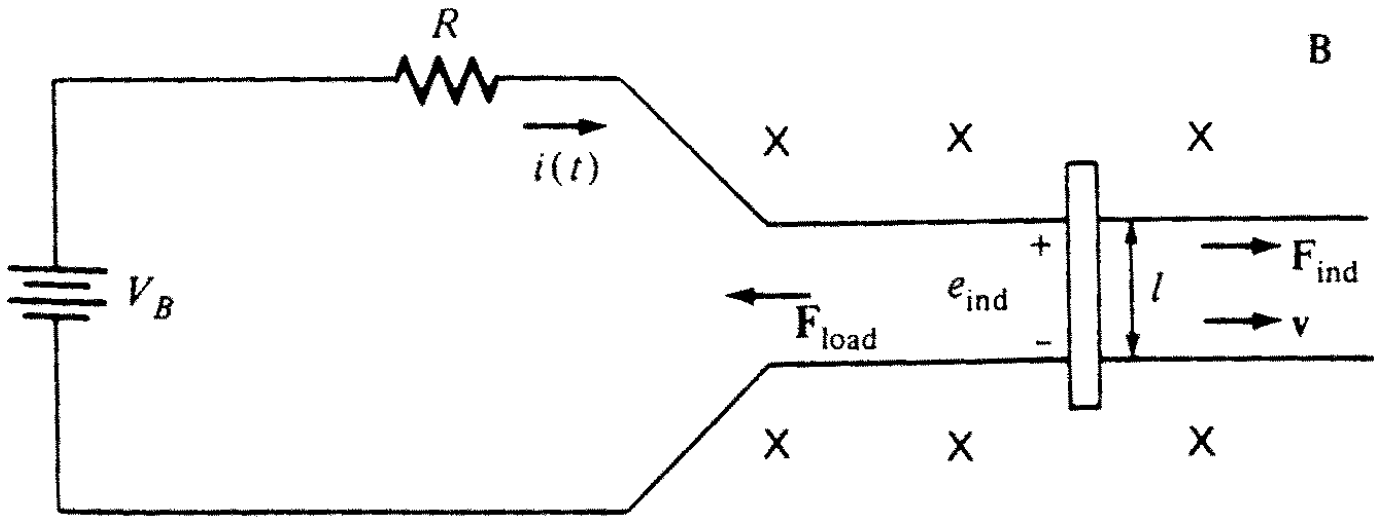
$$8)\quad v_{ss} = \frac{V_B}{B\,l}$$

۶– بر طبق قاعده لنز پلاریته e_{ind} به گونه ای است که بر خلاف ولتاژ اعمال شده V_Bعمل نموده و باعث محدود شدن جریان در مدار می گردد. به این ترتیب با افزایش سرعت سیم ، e_{ind} افزایش و جریان i و نیز نیرو F_{ind} کاهش می یابد.

۷– این فرایند یعنی افزایش v ، افزایش e_{ind} و کاهش i تا آنجا ادامه میابد که نهایتا ولتاژ منبع V_Bو نیروی ضدمحرکه القایی e_{ind} برابر گردد. بدیهی است در اینصورت جریان صفر خواهد شد و مبادله انرژی متوقف میگردد.

۸– در این شرایط سیم با سرعت پایدار و ثابت v_{ss} حرکت خواهد نمود. حرکت سیم با این سرعت که سرعت بی باری نیز گفته میشود تداوم خواهد داشت مگر آنکه نیروی بیرونی باعث تغییرات گردد.

ماشین DC خطی به عنوان موتور



نیروی بیرونی F_{load} (بار) در جهت خلاف حرکت سیم اعمال میگردد

۱– فرض کنیم ماشین قبلا راه اندازی شده و در شرایط پایدار و بی بار (نه حالت ژنراتوری و نه حالت موتوری) و با سرعت v_{ss} درحال حرکت میباشد. بدیهی است در اینصورت هیچگونه انرژی بین منبع و ماشین یا بالعکس مبادله نمیگردد و جریان و نیرو صفر میباشد . نیروی بیرونی F_{load} (بار) در جهت خلاف حرکت سیم اعمال میگردد و به لحاظ شتاب منفی سرعت سیم (v) کاهش میابد.

۲– به تبع کاهش سرعت نیروی ضدمحرکه نیز کاهش میابد.

۳– با توجه به ثابت فرض شدن ولتاژ منبع (V_B) جریان که قبلا صفر بود افزایش میابد.

1) $F_{load}\,(applied\ to\ the\ left)$

$F_{net}\,(against\ motion)$

$a = F_{net} \div m \Rightarrow v\downarrow$

2) $e_{ind}\downarrow = v\downarrow B\ l$

3) $i\uparrow = \dfrac{V_B - e_{ind}\downarrow}{R}$

۴- برقراری جریان سبب ایجاد نیروی الکترومغناطیسی (F_{ind}) میگردد این نیرو به طرف راست و در جهت غلبه بر نیروی بار (F_{load}) و جلوگیری از کاهش سرعت میباشد.

۵- این فرایند تا آنجا ادامه مییابد که F_{ind} با F_{load} برابر شده و شتاب به صفر برسد. در اینصورت سیم با سرعت پایدار و ثابت جدید $v_{ss,m}$ به حرکت خود ادامه میدهد.

۶- جریان جذب شده از منبع با Fload متناسب است.

4) $F_{ind}^{\uparrow} = i^{\uparrow} l B \quad (to\ the\ right)$

5) $|F_{ind}| = |F_{load}| \Rightarrow F_{net} = 0$

$a = 0 \Rightarrow v = v_{ss,m}$

6) $i_{ss,m} = \frac{F_{ind}}{l B} = \frac{F_{load}}{l B}$

$$7)\ e_{ss,m} = V_B - R\ i_{ss,m}$$

$$8)\ v_{ss,m} = \frac{e_{ss,m}}{B\ \ l} = \frac{V_B - R\ i_{ss,m}}{B\ \ l}$$

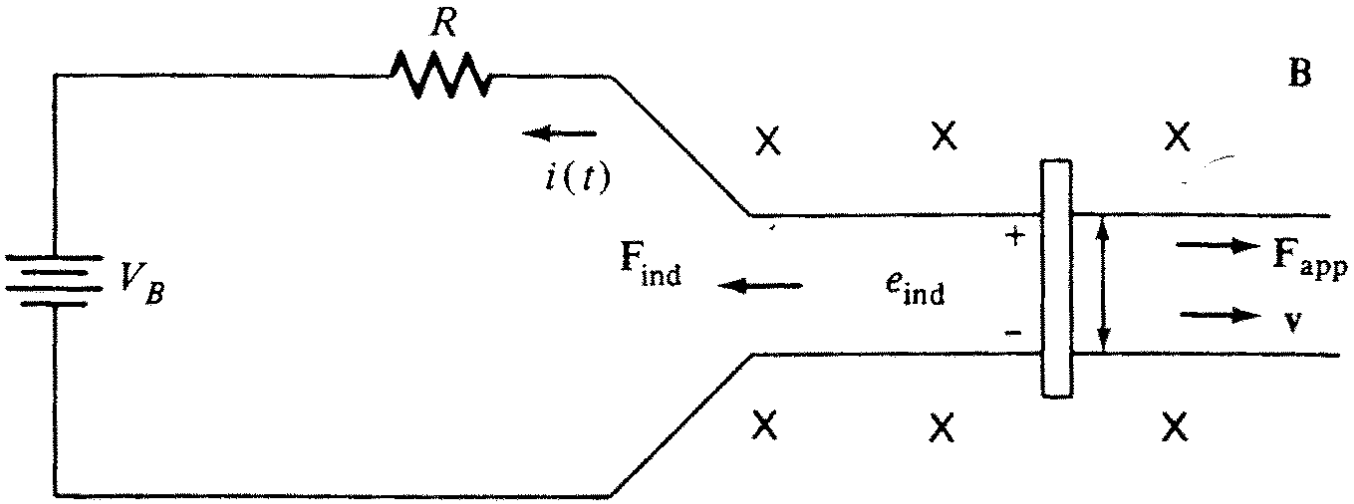
$$9)\ P_{conv} = e_{ind}\ i_{ss,m} = F_{load}\ v_{ss,m}$$

۷- e_{ind} به اندازه افت ولتاژ مقاومت از ولتاژ منبع کمتر است .

۸- سرعت ماشین در حالت موتوری ($v_{ss,m}$) اندکی از سرعت حالت بی باری (v_{ss}) کمتر است. این افت سرعت به جریان ماشین و مقاومت اهمی بستگی دارد.

۹- ماشین بصورت یک موتور انرژی الکتریکی را از شبکه جذب و به انرژی مکانیکی تبدیل مینماید.با افزایش بار مکانیکی میزان جریان و به تبع آن میزان انرژی تبدیلی افزایش مییابد.

ماشین DC خطی بعنوان یک ژنراتور



نیروی بیرونی F_{app} (محرک) در جهت حرکت سیم اعمال می شود

۱– فرض کنیم ماشین قبلا راه اندازی شده و در شرایط پایدار و بی بار (نه حالت ژنراتوری و نه حالت موتوری) و با سرعت v_{ss} درحال حرکت میباشد. بدیهی است در اینصورت هیچگونه انرژی بین منبع و ماشین یا بالعکس مبادله نمیگردد و جریان و نیرو صفر میباشد . نیروی F_{app} (محرک) در جهت حرکت سیم اعمال میشود و شتاب مثبت سرعت سیم (v) را افزایش میدهد.

۲– به تبع افزایش سرعت نیروی محرکه نیز افزایش میابد و مقدار آن از مقدار ولتاژ اعمال شده بیشتر میشود.

$$1)\ F_{app}\ \ (applied\ to\ the\ right)$$

$$F_{net}\ \ (accelerates\ motion)$$

$$a = F_{net} \div m \quad \Rightarrow \quad v \uparrow$$

$$2)\ e_{ind}^{\uparrow} = v^{\uparrow} B\, l \quad , \quad e_{ind} > V_B$$

۳– با توجه به ثابت فرض شدن ولتاژ منبع (V_B) جریان که قبلا صفر بود افزایش میابد و از سمت ماشین به طرف منبع جاری میگردد.

۴– برقراری جریان سبب ایجاد نیروی الکترومغناطیسی(F_{ind}) مقاوم میگردد. این نیرو به طرف چپ و در خلاف جهت نیروی محرک (F_{app}) و جلوگیری از افزایش سرعت میباشد .

۵– این فرایند تا آنجا ادامه میابد که vss با vss,g برابر شده و شتاب به صفر برسد . در اینصورت سیم با سرعت پایدار و ثابت جدید vss,g به حرکت خود ادامه میدهد.

$$3)\ i^{\uparrow} = \frac{e_{ind}^{\uparrow} - V_B}{R} = \frac{v^{\uparrow} B\, l - V_B}{R}$$

$$4)\quad F_{ind}^{\uparrow} = i^{\uparrow} l\, B \quad (to\ the\ left)$$

$$5)\quad |F_{ind}| = |F_{app}| \Rightarrow F_{net} = 0$$

$$a = 0 \Rightarrow v = v_{ss,g}$$

۶- جریان تولید شده توسط ماشین با F_{app} متناسب است .

۷- e_{ind} به اندازه افت ولتاژ مقاومت از ولتاژ منبع بیشتر است .

۸- سرعت ماشین در حالت ژنراتوری ($v_{ss,g}$) اندکی از سرعت بی باری (v_{ss}) بیشتر است.

۹- ماشین بصورت یک ژنراتور انرژی مکانیکی ($v_{ss,g}$ F_{app}) را به انرژی الکتریکی ($i_{ss,g}$ e_{ind}) تبدیل مینماید

$$6)\ i_{ss,g} = \frac{F_{ind}}{l\,B} = \frac{F_{app}}{l\,B}$$

$$7)\ e_{ss,g} = V_B + R\ i_{ss,g}$$

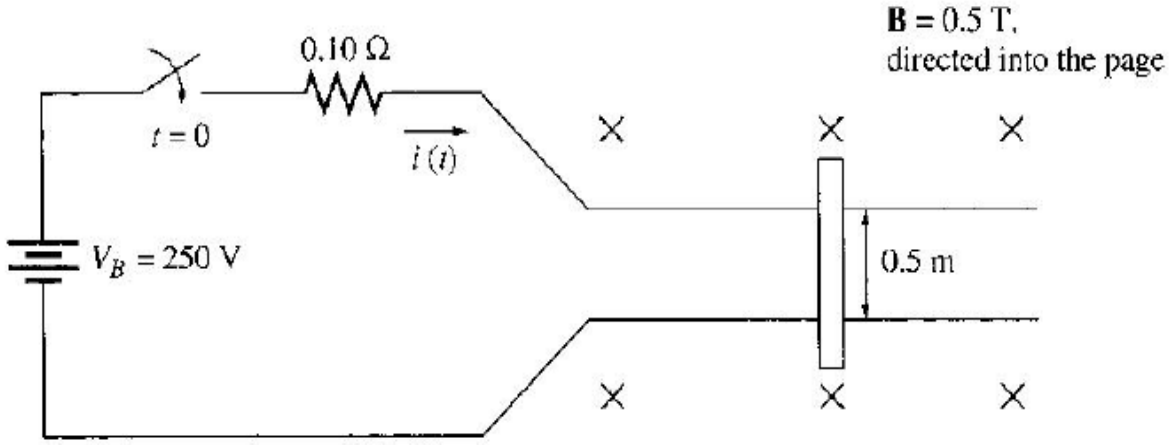
$$8)\quad v_{ss,g} = \frac{e_{ss,g}}{B\ \ l} = \frac{V_B + R\ i_{ss,g}}{B\ \ l}$$

$$9)\ P_{conv} = e_{ind}\ i_{ss,g} = F_{app}\ v_{ss,g}$$

مشکلات راه اندازی ماشین DC

Starting problems with the Linear Machine

1. Look at the figure here:



2. This machine is supplied by a 250V dc source and internal resistance R is 0.1 ohm.

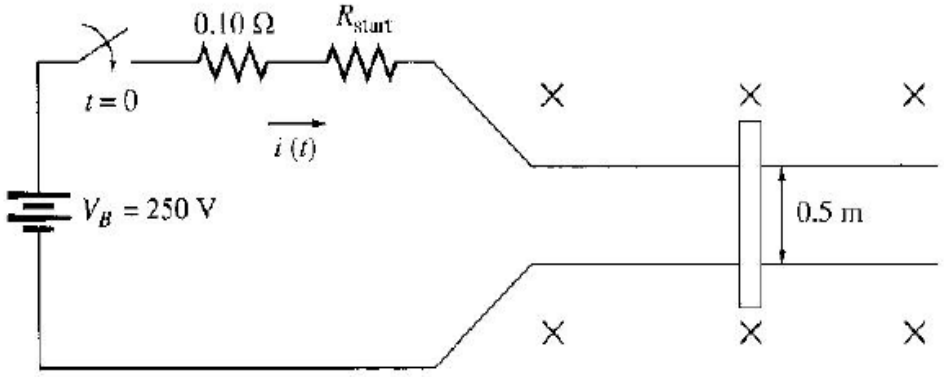
3. At starting, the speed of the bar is zero, $e_{ind} = 0$. The current flow at start is:

$$i_{start} = \frac{V_B}{R} = \frac{250}{0.1} = 2500A$$

راه حل: مقاومت راه انداز

4. This current is very high (10x in excess of the rated current).

5. How to prevent? → insert an extra resistance into the circuit during starting to limit current flow until e_{ind} builds up enough to limit it, as shown here:



مثال : ماشین خطی شکل (a) با المانهای داده شده مفروض است .

الف)

کلید را بسته و ماشین را راه اندازی میکنیم. مطلوب است

۱. ماکزیمم جریان راه اندازی ماشین

۲. سرعت حالت پایدار ماشین در بی باری

ب)

در حالیکه که ماشین بی بار و پایدار است ، چنانچه یک نیروی ۳۰N به طرف راست به میله وارد گردد

۳. سرعت حالت پایدار ماشین = ؟

۴. قدرت تولید شده یا جذب شده توسط میله ؟

۵. قدرت تولید شده یا جذب شده توسط باتری ؟

۶. اختلاف بین این دو را توجیه کنید

۷. ماشین یک ژنراتور است یا یک موتور ؟

ج)

در حالیکه که ماشین بی بار و پایدار است ، چنانچه یک نیروی ۳۰N به طرف چپ به میله وارد گردد

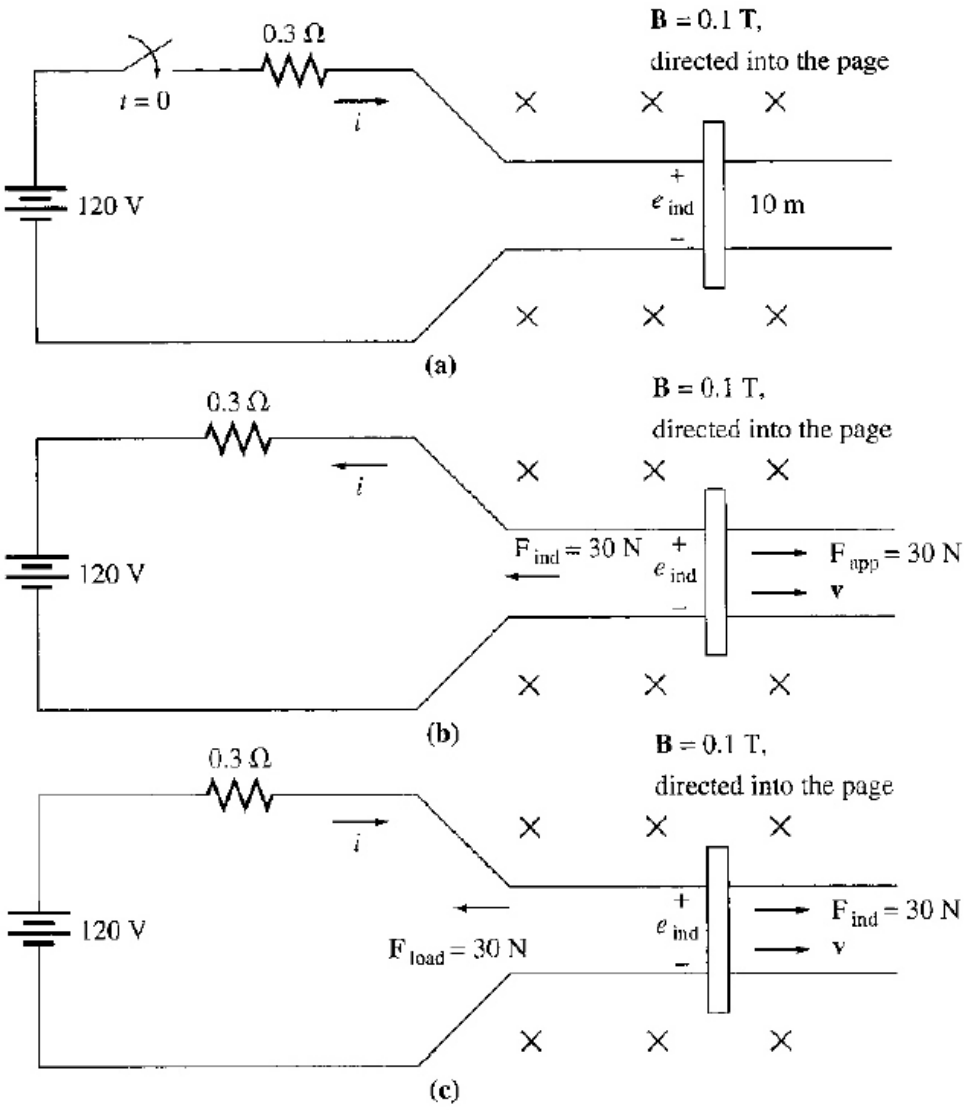
۸. سرعت حالت پایدار جدید ماشین = ؟

۹. ماشین یک ژنراتور است یا یک موتور ؟

د)

در حالیکه که ماشین بی بار و پایداردر حرکت است ناگهان به ناحیه ای با چگالی شار ضعیف تر ۰.۰۸ تسلا وارد میگردد

۱۰.سرعت حالت پایدار جدید ماشین = ؟


0.3 Ω
t = 0
i
120 V
B = 0.1 T,
directed into the page
+
e ind
–
10 m
(a)
0.3 Ω
i
120 V
B = 0.1 T,
directed into the page
F ind = 30 N
+
e ind
–
F app = 30 N
v
(b)
0.3 Ω
i
120 V
B = 0.1 T,
directed into the page
F load = 30 N
+
e ind
–
F ind = 30 N
v
(c)

$$at\ start\quad v=0 \Rightarrow\ e_{ind} = vBl=0$$

$$i_{start} = \frac{V_B - e_{ind}}{R} = \frac{120-0}{0.3} = 400\ A$$

$$at\ no\ load\ \&\ \ steady\ state:$$

$$F_{ind}=0\quad,\quad i=0\quad,\quad V_B = e_{ind} = vlB$$

$$v = \frac{V_B}{l\,B} = \frac{120}{10\times 0.1} = 120\ m/s$$

$$F_{app} = F_{ind} = i\,l\,B$$

$$i = \frac{F_{ind}}{l\,B} = \frac{30}{10\times 0.1} = 30\ A\quad (fig.\ b)$$

$$e_{ind} = V_B + i\,R = 120 + 30\times 0.3 = 129\,V$$

$$v = \frac{e_{ind}}{l\,B} = \frac{129}{10\times 0.1} = 129\ m/s$$

$$P_{machine} = 129 \times 30 = 3870 \ \ W$$

$$P_{battery} = 120 \times 30 = 3600 \ \ W$$

$$P_{loss} = R\ i^2 = 3870 - 3600 = 270\ W$$

$$Machine\ \ is\ \ working\ \ as\, a\ generator$$

$$F_{load} = F_{ind} = i\,l\,B$$

$$i = \frac{F_{ind}}{l\,B} = \frac{30}{10 \times 0.1} = 30\ A$$

current flows from battery toward machine

(see fig. c)

$$e_{ind} = V_B - i\,R = 120 - 30 \times 0.3 = 111\,V$$

$$v = \frac{e_{ind}}{l\,B} = \frac{111}{10 \times 0.1} = 111\ m/s$$

$$P_{machine} = 111 \times 30 = 3330\ W$$

$$P_{battery} = 120 \times 30 = 3600\ W$$

$$P_{loss} = R\ i^2 = 3600 - 3330 = 270$$

Machine is working as a motor and converts electrical energy to mechanical energy

$$After \quad the\ transient\ is \quad over$$

$$V_B = e_{ind} = v\,B\,l$$

$$v = \frac{V_B}{Bl} = \frac{120}{0.08 \times 10} = 150\ m/s$$

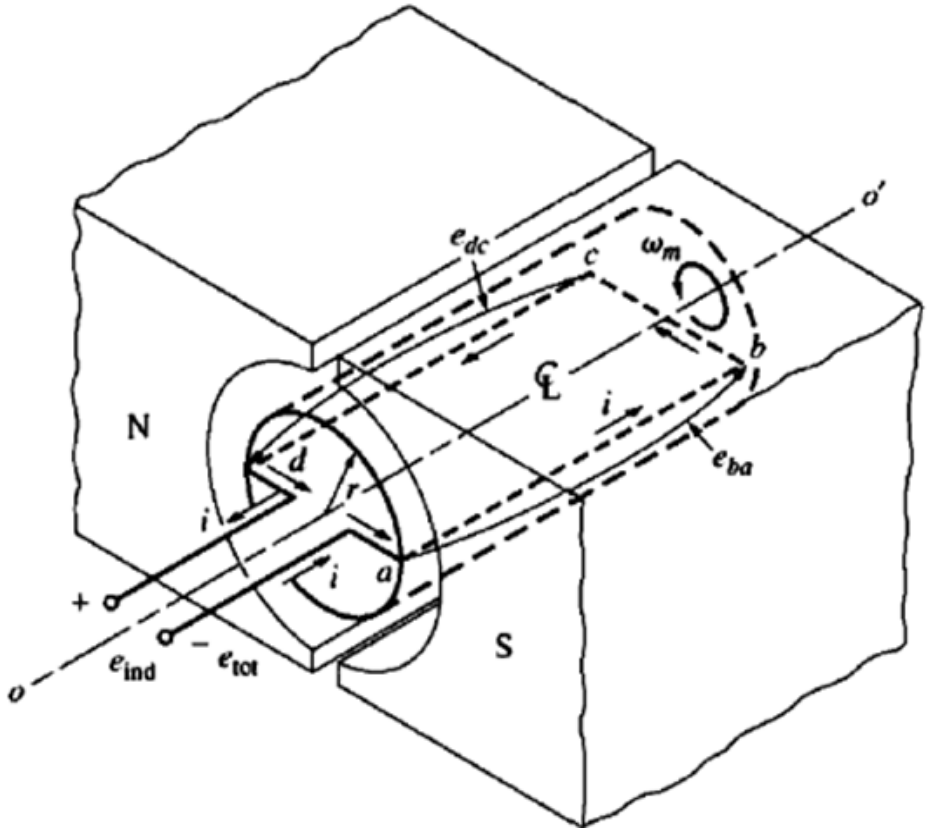
$$note: \quad B_{\downarrow} \Rightarrow v^{\uparrow}$$

$$The \quad same\ is\ true \quad for\ a\ real\ DC\ machine$$

ساده ترین نوع ماشین DC

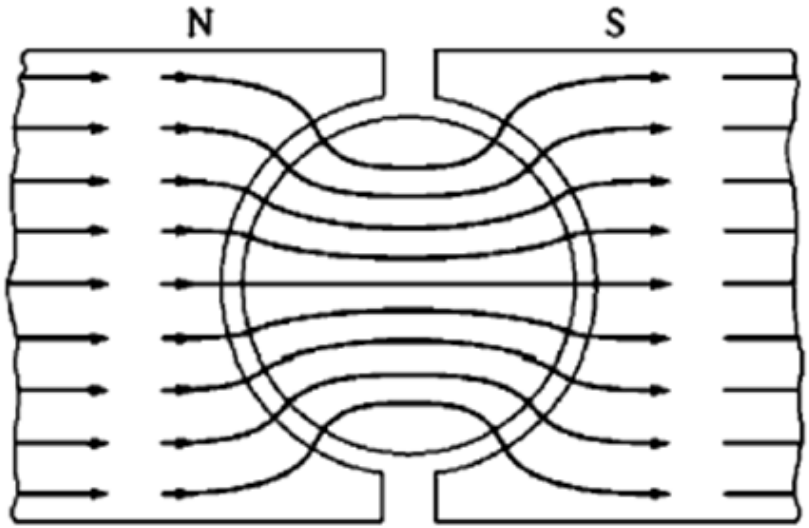
یک حلقهٔ ساده دوار بین سر قطبهای خمیده

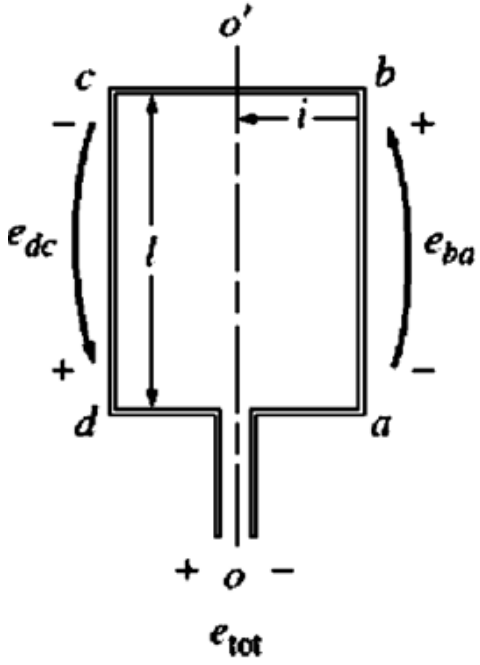
این ماشین از یک حلقه سیم که حول محور ثابتی دوران می‌کند تشکیل شده است.



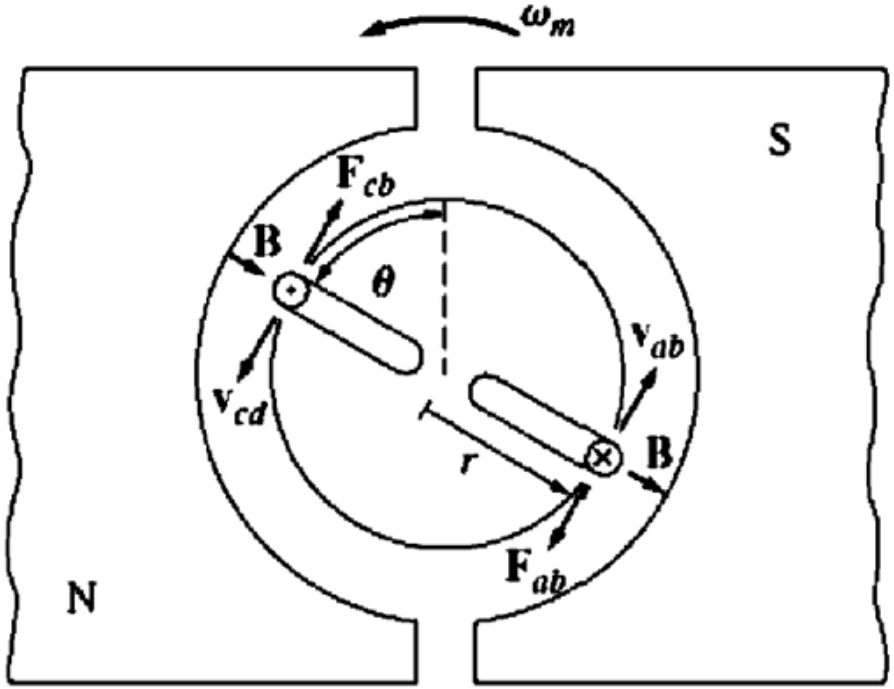
- قسمت دوار این ماشین روتور، و قسمت ساکن آن استاتور نام دارد.
- میدان مغناطیسی ماشین توسط قطبهای شمال و جنوب استاتور نشان داده شده است.
- حلقه سیم روتور درون یک شیار که بر روی هسته ای فرومغناطیس کنده شده، قرار دارد. روتور آهنی، همراه با شکل خمیدهٔ رخ قطبها، فاصله ای هوایی با عرض ثابت بین روتور و استاتور ایجاد می‌کند.

- رلوکتانس هوا بیشتر از رلوکتانس آهن ماشین است. برای می‌نیمم کردن رلوکتانس مسیر شار درون ماشین، شار مغناطیسی باید کوتاهترین مسیر را در هوای بین سر قطبهای استاتور و سطح روتور بپیماید.
- چون شار مغناطیسی باید کوتاهترین مسیر را در هوا داشته باشد. در همه جا رخ قطبها عمود بر سطح استوانهٔ روتور است. چون فاصله هوایی پهنای یکنواختی دارد، رلوکتانس در همه جای رخ قطبها یکسان است. یکنواخت بودن رلوکتانس به معنی ثابت بودن چگالی شار در زیر رخ قطبهاست.



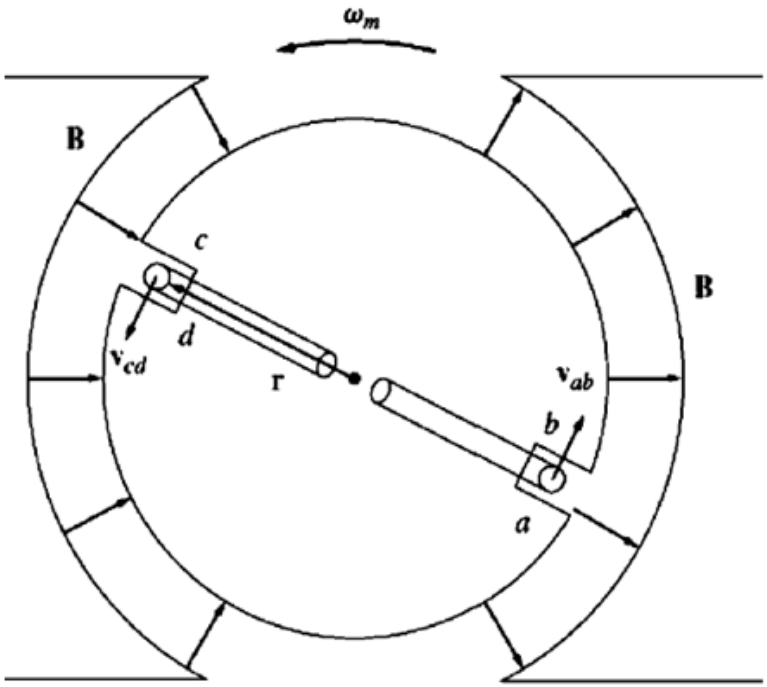


نمای بالا



نمای روبرو

ولتاژ القاء شده در حلقهٔ دوار



اگر روتور این ماشین بچرخد، ولتاژی در حلقه القاء میشود.

تعیین اندازه و شکل این ولتاژ:

حلقهٔ نشان داده شده مستطیل شکل است و اضلاع ab و cd آن عمود بر صفحهٔ کاغذ قرار دارند. میدان مغناطیس در زیر رخ قطبها عمود بر سطح روتور و ثابت است، ولی با دور شدن از لبه‌های قطب به شدت رو به صفر می‌گذارد.

برای یافتن ولتاژ کل e_{tot} در حلقه، هر کدام از اضلاع حلقه را جداگانه در نظر می‌گیریم و ولتاژهای حاصل را با هم جمع می‌کنیم. ولتاژ هر ضلع از معادلهٔ زیر بدست می‌آید.

$$e_{ind} = (v \times B).L$$

۱.ضلع ab: در این ضلع، سرعت سیم مماس بر مسیر چرخش است. میدان مغناطیسی B در زیر قطب در امتداد عمود بر سطح روتور و به طرف بیرون روتور است و در آن سوی لبه‌های قطب صفر است. در زیر رخ قطبها، سرعت v عمود بر B و جهت $V \times B$ به سمت داخل صفحه است. بنابراین ولتاژ القا شده در این ضلع برابر است با:

$$e_{ab} = \begin{cases} \upsilon BL & \text{(در زیر رخ قطب) مثبت به سمت داخل صفحه} \\ 0 & \text{(آن سوی لبه‌های قطب)} \end{cases}$$

۲. ضلع bc: در این قطعه کمیت $V \times B$ در قسمتی به طرف درون و در قسمتی به طرف بیرون صفحه است. چون طول L در صفحهٔ کاغذ قرار دارد. $V \times B$ عمود بر L است. بنابراین ولتاژ در قطعهٔ bc صفر است:

$$e_{bc} = 0$$

۳. ضلع cd: در این قطعه، سرعت سیم مماس بر مسیر چرخش است. میدان مغناطیسی B در زیر قطب، به طرف داخل روتور و عمود بر سطح آن است و در آن سوی لبه‌های قطب صفر است. در زیر رخ قطبها، سرعت v عمود بر B و کمیت $v \times B$ به سمت بیرون صفحه کاغذ است. بنابراین ولتاژ القا شده در این قطعه برابر است با:

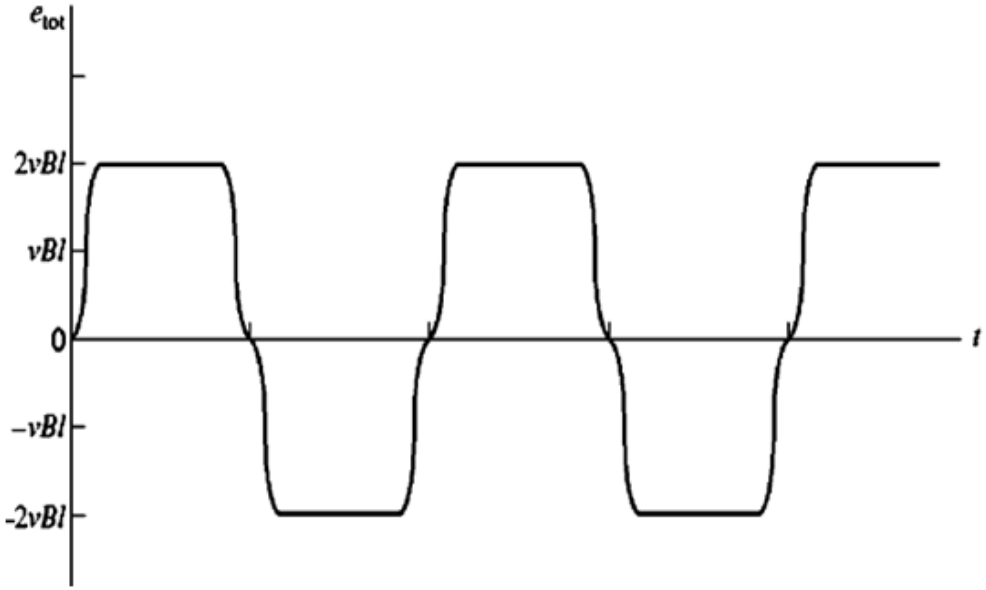
$$e_{cd} = \begin{cases} \upsilon BL & \text{(در زیر رخ قطب) مثبت به سمت بیرون صفحه} \\ 0 & \text{آن سوی لبه‌های قطب} \end{cases}$$

۴. ضلع da: $v \times B$ درست مثل bc عمود بر I است. بنابراین ولتاژ در این قطعه نیز صفر است:

$$e_{da} = 0$$

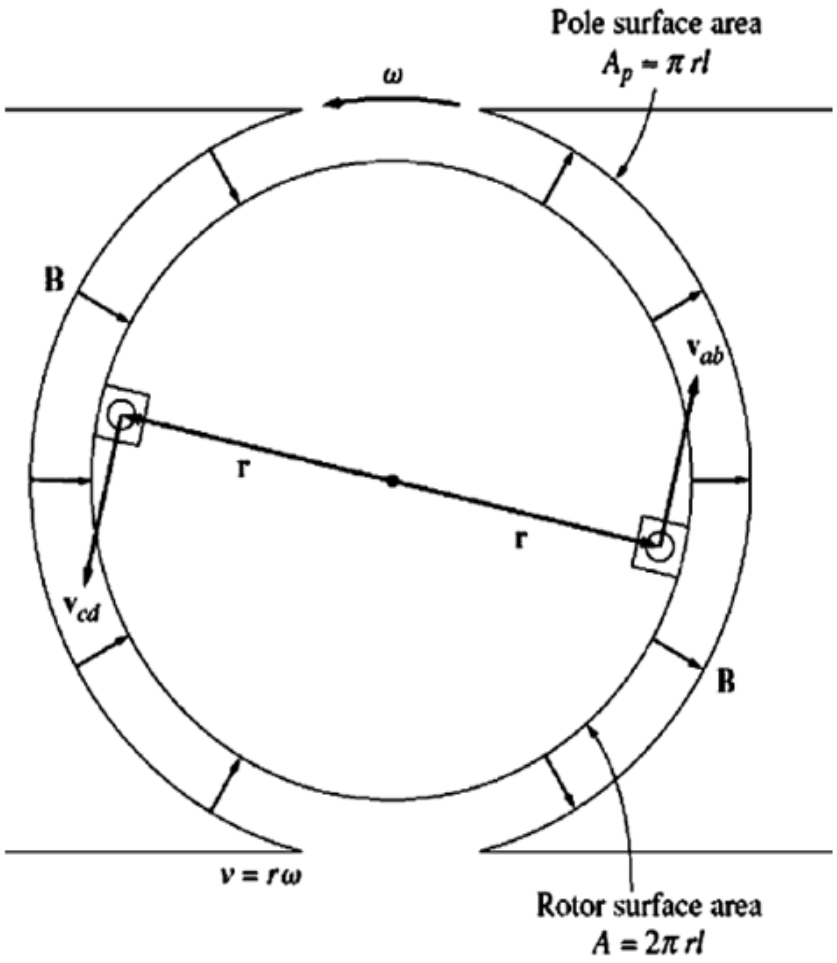
کل ولتاژ در حلقه (e_{ind}) برابر است با: $e_{ind} = e_{ab} + e_{bc} + e_{cd} + e_{da}$

$$e_{ind} = \begin{cases} 2\upsilon BL & \text{در زیر سر قطبها} \\ 0 & \text{آن سوی لبه‌های قطب} \end{cases}$$



وقتی این حلقه ۱۸۰ درجه می‌چرخد، ضلع ab زیر رخ قطب شمال قرار می‌گیرد. در این هنگام، جهت ولتاژ این قطعه عکس می‌شود، اما اندازهٔ آن ثابت می‌ماند. ولتاژ e_{tot} به صورت تابعی از زمان در شکل روبرو نشان داده شده است.

راه دیگری برای بیان معادلهٔ فوق الذکر وجود دارد که به روشنی رفتار این تک حلقه را به رفتار ماشینهای dc واقعی مربوط می‌کند.



شکل روبرو را در نظر بگیرید. توجه کنید که سرعت مماسی υ لبه‌های حلقه را می‌توان با رابطهٔ زیر بیان کرد.

$$\upsilon = r\omega$$

که در آن r شعاع لبه‌های حلقه نسبت به محور چرخش و ω سرعت زاویه‌ای حلقه است.

با جایگزینی در رابطه :

$$e_{ind} = \begin{cases} 2\upsilon BL & \text{در زیر سر قطبها} \\ 0 & \text{آن سوی لبه‌های قطب} \end{cases}$$

داریم:

$$e_{ind} = \begin{cases} 2rLB\omega & \text{در زیر سر قطبها} \\ 0 & \text{آن سوی لبه‌های قطب} \end{cases}$$

روتور استوانه‌ای شکل است. بنابراین مساحت رویهٔ روتور (A) درست برابر با $2\pi rl$ است. چون دو قطب داریم، مساحت روتور در زیر هر قطب (با نادیده گرفتن فواصل کوچک بین قطبها) تقریباً برابر است با: $A_p = \pi\, rl$

$$e_{ind} = \begin{cases} \frac{2}{\pi} A_p B\omega & \text{در زیر سر قطبها} \\ 0 & \text{آن سوی لبه‌های قطب} \end{cases}$$

چون چگالی شار B در همه جای زیر رخ قطبها ثابت است، کل شار هر قطب با مساحت قطب ضـربدر چگالی شار آن برابر است:

$$\varphi = A_p B$$

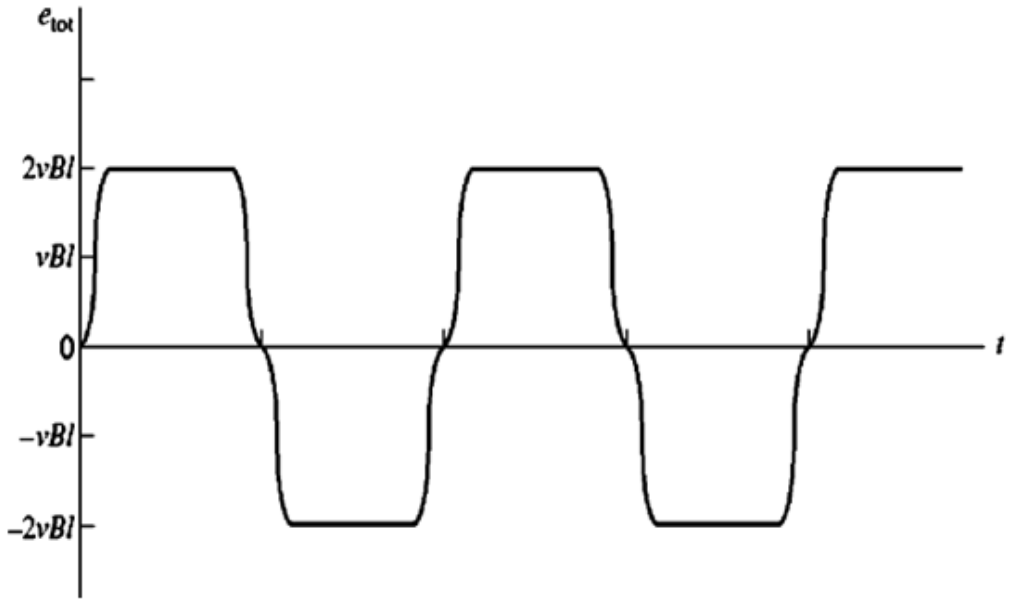
بنابراین، شکل نهایی معادله ولتاژ به صورت زیر است:

$$e_{ind} = \begin{cases} \frac{2}{\pi}\varphi\omega & \text{در زیر سر قطبها} \\ 0 & \text{آن سوی لبه‌های قطب} \end{cases}$$

به این ترتیب، ولتاژ تولید شده در ماشین با حاصلضرب شار درون ماشین و سرعت چرخش ماشین و عدد ثابتی که به ساختمان مکانیکی ماشین بستگی دارد، برابر است، به طور کلی ولتاژ در هر ماشین واقعی به همین سه عامل بستگی دارد.

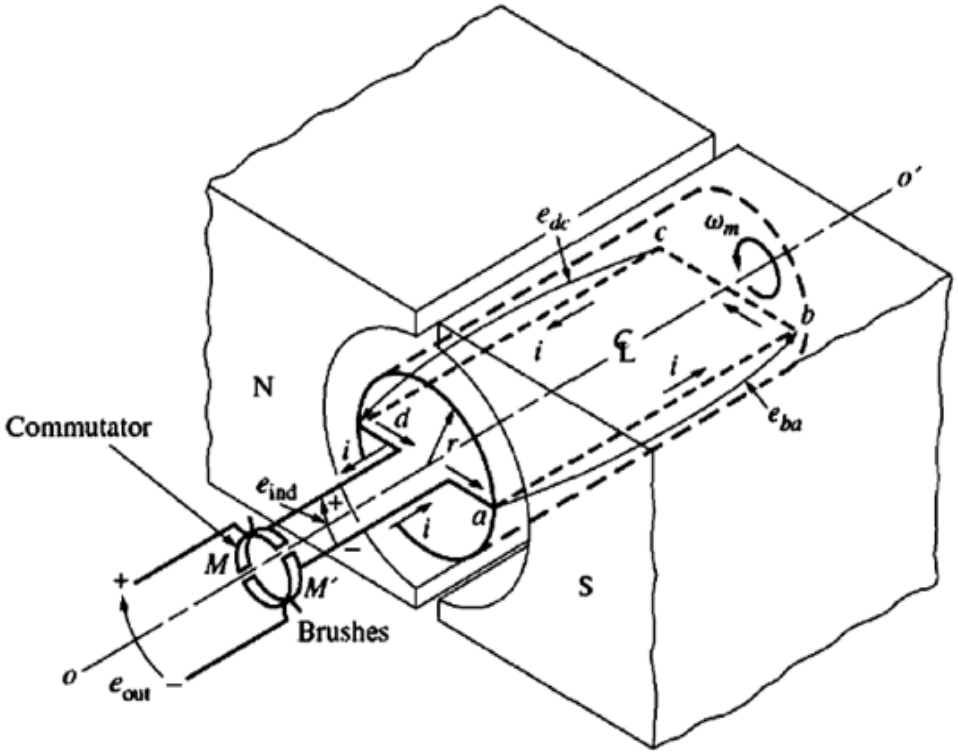
به دست آوردن ولتاژ DC از حلقه دوار

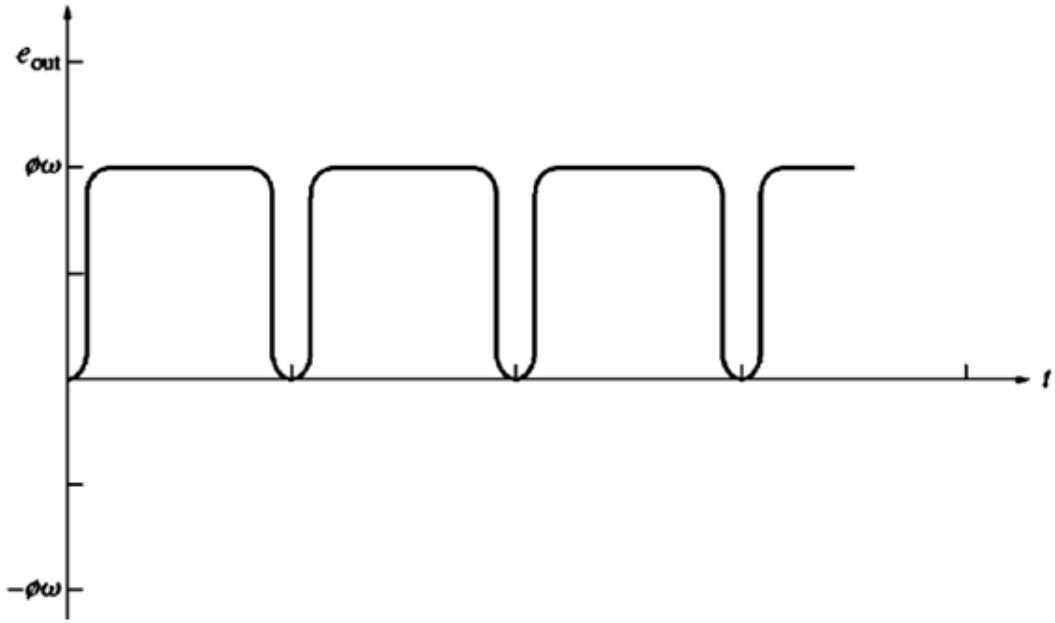
شـــکل روبـــرو منحنـــی تغییرات ولتاژ e_{tot} تولید شده توسط حلقـــهٔ دوار را نشان می‌دهد.



این ولتاژ به طور متناوب یک مقدار ثابت مثبت و یک مقدار ثابت منفی دارد. ماشـــین را چگونه می‌توان ساخت که به جای این ولتاژ ac ولتاژی dc تولید کند؟

یک راه انجام این کار در شکل روبرو نشان داده شده است. در اینجا دو قطعهٔ نیم دایره هادی به دو انتهای حلقه افزوده شده است. و دو کنتاکت ثابت نیز در زاویهٔ معینی نصب شده‌اند به طوری که وقتی ولتاژ حلقه صفر است این کنتاکتها دو قطعهٔ نیم دایره‌ای را اتصال کوتاه می‌کنند.



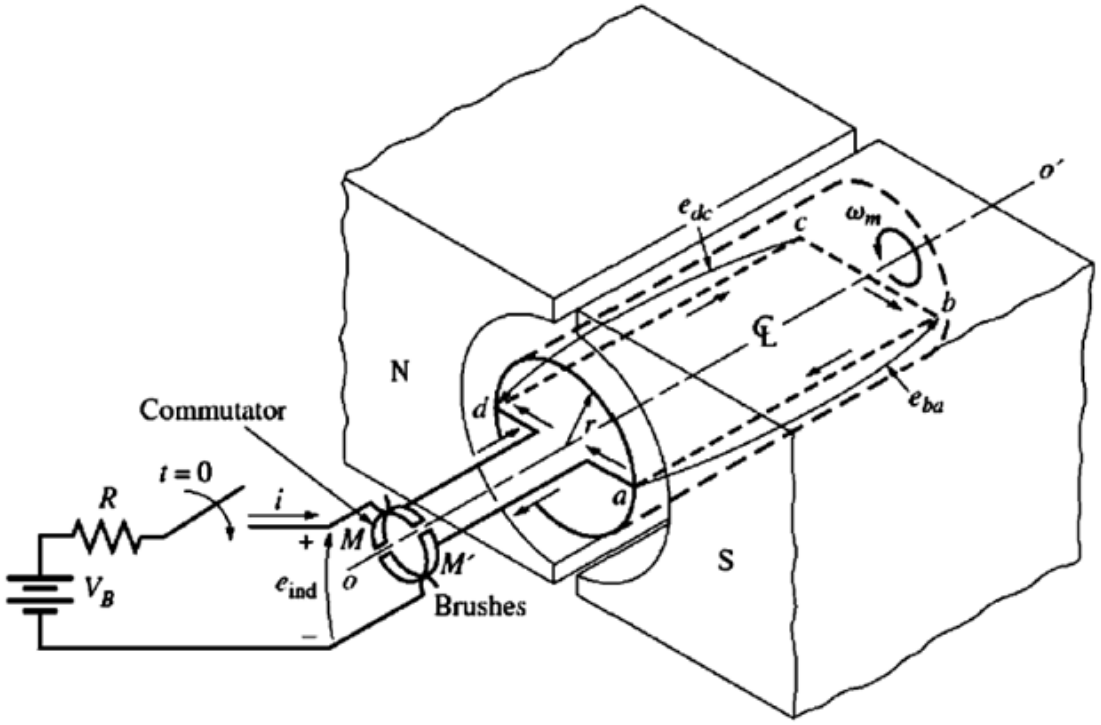


در این روش، هر زمان که ولتاژ حلقه تغییر جهت می‌دهد، کنتاکتها نیز تغییر اتصال می‌دهند و ولتاژ خروجی کنتاکتها همیشه در یک جهت است.

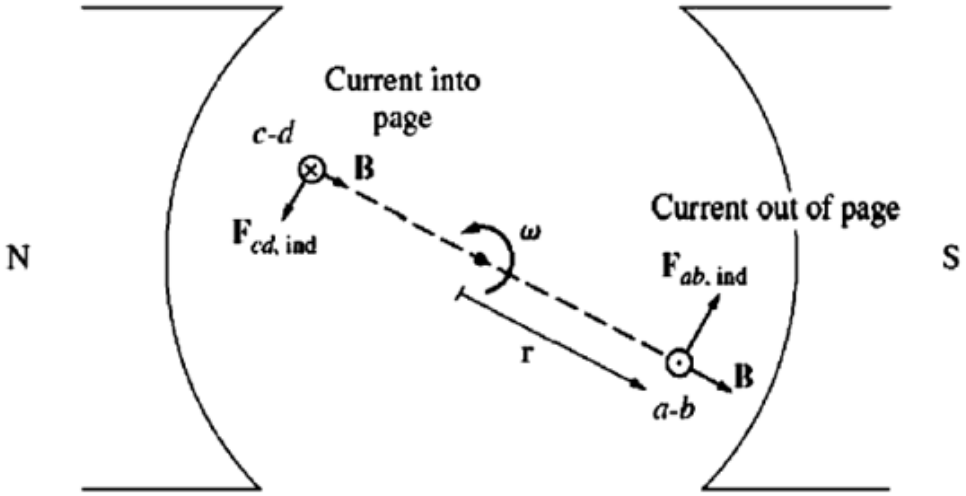
این نحوهٔ تغییر اتصالات راکموتاسیون (سوی گردانی) گویند. قطعات نیم‌دایره‌ای دوار را قطعات کموتاتور (سویگردان) و کنتاکتهای ثابت را جاروبک می‌نامند.

گشتاور القا شده در حلقه دوار

فرض کنید یک باطری به ماشین متصل شود. هنگامی که کلید بسته شده، جریان از حلقه می گذرد. چه گشتاوری در حلقه ایجاد می‌شود؟



برای یافتن گشتاور در حلقه، هر ضلع حلقه را جداگانه در نظر می‌گیریم و اثرات آنها را با هم جمع می‌کنیم. نیروی وارد بر هر ضلع حلقه با استفاده از معادلهٔ زیر به دست می‌آید:



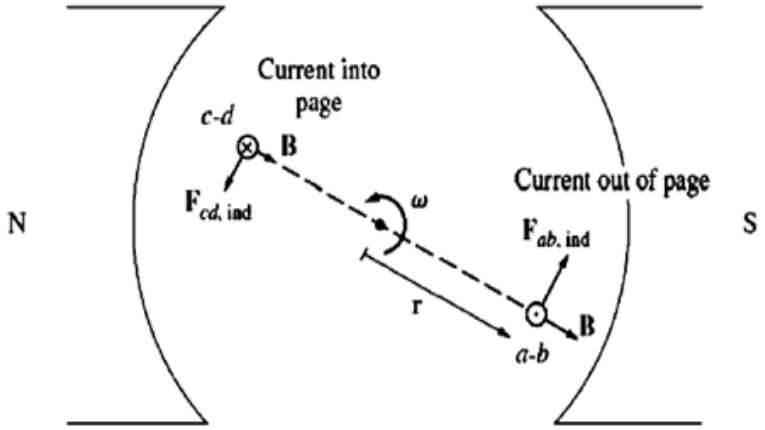
$$F = i\,(L \times B)$$

و گشتاور وارد بر هر ضلع از معادله زیر بدست می‌آید:

$$\tau = rF\ \ \mathrm{Sin}\theta$$

که θ زاویه بین r و F است. هر زمان که حلقه در زیر قطبها نباشد، گشتاور اساساً صفر است.

هنگامیکه حلقه در زیر رخ قطبها قرار می گیرد گشتاور ضلع‌های مختلف به ترتیب زیر به دست می‌آید:



۱. ضلع ab: در این قطعه، جریانی که از باطری می‌آید به طرف بیرون صفحهٔ کاغذ است. جهت میدان مغناطیسی در زیر رخ قطب در امتداد شعاعی و به طرف بیرون روتور است، بنابراین نیروی وارد بر سیم برابر است با:

$$F_{ab} = i(L \times B)$$

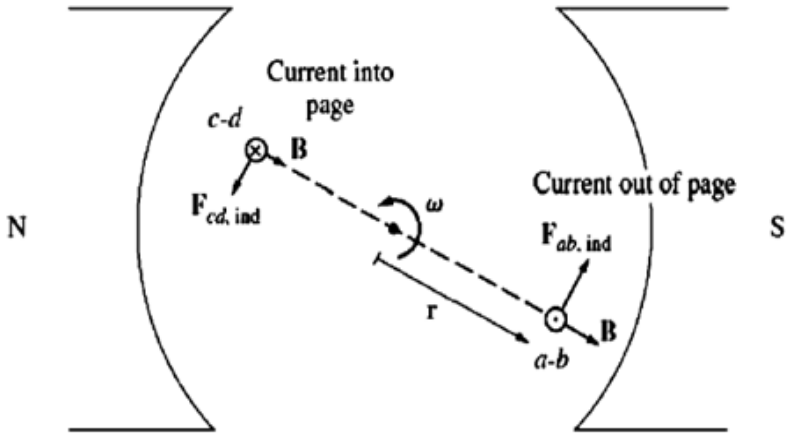
مماس بر مسیر حرکت

$$F_{ab} = ilB$$

گشتاوری که این نیرو بر روتور وارد می‌کند برابر است با:

$$\tau_{ab} = rF\sin\theta = r(ilB)\sin 90^0 = rilB \qquad \text{CCW}$$

۲. ضلع bc. در این ضلع، جریانی که از باطری می‌آید از سمت چپ بالای شکل به سمت راست پایین جریان دارد. نیروی القا شده در سیم برابر است با:



$$F_{bc} = i(I \times B)$$

چون I موازی B است.

$$F_{bc} = 0 \quad \Rightarrow \quad \tau_{bc} = 0$$

۳. ضلع cd. در این قطعه، جریان به طرف داخل صفحه کاغذ است، جهت میدان مغناطیسی در زیر رخ قطب در امتداد شعاعی و به طرف داخل روتور است، پس نیروی وارد بر سیم برابر است با:

$$F_{ed} = i(l \times B) = ilB$$

گشتاوری که این نیرو بر روتور وارد می‌کند برابر است با:

$$\tau_{cd} = rF\sin\theta = r(ilB)\sin 90^0 = rilB \qquad CCW$$

۴. ضلع da: در این قطعه، جریانی که از باطری می‌آید از سمت راست پایین شکل به سمت چپ بالا جریان دارد. نیروی القا شده در سیم برابر است با:

$$Fda = i(I \times B) = 0$$ **(چون I موازی B است.)**

بنابراین

$$\tau_{da} = 0$$

گشتاور کل وارد بر حلقه برابر است با:

$$\tau_{ind} = \tau_{ab} + \tau_{bc} + \tau_{cd} + \tau_{da}$$

$$\tau_{ind} = \begin{cases} 2rilB & \text{در زیر سر قطبها} \\ 0 & \text{آن سوی لبه‌های قطب} \end{cases}$$

با توجه به این حقیقت که $\varphi = A_p B, A_p \approx \pi rl$ رابطه گشتاور به صورت زیر است:

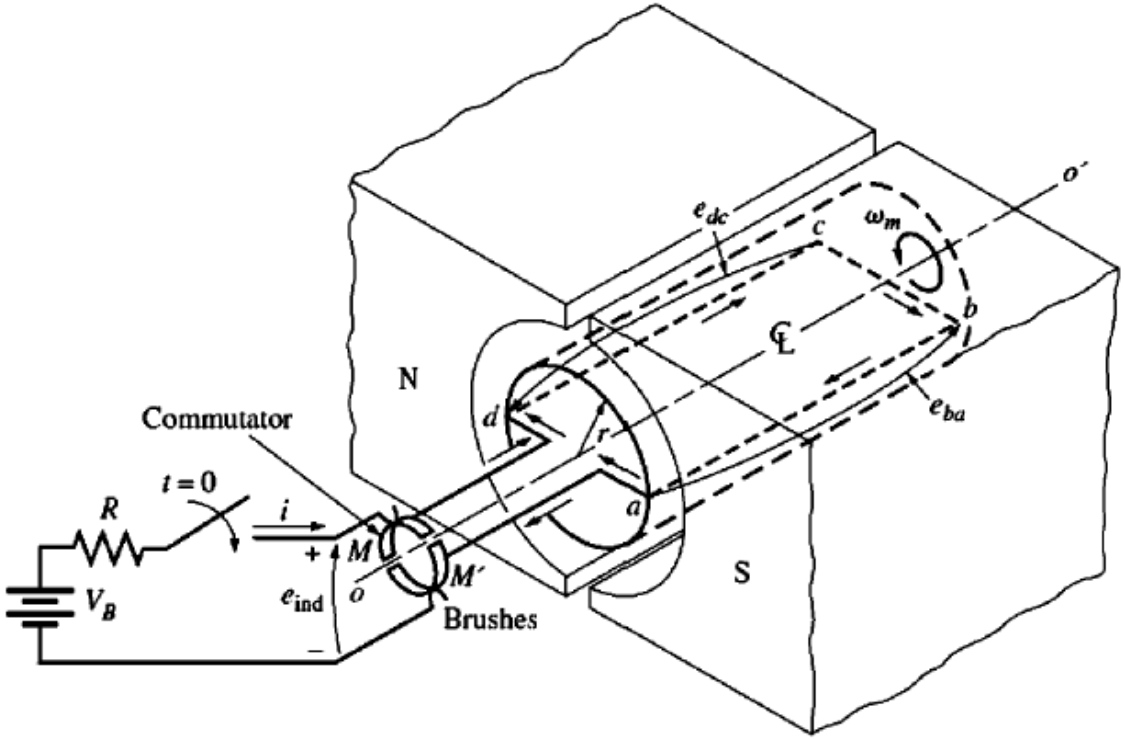
$$\tau_{ind} = \begin{cases} \frac{2}{\pi}\phi i & \text{در زیر سر قطبها} \\ 0 & \text{آن سوی لبه‌های قطب} \end{cases}$$

بنابراین، گشتاور تولید شده در ماشین با حاصل ضرب شار ماشین و جریان ماشین، و کمیت دیگری که به ساختمان مکانیکی ماشین مربوط می‌شود برابر است. کلاً گشتاور هر ماشین واقعی هم به این سه عامل بستگی دارد.

مثال :

شکل زیر حلقهٔ ساده ای را نشان می دهد که بین دو رخ قطب خمیده دوران می کند و توسط کلیدی به یک باطری و یک مقاومت وصل شده است. مقاومت نمایش داده شده، مجموع مقاومت باطری و سیم درون ماشین است. ابعاد فیزیکی و دیگر مشخصه های ماشین عبارت اند از:

$r= 0.5\ m,\ l = 1.0\ m,\ R = 0.3,\ B = 0.25\ T,\ V_B= 120\ V$



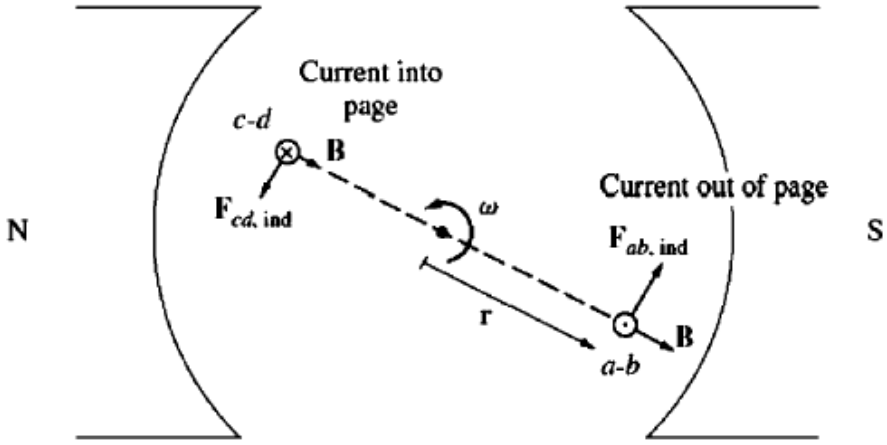
الف) اگر کلید بسته شود چه روی می دهد؟

ب) جریان راه اندازی ماکزیمم ماشین چقدرست؟ سرعت زاویه ای ماندگار در حالت بی باری چقدر است؟

ج) فرض کنید باری به حلقه وصل شود و گشتاور حاصل از آن ۱۰N.m باشد. سرعت حالت ماندگار جدید چقدرست؟ چه توانی به محور ماشین تحویل داده می شود؟ چه توانی توسط باطری فراهم می شود؟ آیا این ماشین موتورست یا ژنراتور؟

د) بار دیگر فرض کنید که ماشین بی بار است و گشتاور 7.5 N.m در جهت چرخش به محور آن اعمال شود. سرعت جدید حالت ماندگار چقدرست؟ اکنون ماشین موتورست یا ژنراتور؟

ه) فرض کنید که ماشین، بی بار کار می کند. اگر چگالی شار را به T 2. کاهش دهیم سرعت حالت ماندگار نهایی چقدر می شود؟



الف) وقتی کلید بسته می شود، جریانی از حلقه می گذرد. چون حلقه در ابتدا ساکن است. $e_{ind} = 0$.
بنابراین جریان برابر است با:

$$I = \frac{V_B - e_{ind}}{R} = \frac{V_B}{R}$$

این جریان از حلقهٔ روتور گذشته گشتاوری برابر مقدار زیر ایجاد میکند:

$$T_{ind} = \frac{2}{\pi} \varphi i \qquad CCW$$

این گشتاور القا شده، یک شتاب زاویه ای در جهت پادساعتگرد ایجاد می کند. بنابراین روتور شروع به چرخش می کند. اما با شروع چرخش روتور، ولتاژی القایی در موتور تولید می شود، که از رابطهٔ زیر به دست می اید:

$$e_{ind} = \frac{2}{\pi} \emptyset w$$

بنابراین جریان i کاهش می یابد و با کاهش آن $t_{ind} = (2/\pi)\emptyset i \downarrow$ کم می شود. وقتی گشتاور القایی صفر ($t_{ind} = 0$) و ولتاژ القایی برابر ولتاژ باطری ($V_B = e_{ind}$) می شود، ماشین به حالت ماندگار می رسد.

این همان نوع رفتاری است که پیش از این در راه اندازی ماشین dc خطی دیدیم.

ب) در شرایط راه اندازی جریان ماشین برابر است با:

$$\mathbf{I} = \frac{V_B}{R} = \frac{120V}{0/3\,\Omega} = 400\,A$$

در شرایط ماندگار بی بار، گشتاور القایی $\mathbf{t_{ind}}$ باید صفر باشد. اما صفر بودن گشتاور دلالت بر صفر بودن جریان دارد، زیرا $\mathbf{t_{ind}} = (2/\pi)\phi i$ و شار صفر نیست، صفر بودن جریان به معنی برابر بودن $\mathbf{V_B}$ و $\mathbf{e_{ind}}$ است. بنابراین سرعت برابر است با

$$\mathbf{V_B} = \mathbf{e_{ind}} = \frac{2}{\pi}\emptyset\omega$$

$$\omega = \frac{\mathbf{V_B}}{\left(\frac{2}{\pi}\right)\emptyset} = \frac{\mathbf{V_B}}{2rlB} = \frac{120V}{2(0/5m)(1/0m)(0/25T)} = 480\,rad/s$$

ج) اگر گشتاور بار ۱۰N.m به محور ماشین اعمال شود سرعت آن شروع به کم شدن می کند. اما با کاهش ω ، $\mathbf{e_{ind}}$ کم می شود $\mathbf{e_{ind}} = (2/\pi)\emptyset\omega \downarrow$ و جریان روتور افزایش می یابد $[i=(V_B - e_{ind}\downarrow)/R]$. با افزایش جریان روتور، $|t_{ind}|$ نیز زیاد می شود و در نهایت در سرعتی کمتر، $|t_{ind}| = |t_{load}|$.

د) اگر گشتاوری در جهت حرکت وارد، روتور شتاب می گیرد. با افزایش سرعت w ولتاژ داخلی e_{ind}افزایش می یابد و از V_B تجاوز می کند. بنابراین جریان از ضلع بالایی خارج شده، به سر مثبت باطری می رود. اینک ماشین ژنراتور است. این جریان یک گشتاور القایی در خلاف جهت حرکت ایجاد می کند. گشتاور القایی با گشتاور خارجی مخالفت کرده، سرانجام در سرعت ω بیشتری با هم برابر می شوند. $|t_{ind}|$ =$|t_{load}|$

جریان موتور برابر است با

$$I = \frac{t_{ind}}{(2/\pi)\emptyset} = \frac{t_{ind}}{2rlB} = \frac{7/5N.m}{(2)(0/5m)(1m)(0/25T)} = 30A$$

ولتاژ داخلی برابرست با

$$e_{ind} = V_B + iR = 120V + (30A)(0/3\Omega) = 129V$$

سرعت حاصل برابرست با

$$\omega = \frac{e_{ind}}{(2/\pi)\emptyset} = \frac{e_{ind}}{2rlB} = \frac{129V}{(2)(0.5m)(1.0m)(0.25T)} = 516\ rad/s$$

ه) چون ماشین در ابتدا بی بار است سرعت آن برابرست با $\omega = 480 rad/s$. اگر شار کم شود، یک حالت گذرا رخ می دهد. اما بعد از اتمام این حالت گذرا، گشتاور ماشین باید صفر شود، چون محور آن باز هم بی بارست. اگر $t_{ind} = 0$ جریان روتور باید صفر باشد، و $e_{ind} = V_B$. سرعت محور به این ترتیب برابر مقدار زیر به دست می آید.

$$\omega = \frac{e_{ind}}{(2/\pi)\emptyset} = \frac{e_{ind}}{2rlB} = \frac{120V}{(2)(0/5m)(1/0m)(0/20T)} = 600\ rad/s$$

توجه کنید که با کاهش شار ماشین، سرعت آن افزایش می یابد. این همان رفتاری است که در ماشین خطی مشاهده کردیم و موتورهای DC واقعی نیز همین گونه رفتار می کنند.

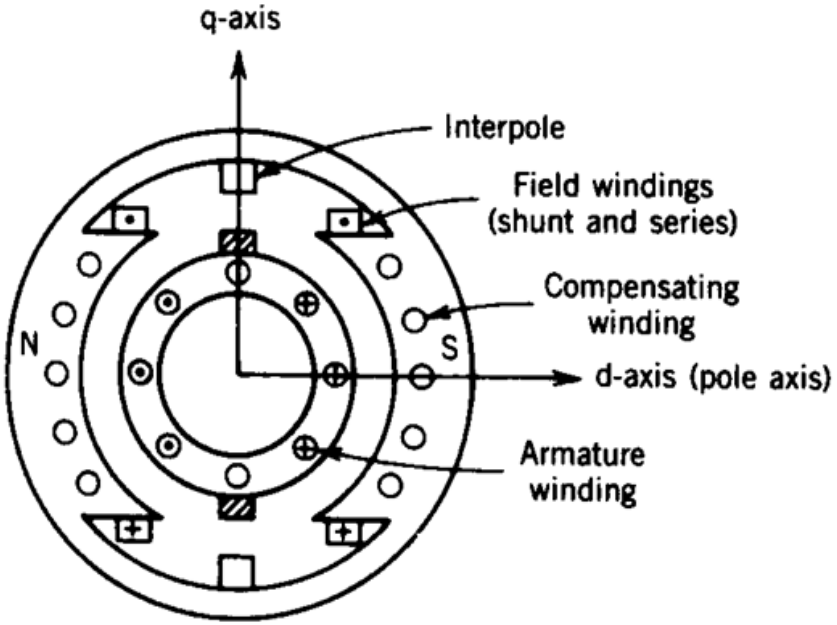
ساختار ماشین DC واقعی

در ماشین های DC سیم پیچی آرمیچر بر روی رتور قرار دارد و سیم پیچی تحریک (میدان) بر روی استاتور استوار است. در این شکل استاتور حاوی دو قطب برجسته بوده و به دور قطب ها سیم پیچی تحریک (میدان) پیچیده شده است. قطب ها می توانند دارای یک یا دو سیم پیچی تحریک باشند. این دو سیم پیچی تحریک به قرار زیراند:

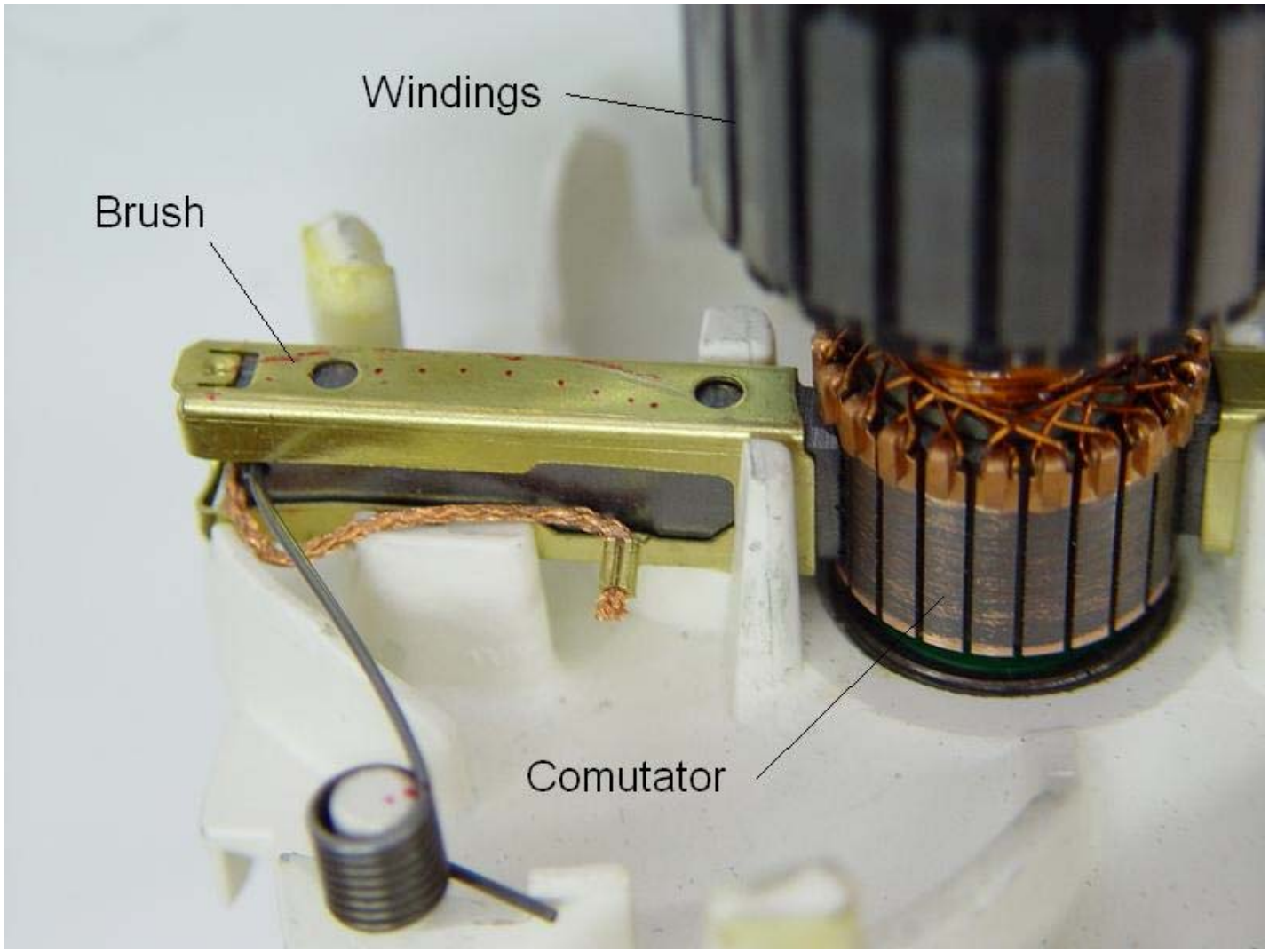
۱– سیم پیچی تحریک (میدان) شنت یا موازی

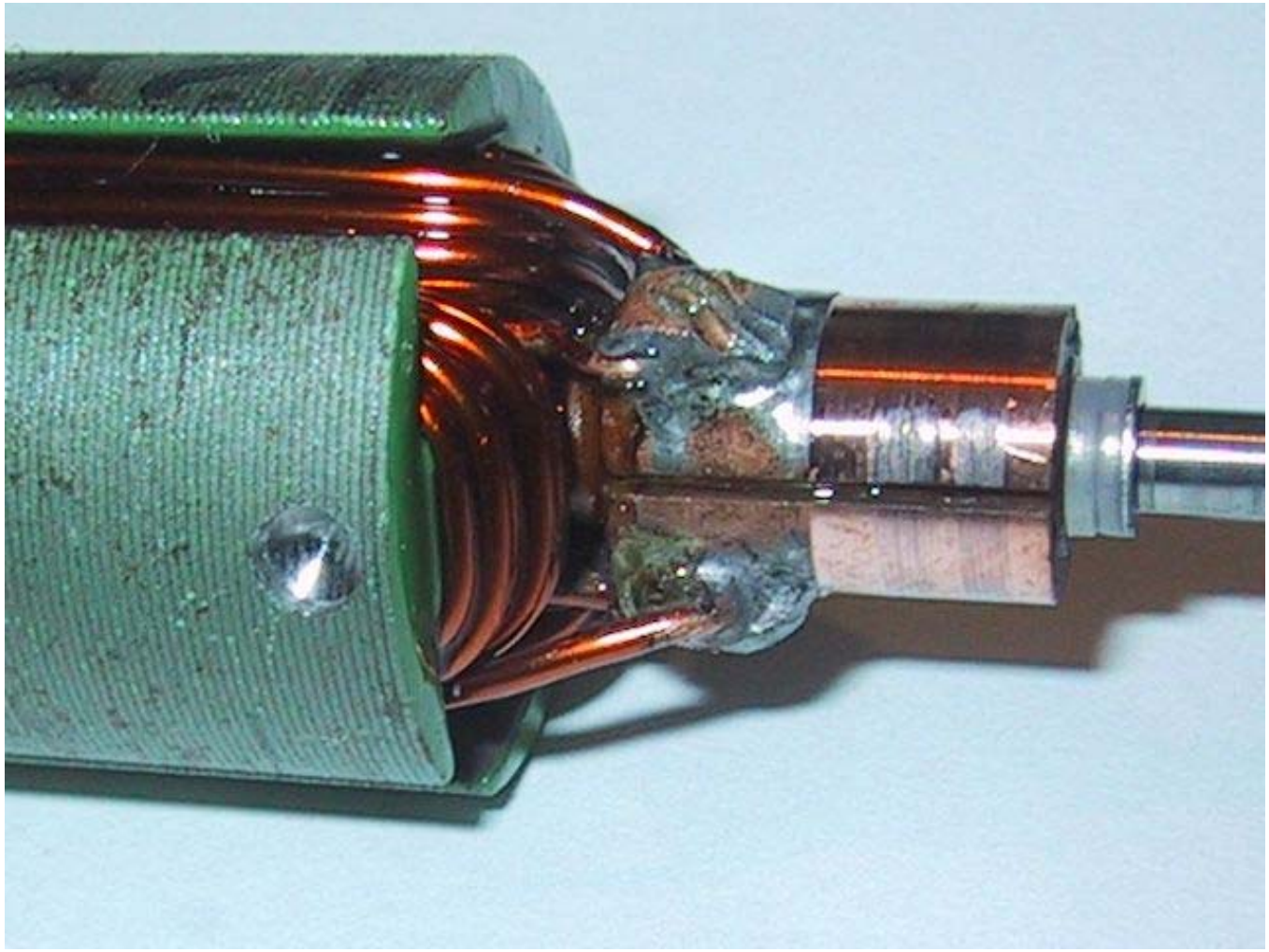
۲– سیم پیچی تحریک (میدان) سری

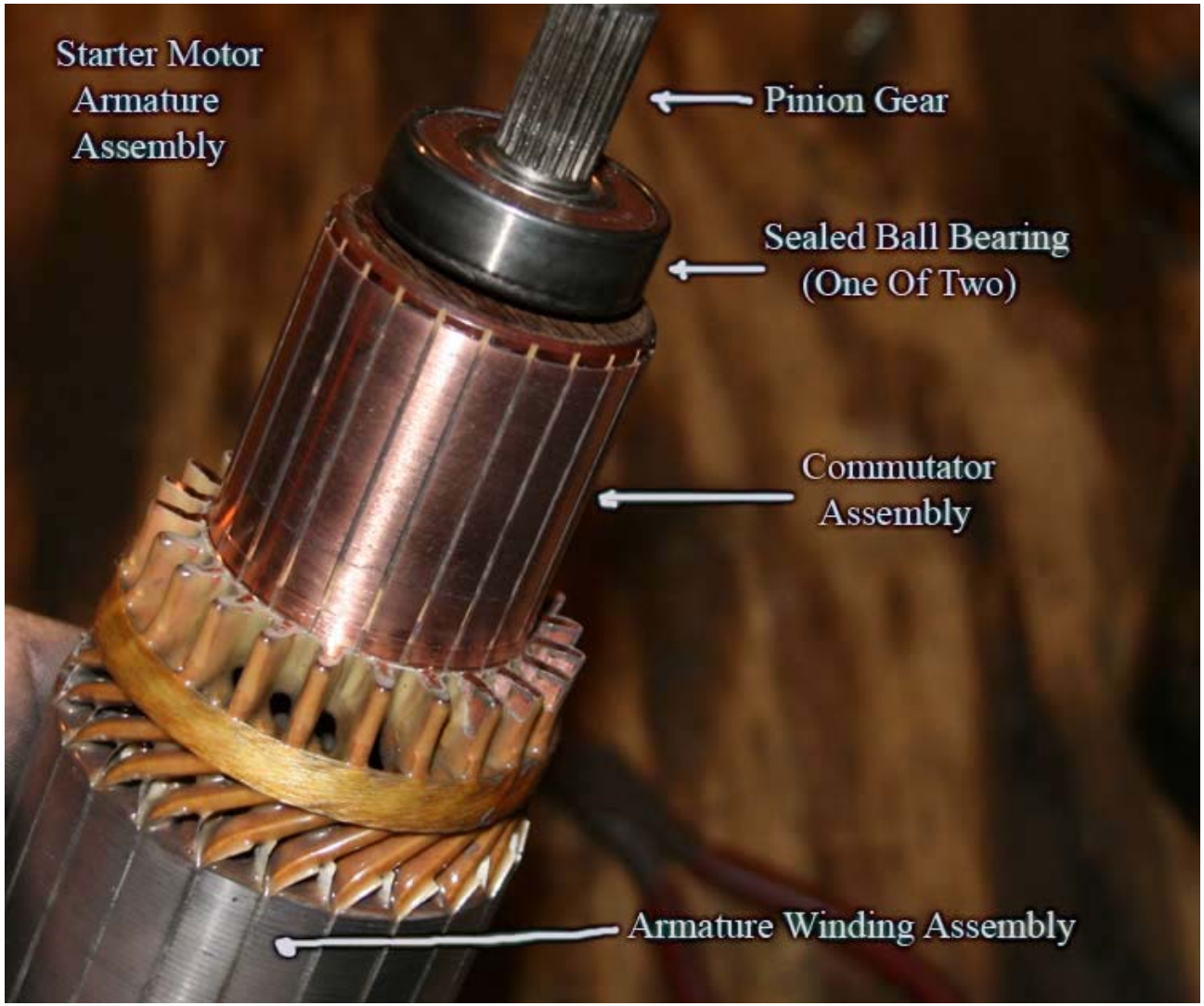
سیم پیچی های تحریک، توزیع شار در شکاف هوایی بین استاتور و رتور ایجاد می کنند. این توزیع شار نسبت به محور قطب متقارن است .

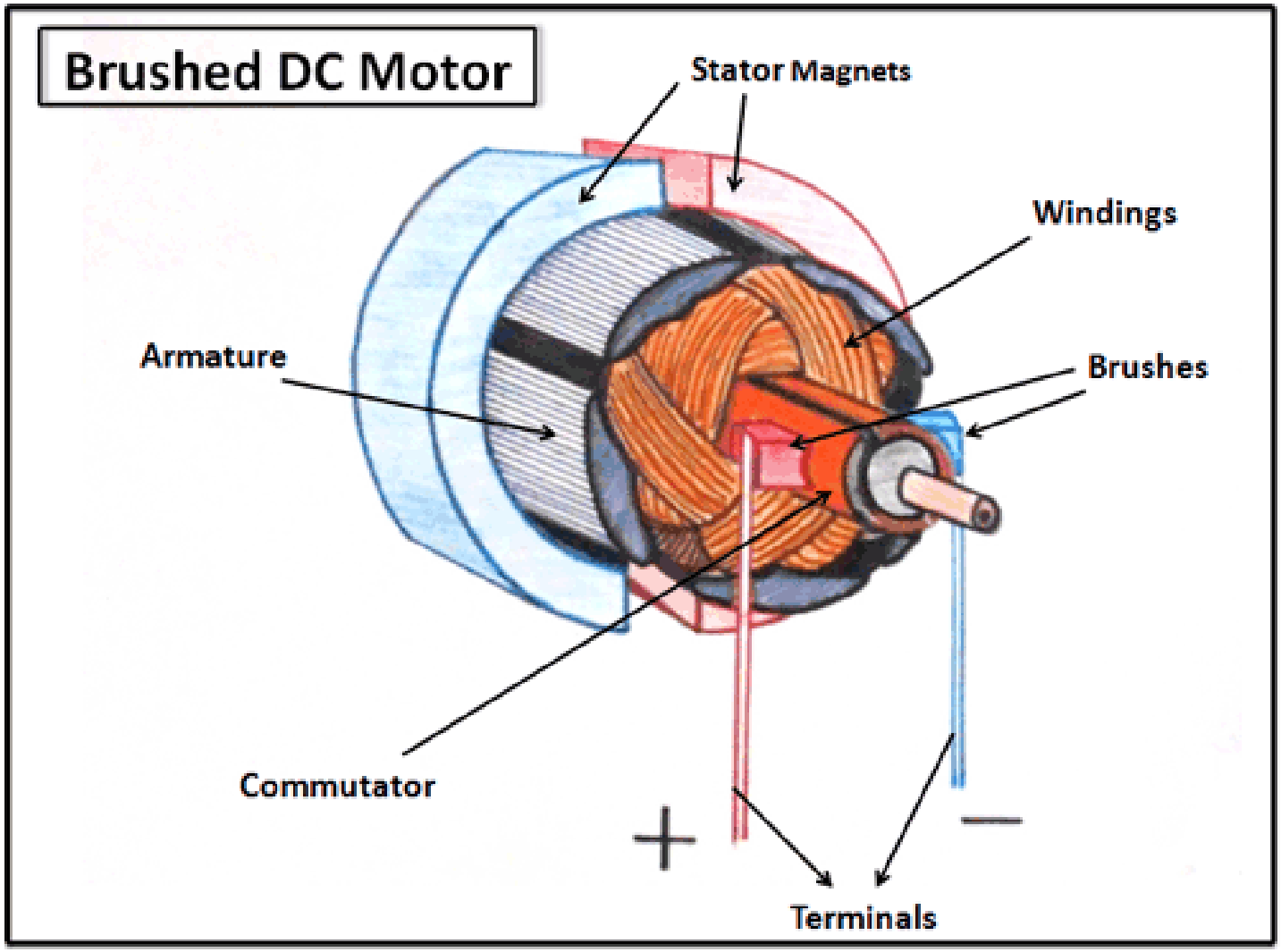


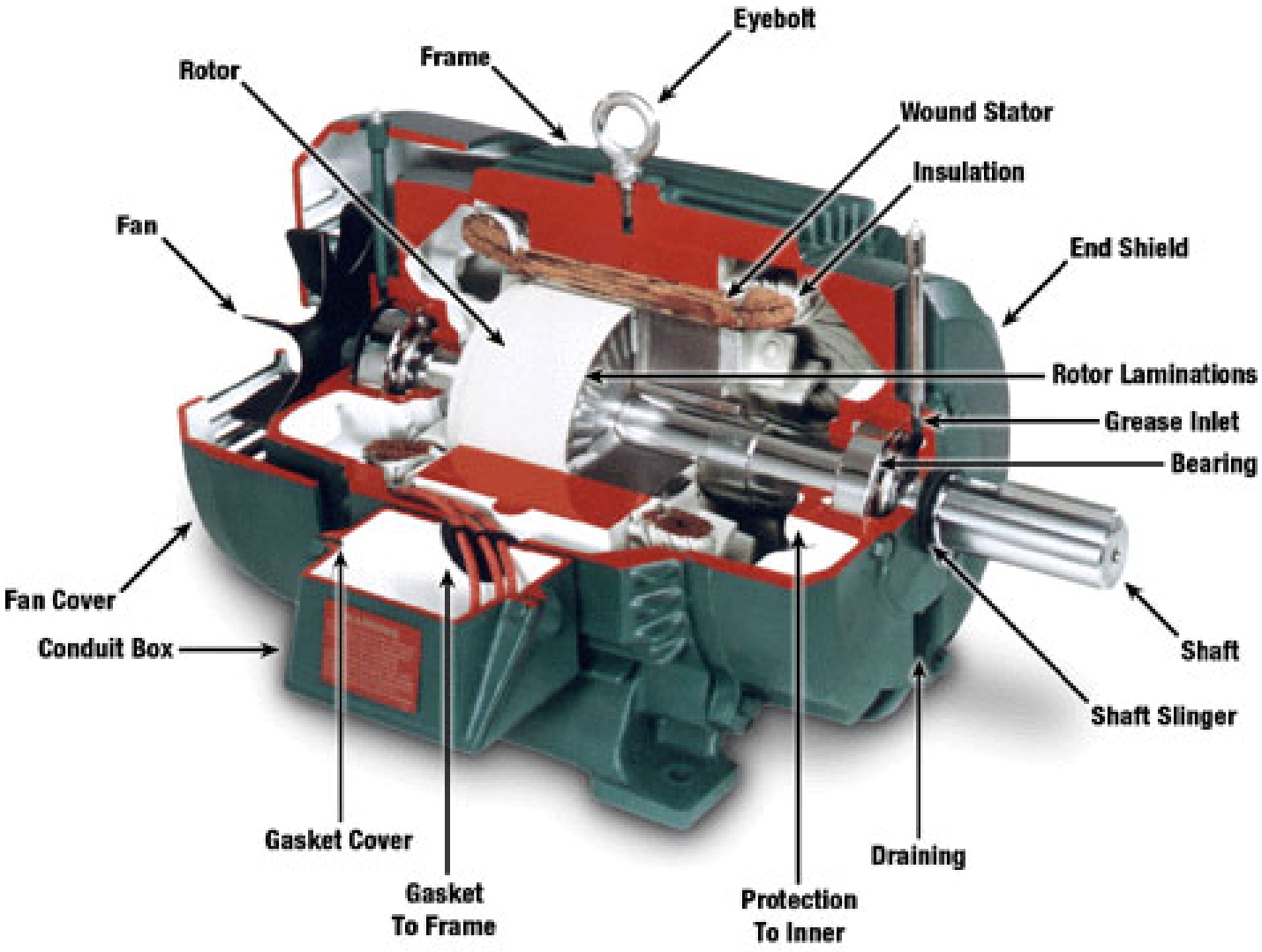
یک ماشین DC دوقطبی


Windings
Brush
Comutator




Starter Motor
Armature
Assembly
Pinion Gear
Sealed Ball Bearing
(One Of Two)
Commutator
Assembly
Armature Winding Assembly

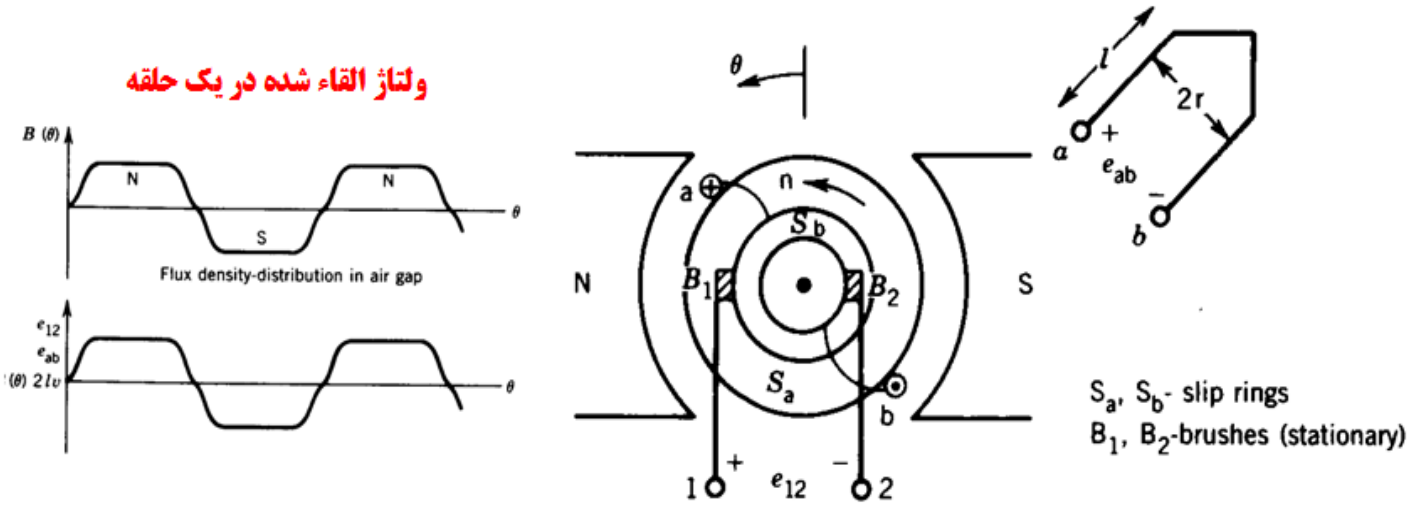

Brushed DC Motor
Stator Magnets
Windings
Armature
Brushes
Commutator
+
—
Terminals


Eyebolt
Frame
Rotor
Wound Stator
Insulation
Fan
End Shield
Rotor Laminations
Grease Inlet
Bearing
Fan Cover
Conduit Box
Shaft
Shaft Slinger
Gasket Cover
Gasket
To Frame
Protection
To Inner
Draining

ولتاژ القاء شده در حلقه های سیم پیچی آرمیچر ولتاژی متناوب (AC) است. برای یکسو کردن ولتاژ از کموتاتور و جاروبک استفاده می شود و در حقیقت این دو نقش یک یکسوساز مکانیکی را ایفا می کنند.

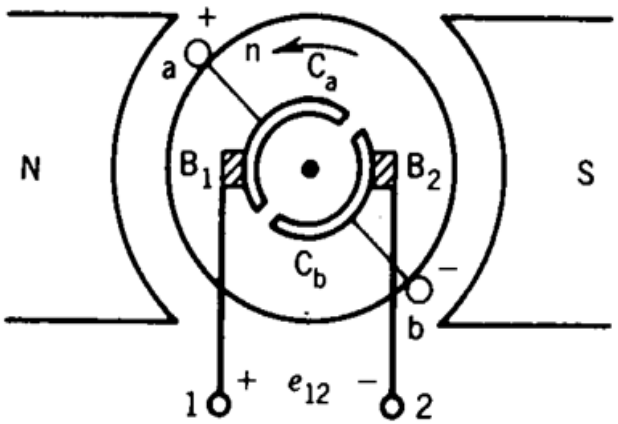
یک ماشین DC دوقطبی همچون شکل زیر را در نظر می گیریم.

ولتاژ القاء شده در یک حلقه



ولتاژ القایی در حلقه که همان e_{ab} بوده برابر e_{12} یعنی ولتاژ دو سر جاروبکهاست و این ولتاژ القایی ماهیتی متناوب دارد و شکل موج آن همگون شکل موج توزیع چگالی شار در فضا است.

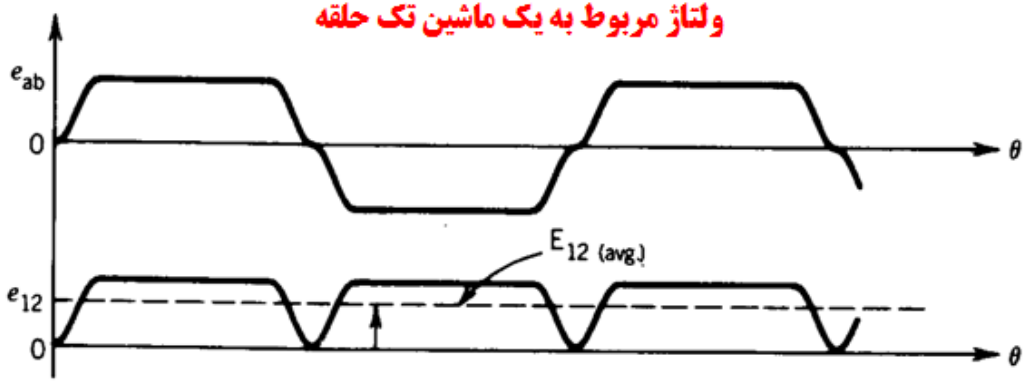
اکنون دو حلقه لغزان را با دو قطعه کموتاتور جایگزین می کنیم.



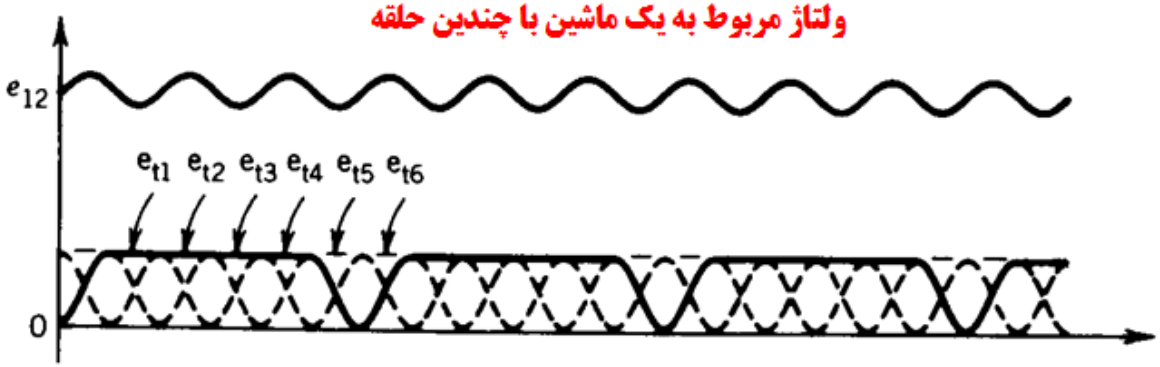
C_a, C_b-commutator segment

قطعه های کموتاتور ، تیغه هایی از مس است که با مواد عایقی از هم جدا می شوند. قطعه مسی C_a به پایانه a و قطعه مسی C_b به پایانه b حلقه اتصال یافته اند. اگر رتور در جهت خلاف خلاف عقربه ساعت (CCW) بچرخد، پایانه زیر قطب شمال (قطب مثبت یا N) نسبت به پایانه زیر قطب جنوب (قطب منفی یا S) مثبت است : بنابراین همواره پایانه جاروبک B_1 به پایانه مثبت حلقه و پایانه جاروبک B_2 به پایانه منفی حلقه اتصال یافته است. از این رو اگر چه ولتاژ القایی e_{ab} در حلقه متناوب است، اما ولتاژ پایانه های جاروبکها (e_{12}) یکسویه است. این ولتاژ به شدت اعوجاج دارد و دندانه دندانه است. در ماشین های DC واقعی تعداد بی شماری از حلقه ها در شیارهای گوناگون در گرداگرد رتور جاسازی می شوند. با اتصال این حلقه ها به کمک تیغه های کموتاتور، سیم پیچی آرمیچر شکل می گیرد. با این عمل ولتاژ DC نسبتا مطلوب در دو سر جاروبکها حاصل می شود.

ولتاژ مربوط به یک ماشین تک حلقه

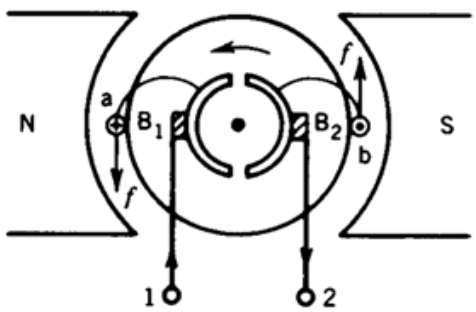


ولتاژ مربوط به یک ماشین با چندین حلقه

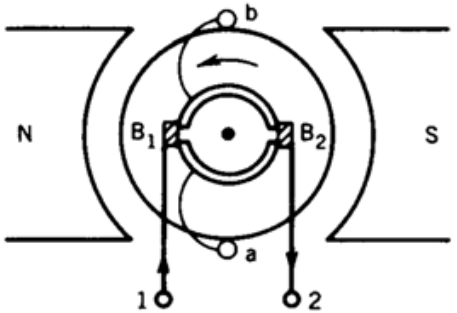


باید توجه کرد که حلقه ab ، آنگاه که لبه هایش از منطقه میان دو قطب می گذرد توسط جاروبکها اتصال کوتاه می شود. در موتورهای DC جریان از جاروبکها به آرمیچر تغذیه می شود. در ژنراتورهای DC جریان آرمیچر از طریق جاروبکها به مصرف کننده می رود.

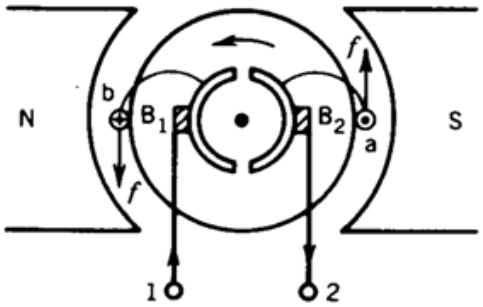
جریان درون حلقه با عبور آن از ناحیه میان قطب ها وارونه می گردد و تیغه های کموتاتور در تماس با دیگر جاروبکها قرار می گیرد. این فرایند با نشان دادن سه موقعیت از حلقه توصیف شده است.



(۱)



(۲)

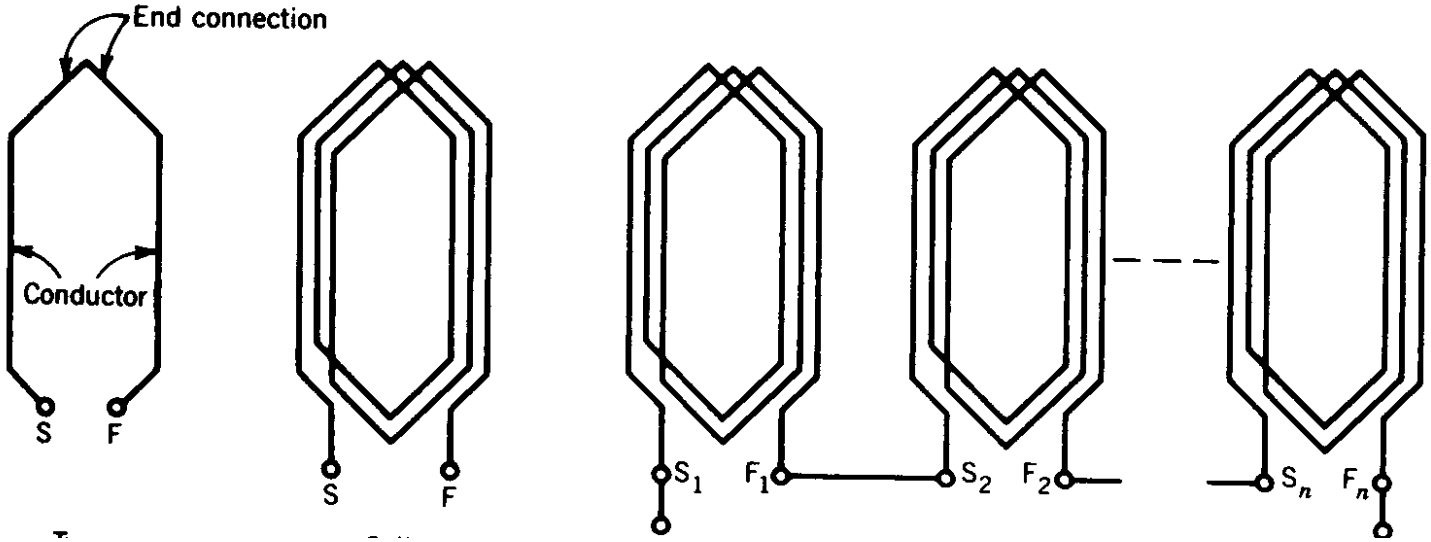


(۳)

وارونه شدن جریان در یک حلقه به کمک تیغه های کموتاتور و جاروبکها ۱– پایانه a با جاروبک B_1 در تماس است و جریان از a بسوی b جاری می گردد. ۲– حلقه اتصال کوتاه می شود ، حلقه در ناحیه میان قطب هاست. ۳– پایانه a با جاروبک B_2 در تماس است و جریان از b به سوی a جاری می گردد.

سیم پیچی آرمیچر

در ماشین هایDC ، سیم پیچی میدان (تحریک) در استاتور تعبیه شده است تا میدان قطب ها (میدان اصلی) را پدید آورد. سیم پیچی آرمیچر بر روی رتور نصب شده است بگونه ای که تیغه های کموتاتور و جاروبکها بتوانند ولتاژ را یکسو سازند .



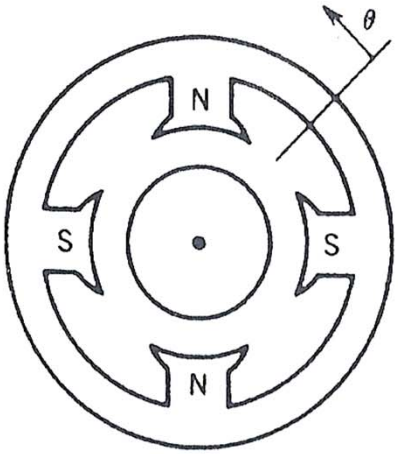
حلقه (Turn)

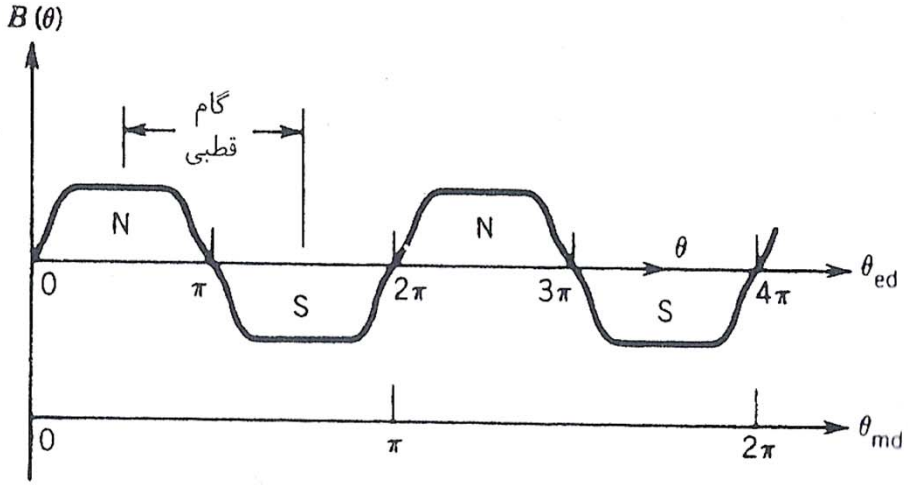
کلاف (Coil)

سیم پیچی (Winding)

کموتاسیون در یک ماشین چهار حلقه ای ساده

بسیاری از ماشین های DC بویژه ماشین های بزرگ بیش از دو قطب دارند. شکل زیر استاتور یک ماشین DC چهار قطبی را نشان می دهد. لذا در چنین ماشینی، سیم پیچی آرمیچر نیز باید همانند استاتور برای رتور چهار قطب ایجاد کند.





Θ_{md}: درجه مکانیکی یا زاویه اندازه گیری شده در فضا

Θ_{ed}: درجه الکتریکی یا زاویه اندازه گیری شده در سیکل

در یک ماشین P قطبی داریم.

$$\Theta_{ed} = \frac{P}{2}\Theta_{md}$$

فاصله میان مراکز دو قطب مجاور ، گام قطبی یا دهانه قطب نامیده می شود.

$$\text{یک گام قطبی} = 180\ ed = \frac{360}{p}$$

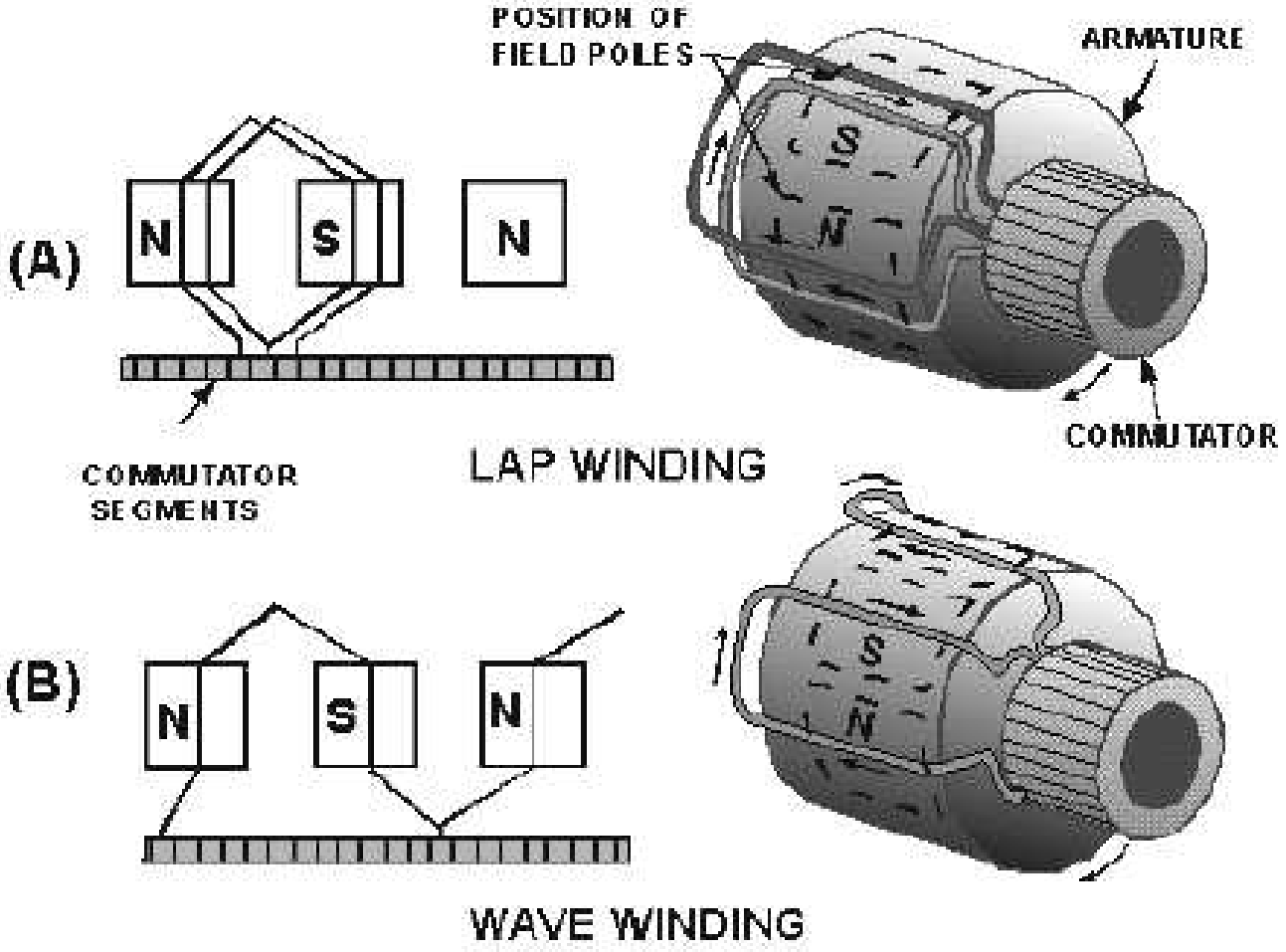
دو لبه هر کلاف در دو شیار که در سطح خارجی رتور قرار دارد جاسازی می شود. فاصله میان دو لبه هر کلاف را گام کلاف می گویند. اگر : یک گام قطبی = گام کلاف

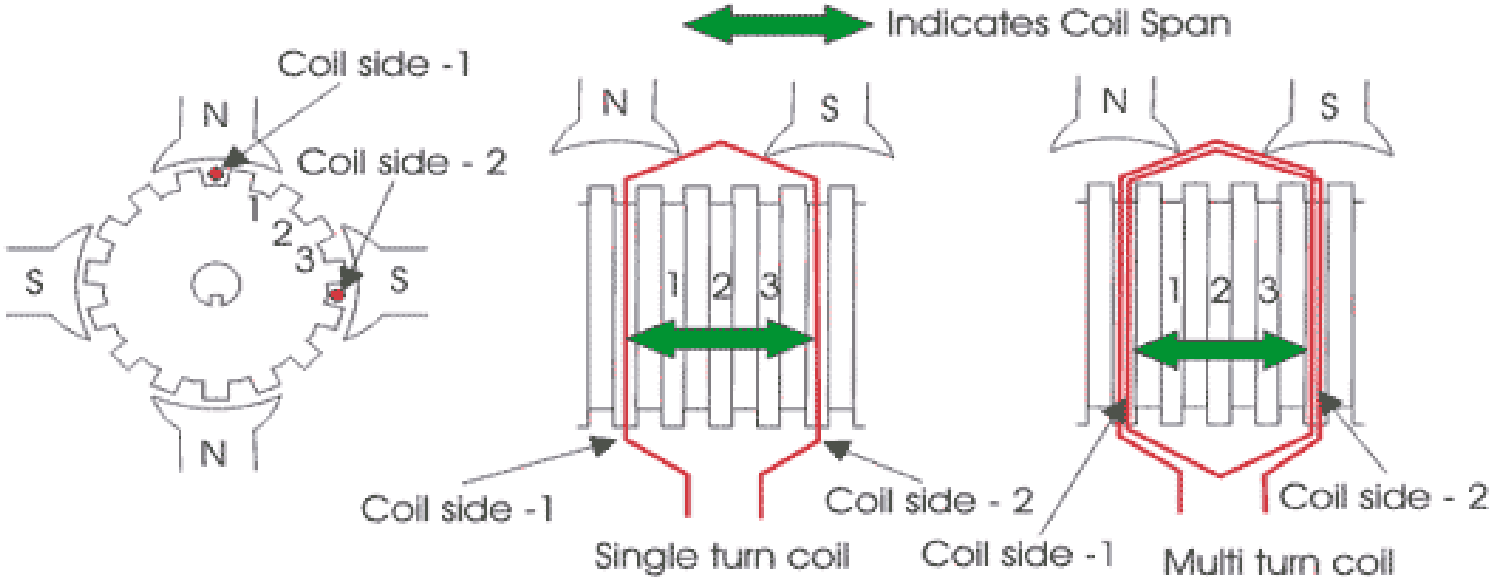
در این صورت کلاف را کلاف با گام کامل می نامند. اگر :

یک گام قطبی > گام کلاف

در این صورت کلاف را کلاف با گام کوتاه یا کلاف با گام کسری می نامند.

سیم پیچی آرمیچر در ماشین های DC با گام کامل صورت می گیرد. راههای گوناگونی برای اتصال کلاف های آرمیچر در ماشین های DC وجود دارد. اما دو نوع اتصال به نام حلقوی و موجی برای اتصال کلاف ها معمولتر است.

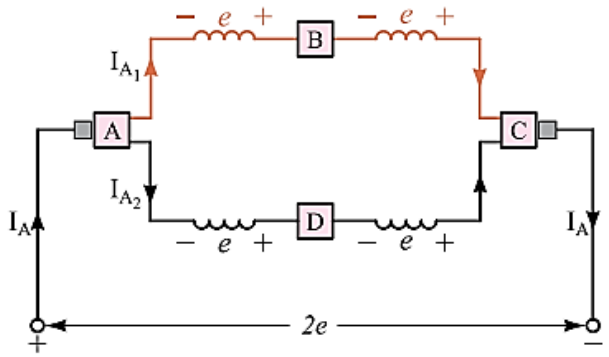

POSITION OF
FIELD POLES
ARMATURE
(A)
N
S
N
COMMUTATOR
COMMUTATOR
SEGMENTS
LAP WINDING
(B)
N
S
N
WAVE WINDING


Indicates Coil Span
Coil side -1
Coil side - 2
N
S
1
2
3
Coil side -1
Coil side - 2
Single turn coil
Coil side -1
Coil side - 2
Multi turn coil

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.

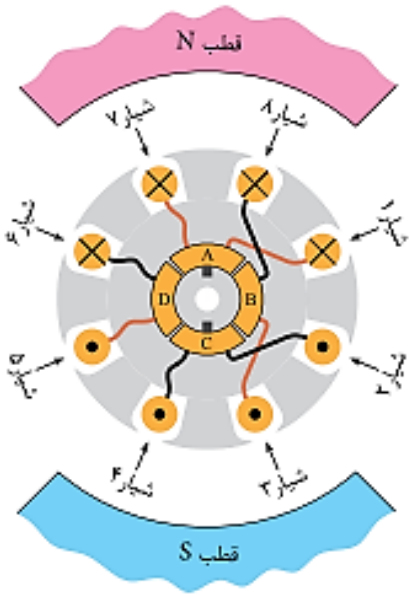


دیاگرام گسترده

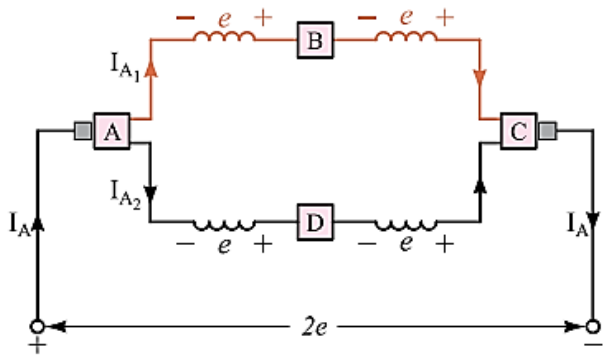
دیاگرام گسترده، موقعیت هر کلاف در شیارهای رتور و نحوه اتصال سر و ته آن‌ها را به تیغه‌های کموتاتور نشان می‌دهد. در این دیاگرام با توجه به جهت جریان در کلاف‌ها محل قطب‌های مغناطیسی سیم‌پیچی آرمیچر نیز مشخص می‌شود.

از دیاگرام گسترده اطلاعات مربوط به سیم پیچی و سربندی کلاف‌های سیم‌پیچی آرمیچر به‌دست 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 به‌صورت صفحه‌ای ترسیم می‌کنند. به تعداد شیارهای رتور خطوطی به‌طور عمودی رسم می‌شود. در صورتی‌که 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 را با خط‌چین نشان می‌دهند.

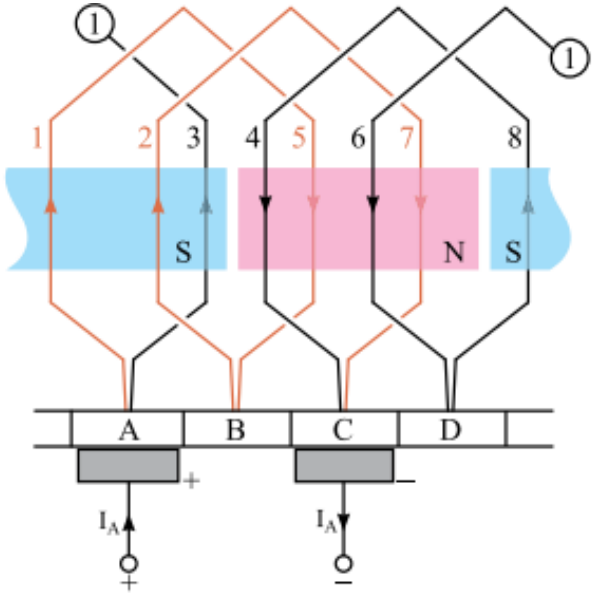


دیاگرام خطی



دیاگرام گسترده

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 به‌طور مشترک قطب‌های مغناطیسی در رتور به‌وجود می‌آورند.



دیاگرام گسترده ماشین چهار کلافی دو قطب

گام قطبی

با عبـــور جریان الکتریکی از ســـیم‌پیچی آرمیچر در اطراف رتور آن قطب‌های مغناطیسی تشکیل می‌شود.

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

$$y_P = \frac{S}{P}$$

S تعداد شیارهای رتور

P تعداد قطب‌های رتور

y_P گام قطبی بر حسب شیار رتور

گام رفت

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

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

S تعداد شیارهای رتور

P تعداد قطب‌های رتور

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

y_1 گام رفت

$\varepsilon = 0$ باشـــد، گام رفت برابر با گام قطبی خواهد شد و سیم‌پیچی را با «گام کامل » گویند.

$\varepsilon < 0$ منفی باشـــد، گام رفت کوچک‌تر از گام قطبی می‌شود و سیم‌پیچی را با «گام کوتاه » گویند.

$\varepsilon > 0$ مثبت باشـــد، گام رفت بزرگ‌تر از گام قطبی می‌شود و سیم‌پیچی را با «گام بلند » گویند.

گام برگشت

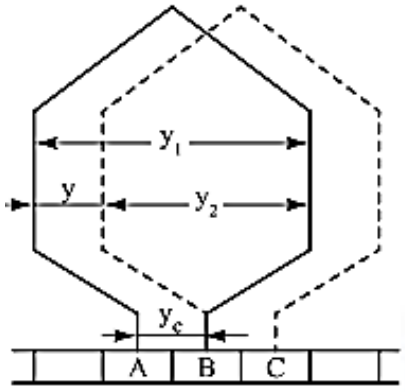
فاصلـــه بین بـــازوی دوم از کلاف اول تا بازوی اول از کلاف دوم ســـیم‌پیچی آرمیچر بر حســـب شیار رتور را «گام برگشـــت» می‌گویند و آن را با y_2 نشان می‌دهند.

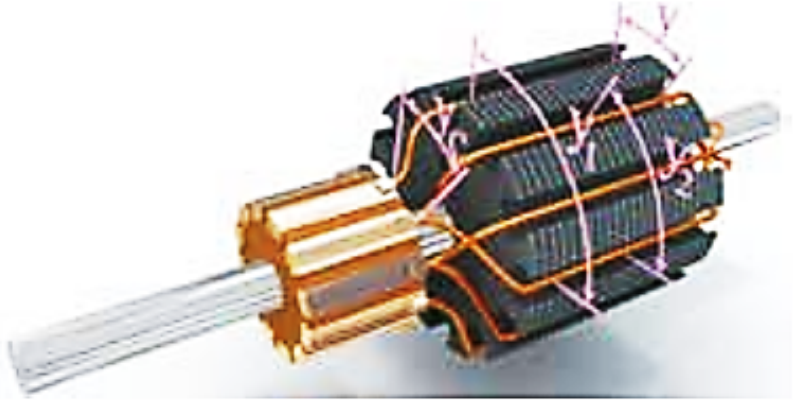
گام سیم‌پیچی

فاصله بین دو بازوی اول دو کلاف متوالی سیم‌پیچی آرمیچر بر حســـب شیار رتور را «گام سیم‌پیچی» گویند و آن را با y نشان می‌دهند.

گام کموتاتور

فاصله بین ســـر و تـــه یـــک کلاف روی کموتاتور بر حســـب تعداد عایق بیـــن تیغه‌های کموتاتـــور را «گام کموتاتور» می‌گـــویند. و آن را با y_C نشـــان مـــی‌دهند.





مثـال ـ رتور یک ماشـین جریان مسـتقیم دارای چهار قطب و یازده شـیار می‌باشـد، گام رفت را تعیین کنید.

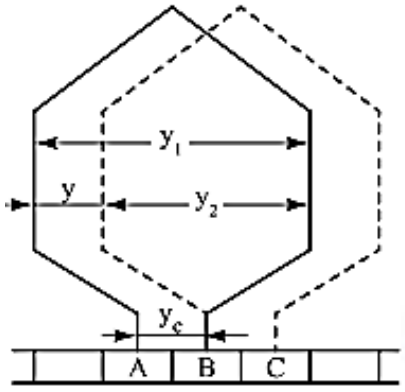
حل:

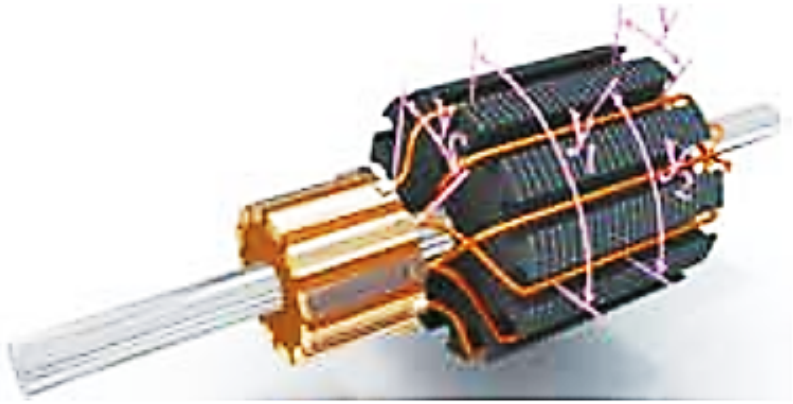
گام رفت $y_1 = \frac{S}{P} \pm \varepsilon = \frac{۱۱}{۴} \pm \varepsilon$

کسر $\frac{۱۱}{۴}$ گویا نیست و با $\varepsilon = +\frac{۱}{۴}$ گویا می‌شود.

$$y_1 = \frac{۱۱}{۴} + \frac{۱}{۴} = ۳$$

$\varepsilon > ۰$ انتخاب شد؛ پس سیم‌پیچی با گام بلند است.





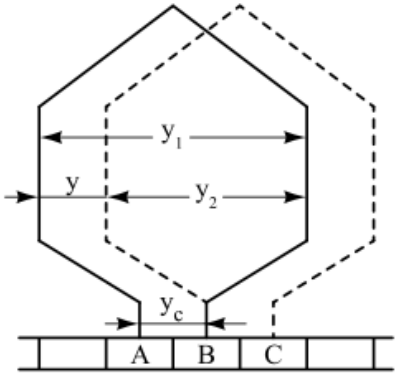
روش‌های سیم‌پیچی آرمیچر

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

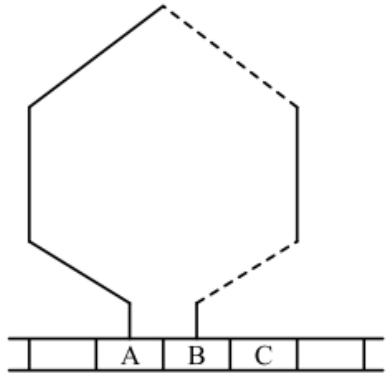
سیم پیچی‌های حلقوی و موجی از نظر شکل سیم‌پیچی و نحوه اتصال کلاف‌ها به تیغه‌های کموتاتور با یک‌دیگر متفاوت هستند. این تفاوت در تعداد راه‌های جریان و ترتیب اتصال سر و ته کلاف‌ها به تیغه‌های کموتاتور می‌باشد.

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 این‌که تمام سر و ته کلاف‌ها به ترتیب به تیغه و تیغه مجاور آن متصل می‌شود. این نوع سیم پیچی اسم حقیقی خود را دارد؛ زیرا کلاف‌ها پس از اتصال به تیغه‌های کموتاتور تشکیل حلقه‌های پشت سر هم را می‌دهند.

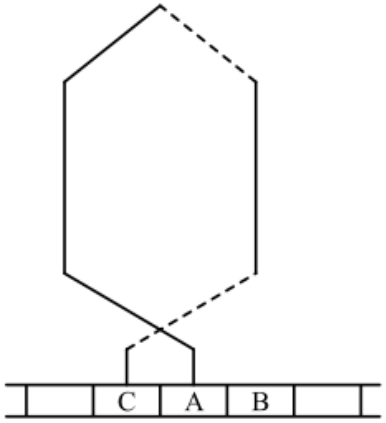


سیم‌پیچی حلقوی به دو صورت «راست‌گرد» یا «پیش رونده[۵]» و «چپ‌گرد» یا «پس رونده[۶]» سربندی می‌شود.



کلاف با سربندی حلقوی راست گرد

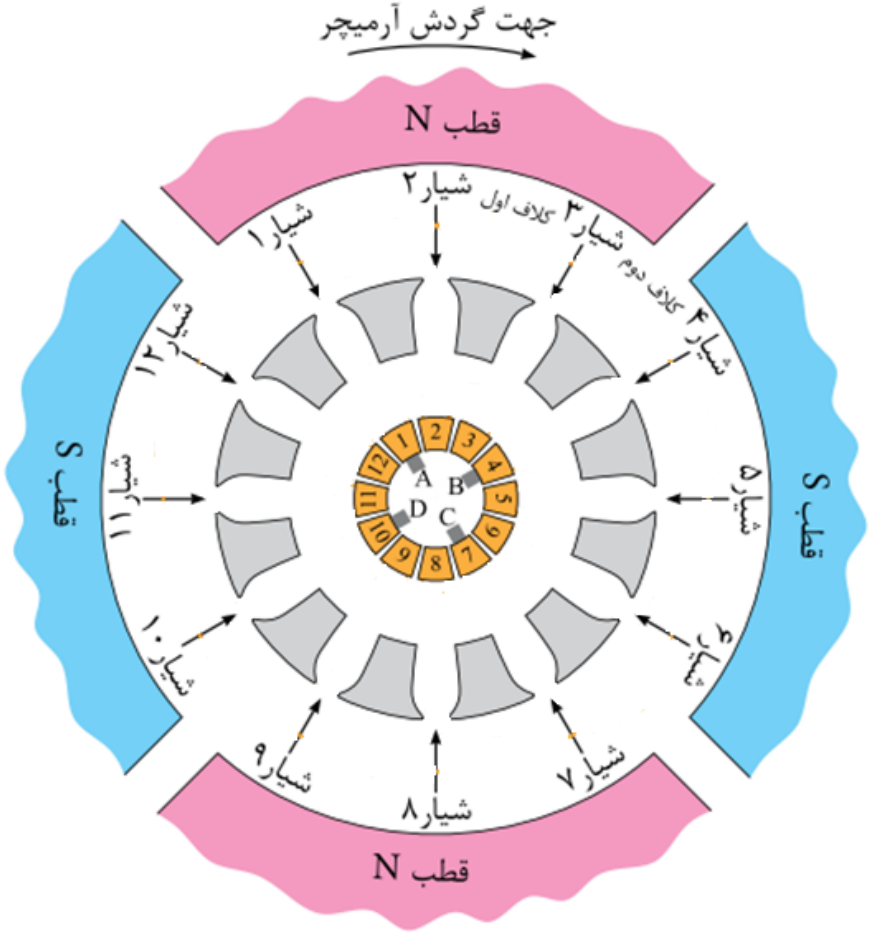
در سیم‌پیچی راست‌گرد ته کلاف به تیغه کموتاتوری که در سمت راست سر کلاف قرار دارد اتصال داده می‌شود.



کلاف با سربندی حلقوی چپ‌گرد

در سیم‌پیچی چپ‌گرد ته کلاف به تیغه کموتاتوری که در سمت چپ سرکلاف قرار دارد اتصال داده می‌شود.

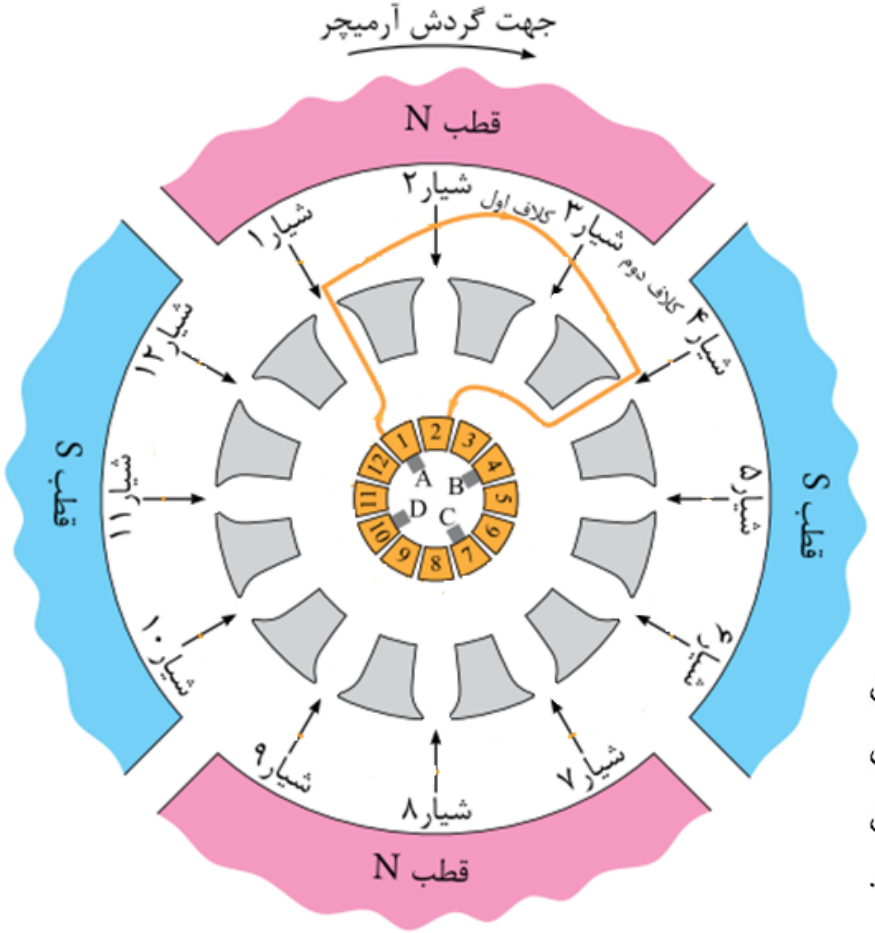
دیاگرام دایره‌ای سیم‌پیچی حلقوی ساده چهار قطب رتور ۱۲ شیار با ۱۲ تیغه کموتاتور



رتور ۱۲ شیار و ۴ قطب دارد

گام قطبی به‌دست می‌آید: $y_P = \frac{S}{P} = \frac{۱۲}{۴} = ۳$

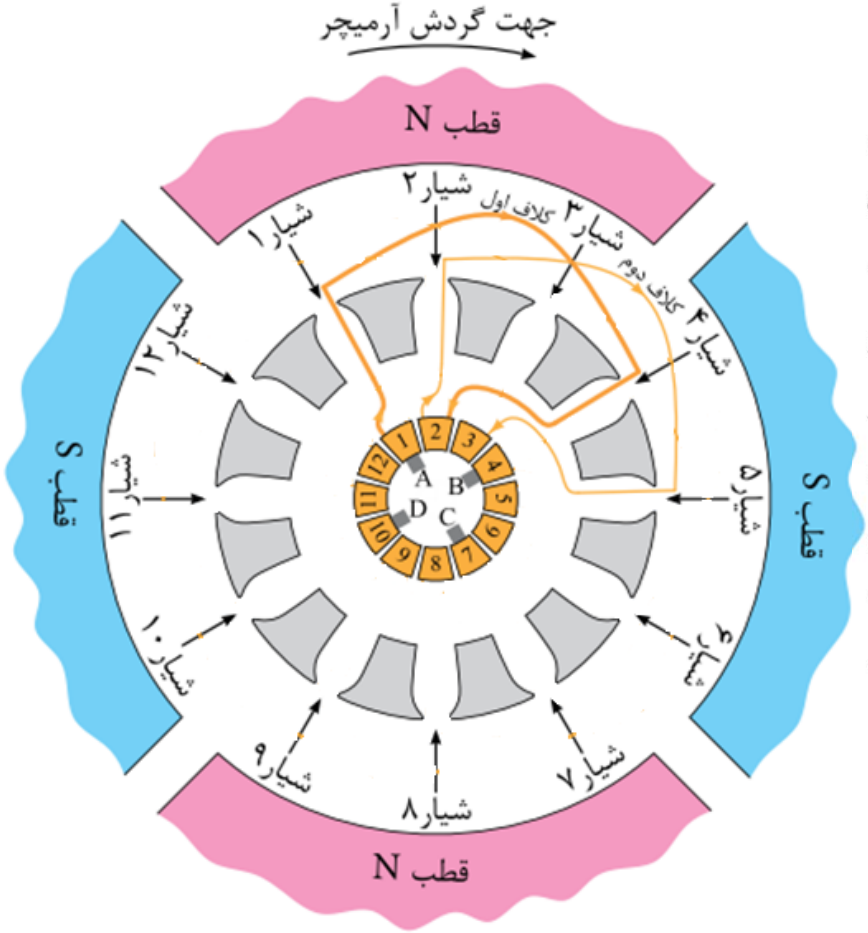
دیاگرام دایره‌ای سیم‌پیچی حلقوی ساده چهار قطب رتور ۱۲ شیار با ۱۲ تیغه کموتاتور



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 $y_1 = ۳$ می‌شود. چون گام رفت با گام قطبی برابر است سیم‌پیچی «گام کامل» می‌باشد.

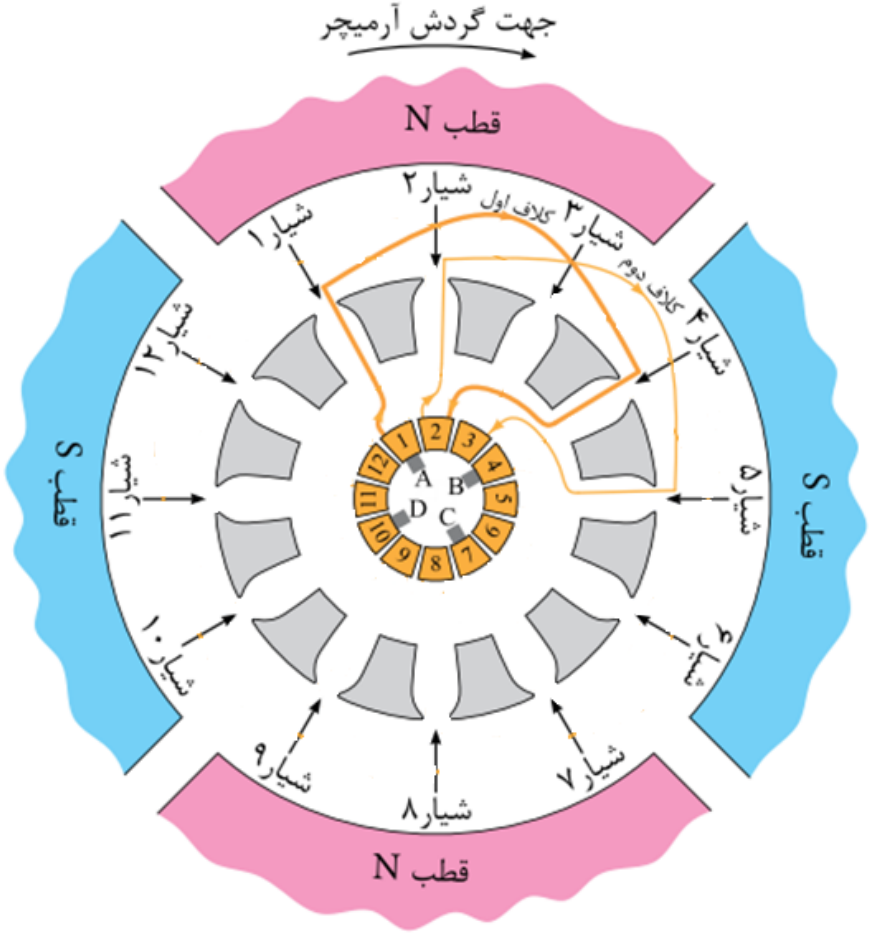
سر کلاف اول به تیغه ۱ کموتاتور اتصال دارد. این کلاف در طی مسیری راست‌گرد پس از عبور از شیارهای ۱ و ۴، ته آن به تیغه ۲ کموتاتور متصل شده است. بین سر و ته این کلاف یک عایق از کموتاتور قرار دارد. بنابراین طبق تعریف، گام کموتاتور $y_C = +۱$ می‌شود و سیم‌پیچی راست‌گرد است.

دیاگرام دایره‌ای سیم‌پیچی حلقوی ساده چهار قطب رتور ۱۲ شیار با ۱۲ تیغه کموتاتور



کلاف بعـدی کلاف دوم نامیده می‌شـود که بازوی اول آن در شـیار ۲ و بازوی دوم این کلاف در شـیار ۵ رتور قرار می‌گیرد. سرکلاف دوم به تغیه ۲ کموتاتور که ته کلاف اول به آن متصل شـده بـود، اتصال می‌یابد و ته آن به تیغه ۳ کموتاتور متصل می‌شـود. این روند در جاگـذاری کلاف‌های بعدی در شـیارهای رتور و اتصال سـر و ته آن‌ها به تیغه‌های کموتاتور ادامه می‌یابد تا آن کـه انتهای آخرین کلاف به ابتـدای کلاف اول در تیغه ۱ وصل شـود. بدین ترتیب سـیم‌پیچی رتور به‌صورت حلقوی ساده تکمیل می‌شود.

دیاگرام دایره‌ای سیم‌پیچی حلقوی ساده چهار قطب رتور ۱۲ شیار با ۱۲ تیغه کموتاتور

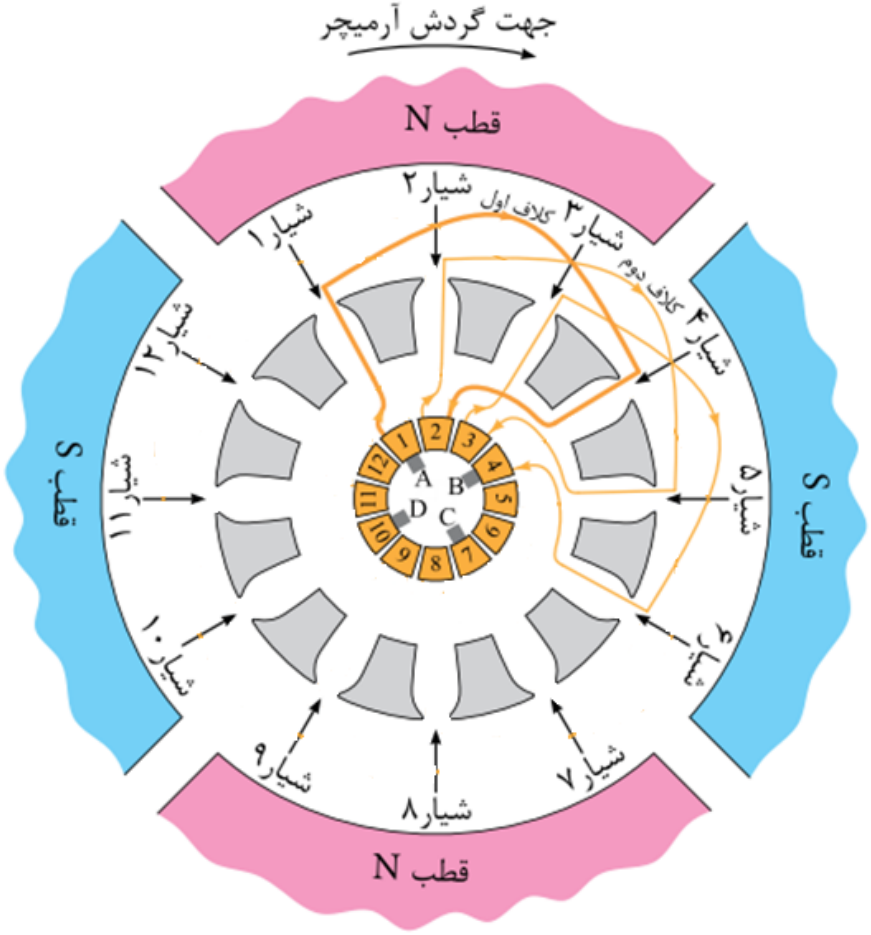


بـــازوی دوم کلاف اول در شـــیار ۴ رتور و بازوی اول کلاف دوم در شـــیار ۲ رتور قـــرار دارد. بین این دو بازو ۲شیار فاصله است که طبق تعریف، گام برگشت $y_2 = ۲$ می‌شود.

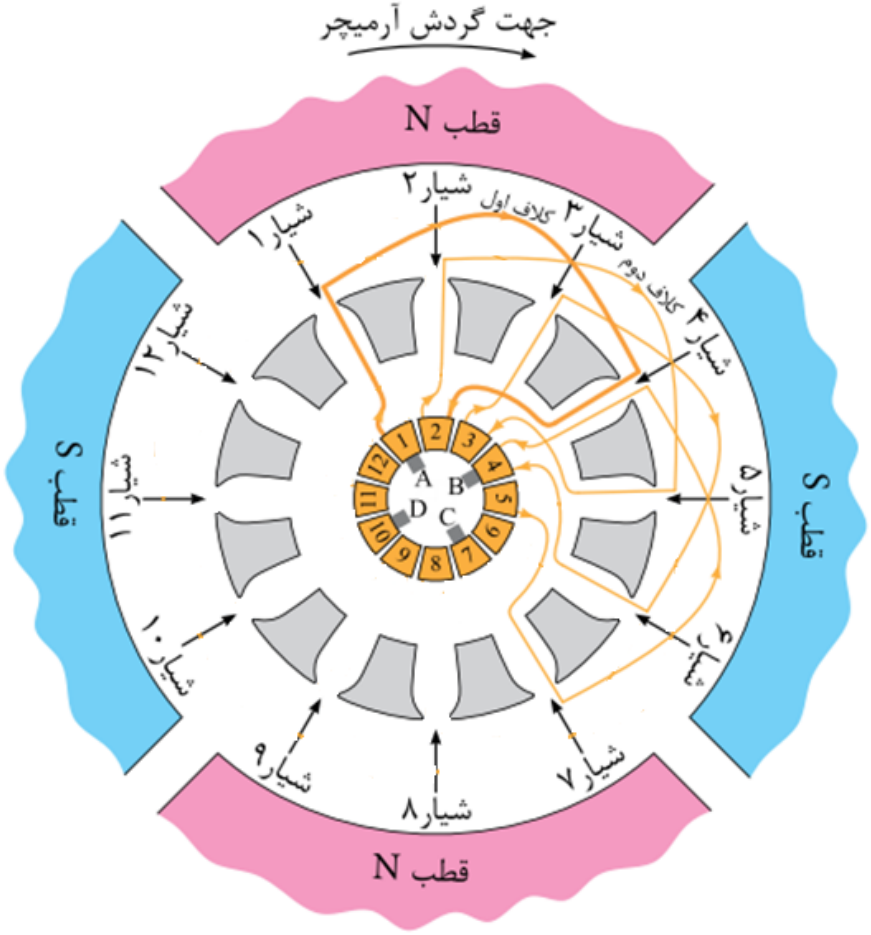
بـــازوی اول کلاف اول در شـــیار ۱ رتور و بازوی اول کلاف دوم در شـــیار ۲ رتور قـــرار دارد. بین این دو بازو یک شـــیار فاصله اســـت و طبق تعریف، گام سیم‌پیچی $y = ۱$ می‌شود.

سیم‌پیچی حلقوی ساده است؛ تعداد جاروبک‌ها برابر تعداد قطب‌ها اســـت، لذا از ۴ جاروبک با پهنایی برابر با عرض تیغه کموتاتور استفاده می‌شود.

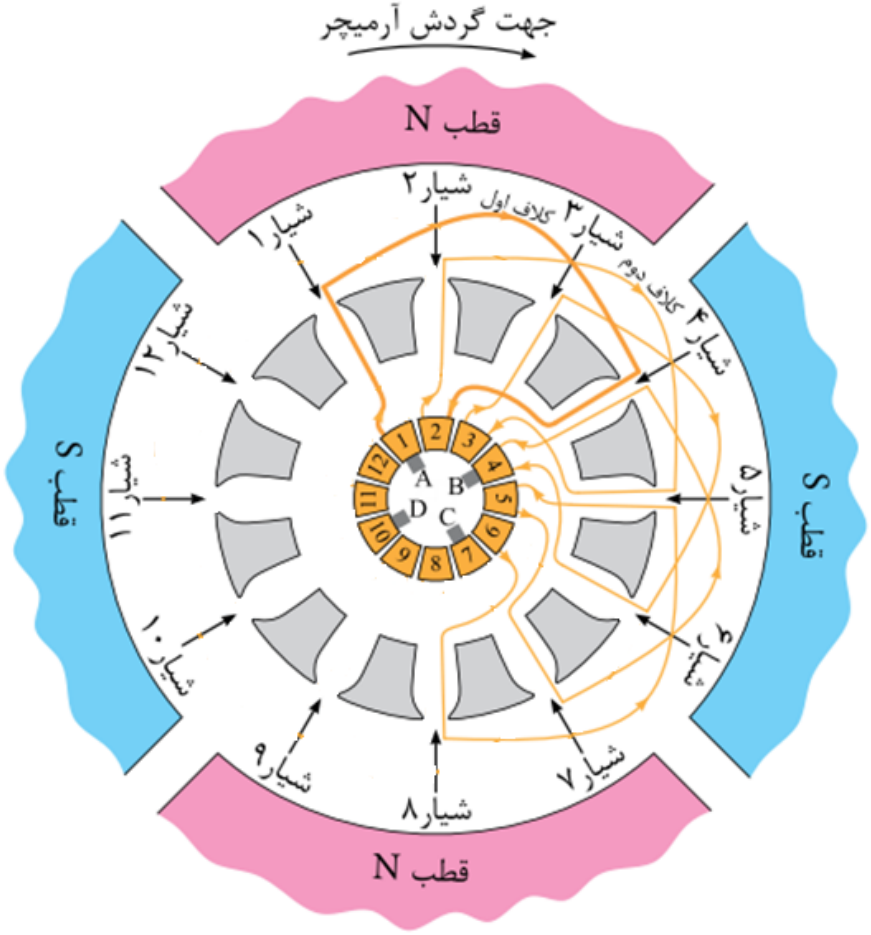
دیاگرام دایره‌ای سیم‌پیچی حلقوی ساده چهار قطب رتور ۱۲ شیار با ۱۲ تیغه کموتاتور



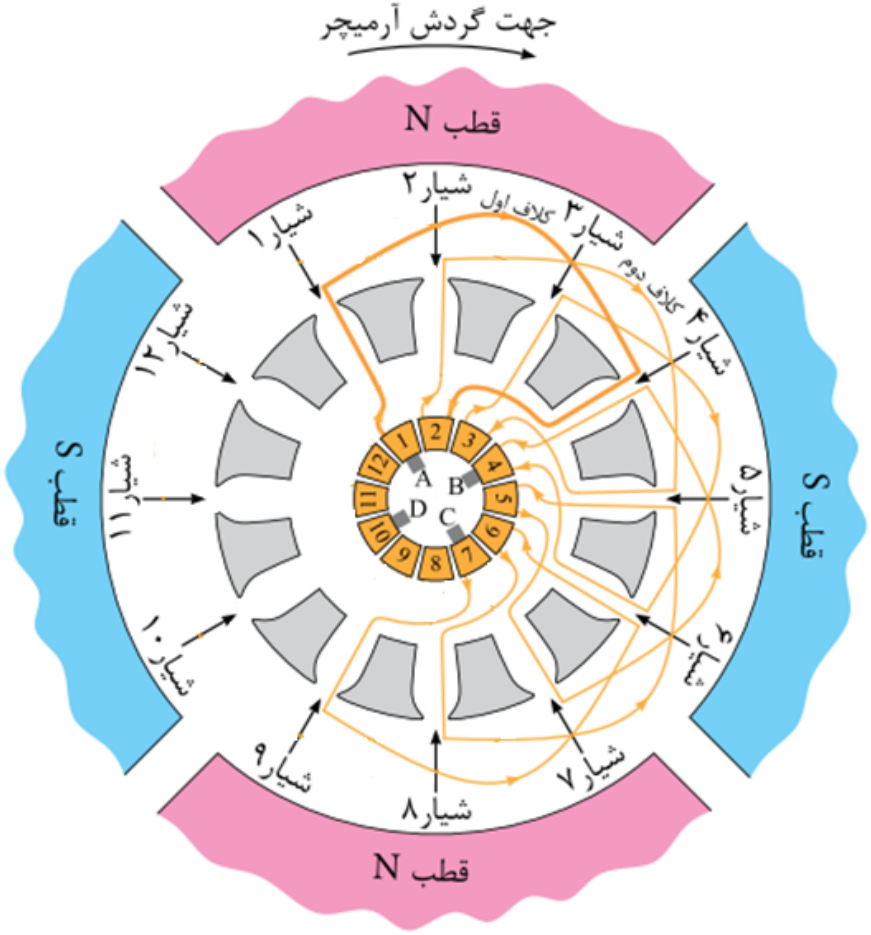
دیاگرام دایره‌ای سیم‌پیچی حلقوی ساده چهار قطب رتور ۱۲ شیار با ۱۲ تیغه کموتاتور



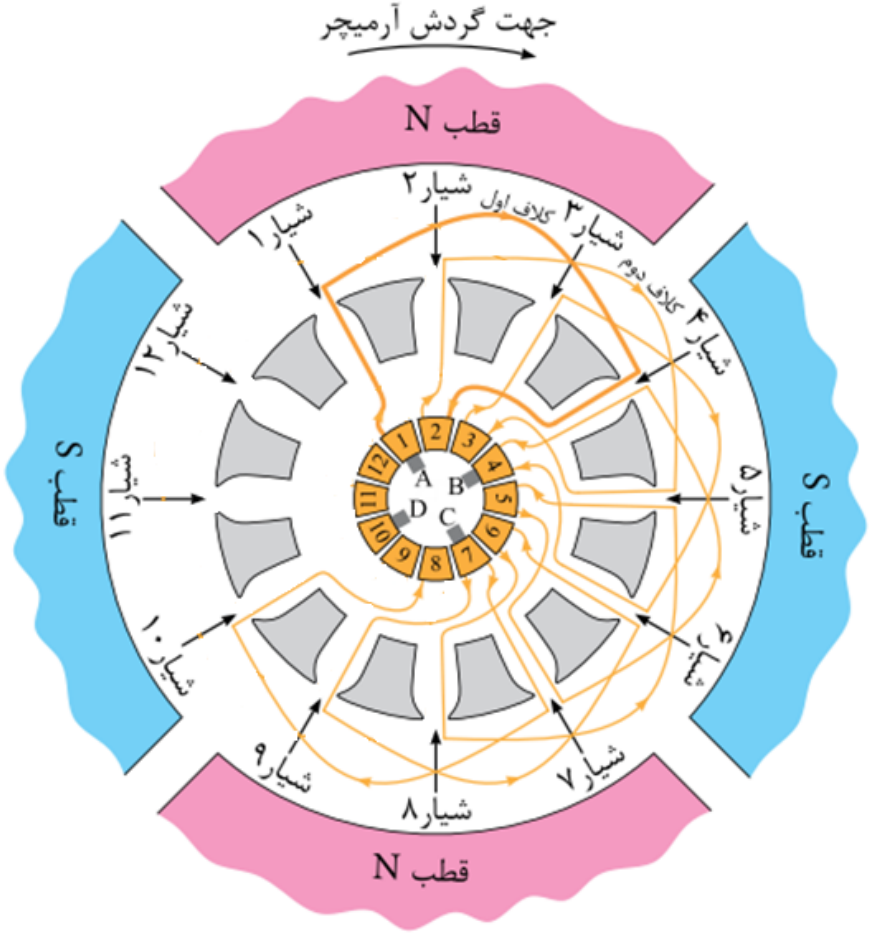
دیاگرام دایره‌ای سیم‌پیچی حلقوی ساده چهار قطب رتور ۱۲ شیار با ۱۲ تیغه کموتاتور



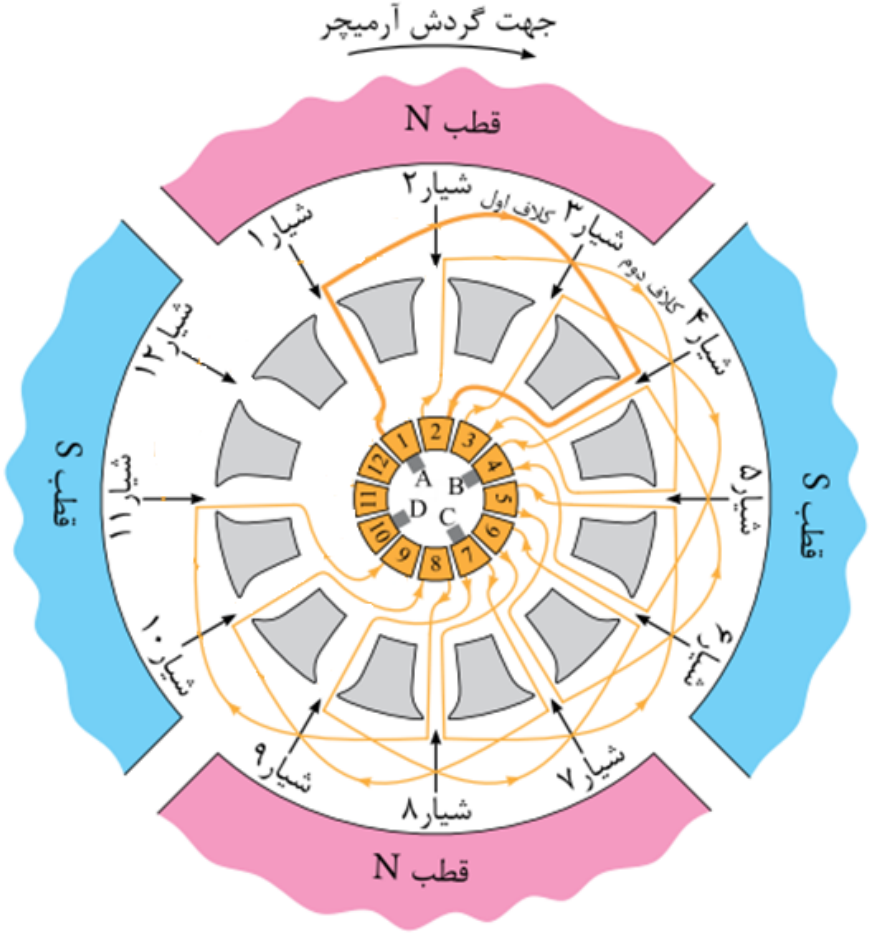
دیاگرام دایره‌ای سیم‌پیچی حلقوی ساده چهار قطب رتور ۱۲ شیار با ۱۲ تیغه کموتاتور



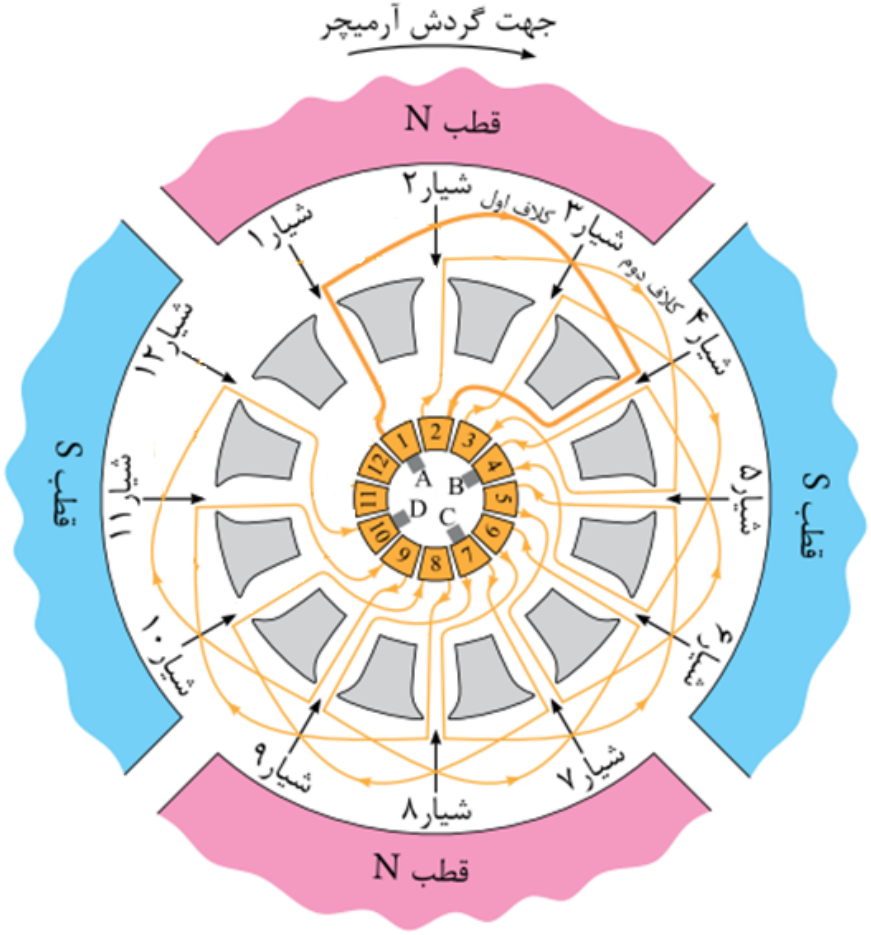
دیاگرام دایره‌ای سیم‌پیچی حلقوی ساده چهار قطب رتور ۱۲ شیار با ۱۲ تیغه کموتاتور



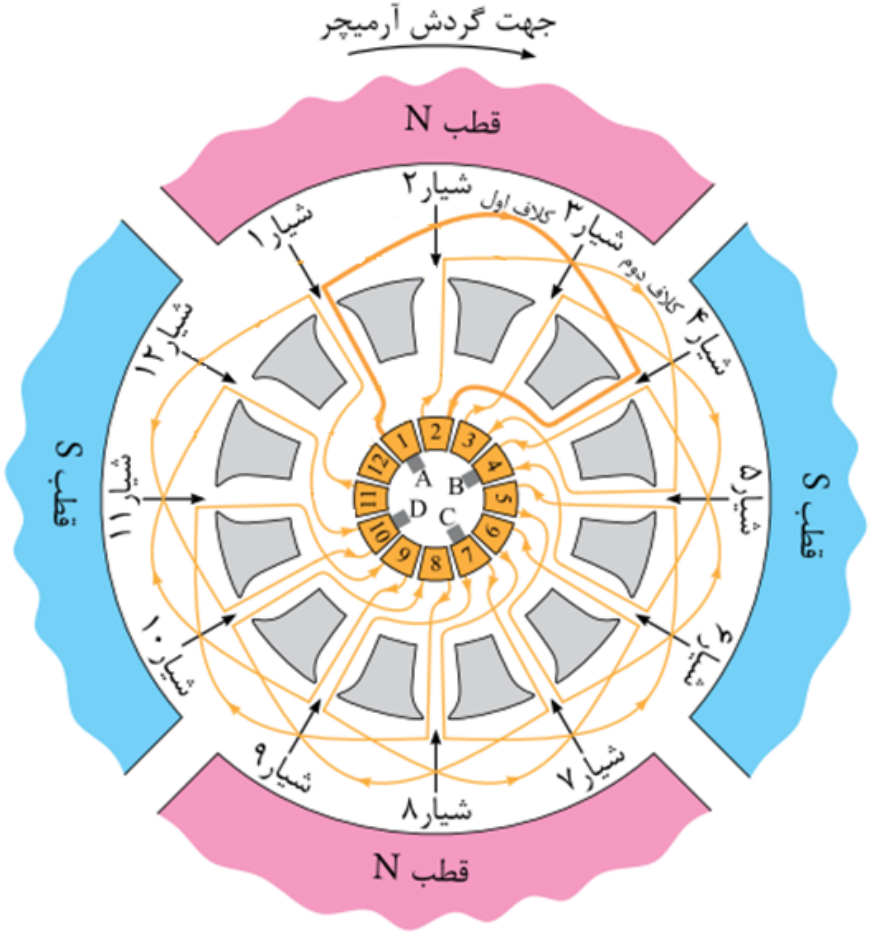
دیاگرام دایره‌ای سیم‌پیچی حلقوی ساده چهار قطب رتور ۱۲ شیار با ۱۲ تیغه کموتاتور



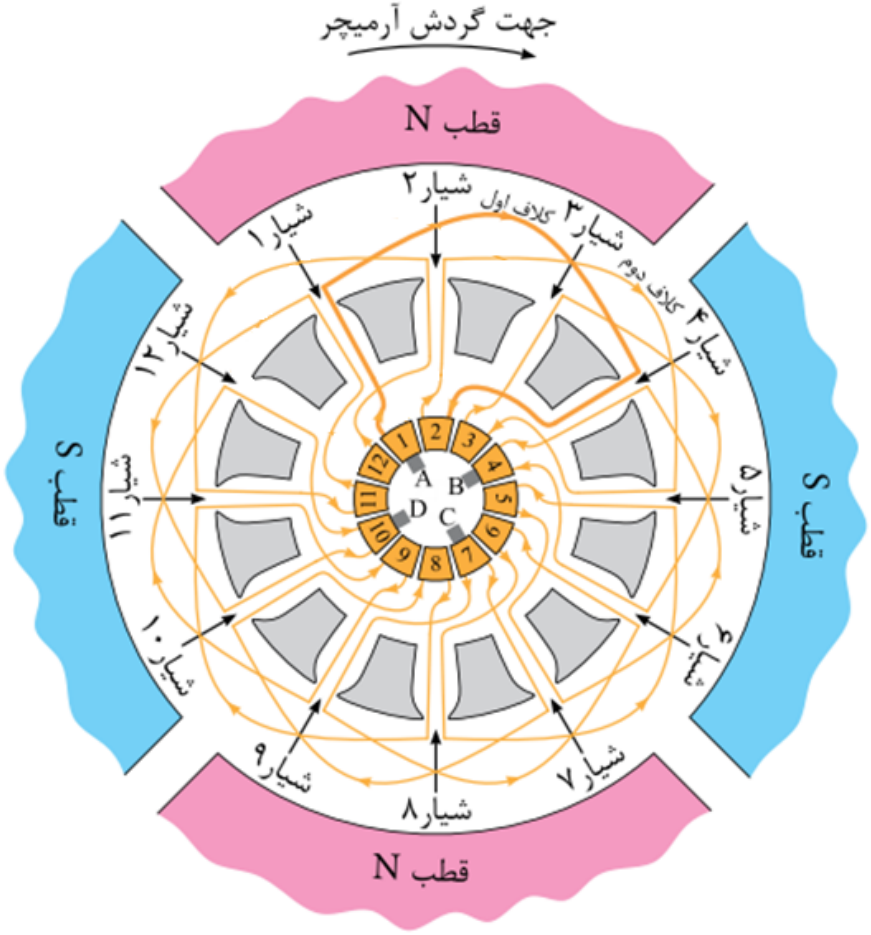
دیاگرام دایره‌ای سیم‌پیچی حلقوی ساده چهار قطب رتور ۱۲ شیار با ۱۲ تیغه کموتاتور



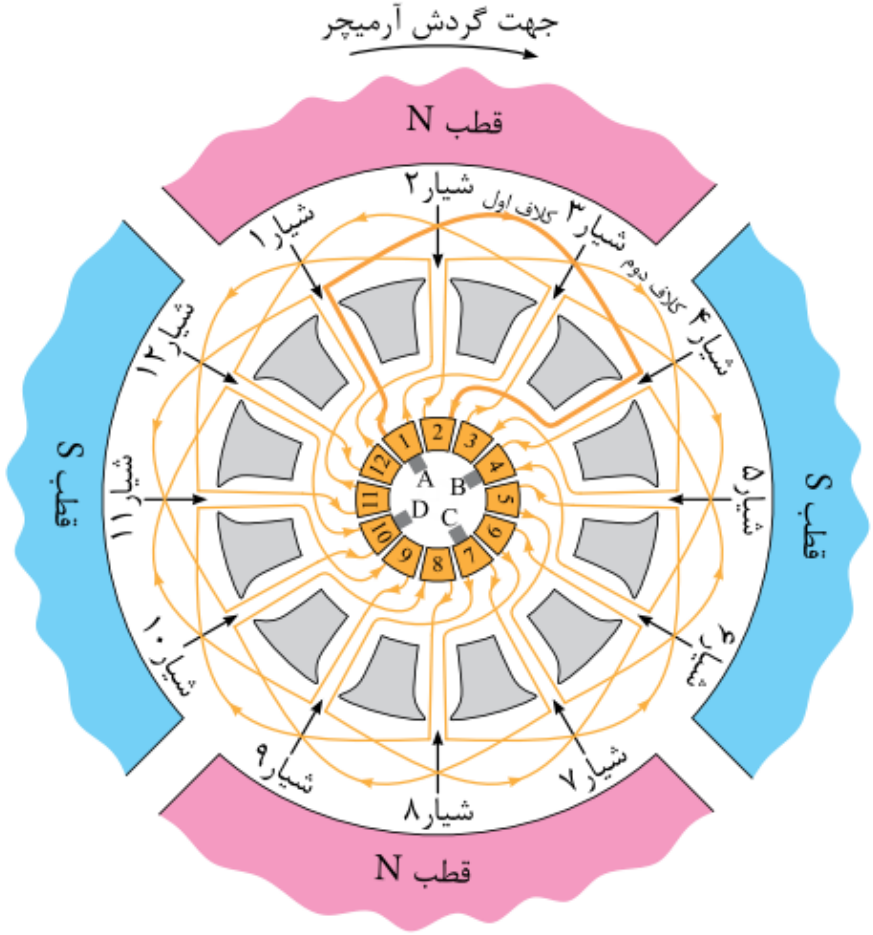
دیاگرام دایره‌ای سیم‌پیچی حلقوی ساده چهار قطب رتور ۱۲ شیار با ۱۲ تیغه کموتاتور



دیاگرام دایره‌ای سیم‌پیچی حلقوی ساده چهار قطب رتور ۱۲ شیار با ۱۲ تیغه کموتاتور

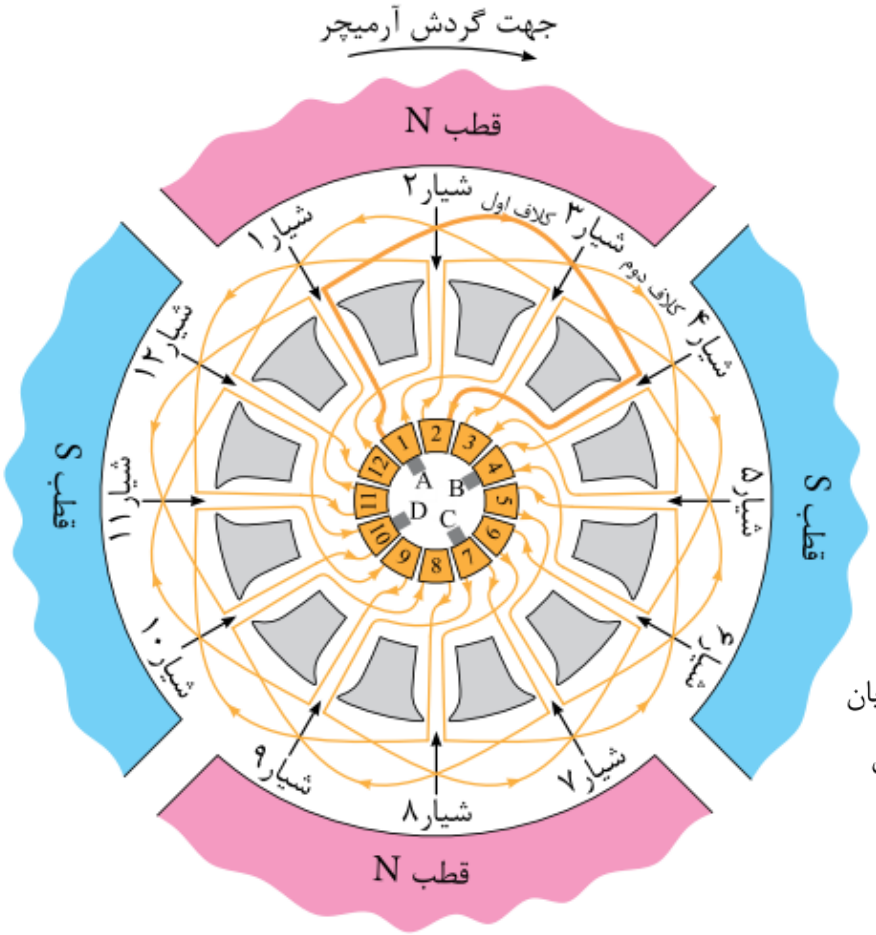


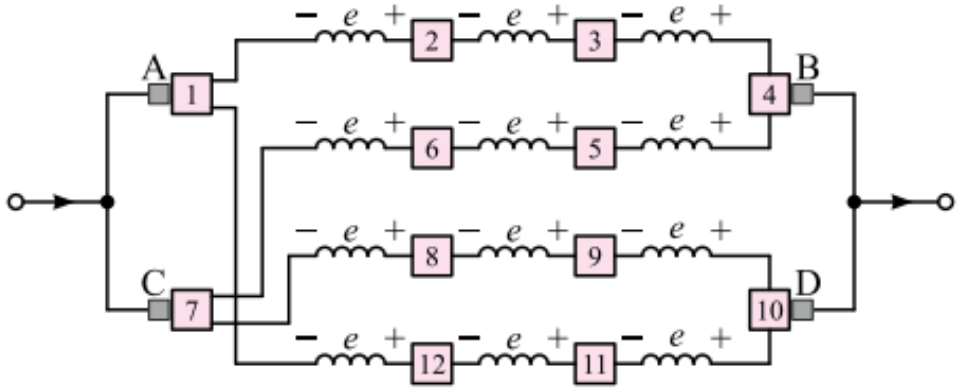
دیاگرام دایره‌ای سیم‌پیچی حلقوی ساده چهار قطب رتور ۱۲ شیار با ۱۲ تیغه کموتاتور



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

دیاگرام دایره‌ای سیم‌پیچی حلقوی ساده چهار قطب رتور ۱۲ شیار با ۱۲ تیغه کموتاتور





دیاگرام خطی رتور ۱۲ شیار ۴ قطب با سیم‌پیچی حلقوی ساده

مشاهده می‌شود در سیم پیچی حلقوی ساده تعداد راه‌های جریان با تعداد قطب‌ها برابر است. بنابراین: $a = P$ «راه جریان»

I_{A1} جریان هر راه جریان

a تعداد راه‌های جریان

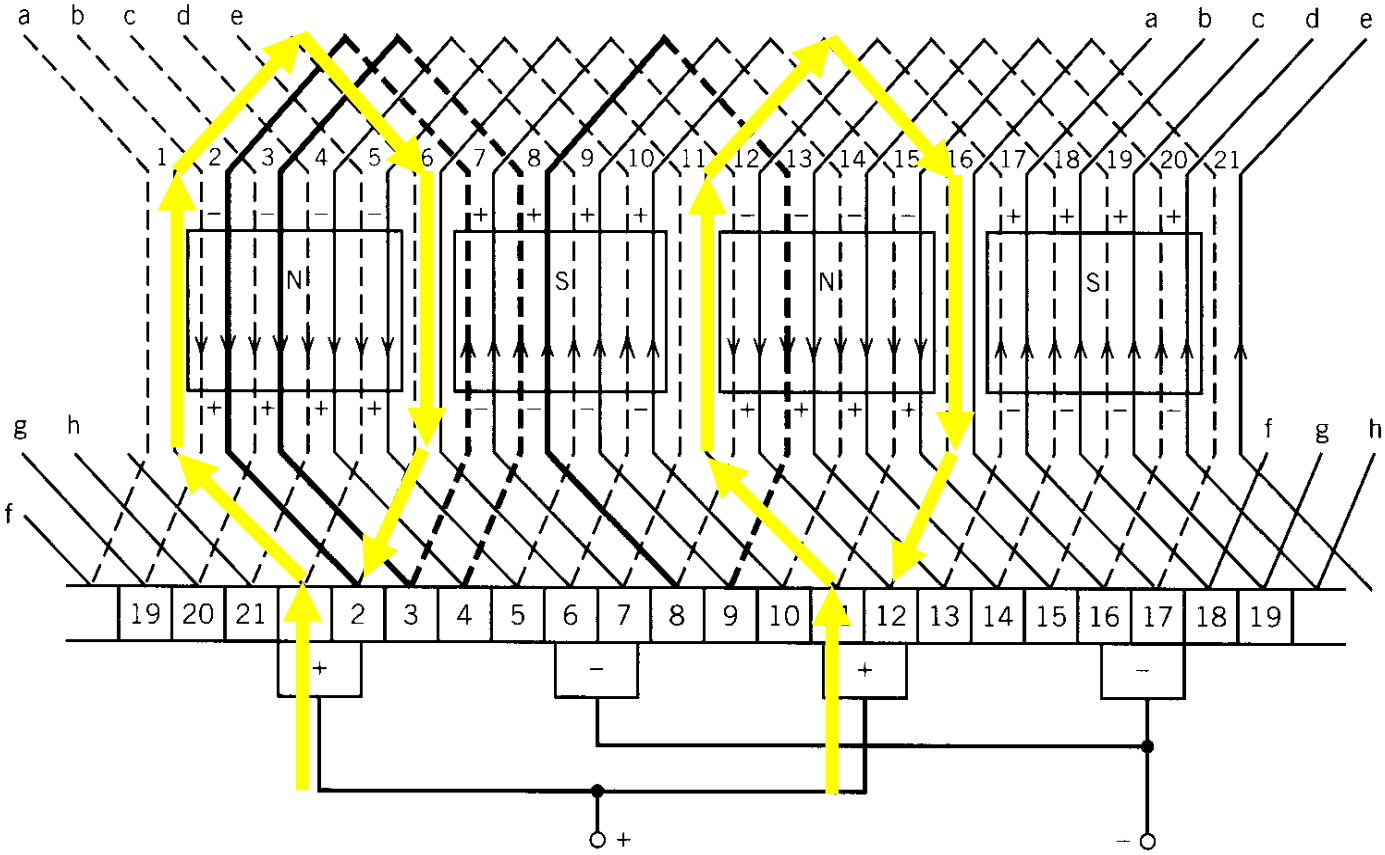
I_A جریان آرمیچر

جریان آرمیچر و جریان هر راه جریان $I_{a1} = \frac{I_A}{a}$

از آنجایی که در هر راه جریان ۳ کلاف قرار دارد، نیروی محرکه القایی در هر راه جریان $3e$ ولت خواهد شد.

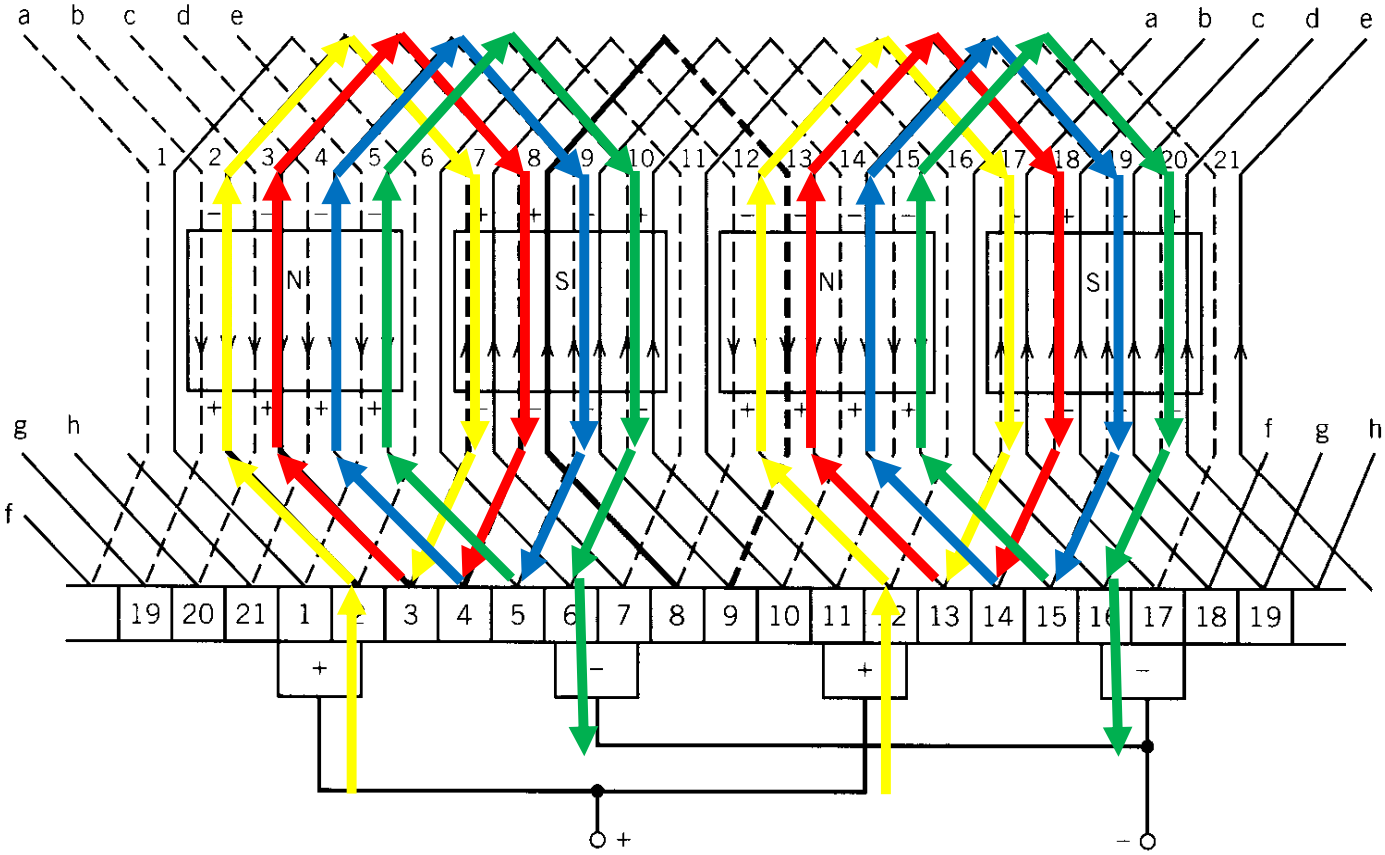
سیم پیچی حلقوی

شکل زیر سیم پیچی حلقوی یک آرمیچر ماشین DC را به طور گسترده نشان می دهد. در این شکل تیغه های کموتاتور و جاروبکها نیز نشان داده شده اند. جاروبکها در زیر مرکز قطب ها جای گرفته اند.



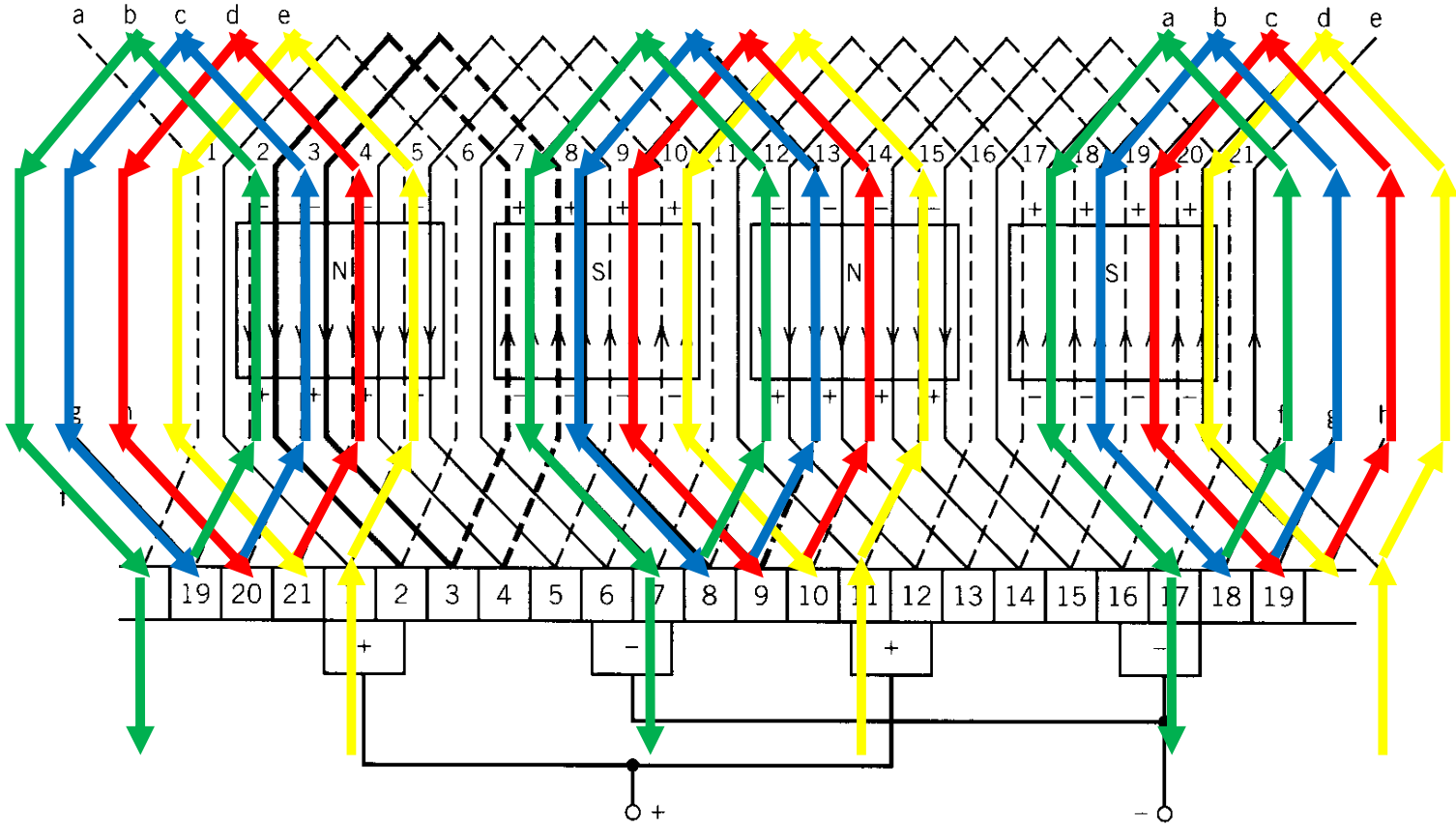
سیم پیچی حلقوی (مجاور)

شکل زیر سیم پیچی حلقوی یک آرمیچر ماشین DC را به طور گسترده نشان می دهد. در این شکل تیغه های کموتاتور و جاروبکها نیز نشان داده شده اند. جاروبکها در زیر مرکز قطب ها جای گرفته اند.

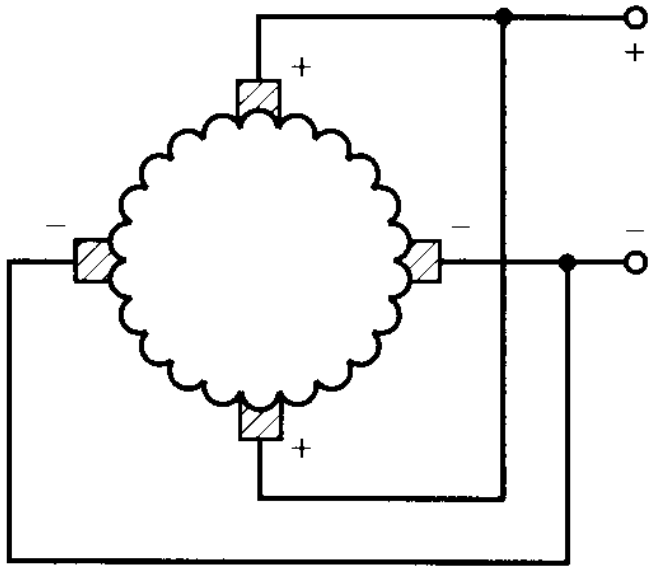


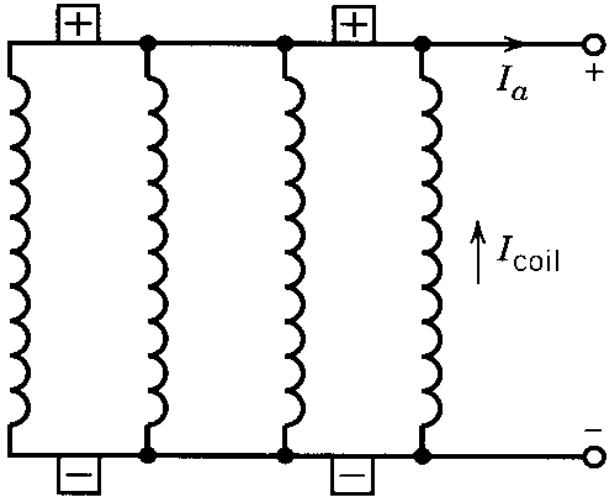
سیم پیچی حلقوی (مجاور)

شکل زیر سیم پیچی حلقوی یک آرمیچر ماشین DC را به طور گسترده نشان می دهد. در این شکل تیغه های کموتاتور و جاروبکها نیز نشان داده شده اند. جاروبکها در زیر مرکز قطب ها جای گرفته اند.



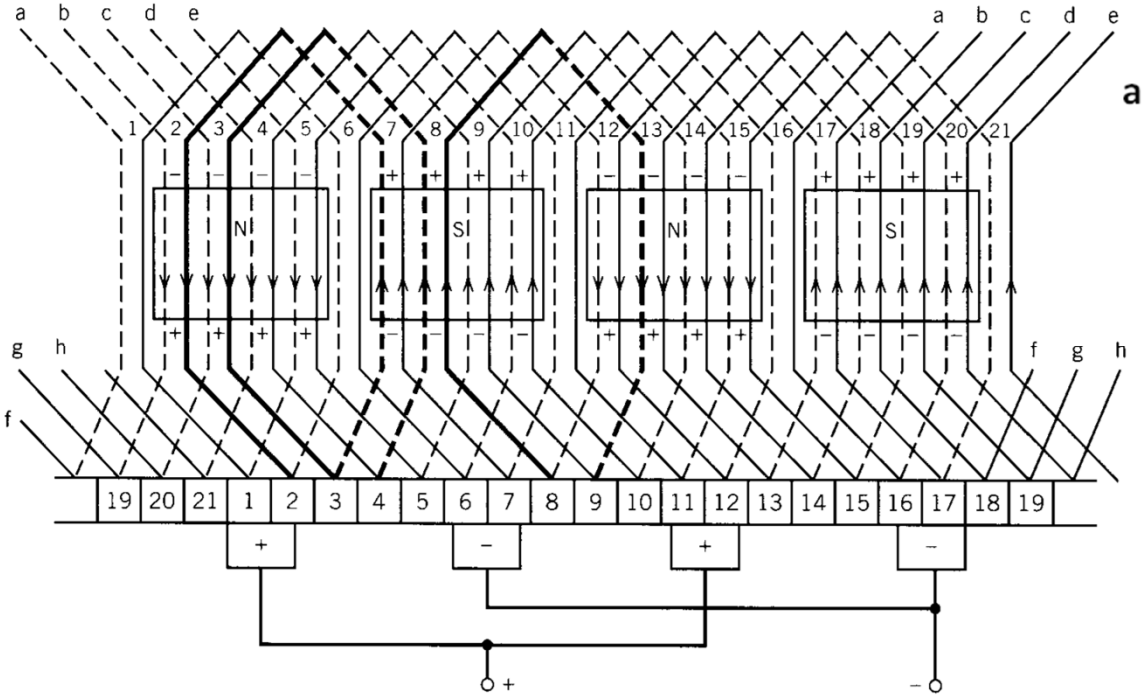
سیم پیچی حلقوی





سیم پیچی حلقوی

- میان دو تیغه مجاور کموتاتور یک کلاف وجود دارد.
- همه کلاف های سیم پیچی میان دو جاروبک مجاور با هم سری می گردند
- بر این اساس در یک ماشین چهار قطبی، چهار مسیر موازی میان پایانه های مثبت و منفی آرمیچر ایجاد می گردد
- به طور کلی در یک سیم پیچی حلقوی تعداد مسیریهای موازی (a) برابر تعداد قطب ها و تعداد جاروبکهاست.



$$a = p = N_{brush}$$

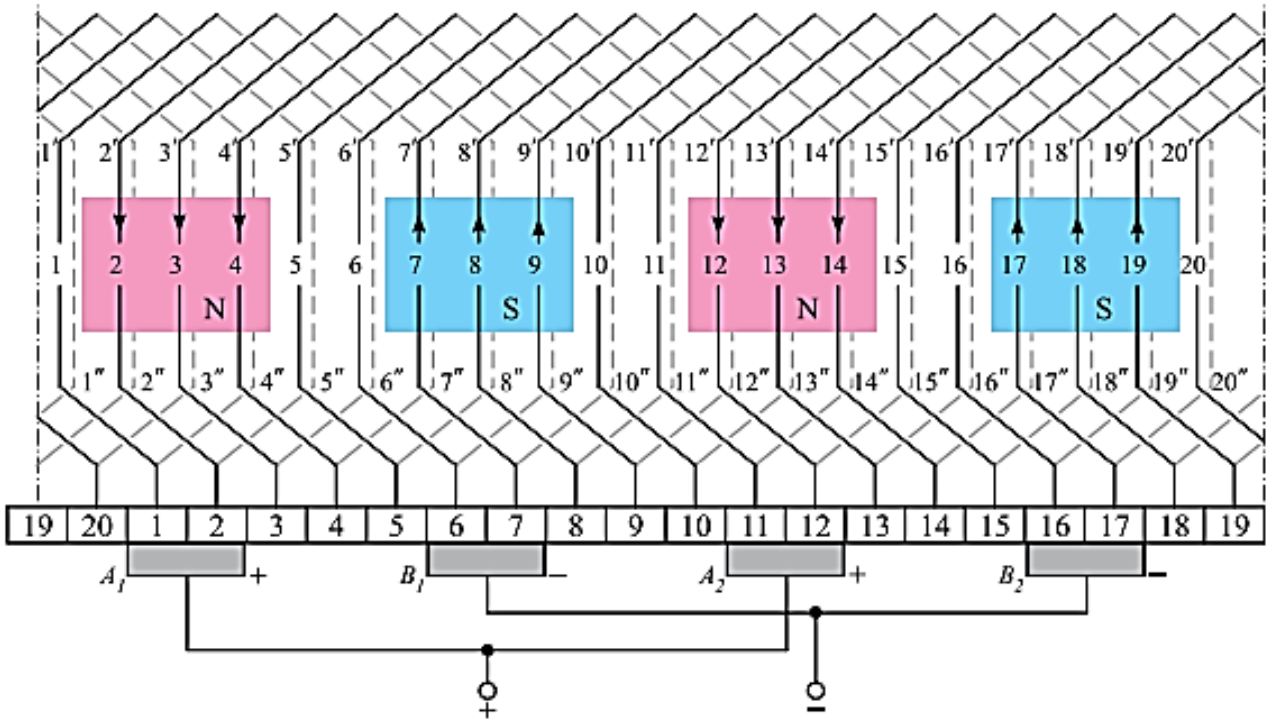
سیم‌پیچی حلقوی مرکب

سیم‌پیچی حلقوی مرکب از m سیم‌پیچی حلقوی ساده مستقل از یک‌دیگر تشکیل می‌شود که با هم 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» می نامند. 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 $\frac{m}{2}$ 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



سیم‌پیچی حلقوی مرکب

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 ـ 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

P تعداد قطب

m درجه ترکیب

$$a = mP$$

a تعداد راه جریان

گام کموتاتور سیم‌پیچی

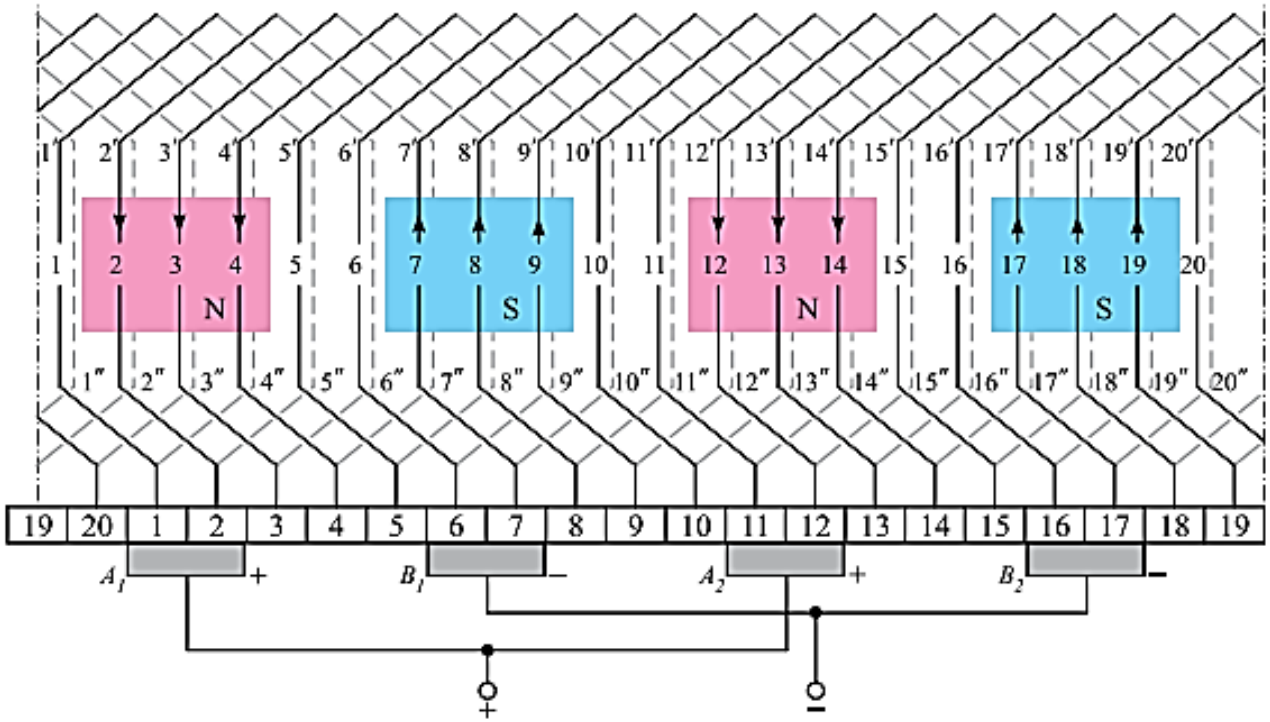
$$y_C = \pm m$$

m درجه ترکیب

$+m$ برای سیم‌پیچی راست‌گرد

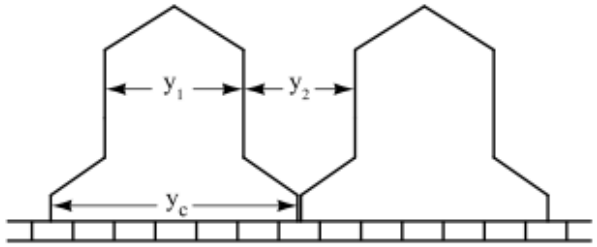
$-m$ برای سیم‌پیچی چپ‌گرد

دیاگرام گسترده سیم‌پیچی حلقوی مرکب دوگانه یک رتور ۲۰ شیار ۴ قطب

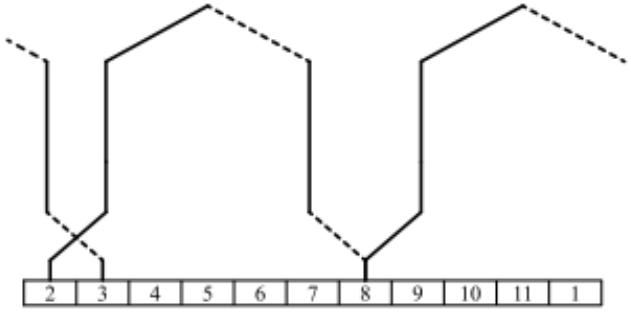


سیم‌پیچی حلقوی مرکب نسبت به سیم‌پیچی حلقوی ساده، دارای تعداد راه جریان بیش‌تری است لذا از آن در سیم‌پیچی آرمیچر ماشین‌هایی استفاده می‌شود که برای جریان خیلی زیاد طراحی شده‌اند.

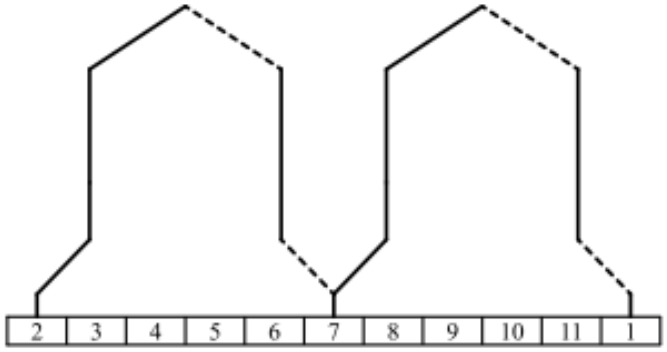
سیم‌پیچی موجی ساده



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 این‌که سر و ته همه کلاف‌ها به تیغه‌های کموتاتور متصل می‌شوند.



سربندی دو کلاف سیم پیچی موجی به صورت راست‌گرد



سربندی دو کلاف سیم‌پیچی موجی به صورت چپ‌گرد

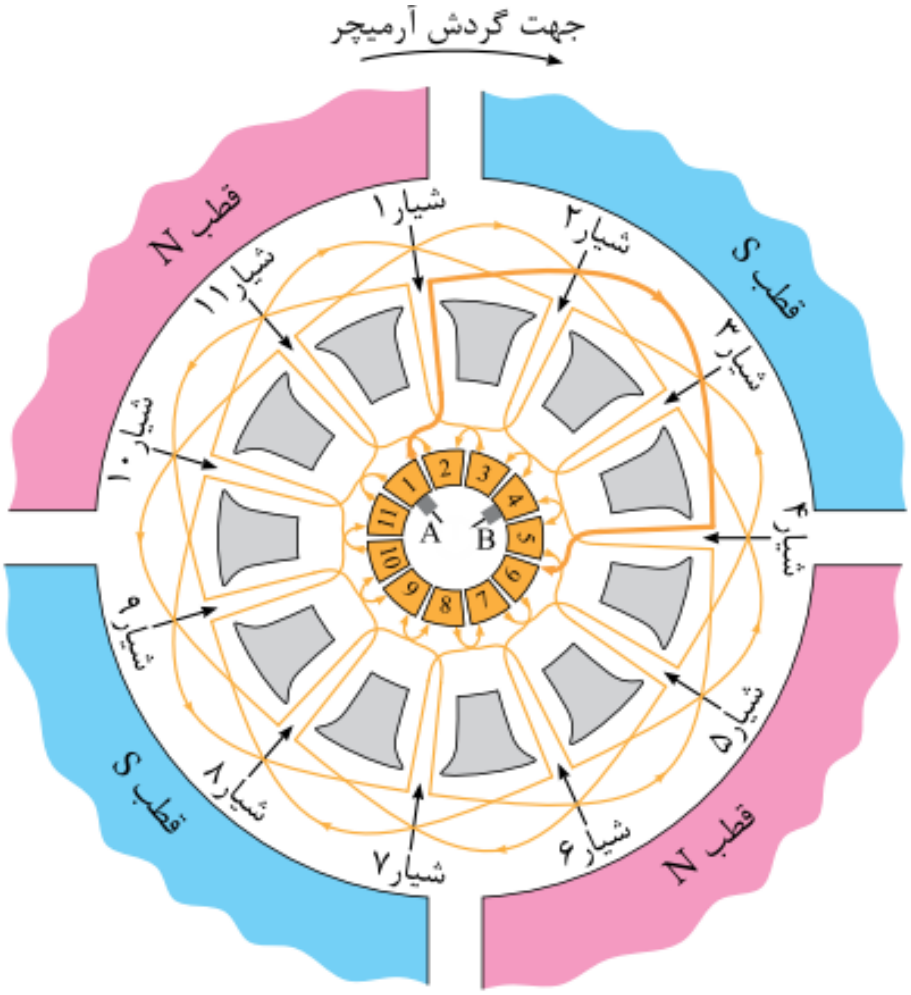
دیاگرام دایره‌ای سیم‌پیچی موجی ساده چهار قطب رتور ۱۱ شیار با ۱۱ تیغه کموتاتور

رتور ۱۱ شیار و ۴ قطب دارد

گام قطبی $y_p = \frac{S}{P} = \frac{۱۱}{۴} = ۲/۷۵$

در این شکل یکی از کلاف‌ها پررنگ‌تر نشان داده شده است که آن را کلاف اول می نامیم. 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 $y_1 = ۳$ می‌شود. چون گام رفت بزرگ‌تر از گام قطبی است سیم‌پیچی از نوع «گام بلند» می‌باشد.

سر کلاف اول به تیغه ۱ کموتاتور اتصال دارد. این کلاف در طی مسیری راست‌گرد پس از عبور از شیارهای ۱ و ۴ رتور، ته آن به تیغه ۶ کموتاتور متصل شده است. بین سر و ته این کلاف ۵ عایق از کموتاتور قرار دارد طبق تعریف، گام کموتاتور $y_C = +۵$ می‌شود و سیم‌پیچی راست‌گرد است.

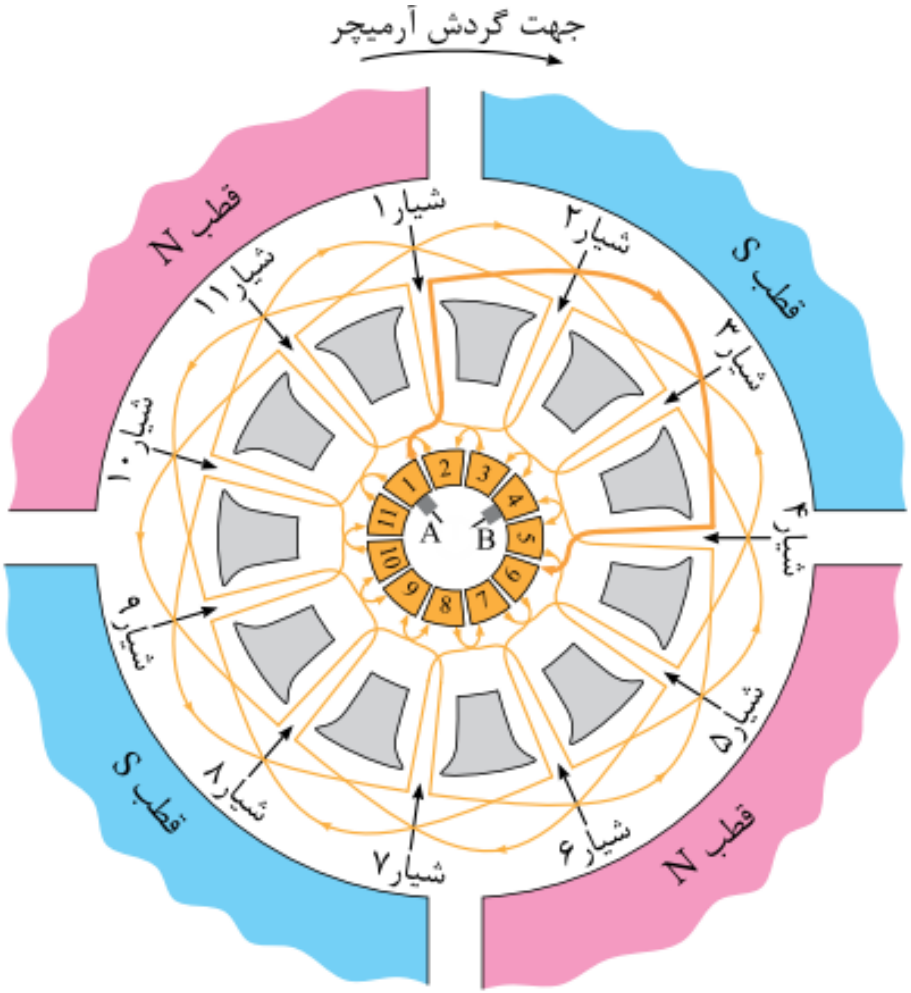


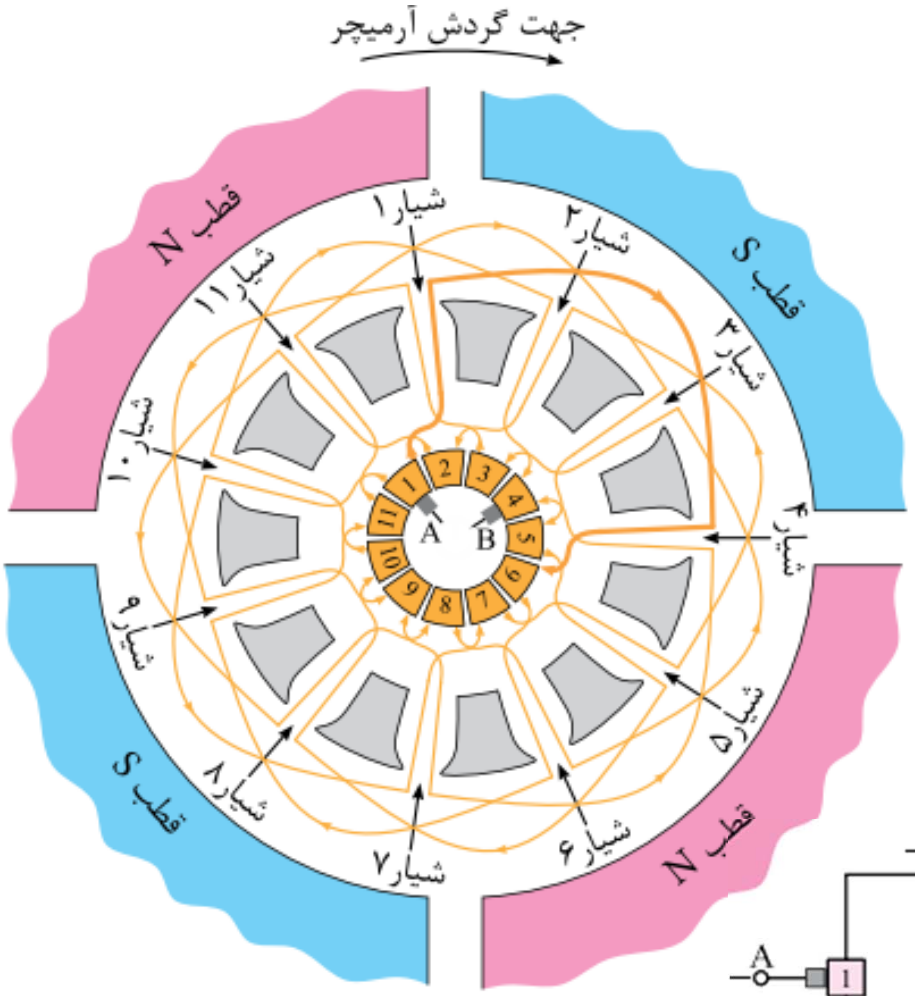
کلاف بعدی کلاف دوم نامیده می‌شود که بازوی اول آن در شیار ۶ و بازوی دوم این کلاف در شیار ۹ رتور قرار می‌گیرد. سر کلاف دوم به تیغه ۵ کموتاتور که ته کلاف اول به آن متصل شده بود، اتصال می‌یابد و ته آن به تیغه ۱۱ کموتاتور متصل می‌شود. این روند در جاگذاری کلاف‌های بعدی در شیارهای رتور و اتصال سرو ته آن‌ها به تیغه‌های کموتاتور ادامه می‌یابد تا آن‌که انتهای آخرین کلاف به ابتدای کلاف اول در تیغه ۱ وصل شود. بدین ترتیب سیم‌پیچی رتور به صورت موجی ساده تکمیل می‌شود.

بازوی اول کلاف اول در شیار ۱ و بازوی اول کلاف دوم در شیار ۶ رتور قرار دارد بین این دو بازو ۵ شیار فاصله است و طبق تعریف، گام سیم‌پیچی $y = ۵$ می‌شود.

بازوی دوم کلاف اول در شیار ۴ و بازوی اول کلاف دوم در شیار ۶ رتور قرار دارد. بین این دو بازو ۲ شیار فاصله است که طبق تعریف، گام برگشت $y_۲ = ۲$ می‌شود.

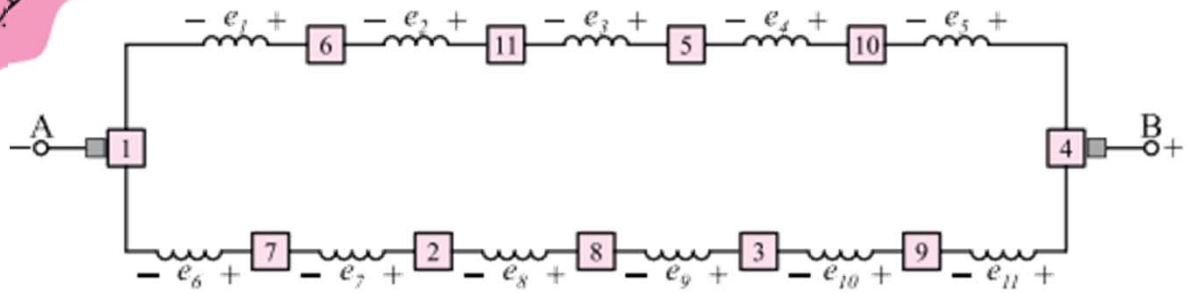
مطابق شکل این سیم‌پیچی موجی دو عدد جاروبک دارد که پهنای هر یک برابر با عرض تیغه کموتاتور است.





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

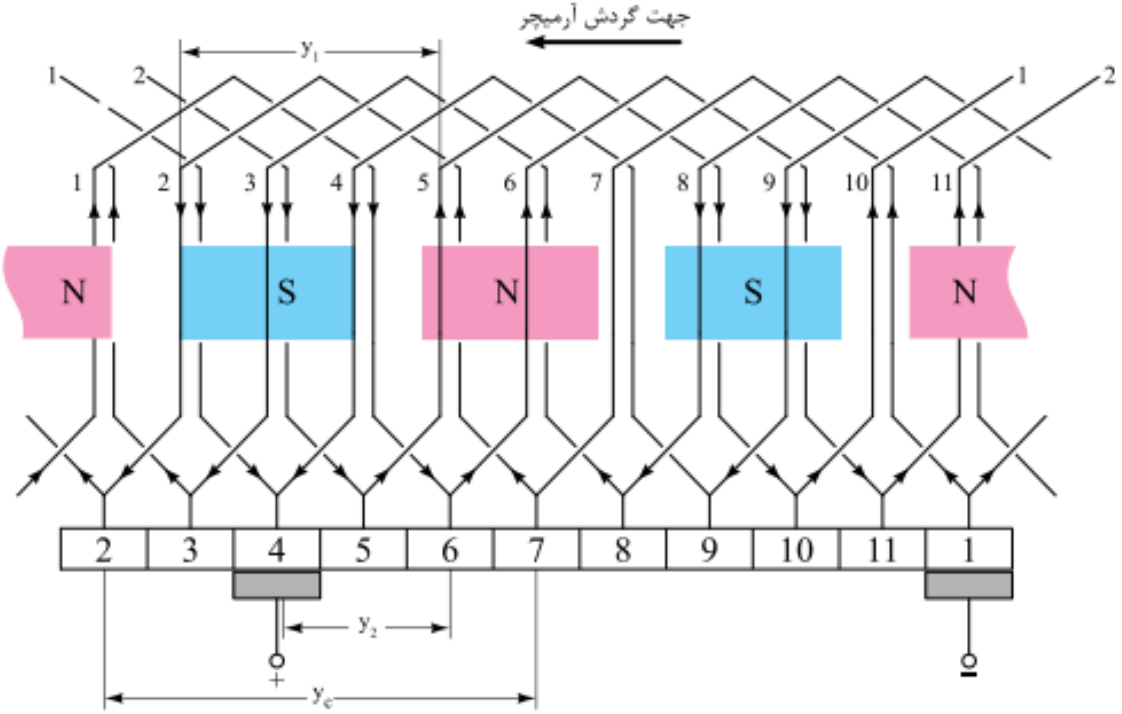
دیاگرام خطی رتور ۱۱ شیار با قطب با سیم‌پیچی موجی ساده



جریــان ورودی به آرمیچر پــس 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:

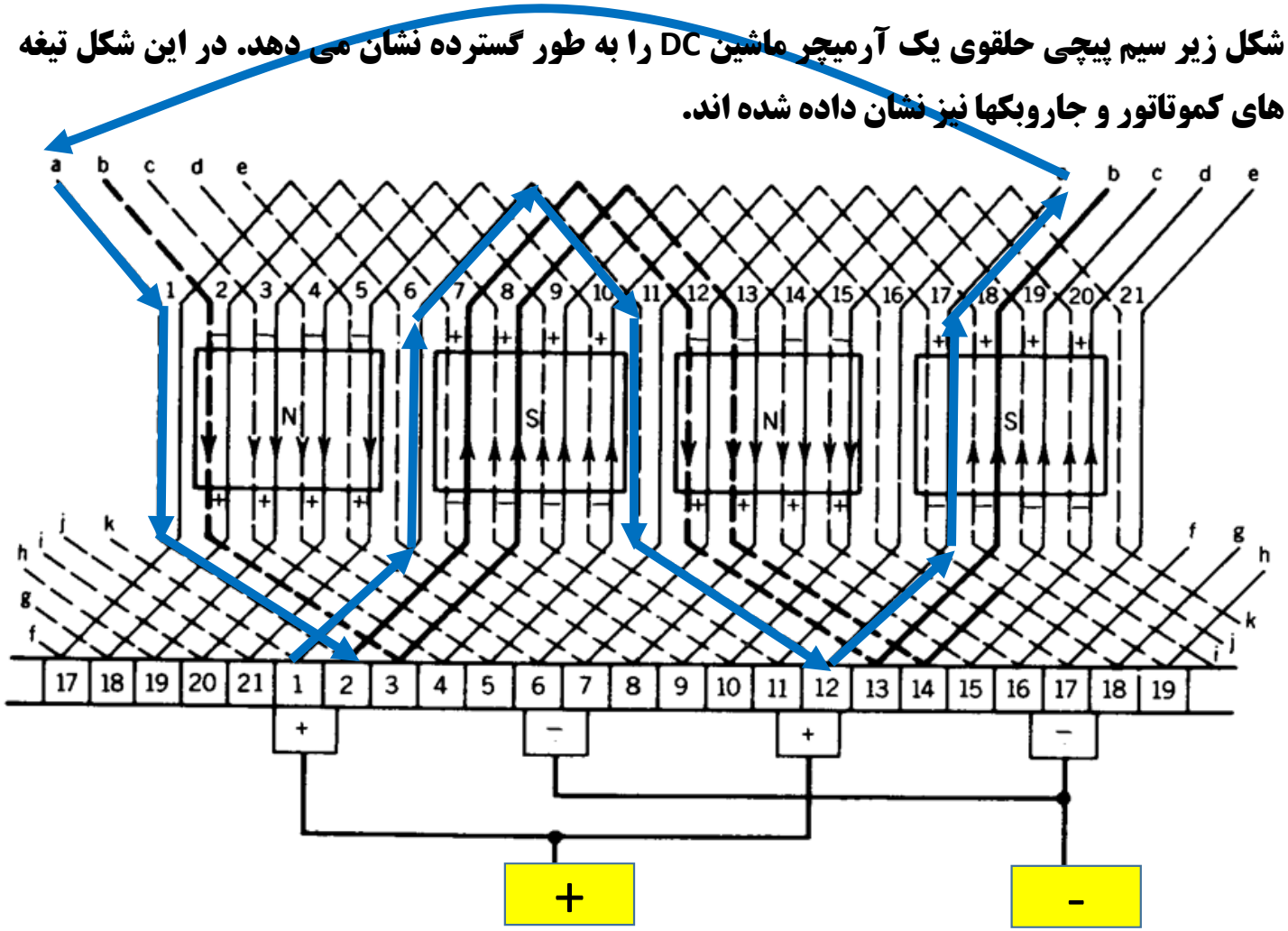
$$a = ۲$$

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



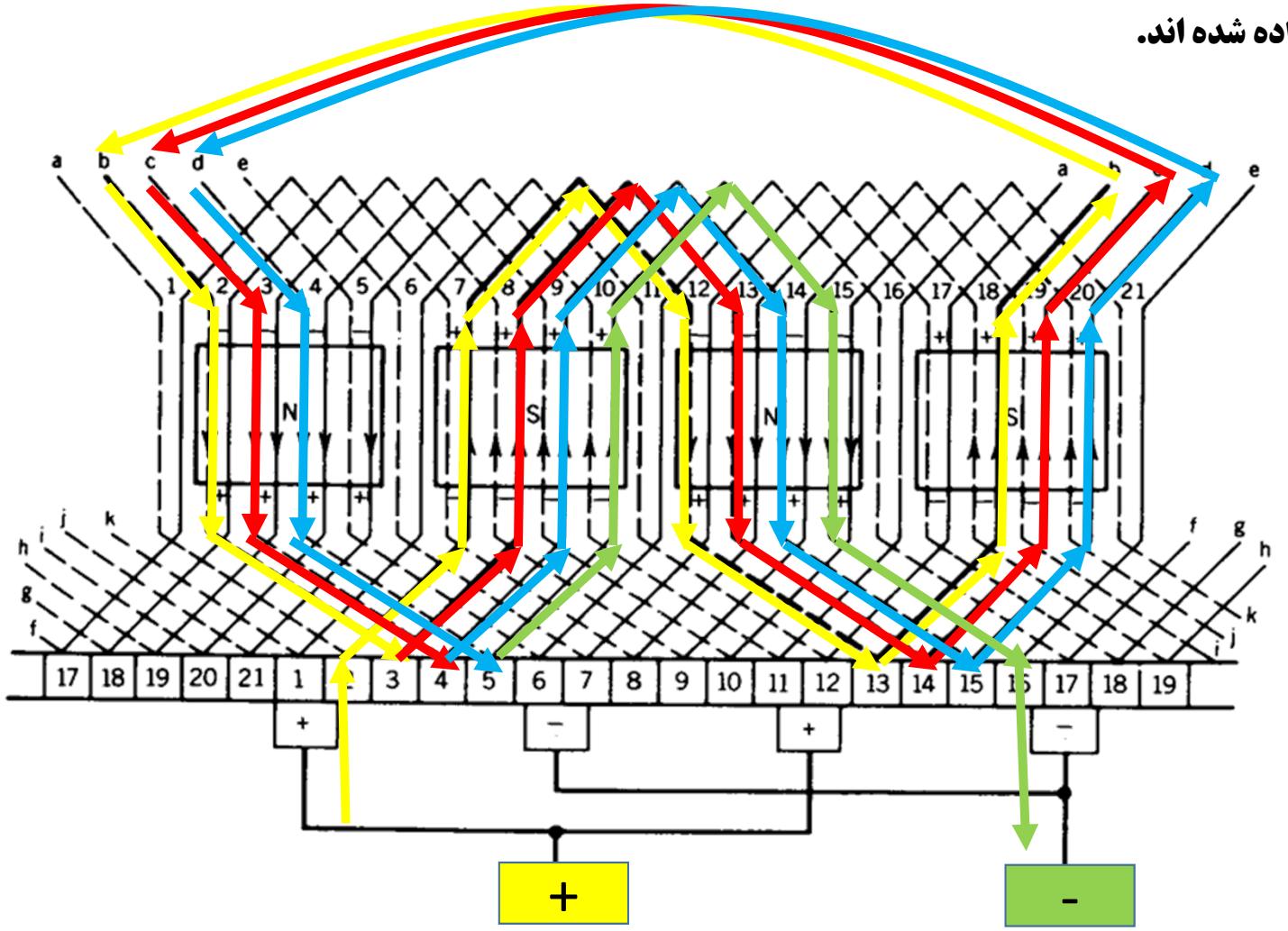
سیم پیچی موجی

شکل زیر سیم پیچی حلقوی یک آرمیچر ماشین DC را به طور گسترده نشان می دهد. در این شکل تیغه های کموتاتور و جاروبکها نیز نشان داده شده اند.

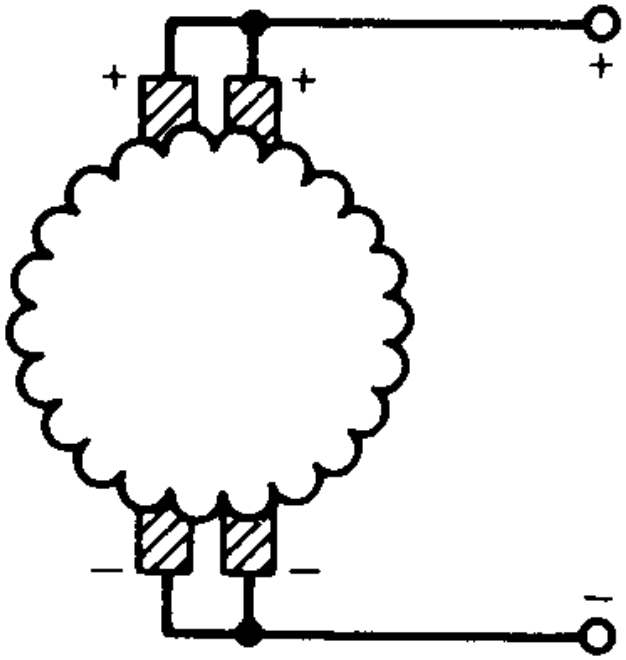


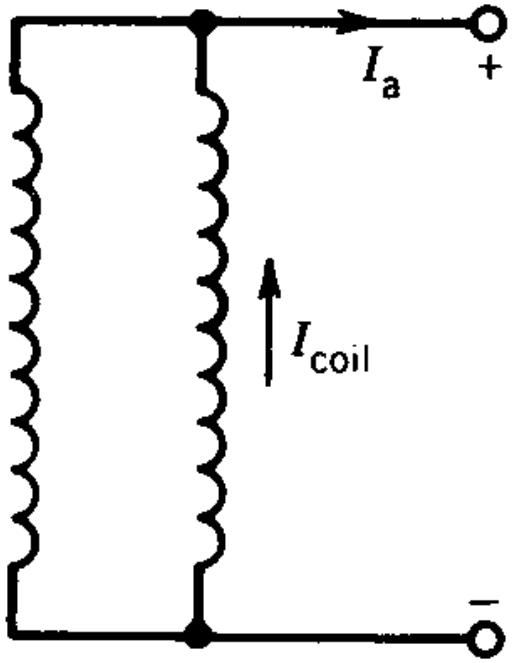
سیم پیچی موجی

شکل زیر سیم پیچی حلقوی یک آرمیچر ماشین DC را به طور گسترده نشان می دهد. در این شکل تیغه های کموتاتور و جاروبکها نیز نشان داده شده اند.



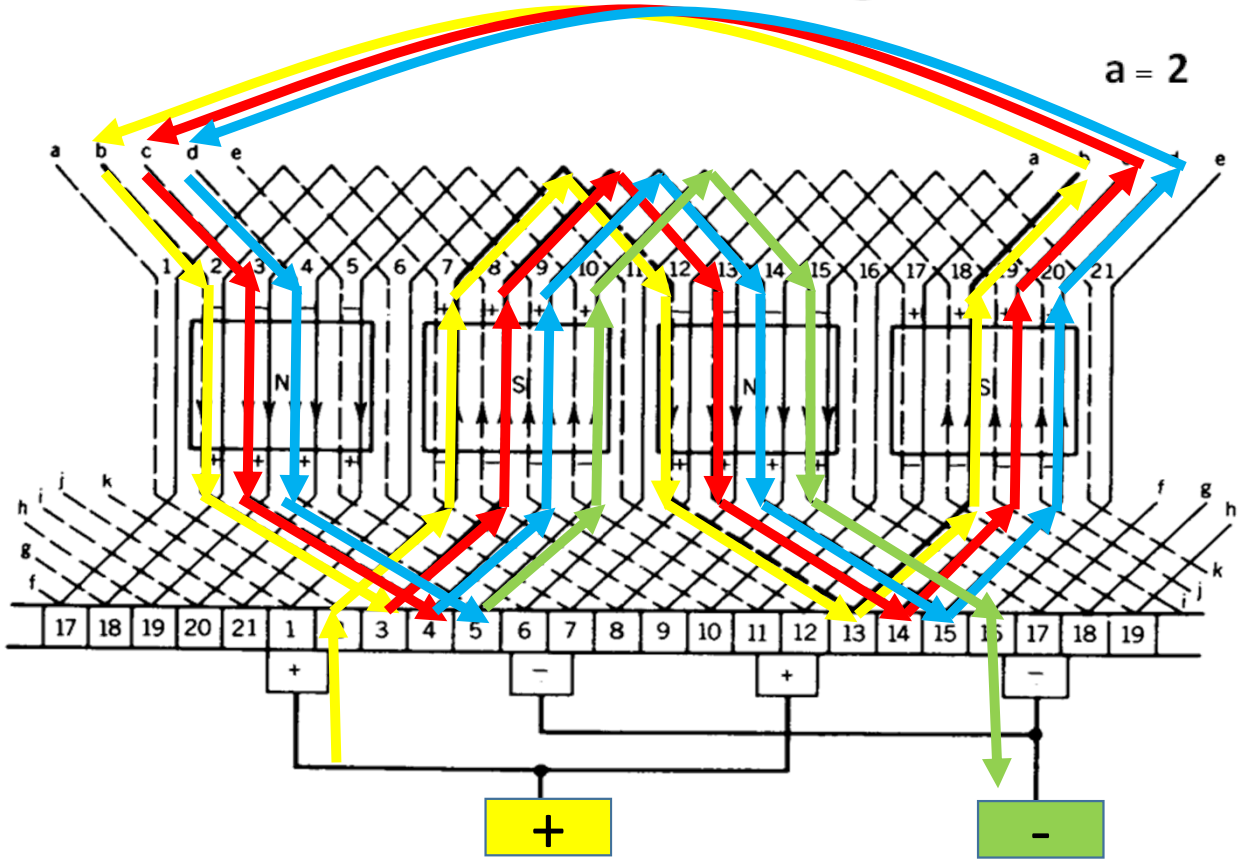
سیم پیچی موجی

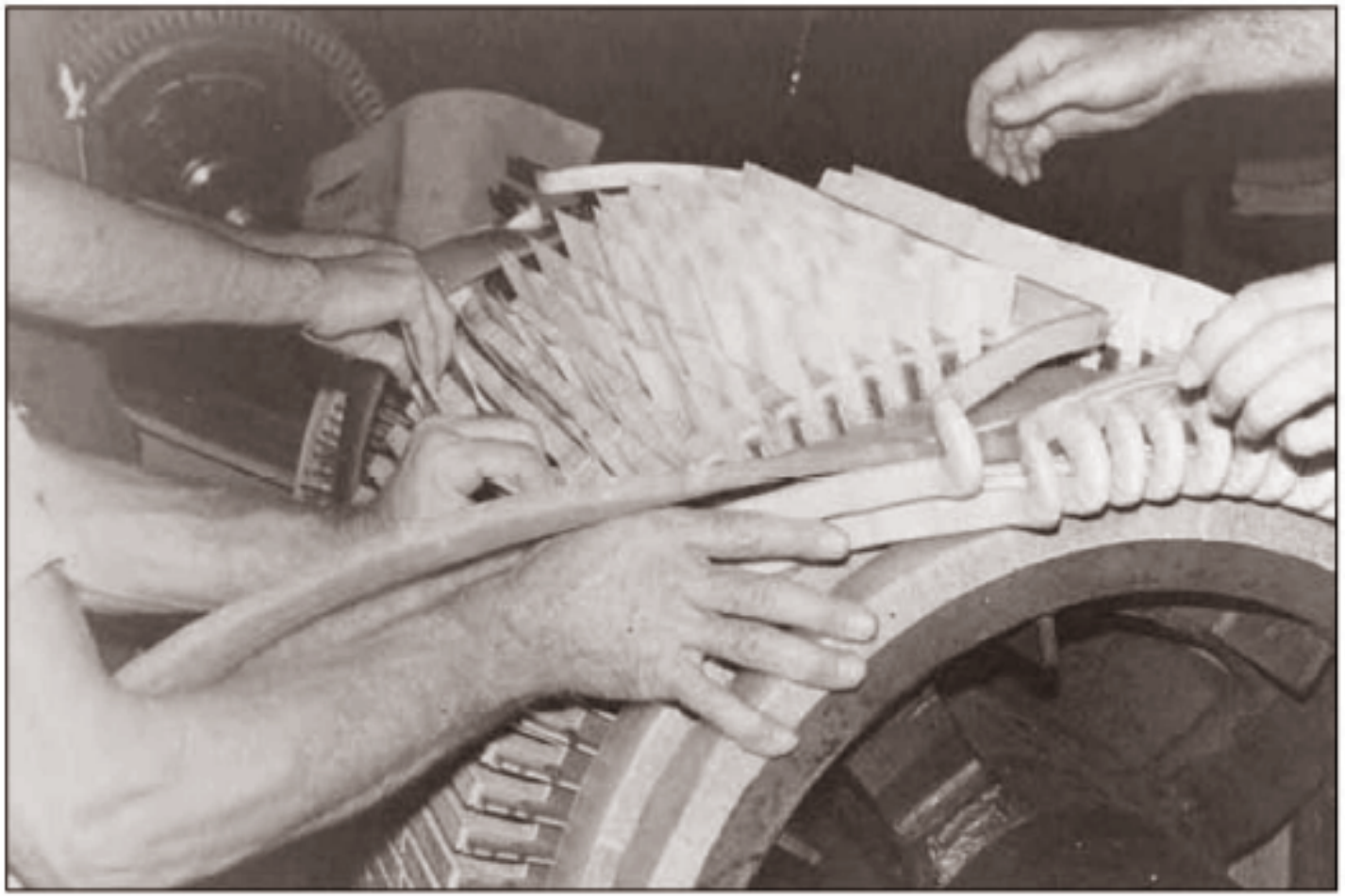




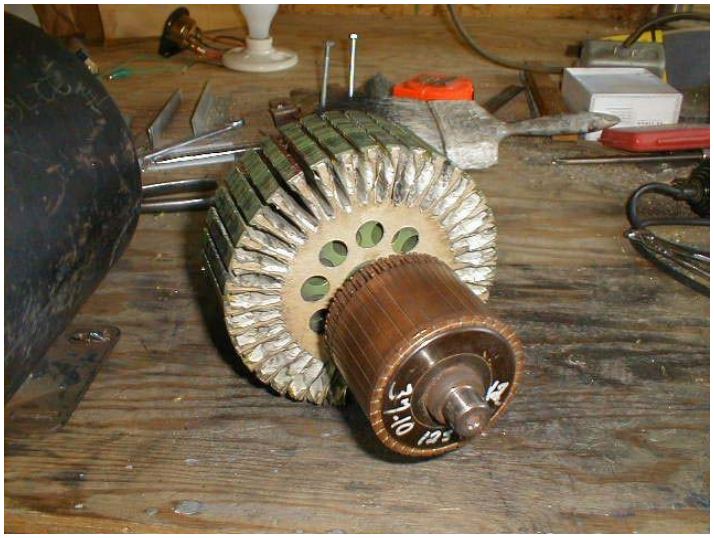
سیم پیچی موجی

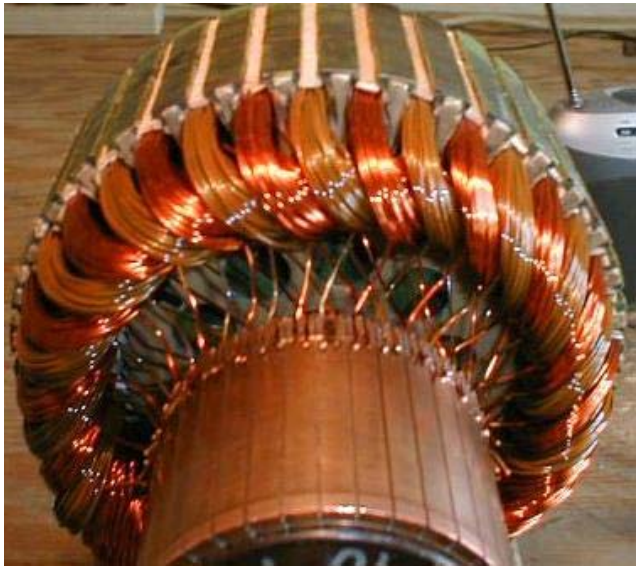
- میان دو تیغه کموتاتور مجاور $\frac{p}{2}$ از کلاف ها با یکدیگر سری می شوند
- در میان دو جاروبک مجاور ، یعنی نیمی از کلاف ها قرار می گیرند. این امر نشان می دهد که در سیم پیچی موجی کلاف ها در دو مسیر جریان مرتب می گردند .

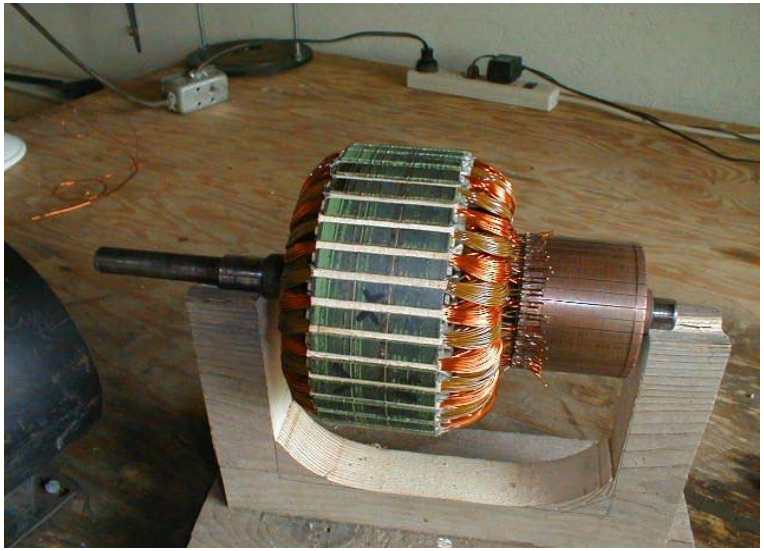




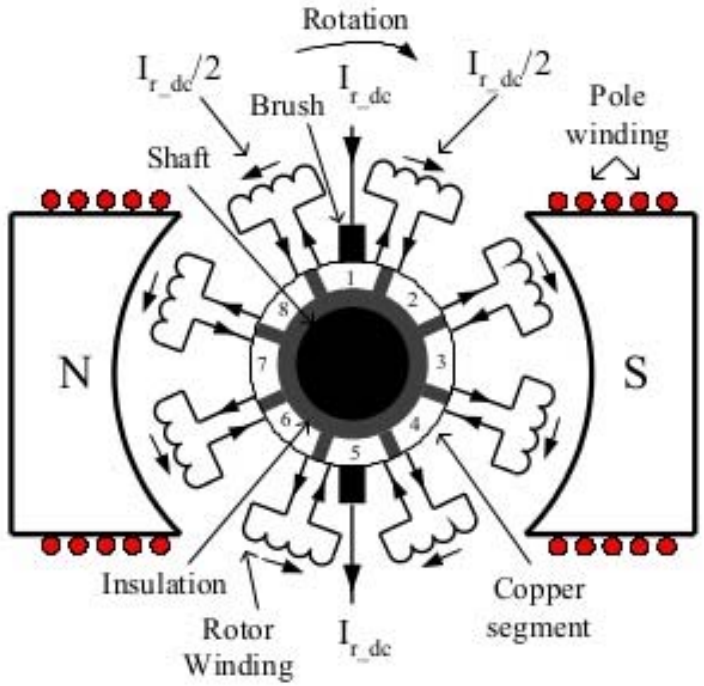
The installation of preformed rotor coils on a dc machine rotor.





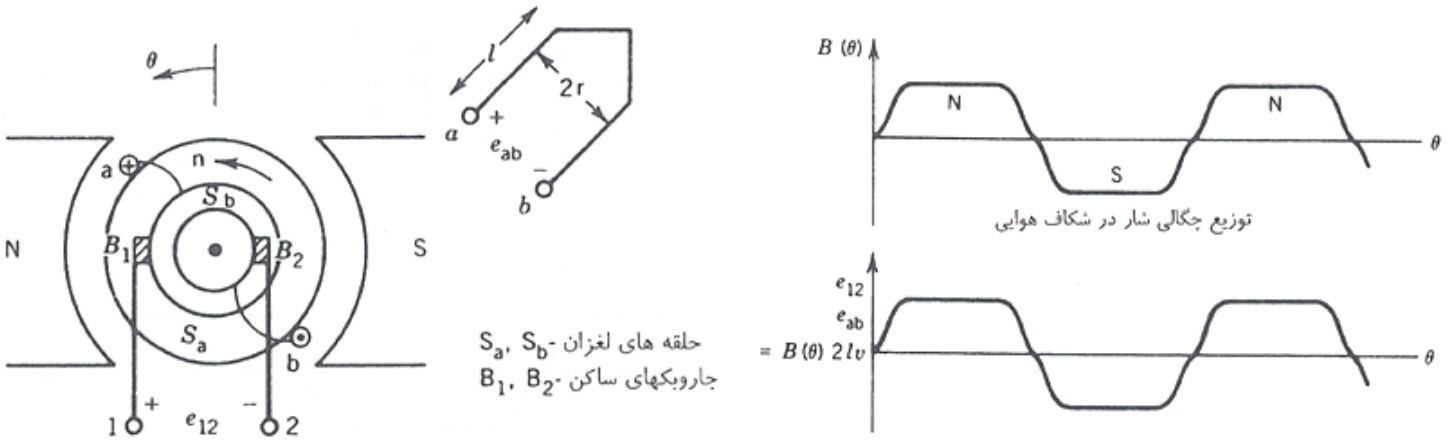


DC Machine Construction



ولتاژ آرمیچر

چرخش آرمیچر در میدان مغناطیسی ناشی از قطب های استاتور آن ولتاژ القاء می شود.



ولتاژ القایی در حلقه ab:

$$e_t = 2B(\theta) l \omega_m r$$

l: طول هادی در شیاری آرمیچر

ω_m: سرعت مکانیکی

r: فاصله هادی تا مرکز آرمیچر

مقدار متوسط ولتاژ القایی در حلقه به قرار زیر است :

$$\overline{e_t} = 2\overline{B(\theta)} l \omega_m r$$

φ = شار هر قطب

A = مساحت به ازاء هر قطب = $\frac{2\pi r l}{p}$

$$\overline{B(\theta)} = \frac{\varphi}{A} = \frac{\varphi p}{2\pi r l}$$

پس :

$$e_t = \frac{\varphi p}{\pi} \omega_m$$

ولتاژهای القایی در کلیه کلاف های سری شده در یک مسیر موازی بین جاروبکهای مثبت و منفی در مقدار متوسط ولتاژ پایانه (E_a) مشارکت داشته و سهیم هستند . اگر N تعداد کل حلقه های سیم پیچی آرمیچر و a تعداد مسیرهای موازی در نظر گرفته شود. پس :

$$E_a = \frac{N}{a} \bar{e}_t$$

از روابط بالا داریم :

$$E_a = \frac{Np}{\pi a}\varphi\omega_m = K_a\varphi\omega_m$$

به سهولت داریم:

$$K_a = \frac{Np}{\pi a}$$

K_a ضریب ثابت آرمیچر یا ضریب ثابت ماشین DC است و آن را می توان چنین نوشت :

$$K_a = \frac{Zp}{2\pi a}$$

Z کل تعداد هادی های سیم بندی آرمیچر است.

ولتاژ القایی به دست آمده در بالا هم مربوط موتور DC و هم مربوط به ژنراتور DC می گردد. در حالت ژنراتور به آن ولتاژ تولید شده یا نیروی محرکه الکتریکی (EMF) می گویند. در حالت موتوری به E_a نیروی الکتروموتوری برگشتی یا نیروی ضد محرکه گفته می شود.

گشتاور الکترومغناطیسی حاصله

گشتاور بخاطر عبور جریان از آرمیچر و میدان مغناطیسی ناشی از قطب های استاتور حاصل می شود

نیروی اعمال شده که بر هادی:

$$F_c = B(\theta) l i_c = B(\theta)\, l\, \frac{I_a}{a}$$

i_c جریان هادی در سیم پیچی آرمیچر است و I_a جریان پایانه آرمیچر می باشد.

گشتاور حاصله توسط هادی به قرار زیر است :

$$T_c = F_c r$$

گشتاور متوسطه حاصله توسط هادی به قرار زیر است

$$\overline{T_c} = F_c r = B(\theta)\, l\, \frac{I_a}{a}\, r$$

بنابراین داریم :

$$\overline{T_c} = \frac{\varphi p I_a}{2\pi a}$$

تمامی هادی های سیم پیچی آرمیچر گشتاورهای هم سو پدید می آورند، از این رو همگی در گشتاور متوسط شرکت می کنند. کل گشتاور حاصله به قرار زیر است :

$$T = 2N\overline{T_c}$$

داریم :

$$T = \frac{N\varphi p}{\pi a} I_a = K_a \varphi I_a$$

از اینرو برای توان مکانیکی داریم:

$$E_a I_a = K_a \varphi \omega_m I_a = T\omega_m$$

از این رابطه در می یابیم که توان الکتریکی به توان مکانیکی و بالعکس قابل تبدیل است.

مثال:

یک ماشین DC چهار قطبی مفروض است و داریم :

سانتیمتر ۱۲/۵ = شعاع متوسط آرمیچر

سانتیمتر ۲۵ = طول موثر آرمیچر

قطب ها ۷۵ درصد محیط آرمیچر را می پوشاند. سیم پیچی آرمیچر از ۳۳ کلاف تشکیل شده و هر کلاف هفت حلقه دارد (کلاف هفت دوری). کلاف ها در ۳۳ شیار جای گرفته اند. چگالی شار متوسط در زیر هر قطب ۰/۷۵ تسلا است . برای سیم پیچی های حلقوی و موجی محاسبه کنید:

الف : ضریب ثابت Ka را حساب کنید.

ب : اگر آرمیچر با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه بچرخد، ولتاژ القاء شده در آرمیچر چقدر است.

ج : اگر جریان آرمیچر ۴۰۰ آمپر باشد، جریان کلاف ها و گشتاور الکترومغناطیسی حاصله را حساب کنید.

د : توان حاصله توسط آرمیچر را بیابید.

۱-سیم بندی حلقوی

الف) محاسبه ضریب ثابت K_a

$$K_a = \frac{np}{\pi a} = \frac{Z}{2a}\frac{p}{\pi} \quad , \quad Z = 2 \times 33 \times 7 = 462 \ , \quad a = p = 4$$

$$K_a = \frac{462 \times 4}{2 \times 4 \times \pi} = 73.53$$

قطب ها ۷۵ درصد محیط آرمیچر را می پوشاند.

ب) محاسبه ولتاژ القاء شده در آرمیچر

سطح هر قطب $A_p = \frac{2\pi \times 0.125 \times 0.25 \times 0.75}{4} = 36.8 \times 10^{-3} m^2$

$$\varphi = A_p \times B = 36.8 \times 10^{-3} \times 0.75 = 0.0276 \, W_b$$

$$E_a = K_a \varphi \omega_m = 73.53 \times 0.0276 \times \frac{1000}{60} \times 2\pi = 212.5 \, V$$

ج) محاسبه جریان کلاف ها و گشتاور الکترومغناطیسی

$$I_{coil} = \frac{I_a}{a} = \frac{400}{4} = 100A$$

$$T = K_a \varphi I_a = 73.53 \times 0.0276 \times 400 = 811.8 N.m$$

د) محاسبه توان حاصله توسط آرمیچر

$$P_a = E_a I_a = 215.5 \times 400 = 85.0 \quad KW$$

$$P_a = T\omega_m = 811.8 \times \frac{1000}{60} \times 2\pi = 85.0 \quad Kw$$

۲- سیم پیچی موجی

الف) محاسبه ضریب ثابت Ka

$$p = 4, a = 2, Z = 462 \qquad K_a = \frac{462 \times 4}{2 \times 2 \times \pi} = 147.06$$

ب) محاسبه ولتاژ القاء شده در آرمیچر

$$\omega_m = \frac{1000}{60} \times 2\pi = 104.67 \ \ rad/sec$$

$$\mathrm{E_a} = 147.06 \times 0.0276 \times 104.67 = 425\ V$$

ج) محاسبه جریان کلاف ها و گشتاور الکترومغناطیسی

$$I_{coil} = 100A$$

$$I_a = 2 \times 100 = 200A$$

$$T = 147.06 \times 0.0276 \times 200 = 811.8\ N.m$$

د) محاسبه توان حاصله توسط آرمیچر

$$P_a = 425 \times 200 = 85.0 \quad kw$$

مقایسه عملکرد سیم پیچی موجی و مجاور

- ✓ نوع سیم پیچی در مشخص توانماشین تاثیری ندارد
- ✓ در سیم پیچی مجاور جریان اسمی زیاد است ولی ولتاژ القاء شده کم
- ✓ در سیم پیچی موجی ولتاژ القاء شده زیاد است ولی جریان اسمی کم
- ✓ درسیم پیچی مجاور تعداد مسیرهای موازی برابر تعدادقطب های ماَشین است
- ✓ در سیم پیچی موجی تعداد مسیرهای موازی و تعداد زغالها همیشه دو عدد اســت در صــورتیکه در سیم پیچی مجاور تعداد زغالها متناسب با تعداد مسیرهای موازی افزایش می یابد

منحنی مغناطیس شوندگی یا اشباع در ماشین های DC

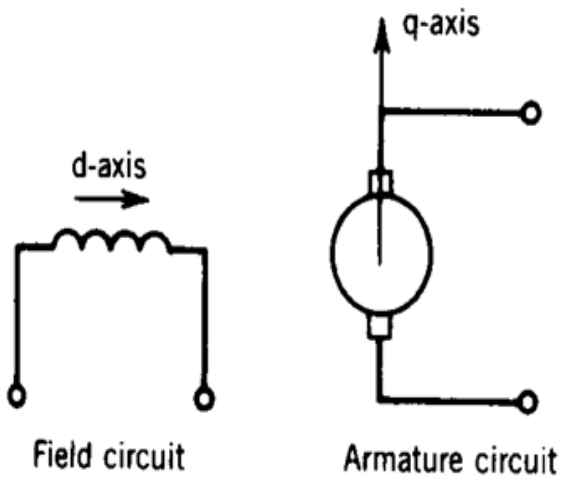
ماشین های DC حاوی دو مدار جداگانه است. یک مدار میدان مغناطیسی را تشکیل می دهد و مدار دوم همان سیم پیچی آرمیچر است. نیروی محرکه مغناطیسی (mmf) ناشی از این دو مدار متعامد می باشند. mmf میدان ناشی از قطب ها در امتداد محور d و mmf حاصله از آرمیچر در راستای محور q است.

در ماشین DC شار هر قطب به عوامل زیر بستگی دارد :

۱- نیروی محرکه مغناطیسی (mmf) ناشی از قطب که با F_p آن را نشان می دهیم.

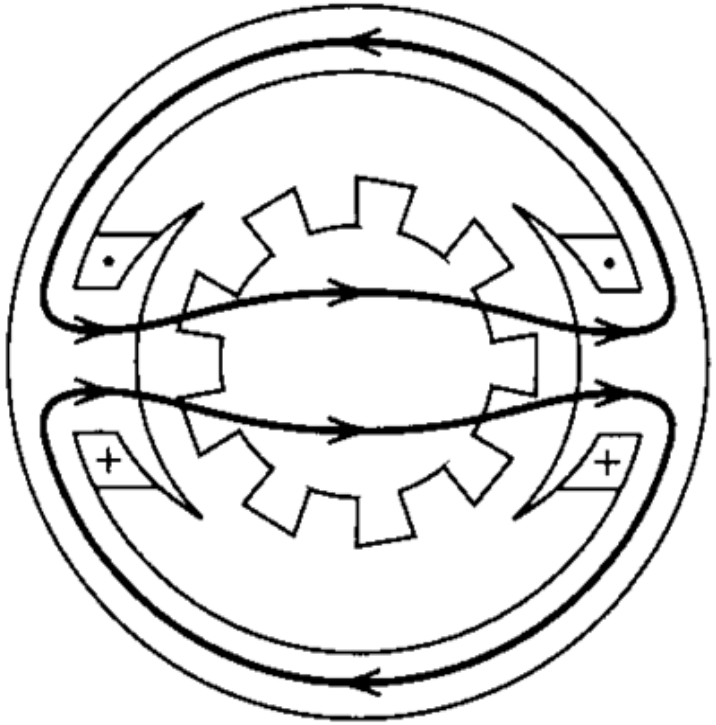
۲- مقاومت مغناطیسی (رلوکتانس) مسیر مغناطیسی یا R.

F_p را سیم پیچی میدان که بر روی قطب ها استوار است پدید می آورد.



مدار مغناطیسی یک ماشین DC دو قطبی:

شار از قطب عبور کرده و از شکاف هوایی می گذرد و از طریق دندانه رتور وارد رتور می شود. شار از طریق دندانه رتور از رتور خارج شده و از طرف شکاف هوایی به قطب مخالف وارد می گردد. سپس شار از طریق یوغ استاتور باز می گردد.



۱– R_y رلوکتانس مسیر مغناطیسی در یوغ استاتور

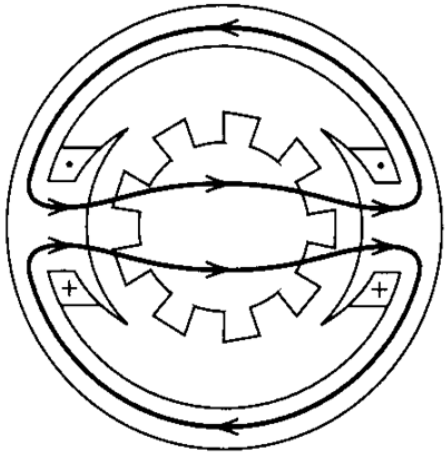
۲– R_p رلوکتانس مسیر مغناطیسی هر قطب

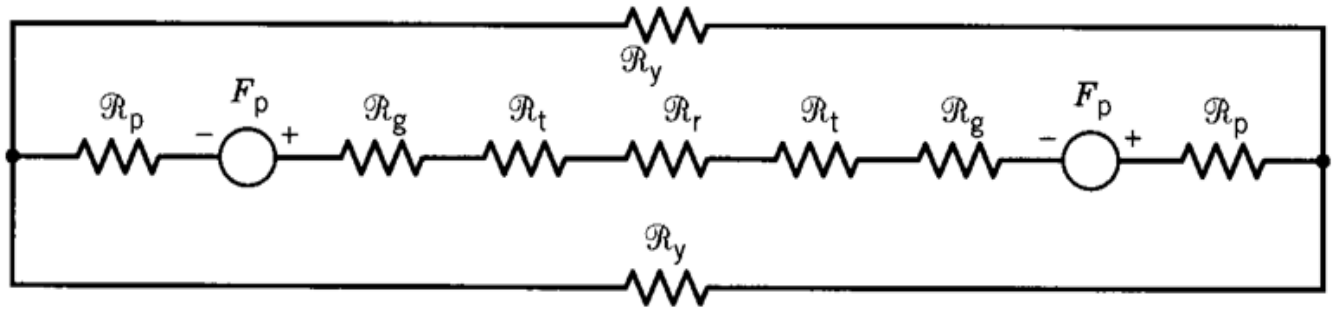
۳– R_g رلوکتانس شکاف هوایی

۴– R_t رلوکتانس مربوط به دندانه رتور

۵– R_r رلوکتانس مربوط به رتور

۶– F_p نیروی محرکه مغناطیسی یا mmf یا آمپر دور حاصله توسط هر قطب





مدار مدار معادل مغناطیسی یک ماشین DC دو قطبی

منحنی مغناطیس شوندگی

- شار عبوری از فاصله هوایی در زیر هر قطب (φ) به mmf حاصله از قطب یا F_p بستگی دارد.
- و لذا φ به جریان تحریک (جریان سیم پیچی میدان قرار داشته بر روی قطب) وابسته است.
- ولتاژ القاء شده در سیم پیچی آرمیچر به حاصل ضرب شار و سرعت بستگی دارد.
- منحنی تغییرات ولتاژ آرمیچر (E_a) بر حسب F_p تحت سرعتی خاص، منحنی مغناطیس شوندگی گویند.
- تغییرات E_a بر حسب I_f (جریان تحریک) را نیز می توان رسم شده است. (F_p متناسب با I_f است).