

درس: ماشین الکتریکی ۱

مدرس: دکتر یوسف علی نژاد برمی

توجه - توجه - توجه

- ۱- تمرینات باید با نام و نام خانوادگی و شماره دانشجویی شروع شود.
- ۲- در صورت تمرین بایستی شماره جلسه (اینکه تمرین از کدام جلسه درس است) و شماره تمرین و صورت مساله به طور کامل نوشته شود
- ۳- هم تمرینات حل شده و هم حل نشده بایستی در تمرینات باشد
- ۴- تمرینات دو فصل قبل از ابتدا تا انتها بایستی به ترتیب نوشته شود
- ۵- مهم: اگر هم تمرین حل شود و هم به صورت جزوه مطالب درسی بازنویسی شود علاوه بر نمره تمرین به شما ۲ نمره هم به خاطر جزوه تمیز داده می شود
- ۶- مهم: اگر دو یا چند تمرین ارسال شده همه اشتباهاتی که در تمرینها هستش یک سان باشد به معنای از هم کپی کردن می باشد و به هر دو یا هر سه و یا نمره داده نمی شود.
- ۷- تمرینات بایستی با دست نوشته و حل گردد.
- ۸- همه صفحات تمرین بایستی در کنار هم قرار گرفته و شماره صفحه داشته باشد و به صورت یک فایل PDF ارسال گردد.
- ۹- اگر تمرینات در داخل جزوه ای که خلاصه درس ها را پوشش می دهد باشد نمره قابل توجه ای به دانشجو تعلق می گیرد
- ۱۰- همه تمریناتی که تا کنون ارسال شده ناقص است بایستی اصلاح و مجدداً ارسال گردد

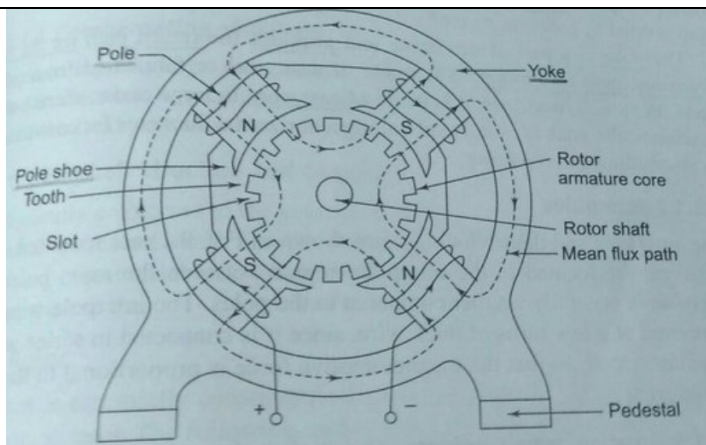
ممنون موفق باشید

فصل سوم

بررسی اجزای تشکیل دهنده ماشین DC

جلسه سوم

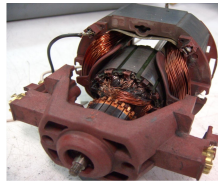
در این جلسه می پردازیم به بررسی و وظایف اجزای تشکیل دهنده ماشینهای DC



نمایش اجزای مختلف ماشین DC

مطالب این جلسه به شرح زیر است:

- ۱- استاتور و آرمیچر و اجزای آن ها
- ۲- سیم بندی استاتور و آرمیچر و نحوه اجرای آن
- ۳- کموتاتور و اجزا و وظیفه هر کدام
- ۴- کموتاسیون در ماشینهای DC و مسایل مربوط به آنها
- ۵- عکس العمل آرمیچر



STATOR

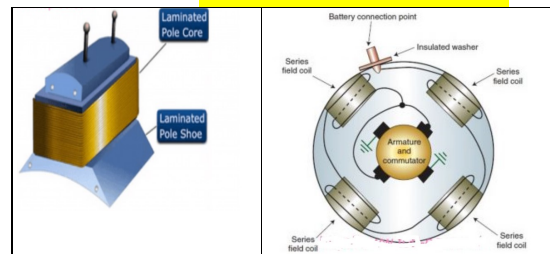
As the name signifies *stator* means the part which does not move or the stationary part of the DC machine. Stator is mainly constituted of **yoke, field poles, pole shoe, field windings etc.**

- **Yoke** is the outer covering of the DC machine. Its main function is to provide the mechanical support and the return path to flux. In large machines, yoke is composed in two halves while for smaller machine in single form.
- **Field poles** are usually laminated in order to reduce the eddy current loss. Its main function is to setup the necessary flux and to provide the support to the field windings.
- **Pole shoes** have surface area larger than the poles and are always laminated to reduce eddy current losses. Pole shoes are jointed over the poles by of screws. It provide support to the field windings.
- **Field windings** are the wires or coils which remain wound over the poles in the DC machine. When current flows through the windings it acts like a electromagnet. It remains connected with the armature either in series or in parallel according to the type of DC machine.
- **Brushes** it connects the rotating armature and the external circuit. Brushes are employed to collect current from the commutator and deliver it to the load. These are rectangular in shape and made of carbon graphite.

الف) استاتور: قسمت ساکن ماشین DC است. از

اجزای زیر تشکیل شده است:

- ۱- یوگ (Yoke)
- ۲- قطبهای میدان (Field poles)
- ۳- کفش قطبها (Pole shoes)
- ۴- سیم پیچهای تحریک (Field windings)
- ۵- جاروبکها یا زغالها (Brushes)



Pole shoe is a lamination of annealed steel made of cast iron or cast steel but it's used to:

- Enlarge the pole area and reduce the reluctance of the magnetic path.
- Provide more spread out of flux in the air gap.

ROTOR

The rotor is constituted of an **armature core, armature windings** and a **commutator**.

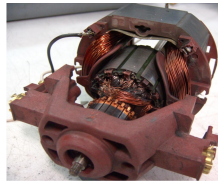
- **Armature core** is the rotating part of the DC machine. It is made up of thin lamination having thickness about 0.35–0.5 mm. In order to reduce eddy current losses the laminations are insulated from each other by polish or varnish. Slots are cut on the upper periphery of the core. The slots are usually placed parallel to the axis of armature but sometimes skewed at an angle to reduced the vibrations of the teeth.
- **Armature windings** are wires or coils which are wound on the armature core and placed inside the slots of the core. The armature winding coil ends are connected to the commutator segments.
- **Commutator** plays a very important role in the DC machine. Its main function is to convert the ac voltage induced in the armature windings to the DC voltage in the external circuit, in case of generator operation and to produce the unidirectional torque in case of motor operation. The ends of the armature coils are joined to the commutator consisting of a small wedge-shaped segment. Commutator segments are insulated from each other by the layers of mica strips. The segments are assembled side by side to form a ring. The commutator is pressed onto the shaft.

ب) روتور: قسمت دوار ماشینهای DC است که آرمیچر نامیده می شود از اجزای زیر تشکیل شده است:

- ۱- هسته آرمیچر (Armature core)
- ۲- سیم پیچی آرمیچر (Armature windings) که جزو اجزای مهم یک ماشین DC است.
- ۳- کموتاتور (Commutator) که نقش اساسی در تبدیل ولتاژ القایی سیم پیچی آرمیچر گردان که به شکل AC است به DC و انتقال آن به خارج از ماشین



سیم بندی ها در یک ماشین DC



انواع سیم بندی در ماشینهای DC عبارتند از:

۱- سیم پیچ تحریک ←

وظیفه این سیم پیچ تولید شار مغناطیسی است و در ماشینهای DC از کلاف های N دوری تشکیل شده است که بر روی قطبهای استاتور قرار داده می شود و عمدتاً با هم سری و یا موازی گردیده و توسط جریان I_f تغذیه گردیده و طبق رابطه اساسی $F_{mmf} = NI_f = \Phi R_m$ شار مغناطیسی مورد نیاز ماشین برای تبدیل انرژی را فراهم می آورد. همانطور که دیدیم ساختمان بسیار ساده دارد.

۲- سیم پیچ آرمیچر ←

همانطوریکه قبلاً اشاره شد سیم بندی آرمیچر یک ماشین DC از مهمترین اجزاء ماشینهای جریان مستقیم می باشد وظیفه القای نیروی محرکه و القای نیرو در ماشین را به عهده دارد و اجرای آن از پیچیدگی های خاصی برخوردار است و بایستی برای اجرای آن از اصول و قواعد خاصی پیروی شود. همچنین سهم بزرگی در انجام عمل تبدیل انرژی دارد. از این جهت در عملی کردن آن بایستی نکات زیر مورد توجه خاص قرار گیرد:

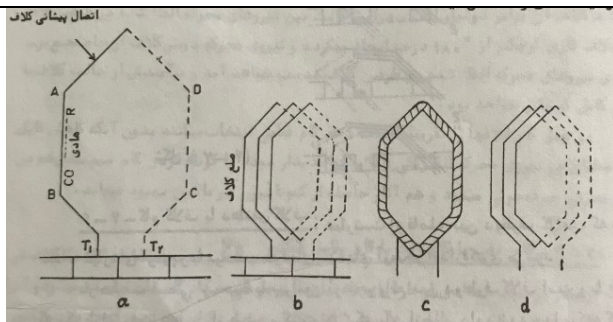
الف) از مواد بکار برده شده جهت ساختن آن حداکثر استفاده گردد تا سعی شود وزن در حداقل ممکن مانده و راندمان مطلوبترین مقدار را داشته باشد.

ب) کار ماشین را از نقطه نظر مکانیکی و حرارتی و الکتریکی برای مدت قابل ملاحظه ای حدوداً ۱۶ الی ۲۰ سال تضمین نماید.

ج) از نقطه نظر آثار حاصل از کموتاسیون رضایت بخش باشد.

در اینجا سیم بندی در آرمیچر یک ماشین DC به تفصیل شرح داده می شود.

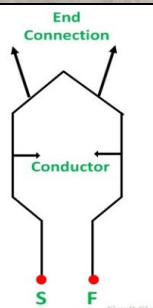
در ابتدا می پردازیم به اصطلاحات و واژه های (Winding terminology) مربوط به سیم بندی آرمیچر



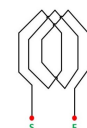
۱- هادی (Conductor): ← طولی از یک سیم را که در میدان مغناطیسی قرار می گیرد و در آن نیروی محرکه الکتریکی القاء می گردد (طول AB و یا CD در شکل مقابل).

۲- دور (Turn): ← دور یا حلقه از یک هادی رفت و یک هادی برگشت تشکیل شده است (مانند T_1BADCT_2) در شکل مقابل.

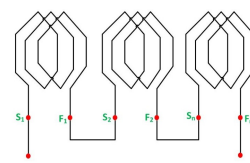
۳- کلاف (Coil): ← کلاف یا جزء اولیه سیم پیچ آرمیچر از تعدادی دور (از یک دور تا N دور) تشکیل شده است (مانند آنچه در شکلهای b یا c و یا d دیده می شود).



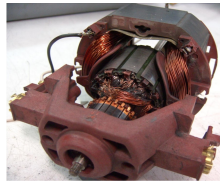
The figure of the coil is shown below.



The figure of the winding is shown below.



The beginning of the turn or coil is identified by the symbol (S) meaning Start, and the end of the turn or coil is represented by the symbol (F) meaning Finish.



درس: ماشین الکتریکی ۱

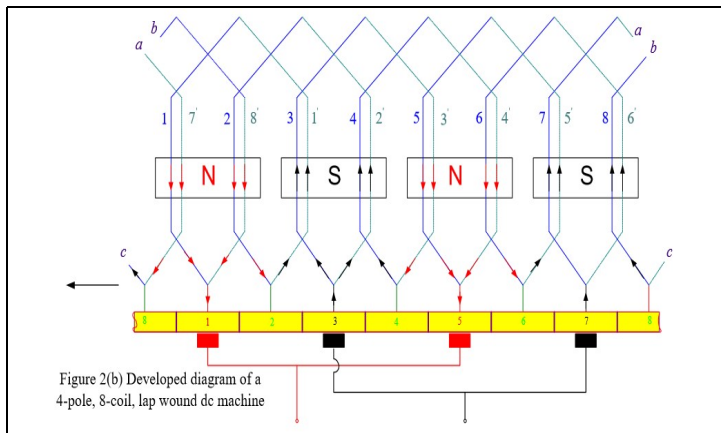
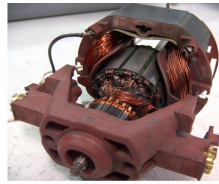
مدرس: دکتر یوسف علی نژاد برمی

	۴- گام کلاف یا دهانه کلاف (Coil Pitch): ← عبارتست از فاصله بین دو طرف کلاف که بر حسب تعداد شیارهای آرمیچر اندازه گیری می شود. ۵- گام قطب (Pole Pitch): فاصله بین مرکز تا مرکز دو قطب مجاور استاتور که بر حسب تعداد شیار اندازه گیری می شود. توجه: در صورتیکه گام کلاف با گام قطب برابر باشد سیم پیچی را با گام کامل می نامند در غیر این صورت سیم پیچی را با گام کوتاه می نامند.
Pole Pitch It is the distance on the armature periphery between two adjacent poles. We usually measure it in terms of armature slots per pole. That means, if a DC generator has four magnetic poles and it has 48 armature slots, then slots per pole of the generator will be 12. Hence, this 12 is nothing but pole pitch of the generator.	۶- گام عقب یا گام رفت (Back Pitch Y_B): فاصله ای که یک کلاف در عقب آرمیچر (بر حسب تعداد شیار) طی می کند گام عقب نامیده می شود. و با Y_B نمایش می دهند. ۷- گام جلو یا گام برگشت (Front Pitch Y_F): فاصله بین یک طرف برگشت و یک طرف رفت بلافاصله بعد از طرفی که به این طرف برگشت وصل شده است. ۸- گام برآیند (Resultant Pitch Y_R): عبارتست از فاصله بین ابتدای یک کلاف و ابتدای کلاف بعدی ای که به تیغه های مجزا از هم وصل شده اند و امکان سری شدن کلاف ها را فراهم می سازند. در سیم بندی حلقوی $Y_R = Y_B - Y_F$ و در سیم بندی موجی $Y_R = Y_B + Y_F$ می باشند ۹- گام کلکتور یا گام کموتاتور (Commutator Pitch Y_C): عبارتست از فاصله بین تیغه هایی از کموتاتور که دو سر یک کلاف به آنها وصل شده است.

بعد از تعاریف اصطلاحات و واژه های فوق حال می پردازیم به انواع سیم بندی آرمیچر ماشین های DC

در طراحی سیم بندی آرمیچر باید به نکته زیر توجه شود.

	۱- اگر قسمت رفت هر کلاف زیر قطب شمال مغناطیسی قرار دارد قسمت برگشت حتما باید زیر قطب جنوب مغناطیسی قرار گیرد تا اولاً دو نیروی محرکه القاء شده با هم جمع گردد یا دو نیروی القاء شده در دو جهت مخالف باشد و باعث تولید گشتاور گردد.
--	---

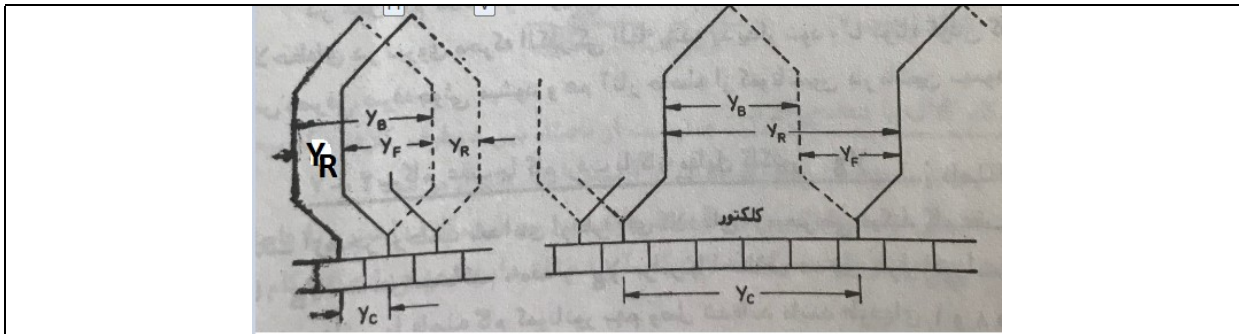


۲- قبل از اجرای سیم بندی نقشه اجرایی سیم بندی ترسیم گردد تا اجرای آن به سهولت انجام پذیرد.

انواع سیم بندی آرمیچر ماشین های DC:

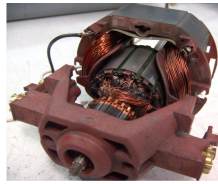
دو نوع اساسی سیم بندی آرمیچر عبارتند از:

- ۱- نوع حلقوی (Lap Winding): این نوع سیم بندی به دو روش ساده و مرکب انجام می شود
 - ۲- نوع موجی (Wave Winding): این نوع سیم بندی هم به دو روش ساده و مرکب انجام می شود
- اختلاف این دو سیم بندی ناشی از تفاوتی است که در نتیجه نوع اتصال سر کلاف ها به کلکتور حاصل می شود.



در تمامی این سیم بندیها:

- ۱- گام جلو و گام عقب تقریباً مساوی گام قطب می باشند یعنی سیم بندی با گام کامل. (در نتیجه نیروی محرکه القاء شده در کلافها افزایش می یابد). سیم بندی با گام کوتاه در مواد خاص استفاده می شود.
- ۲- هر دو گام جلو و عقب بایستی باید عدد فرد باشند تا عمل سیم بندی در روی آرمیچر آنچنان انجام شود که همواره یک طرف از یک کلاف در بالای شیار و طرف دیگر آن در زیر شیار قرار بگیرند. در حالیکه اگر زوج باشند این امکان بوجود نمی آید.
- ۳- تیغه های کموتاتور برابر با تعداد شیارها یا تعداد کلافها یا نصف تعداد طرفهای کلافها می باشد.
- ۴- سیم بندی بایستی با در نظر گرفتن گام رفت و گام برگشت یک یا چند مدار بسته را بوجود آورد. (یا به طور حلقوی یا موجی).
- ۵- سیم بندی اگر یک مدار بسته را به وجود آورد آنرا ساده و اگر چند مدار بسته را به وجود آورد آنرا مرکب می گویند.



Lap Winding: This type of winding is used in dc generators designed for high-current applications. The windings are connected to provide several parallel paths for current in the armature. For this reason, lap-wound armatures used in dc generators require several pairs of poles and brushes.

کاربرد: در مولدهای DC با ولتاژ کم و جریان زیاد است و چونکه این نوع سیم بندی چند مسیر موازی را بوجود می آورد. تعداد راه جریان در این نوع سیم بندی برابر تعداد زوج قطب می باشد.

$$2a=2P$$

۱- سیم بندی حلقوی (Lap Winding): در این نوع سیم بندی همواره ابتدای یک کلاف و انتهای کلاف ماقبل آن به یک تیغه کلکتور لحیم می گردد. در نتیجه گام کلکتور آن برابر واحد می گردد.

$$Y_C = 1$$

در این سیم بندی ابتدا کلافها زوج قطب اول را کامل کرده سپس زوج قطب دوم را پوشش می دهند.

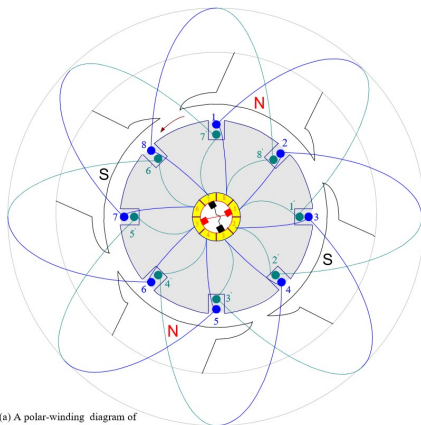


Figure 2(a) A polar-winding diagram of a 4-pole, 8-coil, lap wound dc machine

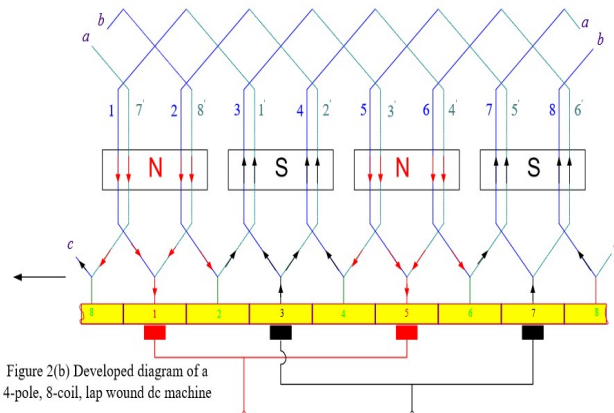


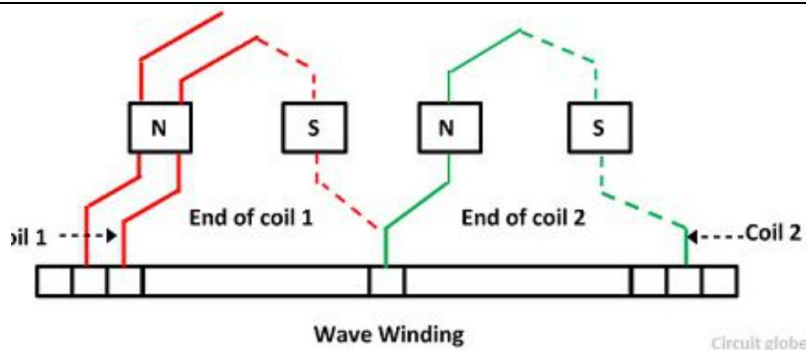
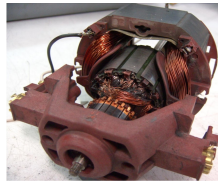
Figure 2(b) Developed diagram of a 4-pole, 8-coil, lap wound dc machine

Wave Winding: This type of winding is used in dc generators employed in high-voltage applications. Notice that the two ends of each coil are connected to commutator segments separated by the distance between poles. This configuration allows the series addition of the voltages in all the windings between brushes. This type of winding only requires one pair of brushes.

In wave winding, a conductor under one pole is connected at the back to a conductor which occupies an almost corresponding position under the next pole which is of opposite polarity. In other words, all the coils which carry emf in the same direction are connected in series. The following diagram shows a part of simplex wave winding.

۲- سیم بندی موجی:

در این نوع سیم بندی همواره ابتدای یک کلاف و انتهای کلاف ماقبل آن به یک تیغه کلکتور لحیم می گردد. در این نوع سیم بندی کلاف اول دو شیار رفت و برگشت را در اولین زوج قطب اشغال می نماید و کلاف بعدی دو شیار رفت و برگشت را در دومین زوج قطب را اشغال می کند و بعدی در سومین و ... و دوباره این حلقه تکرار می گردد.



در واقع سیم بندی همواره در یک جهت انجام می پذیرد در نتیجه گام کلکتور آن برابر واحد می گردد.

$$Y_C = Y_A = (Y_F + Y_B)/2$$

در این نوع سیم بندی:

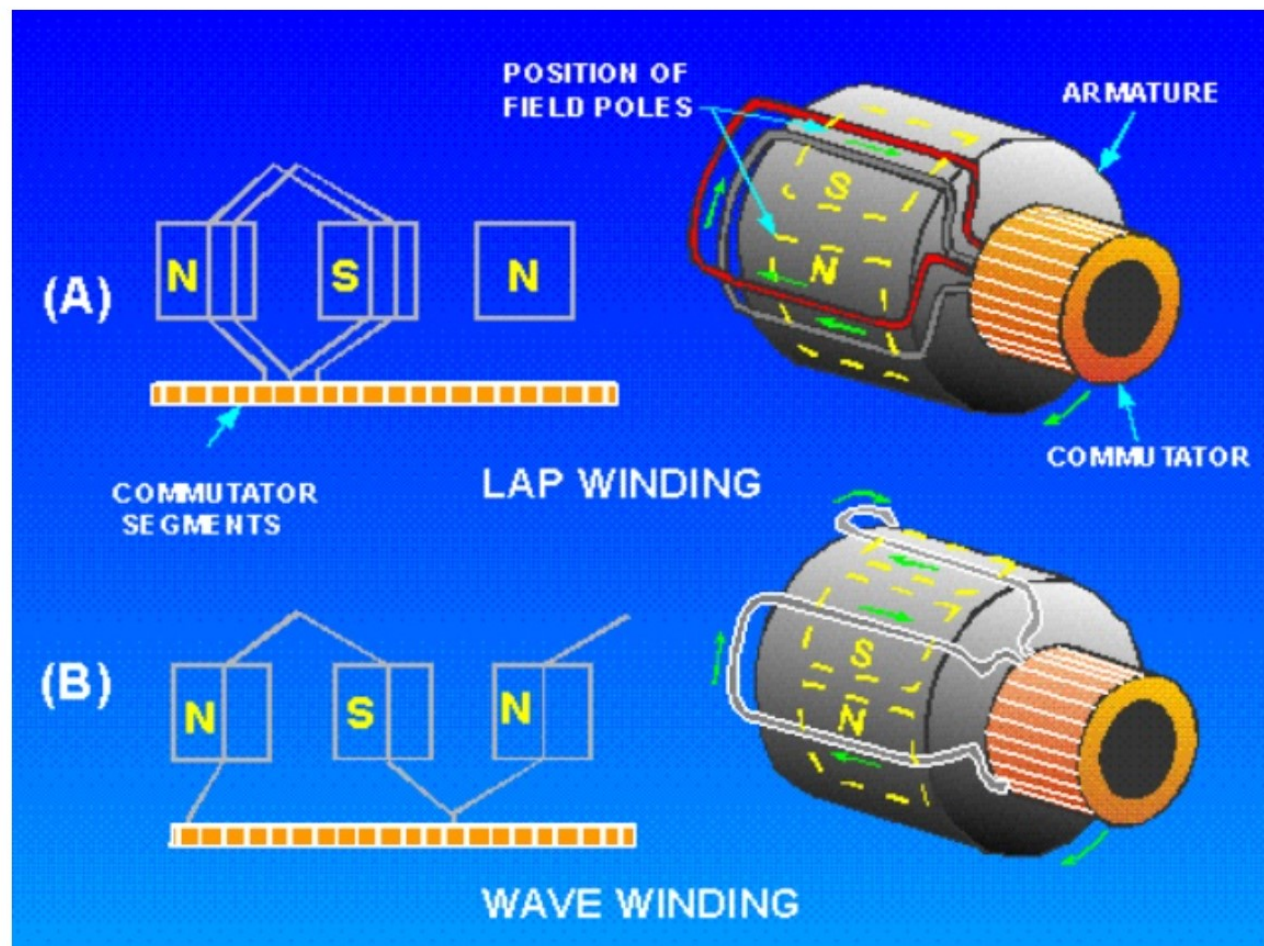
تعداد راه جریان همواره

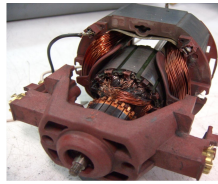
برابر ۲ است

$$2a = 2$$

Generally there are two types of Armature winding in the **DC machines**. They are classified as follow,

1. Lap winding
2. Wave winding





درس: ماشین الکتریکی ۱

مدرس: دکتر یوسف علی نژاد برمی

حل چند تمرین در خصوص سیم بندی آرمیچر:

تمرین ۱:

مثال ۱-۴: می‌خواهیم سیم‌بندی حلقوی دوطبقه‌ای ساده را با مشخصات زیر عملی‌نمائیم که در آن تعداد تیغه‌های کلکتور برابر $N_c = 16$ و تعداد کلافها برابر ۱۶ و تعداد قطبهای ماشین برابر ۴ میباشد.

حل - تعداد طرفهای کلافها: $Z = 16 \times 2 = 32$

تعداد قطبها: $2P = 4$

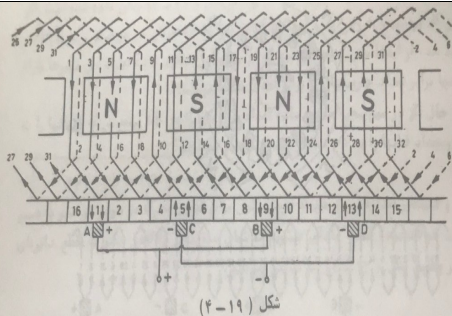
سیم‌پیچی را راست گرد انتخاب مینمائیم و چون سیم‌پیچی ساده است و گام کلکتور $Y_c = +1$ میشود.

گام قطبی آن: $Y_p = \frac{32}{4} = 8$

گام عقب سیم‌بندی: $Y_B = \frac{Z}{2P} + 1 = \frac{32}{4} + 1 = 9$

گام جلو سیم‌بندی: $Y_F = \frac{Z}{2P} - 1 = \frac{32}{4} - 1 = 7$

چون آرمیچر بفرم استوانه است و شیارها بر روی آن قرار دارند لذا اگر یک برش به استوانه داده شود و آن را باز یا پهن‌نمائیم شکل گسترده‌اش حاصل خواهد شد بدین‌طریق نمایش طرفهای کلافها و خود کلافها و نحوه اتصال ابتداها و انتهاهای کلافها به تیغه‌های کلکتور سادگی و وضوح قابل نشان دادن خواهند شد. مطابق شکل (۱۹-۴) ابتدا طرفهای کلافها را بفرم خطوطی موازی هم ترسیم مینمائیم طرفهائی از کلافها که در قسمت فوقانی شیارها قرار دارند با خط‌پر و با اعداد فرد مشخص می‌کنیم و طرفهائی از کلافها که در قسمت تحتانی قرار میگیرند با خط‌چین و با اعداد زوج نمایش میدهیم و آنگاه عمل سیم‌پیچی را به ترتیب زیر انجام مینمائیم:



شکل (۱۹-۴)

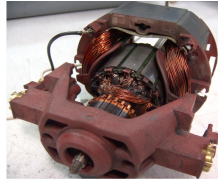
ابتدای طرف کلاف شماره ۱ را به تیغه شماره ۱ لحیم می‌کنیم و انتهای طرف شماره ۱ را با در نظر گرفتن گام عقب که برابر $Y_B = 9$ است به طرف ۱۰ $(1 + 9) = 10$ که در قسمت تحتانی شیار ۵ قرار دارد وصل مینمائیم و سر طرف شماره ۱۰ را با مراعات اینکه گام کلکتور $Y_c = +1$ است به تیغه شماره ۲ لحیم مینمائیم و همین‌سر را با در نظر گرفتن گام جلو یعنی $Y_F = 7$ با

حرکت بطرف سمت‌چپ به طرف رفت شماره ۳ $(10 - 7) = 3$ وصل مینمائیم. و از آنجا طرف شماره ۳ رفت را به طرف ۱۲ $(3 + 9) = 12$ برگشت اتصال می‌دهیم و طرف شماره ۱۲ را به تیغه شماره ۳ لحیم و در روی همین تیغه به طرف رفت ۵ $(12 - 7) = 5$ وصل مینمائیم و این عمل را تا آنقدر ادامه میدهیم تا دوباره به طرف شماره ۱ که سیم‌پیچی را از آن شروع کرده بودیم برسیم.

از آنجا جدول اتصال طرفهای کلافها را مطابق زیر با در نظر گرفتن گام رفت $Y_B = +9$ و گام برگشت $Y_F = -7$ بدست می‌آوریم:

$+9 \quad -7$
 $1 \rightarrow 10 \rightarrow 3 \rightarrow 12 \rightarrow 5 \rightarrow 14 \rightarrow 7 \rightarrow 16 \rightarrow 9 \rightarrow 18 \rightarrow 11 \rightarrow 20 \rightarrow 13 \rightarrow$
 $22 \rightarrow 15 \rightarrow 24 \rightarrow 17 \rightarrow 26 \rightarrow 19 \rightarrow 28 \rightarrow 21 \rightarrow 30 \rightarrow 23 \rightarrow 25 \rightarrow$
 $2 \rightarrow 11 \rightarrow 20 \rightarrow 9 \rightarrow 18 \rightarrow 7 \rightarrow 16 \rightarrow 5 \rightarrow 14 \rightarrow 3 \rightarrow 12 \rightarrow 1 \rightarrow$

و از طرفی چون هادیها در شیارها مطابق شکل (۲۰-۴) بتعدادی مساوی در زیر قطبها قرار خواهند گرفت لذا علامت جریانها را در داخل هادیهای که زیر قطب شمال واقعند از طرف



درس: ماشین الکتریکی ۱

مدرس: دکتر یوسف علی نژاد برمی

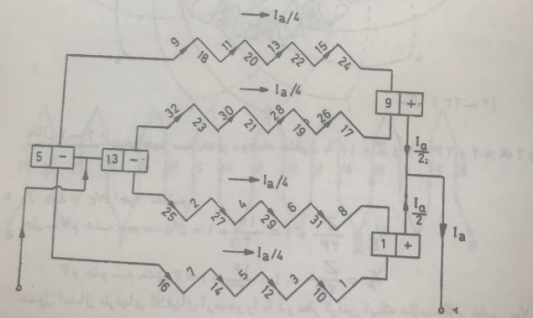
۱۲۳

با چهار انشعاب تقسیم شوند که دیاگرام آن بوسیله شکل (۲۲-۴) نشان داده شده است. اگر جریان کل ورودی یا خروجی به I_a نمایش داده شود اندازه جریان در هر مسیر برابر $I_a/4$ خواهد شد. از اینجا با این نتیجه می‌رسیم که در سیم‌بندی حلقوی ساده تعداد این مسیرها یا راه جریانها برابر تعداد جاروبکها و یا برابر تعداد قطبها میباشد.

حال اگر در سیم‌بندی حلقوی ساده تعداد جاروبکها را به $2p$ و تعداد راه جریانها را به $2a$ و تعداد قطبها را به $2p$ مشخص کنیم میتوانیم بنویسیم:

$$2p = 2b = 2a$$

و همینطور اندازه نیروی محرکه دوسر ماشین برابر نیروی محرکه در دوسر مسیر یا هر انشعاب خواهد بود. ضمناً "بادآور" می‌شویم که شای سیم‌بندی را گاهی بصورت مقطع دایره‌ای آرمیچر مطابق شکل (۲۳-۴) نیز نمایش میدهند.

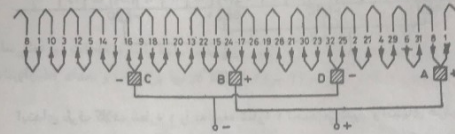


شکل (۲۲-۴)

۱۲۲



شکل (۲۰-۴)



شکل (۲۱-۴)

بالا بطرف پائین و علامت جریانها را در داخل هادیهای که در زیر قطب جنوب قرار گرفته اند از پائین به طرف بالا انتخاب مینمائیم. و با مراعات علامت جریانها و ترسیم دیاگرام اتصال هادیها بکمک جدول فوق شکل (۲۱-۴) حاصل میشود. در این شکل ملاحظه می‌کنیم که در عده‌ای از هادیها یا تیفه‌ها جهت نیروهای محرکه القاء شده و جهت جریانها دنبال هم هستند در صورتیکه در بعضی از تیفه‌ها یا هادیها جهت نیروهای محرکه مقابل هم و جهت جریانها نیز مقابل هم واقع میشوند یعنی در آن تیفه جریانها در یک نقطه تیفه جمع میشوند و این نقاط محل‌هایی هستند که باید جاروبکها بر آنها قرار بگیرند مثلاً "در تیفه‌های شماره‌های ۱ و ۹ هادیهای که با آنها وصل شده‌اند دارای نیروهای محرکه متقابل با هم هستند و جریانها از آنها خارج میشوند و همینطور در تیفه‌های شماره ۵ و ۱۳ که جریانها با آنها وارد میشوند و باز نیروهای محرکه در آنها مقابل هستند نقاطی که یا تیفه‌هایی که در آنها نیروهای محرکه مقابل هم قرار میگیرند نقاط جداسازی نیروهای محرکه مینامیم. و تیفه‌هایی که جریان از آنها خارج میشود با قطب مثبت و تیفه‌هایی که جریان بدان‌ها وارد میگردد با قطب منفی مشخص مینمائیم. از آنجا قطبهای مثبت را بهم و قطبهای منفی را بهم وصل می‌کنیم تا قطب مثبت و منفی ماشین حاصل شود. در شکل (۲۱-۴) چهار جاروبک مورد نیاز قرار گرفته که دویدهم وصل شده‌اند. و این امر موجب شده است که طرفهای کلافها بوسیله این چهار جاروبک به چهار راه یا چهار مسیر و

تمرین ۲:

مثال ۴-۶: آرمیچری با ۱۱ شیار و ۱۱ کلاف مفروض است در آن $2p = 4$ میباشد میخواهیم سیم‌بندی دوطبقه‌ای موجی ساده در روی آن اجرا نمائیم.

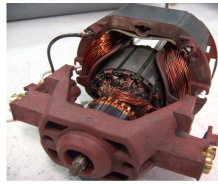
حل - تعداد طرفهای کلافها: $2 \times 11 = 22$ و تعداد تیفه‌های کلکتور $N_c = 11$ میباشد از آنجا گام عقب و جلو سیم‌بندی چنین بدست می‌آید:

$$Y_A = \frac{Y_B + Y_F}{2} = \frac{Z + 2}{4} = \frac{22 + 2}{4} = 6$$

اگر برای Y_A عدد زوج را انتخاب کنیم باید گام عقب آنرا $7 = (6 + 1)$ و گام جلو آنرا

۱-۵ = ۴-۱) بگیریم. در صورتیکه Y_A را برابر عدد فرد ۵ انتخاب نمائیم در اینصورت گام عقب و جلو برابر هم بوده و برابر همان عدد ۵ خواهد بود. در اینجا برای کوتاه شدن طول کلافها گام را برابر ۵ بگیریم. برای آسرازی سیم‌بندی ۲۲ طرف کلاف را از سیم سیم‌بندی با خطوط بر طرفهایی که در قسمت فوقانی شیار یافتند نشان میدهیم و با خطوط خط-چین طرفهایی که در قسمت تحتانی شیار هستند مشخص میکنیم و با اعداد فرد طرفهای رفت و با اعداد زوج طرفهای برگشت را مینماینیم. آنگاه با لحیم کردن ابتدای هادی رفت شماره ۱ به تیفه کلکتور شماره ۱ عمل سیم‌بندی را شروع می‌کنیم هادی رفت شماره ۱ را با در نظر داشتن گام سیم‌بندی که برابر ۵ است به هادی برگشت شماره ۶ اتصال میدهیم ضمن لحیم کردن این هادی تا مراعات گام کلکتور ۱۱ هم عمل را با بسته شدن تمام مدار سیم‌بندی ادامه میدهیم. جدول اتصال مطابق زیر می‌باشد.

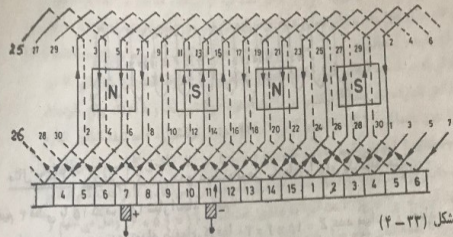
۱-۵-۹-۱۳-۱۷-۲۱-۲۵-۲۹-۳۳-۳۷-۴۱-۴۵-۴۹-۵۳-۵۷-۶۱-۶۵-۶۹-۷۳-۷۷-۸۱-۸۵-۸۹-۹۳-۹۷-۱۰۱-۱۰۵-۱۰۹-۱۱۳-۱۱۷-۱۲۱-۱۲۵-۱۲۹-۱۳۳-۱۳۷-۱۴۱-۱۴۵-۱۴۹-۱۵۳-۱۵۷-۱۶۱-۱۶۵-۱۶۹-۱۷۳-۱۷۷-۱۸۱-۱۸۵-۱۸۹-۱۹۳-۱۹۷-۲۰۱-۲۰۵-۲۰۹-۲۱۳-۲۱۷-۲۲۱-۲۲۵-۲۲۹-۲۳۳-۲۳۷-۲۴۱-۲۴۵-۲۴۹-۲۵۳-۲۵۷-۲۶۱-۲۶۵-۲۶۹-۲۷۳-۲۷۷-۲۸۱-۲۸۵-۲۸۹-۲۹۳-۲۹۷-۳۰۱-۳۰۵-۳۰۹-۳۱۳-۳۱۷-۳۲۱-۳۲۵-۳۲۹-۳۳۳-۳۳۷-۳۴۱-۳۴۵-۳۴۹-۳۵۳-۳۵۷-۳۶۱-۳۶۵-۳۶۹-۳۷۳-۳۷۷-۳۸۱-۳۸۵-۳۸۹-۳۹۳-۳۹۷-۴۰۱-۴۰۵-۴۰۹-۴۱۳-۴۱۷-۴۲۱-۴۲۵-۴۲۹-۴۳۳-۴۳۷-۴۴۱-۴۴۵-۴۴۹-۴۵۳-۴۵۷-۴۶۱-۴۶۵-۴۶۹-۴۷۳-۴۷۷-۴۸۱-۴۸۵-۴۸۹-۴۹۳-۴۹۷-۵۰۱-۵۰۵-۵۰۹-۵۱۳-۵۱۷-۵۲۱-۵۲۵-۵۲۹-۵۳۳-۵۳۷-۵۴۱-۵۴۵-۵۴۹-۵۵۳-۵۵۷-۵۶۱-۵۶۵-۵۶۹-۵۷۳-۵۷۷-۵۸۱-۵۸۵-۵۸۹-۵۹۳-۵۹۷-۶۰۱-۶۰۵-۶۰۹-۶۱۳-۶۱۷-۶۲۱-۶۲۵-۶۲۹-۶۳۳-۶۳۷-۶۴۱-۶۴۵-۶۴۹-۶۵۳-۶۵۷-۶۶۱-۶۶۵-۶۶۹-۶۷۳-۶۷۷-۶۸۱-۶۸۵-۶۸۹-۶۹۳-۶۹۷-۷۰۱-۷۰۵-۷۰۹-۷۱۳-۷۱۷-۷۲۱-۷۲۵-۷۲۹-۷۳۳-۷۳۷-۷۴۱-۷۴۵-۷۴۹-۷۵۳-۷۵۷-۷۶۱-۷۶۵-۷۶۹-۷۷۳-۷۷۷-۷۸۱-۷۸۵-۷۸۹-۷۹۳-۷۹۷-۸۰۱-۸۰۵-۸۰۹-۸۱۳-۸۱۷-۸۲۱-۸۲۵-۸۲۹-۸۳۳-۸۳۷-۸۴۱-۸۴۵-۸۴۹-۸۵۳-۸۵۷-۸۶۱-۸۶۵-۸۶۹-۸۷۳-۸۷۷-۸۸۱-۸۸۵-۸۸۹-۸۹۳-۸۹۷-۹۰۱-۹۰۵-۹۰۹-۹۱۳-۹۱۷-۹۲۱-۹۲۵-۹۲۹-۹۳۳-۹۳۷-۹۴۱-۹۴۵-۹۴۹-۹۵۳-۹۵۷-۹۶۱-۹۶۵-۹۶۹-۹۷۳-۹۷۷-۹۸۱-۹۸۵-۹۸۹-۹۹۳-۹۹۷-۱۰۰۱-۱۰۰۵-۱۰۰۹-۱۰۱۳-۱۰۱۷-۱۰۲۱-۱۰۲۵-۱۰۲۹-۱۰۳۳-۱۰۳۷-۱۰۴۱-۱۰۴۵-۱۰۴۹-۱۰۵۳-۱۰۵۷-۱۰۶۱-۱۰۶۵-۱۰۶۹-۱۰۷۳-۱۰۷۷-۱۰۸۱-۱۰۸۵-۱۰۸۹-۱۰۹۳-۱۰۹۷-۱۱۰۱-۱۱۰۵-۱۱۰۹-۱۱۱۳-۱۱۱۷-۱۱۲۱-۱۱۲۵-۱۱۲۹-۱۱۳۳-۱۱۳۷-۱۱۴۱-۱۱۴۵-۱۱۴۹-۱۱۵۳-۱۱۵۷-۱۱۶۱-۱۱۶۵-۱۱۶۹-۱۱۷۳-۱۱۷۷-۱۱۸۱-۱۱۸۵-۱۱۸۹-۱۱۹۳-۱۱۹۷-۱۲۰۱-۱۲۰۵-۱۲۰۹-۱۲۱۳-۱۲۱۷-۱۲۲۱-۱۲۲۵-۱۲۲۹-۱۲۳۳-۱۲۳۷-۱۲۴۱-۱۲۴۵-۱۲۴۹-۱۲۵۳-۱۲۵۷-۱۲۶۱-۱۲۶۵-۱۲۶۹-۱۲۷۳-۱۲۷۷-۱۲۸۱-۱۲۸۵-۱۲۸۹-۱۲۹۳-۱۲۹۷-۱۳۰۱-۱۳۰۵-۱۳۰۹-۱۳۱۳-۱۳۱۷-۱۳۲۱-۱۳۲۵-۱۳۲۹-۱۳۳۳-۱۳۳۷-۱۳۴۱-۱۳۴۵-۱۳۴۹-۱۳۵۳-۱۳۵۷-۱۳۶۱-۱۳۶۵-۱۳۶۹-۱۳۷۳-۱۳۷۷-۱۳۸۱-۱۳۸۵-۱۳۸۹-۱۳۹۳-۱۳۹۷-۱۴۰۱-۱۴۰۵-۱۴۰۹-۱۴۱۳-۱۴۱۷-۱۴۲۱-۱۴۲۵-۱۴۲۹-۱۴۳۳-۱۴۳۷-۱۴۴۱-۱۴۴۵-۱۴۴۹-۱۴۵۳-۱۴۵۷-۱۴۶۱-۱۴۶۵-۱۴۶۹-۱۴۷۳-۱۴۷۷-۱۴۸۱-۱۴۸۵-۱۴۸۹-۱۴۹۳-۱۴۹۷-۱۵۰۱-۱۵۰۵-۱۵۰۹-۱۵۱۳-۱۵۱۷-۱۵۲۱-۱۵۲۵-۱۵۲۹-۱۵۳۳-۱۵۳۷-۱۵۴۱-۱۵۴۵-۱۵۴۹-۱۵۵۳-۱۵۵۷-۱۵۶۱-۱۵۶۵-۱۵۶۹-۱۵۷۳-۱۵۷۷-۱۵۸۱-۱۵۸۵-۱۵۸۹-۱۵۹۳-۱۵۹۷-۱۶۰۱-۱۶۰۵-۱۶۰۹-۱۶۱۳-۱۶۱۷-۱۶۲۱-۱۶۲۵-۱۶۲۹-۱۶۳۳-۱۶۳۷-۱۶۴۱-۱۶۴۵-۱۶۴۹-۱۶۵۳-۱۶۵۷-۱۶۶۱-۱۶۶۵-۱۶۶۹-۱۶۷۳-۱۶۷۷-۱۶۸۱-۱۶۸۵-۱۶۸۹-۱۶۹۳-۱۶۹۷-۱۷۰۱-۱۷۰۵-۱۷۰۹-۱۷۱۳-۱۷۱۷-۱۷۲۱-۱۷۲۵-۱۷۲۹-۱۷۳۳-۱۷۳۷-۱۷۴۱-۱۷۴۵-۱۷۴۹-۱۷۵۳-۱۷۵۷-۱۷۶۱-۱۷۶۵-۱۷۶۹-۱۷۷۳-۱۷۷۷-۱۷۸۱-۱۷۸۵-۱۷۸۹-۱۷۹۳-۱۷۹۷-۱۸۰۱-۱۸۰۵-۱۸۰۹-۱۸۱۳-۱۸۱۷-۱۸۲۱-۱۸۲۵-۱۸۲۹-۱۸۳۳-۱۸۳۷-۱۸۴۱-۱۸۴۵-۱۸۴۹-۱۸۵۳-۱۸۵۷-۱۸۶۱-۱۸۶۵-۱۸۶۹-۱۸۷۳-۱۸۷۷-۱۸۸۱-۱۸۸۵-۱۸۸۹-۱۸۹۳-۱۸۹۷-۱۹۰۱-۱۹۰۵-۱۹۰۹-۱۹۱۳-۱۹۱۷-۱۹۲۱-۱۹۲۵-۱۹۲۹-۱۹۳۳-۱۹۳۷-۱۹۴۱-۱۹۴۵-۱۹۴۹-۱۹۵۳-۱۹۵۷-۱۹۶۱-۱۹۶۵-۱۹۶۹-۱۹۷۳-۱۹۷۷-۱۹۸۱-۱۹۸۵-۱۹۸۹-۱۹۹۳-۱۹۹۷-۲۰۰۱-۲۰۰۵-۲۰۰۹-۲۰۱۳-۲۰۱۷-۲۰۲۱-۲۰۲۵-۲۰۲۹-۲۰۳۳-۲۰۳۷-۲۰۴۱-۲۰۴۵-۲۰۴۹-۲۰۵۳-۲۰۵۷-۲۰۶۱-۲۰۶۵-۲۰۶۹-۲۰۷۳-۲۰۷۷-۲۰۸۱-۲۰۸۵-۲۰۸۹-۲۰۹۳-۲۰۹۷-۲۱۰۱-۲۱۰۵-۲۱۰۹-۲۱۱۳-۲۱۱۷-۲۱۲۱-۲۱۲۵-۲۱۲۹-۲۱۳۳-۲۱۳۷-۲۱۴۱-۲۱۴۵-۲۱۴۹-۲۱۵۳-۲۱۵۷-۲۱۶۱-۲۱۶۵-۲۱۶۹-۲۱۷۳-۲۱۷۷-۲۱۸۱-۲۱۸۵-۲۱۸۹-۲۱۹۳-۲۱۹۷-۲۲۰۱-۲۲۰۵-۲۲۰۹-۲۲۱۳-۲۲۱۷-۲۲۲۱-۲۲۲۵-۲۲۲۹-۲۲۳۳-۲۲۳۷-۲۲۴۱-۲۲۴۵-۲۲۴۹-۲۲۵۳-۲۲۵۷-۲۲۶۱-۲۲۶۵-۲۲۶۹-۲۲۷۳-۲۲۷۷-۲۲۸۱-۲۲۸۵-۲۲۸۹-۲۲۹۳-۲۲۹۷-۲۳۰۱-۲۳۰۵-۲۳۰۹-۲۳۱۳-۲۳۱۷-۲۳۲۱-۲۳۲۵-۲۳۲۹-۲۳۳۳-۲۳۳۷-۲۳۴۱-۲۳۴۵-۲۳۴۹-۲۳۵۳-۲۳۵۷-۲۳۶۱-۲۳۶۵-۲۳۶۹-۲۳۷۳-۲۳۷۷-۲۳۸۱-۲۳۸۵-۲۳۸۹-۲۳۹۳-۲۳۹۷-۲۴۰۱-۲۴۰۵-۲۴۰۹-۲۴۱۳-۲۴۱۷-۲۴۲۱-۲۴۲۵-۲۴۲۹-۲۴۳۳-۲۴۳۷-۲۴۴۱-۲۴۴۵-۲۴۴۹-۲۴۵۳-۲۴۵۷-۲۴۶۱-۲۴۶۵-۲۴۶۹-۲۴۷۳-۲۴۷۷-۲۴۸۱-۲۴۸۵-۲۴۸۹-۲۴۹۳-۲۴۹۷-۲۵۰۱-۲۵۰۵-۲۵۰۹-۲۵۱۳-۲۵۱۷-۲۵۲۱-۲۵۲۵-۲۵۲۹-۲۵۳۳-۲۵۳۷-۲۵۴۱-۲۵۴۵-۲۵۴۹-۲۵۵۳-۲۵۵۷-۲۵۶۱-۲۵۶۵-۲۵۶۹-۲۵۷۳-۲۵۷۷-۲۵۸۱-۲۵۸۵-۲۵۸۹-۲۵۹۳-۲۵۹۷-۲۶۰۱-۲۶۰۵-۲۶۰۹-۲۶۱۳-۲۶۱۷-۲۶۲۱-۲۶۲۵-۲۶۲۹-۲۶۳۳-۲۶۳۷-۲۶۴۱-۲۶۴۵-۲۶۴۹-۲۶۵۳-۲۶۵۷-۲۶۶۱-۲۶۶۵-۲۶۶۹-۲۶۷۳-۲۶۷۷-۲۶۸۱-۲۶۸۵-۲۶۸۹-۲۶۹۳-۲۶۹۷-۲۷۰۱-۲۷۰۵-۲۷۰۹-۲۷۱۳-۲۷۱۷-۲۷۲۱-۲۷۲۵-۲۷۲۹-۲۷۳۳-۲۷۳۷-۲۷۴۱-۲۷۴۵-۲۷۴۹-۲۷۵۳-۲۷۵۷-۲۷۶۱-۲۷۶۵-۲۷۶۹-۲۷۷۳-۲۷۷۷-۲۷۸۱-۲۷۸۵-۲۷۸۹-۲۷۹۳-۲۷۹۷-۲۸۰۱-۲۸۰۵-۲۸۰۹-۲۸۱۳-۲۸۱۷-۲۸۲۱-۲۸۲۵-۲۸۲۹-۲۸۳۳-۲۸۳۷-۲۸۴۱-۲۸۴۵-۲۸۴۹-۲۸۵۳-۲۸۵۷-۲۸۶۱-۲۸۶۵-۲۸۶۹-۲۸۷۳-۲۸۷۷-۲۸۸۱-۲۸۸۵-۲۸۸۹-۲۸۹۳-۲۸۹۷-۲۹۰۱-۲۹۰۵-۲۹۰۹-۲۹۱۳-۲۹۱۷-۲۹۲۱-۲۹۲۵-۲۹۲۹-۲۹۳۳-۲۹۳۷-۲۹۴۱-۲۹۴۵-۲۹۴۹-۲۹۵۳-۲۹۵۷-۲۹۶۱-۲۹۶۵-۲۹۶۹-۲۹۷۳-۲۹۷۷-۲۹۸۱-۲۹۸۵-۲۹۸۹-۲۹۹۳-۲۹۹۷-۳۰۰۱-۳۰۰۵-۳۰۰۹-۳۰۱۳-۳۰۱۷-۳۰۲۱-۳۰۲۵-۳۰۲۹-۳۰۳۳-۳۰۳۷-۳۰۴۱-۳۰۴۵-۳۰۴۹-۳۰۵۳-۳۰۵۷-۳۰۶۱-۳۰۶۵-۳۰۶۹-۳۰۷۳-۳۰۷۷-۳۰۸۱-۳۰۸۵-۳۰۸۹-۳۰۹۳-۳۰۹۷-۳۱۰۱-۳۱۰۵-۳۱۰۹-۳۱۱۳-۳۱۱۷-۳۱۲۱-۳۱۲۵-۳۱۲۹-۳۱۳۳-۳۱۳۷-۳۱۴۱-۳۱۴۵-۳۱۴۹-۳۱۵۳-۳۱۵۷-۳۱۶۱-۳۱۶۵-۳۱۶۹-۳۱۷۳-۳۱۷۷-۳۱۸۱-۳۱۸۵-۳۱۸۹-۳۱۹۳-۳۱۹۷-۳۲۰۱-۳۲۰۵-۳۲۰۹-۳۲۱۳-۳۲۱۷-۳۲۲۱-۳۲۲۵-۳۲۲۹-۳۲۳۳-۳۲۳۷-۳۲۴۱-۳۲۴۵-۳۲۴۹-۳۲۵۳-۳۲۵۷-۳۲۶۱-۳۲۶۵-۳۲۶۹-۳۲۷۳-۳۲۷۷-۳۲۸۱-۳۲۸۵-۳۲۸۹-۳۲۹۳-۳۲۹۷-۳۳۰۱-۳۳۰۵-۳۳۰۹-۳۳۱۳-۳۳۱۷-۳۳۲۱-۳۳۲۵-۳۳۲۹-۳۳۳۳-۳۳۳۷-۳۳۴۱-۳۳۴۵-۳۳۴۹-۳۳۵۳-۳۳۵۷-۳۳۶۱-۳۳۶۵-۳۳۶۹-۳۳۷۳-۳۳۷۷-۳۳۸۱-۳۳۸۵-۳۳۸۹-۳۳۹۳-۳۳۹۷-۳۴۰۱-۳۴۰۵-۳۴۰۹-۳۴۱۳-۳۴۱۷-۳۴۲۱-۳۴۲۵-۳۴۲۹-۳۴۳۳-۳۴۳۷-۳۴۴۱-۳۴۴۵-۳۴۴۹-۳۴۵۳-۳۴۵۷-۳۴۶۱-۳۴۶۵-۳۴۶۹-۳۴۷۳-۳۴۷۷-۳۴۸۱-۳۴۸۵-۳۴۸۹-۳۴۹۳-۳۴۹۷-۳۵۰۱-۳۵۰۵-۳۵۰۹-۳۵۱۳-۳۵۱۷-۳۵۲۱-۳۵۲۵-۳۵۲۹-۳۵۳۳-۳۵۳۷-۳۵۴۱-۳۵۴۵-۳۵۴۹-۳۵۵۳-۳۵۵۷-۳۵۶۱-۳۵۶۵-۳۵۶۹-۳۵۷۳-۳۵۷۷-۳۵۸۱-۳۵۸۵-۳۵۸۹-۳۵۹۳-۳۵۹۷-۳۶۰۱-۳۶۰۵-۳۶۰۹-۳۶۱۳-۳۶۱۷-۳۶۲۱-۳۶۲۵-۳۶۲۹-۳۶۳۳-۳۶۳۷-۳۶۴۱-۳۶۴۵-۳۶۴۹-۳۶۵۳-۳۶۵۷-۳۶۶۱-۳۶۶۵-۳۶۶۹-۳۶۷۳-۳۶۷۷-۳۶۸۱-۳۶۸۵-۳۶۸۹-۳۶۹۳-۳۶۹۷-۳۷۰۱-۳۷۰۵-۳۷۰۹-۳۷۱۳-۳۷۱۷-۳۷۲۱-۳۷۲۵-۳۷۲۹-۳۷۳۳-۳۷۳۷-۳۷۴۱-۳۷۴۵-۳۷۴۹-۳۷۵۳-۳۷۵۷-۳۷۶۱-۳۷۶۵-۳۷۶۹-۳۷۷۳-۳۷۷۷-۳۷۸۱-۳۷۸۵-۳۷۸۹-۳۷۹۳-۳۷۹۷-۳۸۰۱-۳۸۰۵-۳۸۰۹-۳۸۱۳-۳۸۱۷-۳۸۲۱-۳۸۲۵-۳۸۲۹-۳۸۳۳-۳۸۳۷-۳۸۴۱-۳۸۴۵-۳۸۴۹-۳۸۵۳-۳۸۵۷-۳۸۶۱-۳۸۶۵-۳۸۶۹-۳۸۷۳-۳۸۷۷-۳۸۸۱-۳۸۸۵-۳۸۸۹-۳۸۹۳-۳۸۹۷-۳۹۰۱-۳۹۰۵-۳۹۰۹-۳۹۱۳-۳۹۱۷-۳۹۲۱-۳۹۲۵-۳۹۲۹-۳۹۳۳-۳۹۳۷-۳۹۴۱-۳۹۴۵-۳۹۴۹-۳۹۵۳-۳۹۵۷-۳۹۶۱-۳۹۶۵-۳۹۶۹-۳۹۷۳-۳۹۷۷-۳۹۸۱-۳۹۸۵-۳۹۸۹-۳۹۹۳-۳۹۹۷-۴۰۰۱-۴۰۰۵-۴۰۰۹-۴۰۱۳-۴۰۱۷-۴۰۲۱-۴۰۲۵-۴۰۲۹-۴۰۳۳-۴۰۳۷-۴۰۴۱-۴۰۴۵-۴۰۴۹-۴۰۵۳-۴۰۵۷-۴۰۶۱-۴۰۶۵-۴۰۶۹-۴۰۷۳-۴۰۷۷-۴۰۸۱-۴۰۸۵-۴۰۸۹-۴۰۹۳-۴۰۹۷-۴۱۰۱-۴۱۰۵-۴۱۰۹-۴۱۱۳-۴۱۱۷-۴۱۲۱-۴۱۲۵-۴۱۲۹-۴۱۳۳-۴۱۳۷-۴۱۴۱-۴۱۴۵-۴۱۴۹-۴۱۵۳-۴۱۵۷-۴۱۶۱-۴۱۶۵-۴۱۶۹-۴۱۷۳-۴۱۷۷-۴۱۸۱-۴۱۸۵-۴۱۸۹-۴۱۹۳-۴۱۹۷-۴۲۰۱-۴۲۰۵-۴۲۰۹-۴۲۱۳-۴۲۱۷-۴۲۲۱-۴۲۲۵-۴۲۲۹-۴۲۳۳-۴۲۳۷-۴۲۴۱-۴۲۴۵-۴۲۴۹-۴۲۵۳-۴۲۵۷-۴۲۶۱-۴۲۶۵-۴۲۶۹-۴۲۷۳-۴۲۷۷-۴۲۸۱-۴۲۸۵-۴۲۸۹-۴۲۹۳-۴۲۹۷-۴۳۰۱-۴۳۰۵-۴۳۰۹-۴۳۱۳-۴۳۱۷-۴۳۲۱-۴۳۲۵-۴۳۲۹-۴۳۳۳-۴۳۳۷-۴۳۴۱-۴۳۴۵-۴۳۴۹-۴۳۵۳-۴۳۵۷-۴۳۶۱-۴۳۶۵-۴۳۶۹-۴۳۷۳-۴۳۷۷-۴۳۸۱-۴۳۸۵-۴۳۸۹-۴۳۹۳-۴۳۹۷-۴۴۰۱-۴۴۰۵-۴۴۰۹-۴۴۱۳-۴۴۱۷-۴۴۲۱-۴۴۲۵-۴۴۲۹-۴۴۳۳-۴۴۳۷-۴۴۴۱-۴۴۴۵-۴۴۴۹-۴۴۵۳-۴۴۵۷-۴۴۶۱-۴۴۶۵-۴۴۶۹-۴۴۷۳-۴۴۷۷-۴۴۸۱-۴۴۸۵-۴۴۸۹-۴۴۹۳-۴۴۹۷-۴۵۰۱-۴۵۰۵-۴۵۰۹-۴۵۱۳-۴۵۱۷-۴۵۲۱-۴۵۲۵-۴۵۲۹-۴۵۳۳-۴۵۳۷-۴۵۴۱-۴۵۴۵-۴۵۴۹-۴۵۵۳-۴۵۵۷-۴۵۶۱-۴۵۶۵-۴۵۶۹-۴۵۷۳-۴۵۷۷-۴۵۸۱-۴۵۸۵-۴۵۸۹-۴۵۹۳-۴۵۹۷-۴۶۰۱-۴۶۰۵-۴۶۰۹-۴۶۱۳-۴۶۱۷-۴۶۲۱-۴۶۲۵-۴۶۲۹-۴۶۳۳-۴۶۳۷-۴۶۴۱-۴۶۴۵-۴۶۴۹-۴۶۵۳-۴۶۵۷-۴۶۶۱-۴۶۶۵-۴۶۶۹-۴۶۷۳-۴۶۷۷-۴۶۸۱-۴۶۸۵-۴۶۸۹-۴۶۹۳-۴۶۹۷-۴۷۰۱-۴۷۰۵-۴۷۰۹-



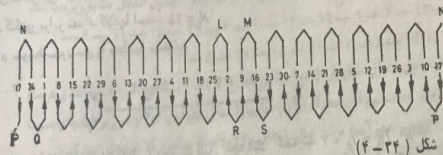
درس: ماشین الکتریکی ۱

مدرس: دکتر یوسف علی نژاد برمی

تمرین ۳-



شکل (۴-۳۳)



شکل (۴-۳۴)

مینائیم که یکی جاروبک مثبت بوده و به تیغه ۷ تکیه خواهد نمود و دیگری جاروبک منفی که به تیغه ۱۱ تکیه مینماید. و بدینوسیله سیم بندی به دو مدار موازی هم تقسیم میشود و تعداد راه جریانها برابر $2\alpha = 2$ میگردد و شکل (۴-۳۵) شمای مقطع روبرویی این سیم بندی را نشان میدهد. معینا در جهت توضیح بیشتر مسئله مبادرت بشرح زیر در مورد نحوه قرار گرفتن جاروبکها در سیم بندی موجی مینمائیم. مطابق شکل (۴-۳۶) فرض می کنیم آرمیچر در جهت عقربه های ساعت در گردش باشد که در آن جهات نیروهای محرکه را طبق قاعده انگشتان دست راست میتوان تعیین نموده و مطابق شکل (۴-۳۴) مشاهده مینمائیم که سیم بندی از نظر الکتریکی بدو قسمت تقسیم شده است. یک قسمت شامل هادی هایی است که بین نقاط N و L واقع شده اند و در این قسمت جهت دنبال هم قرار گرفتن نیروهای محرکه القاء شده از چپ بر راست هستند در صورتیکه در قسمت دوم یعنی بین نقاط M و N از راست به چپ می باشد. از اینرو بطور کلی فقط دو راه موازی در این سیم بندی وجود دارد. بنابراین فقط دو جاروبک مورد نیاز می باشد یکی مثبت و یکی منفی.

در دیاگرام شکل (۴-۳۴) مشاهده می شود که نقطه N نقطه ی حادثی یا برخورد نیروهای محرکه القاء شده در دو قسمت سیم بندی است. از اینرو، در این محل وضعیت جاروبک منفی

مثال ۲-۲: میخواهیم یک سیم بندی دوطبقه موجی ساده ای را برای یک مولد جریان مستقیم ۴ قطبی با ۱۵ کلاف و ۱۵ شیار انجام دهیم. حل - در این سیم بندی تعداد طرفهای کلافها $Z = 15 \times 2 = 30$ عدد میباشد و تعداد تیغه های کلکتور برابر تعداد کلافها است: $N_c = 15$ گام متوسط سیم بندی را محاسبه مینمائیم:

$$Y_A = \frac{Z \pm 2}{P} = \frac{30 \pm 2}{4} = 7 \text{ یا } 8$$

اگر $Y_A = 7$ انتخاب شود در اینصورت طبق آنچه قبلا گفته شد $Y_B = Y_F = 7$ خواهد شد و اگر $Y_A = 8$ انتخاب شود گامهای سیم بندی به ترتیب $Y_B = 9$ و $Y_F = 7$ میگردد. لیکن از نظر سهولت و اقتصادی $Y_A = 7$ و $Y_B = Y_F = 7$ را در نظر گرفته و سیم بندی را احراز مینمائیم.

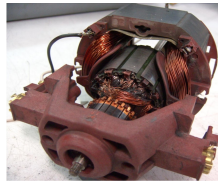
ابتدا جدول سیم بندی را به ترتیب زیر تشکیل میدهیم:

۱-۸-۱۵-۲۲-۲۹-۶-۱۳-۲۰-۲۷-۴-۱۱-۱۸-۲۵-
۲-۹-۱۶-۲۳-۳۰-۷-۱۴-۲۱-۲۸-۵-۱۲-۱۹-۲۶-
۳-۱۰-۱۷-۲۴-۱

بکمک جدول فوق نقشه گسترده سیم بندی را مطابق شکل (۴-۳۳) ترسیم مینمائیم ضمنا

فراموش نمی کنیم که گام کلکتور همواره برابر $Y_c = 7$ میباشد.

آنگاه با در نظر گرفتن جهت نیروهای محرکه و اتصال پشت سر هم هادیها مطابق شکل (۴-۳۴) محل تقاطع یا تقابل نیروهای محرکه را در نقاط Q و R و P پیدا می کنیم لیکن چون نقاط برخورد نیروهای محرکه در نقاط PND نزدیک بهم و نقاط برخورد نیروهای محرکه در نقاط LRM نیز نزدیک بهم هستند لذا در سیم بندی فقط به دو جاروبک در نقاط P و R اکتفا



درس: ماشین الکتریکی ۱

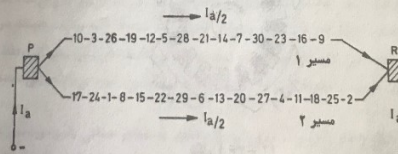
مدرس: دکتر یوسف علی نژاد برمی

۱۳۸

شخص می‌شود. اما از نظر اینکه در پشت آرمیچر قرار دارد و در طرف کلکتور آن نیست از این جهت جارویک منفی دارای دو وضعیت P و با خواهد بود که متناظر با نیمه‌های ۳ و ۱۱ کلکتور می‌باشد. که ما نقطه P را از میان آن دو بداند انتخاب کرده‌ایم. حال سادرت به بافتن محل جارویک مثبت می‌نمایم، مطابق شکل (۳۴-۴) باز مشاهده می‌نمایم که نقاط برخورد دیگر نیروهای محرکه القا شده در L و M می‌باشند ولی هر دو این نقاط در پشت آرمیچر قرار گرفته‌اند لذا محل جارویک مثبت را در طرف کلکتور در نقطه R بین این دو نقطه انتخاب می‌نمایم که متناظر با نیمه شماره ۷ کلکتور می‌باشد.

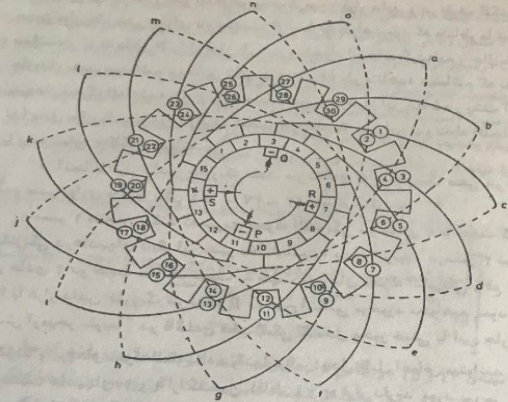
از آنجا با قرار دادن جارویک مثبت در نقطه R و جارویک منفی در نقطه P سیم‌بندی بدو مسیر موازی مطابق شکل (۳۷-۴) تقسیم می‌گردد.

مسیر ۱ شخص می‌کند که نیروی محرکه الکتریکی در هادی ۹ با جهت کلی نیروهای محرکه الکتریکی در هادیهای دیگر این مسیر مخالف است، به همین ترتیب در مسیر ۲ نیروی محرکه الکتریکی در هادی ۲ در جهت مخالف نیست به جهت نیروهای محرکه الکتریکی واقع در مسیر ۲ می‌باشد، لذا با قرار دادن جارویک در نقطه R به هیچ اشکالی برخورد نخواهیم نمود. زیرا هادیها بین گردش آرمیچر تقریباً "در فاصله قطب ککی با محل محور خنثی با این جارویک در تماس قرار می‌گیرند و نیروهای محرکه القا شده در آنها در این محل قابل اغماض می‌توانند باشند. حال موقعیت و وضعیت هادیهای ۲ و ۹ را که بین نقاط L و M قرار دارند مورد بررسی قرار می‌دهیم. چون هادیهای واقع در شیارهای آرمیچر نسبت به قطبها مدام در گردش هستند، بنابراین وضعیت‌های نشان داده شده در شکل فقط بیانگر یک لحظه هستند. با بخاطر سپردن این مطلب روشن می‌شود که هادی ۲ در حال عبور از حوزه نفوذ قطب K و ورود به حوزه تحت نفوذ قطب M بعد از آن می‌باشد از اینرو، جهت نیروی محرکه الکتریکی در آن در حالت معکوس شدن است در حالیکه جهت نیروی محرکه هادی ۹ تقریباً "از وضعیت معکوس شدن گذشته است. لذا جهت نیروی محرکه آن



شکل (۳۷-۴)

۱۳۷



شکل (۳۵-۴)



شکل (۳۶-۴)