۷ــ۲ــ پرسش

۱ــ قسمتهای اصلی یک ماشین جریان مستقیم را نام ببرید.

۲ــ دلایل مربوط به انتخاب شکل یا فرم مخصوص در هستهٔ قطبهای اصلی ماشین جریان مستقیم را بیان نمایید.

۳ــ بدنه ماشینهای DC چه نقشی را ایفا می‌کند؟

۴ــ کلکتور ماشینهای جریان مستقیم از چه قسمتهایی تشکیل می‌شود؟

۵ــ جاروبک و جاروبک نگهدار از چه اجزایی تشکیل می‌شود؟

۶ــ ضرورت و روشهای تهویهٔ ماشینهای جریان مستقیم را بررسی کنید.

۷ــ مواد مورد استفاده برای ساخت اجزای اصلی ماشین جریان مستقیم (هسته، سیم‌پیچها، پوسته، محور، کلکتور و جاروبکها) هرکدام باید دارای چه ویژگیهایی باشند؟

۸ــ آیا در ماشینهای جریان مستقیم هسته استاتور و هستهٔ روتور حتماً بایستی ورقه ورقه باشند؟

۸ــ۲ــ سیم‌پیچی آرمیچر ماشینهای جریان مستقیم

هدف ما در این بخش ذکر جزئیات تکنولوژیک و عملی سیم‌پیچی آرمیچر نیست، بلکه هدف اصلی بررسی چگونگی اتصال کلافهای آرمیچر به تیغه‌های کلکتور و به یکدیگر است و اینکه این شیوه‌های اتصال چه تأثیری در نیروی محرکه و قابلیت جریاندهی مولد و گشتاور تولیدی موتور دارد.

سیم‌پیچی آرمیچر از نظر فنی خود مطلبی است جداگانه که در کتب تکنولوژی کارگاهی آن را خواهید آموخت.

به‌طور کلی در آرمیچر یک ماشین جریان مستقیم خصوصیات زیر برای سیم پیچی آرمیچر مطرح است :

۱ــ سیم‌پیچی باید طوری طراحی و ساخته شود که ضمن صرفه‌جویی در مواد اوّلیه به بهترین وجهی از آن استفاده شود.

۲ــ سیم‌پیچی باید از استحکام مکانیکی، الکتریکی و حرارتی کافی برخوردار باشد تا در مدّت عمر عادی ماشینهای الکتریکی که ۱۶ تا ۲۰ سال پیش‌بینی می‌شود دوام بیاورد.

۳ــ به هنگام گرفتن جریان از کلکتور جرقه زیان‌آوری ایجاد نگردد.

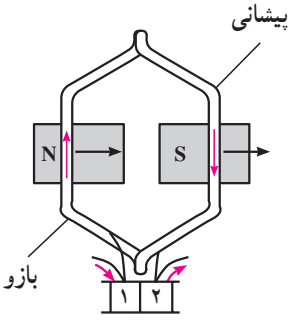
۴ــ حداکثر گشتاور، جریان و ولتاژ را با حداقل نوسان بوجود آورد.

در مورد افزایش ولتاژ القایی، گشتاور و بهبود کارآیی ماشینهای الکتریکی در بخشهای قبل گفته شد که بایستی تعداد کلافها و تیغه‌های کلکتور را افزایش داد، و کلافها را به طریقی به هم اتصال

داد تا در هر لحظه نیروی محرکه، جریان و یا گشتاور تولید شده در تمام یا اغلب کلافها مفید واقع شود.

بسته به نیاز، کلافها می‌توانند بطور سری و یا موازی و یا ترکیبی از این دو به همدیگر وصل شوند. نیروی محرکه کلافهایی که بطور سری به هم وصل شده‌اند با هم جمع می‌شود. به همین ترتیب اگر کلافها بطور موازی به هم وصل گردند، تعداد مسیرهای جریان موجود در آرمیچر افزایش یافته و قابلیت جریاندهی آرمیچر را بالا می‌برد.

نکته مهم در سیم‌پیچی آرمیچر، صرفنظر از نحوه اتصال ابتدا و انتهای کلافها به تیغه‌های کلکتور، قرار گرفتن کلافها داخل شیارهای آرمیچر است. بعبارتی فاصله دو ضلع یک کلاف باید طوری باشد که وقتی یک ضلع زیر قطب N قرار می‌گیرد ضلع دیگر آن کلاف، زیر قطب S قرار بگیرد تا نیروی محرکه القایی در هر کلاف حداکثر شود (شکل ۳۳ــ۲).



شکل ۳۳ــ۲ــ کلاف آرمیچر

به قسمتی از کلاف که در داخل شیار قرار می‌گیرد، بازوی کلاف گفته می‌شود و قسمتی که بیرون شیار قرار دارد پیشانی کلاف نام دارد.

فاصله بین مرکز دو قطب مجاور هم را گام قطبی[۱] گویند و با حرف y_p نشان می‌دهند. به عبارتی تعداد شیارهایی از آرمیچر که زیر هر قطب قرار می‌گیرد گام قطبی نام دارد و گام قطبی از رابطه (۵ــ۲) به‌دست می‌آید.

$$y_p = \frac{Z}{2p} \qquad (۵ــ۲)$$

Z : تعداد شیار آرمیچر

2p : تعداد قطبها

y_p : گام قطبی

مثال ۲ــ۲: آرمیچر ماشین جریان مستقیمی ۴ شیار دارد اگر آرمیچر دو قطب سیم‌پیچی شده باشد گام قطبی آن چقدر است؟

حل: گام قطبی سیم‌پیچی آرمیچر برابر است با :

$$y_p = \frac{Z}{2p} = \frac{4}{2} = 2$$

فاصله بین بازوهای یک کلاف را برحسب شیار گام رفت یا گام اوّل کلاف گویند و با y_1 نشان

۱ ــ Pole Pitch

می‌دهند. باید توجه داشت که در کلیهٔ سیم‌پیچیهای آرمیچر y_1 تقریباً برابر y_p باشد. گام اوّل کلاف از رابطه (۶ــ۲) به‌دست می‌آید.

$$y_1 = y_p \pm \varepsilon = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon \qquad (۶ــ۲)$$

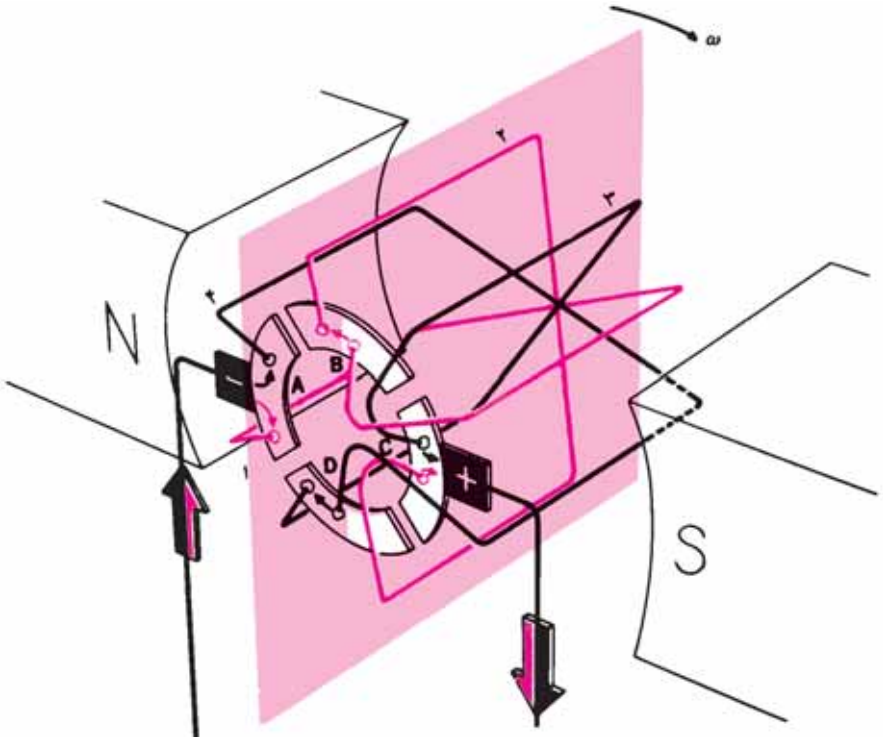
در این رابطه، ε (اپسیلن) مقدار کسری است که باید به حاصل $\frac{Z}{2p}$ اضافه یا کم شود تا y_1 عدد صحیح شود.

$+\varepsilon$ زمانی به‌کار می‌رود که گام کلاف از گام قطبی بیشتر است.

$-\varepsilon$ زمانی به کار می‌رود که گام کلاف کوچکتر از گام قطبی است.

$\varepsilon = 0$ باشد، سیم‌پیچی با گام کامل است.

۱ــ۸ــ۲ــ چگونگی تأثیر اتصال کلافها بر خروجی ماشین DC : شکل ۳۴ــ۲ طرح یک مولد DC دو قطب را نشان می‌دهد که در آن یک آرمیچر با ۴ کلاف و ۴ تیغهٔ کموتاتور وجود دارد. ابتدا نحوه اتصال کلافها را به تیغه‌های کموتاتور یا کلکتور بررسی می‌کنیم و سپس به چگونگی ایجاد مسیر جریان در چنین آرمیچری می‌پردازیم. سرکلاف شمارهٔ ۱ به تیغهٔ A و ته آن به تیغهٔ B وصل شده است.



شکل ۳۴ــ۲ــ طرح یک مولّد چهارکلافی

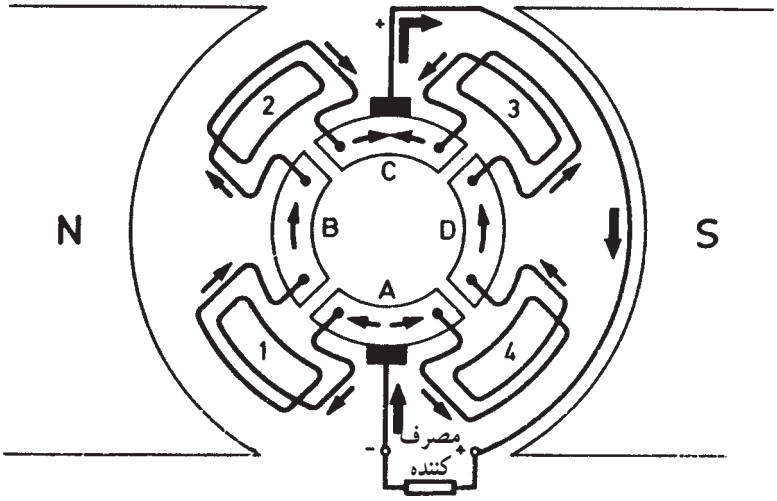
سرکلاف شمارهٔ ۲ به همین تیغهٔ B و ته آن به تیغهٔ C وصل شده است. سرکلاف شمارهٔ ۳ به تیغهٔ C و ته آن به تیغهٔ D وصل گردیده و بالاخره سرکلاف شمارهٔ ۴ به تیغهٔ D و ته آن به تیغهٔ A وصل شده است.

همان‌طور که در شکل ۳۴ــ۲ نشان داده شده است بازوی کلافهایی که به تیغهٔ A وصل هستند پلاریتهٔ منفی دارند و بازوهای کلافی که به تیغهٔ C وصل هستند پلاریتهٔ مثبت دارند.

اگر مسیر جریان را از تیغهٔ A به داخل کلاف ۱ دنبال کنید می‌بینید که کلاف ۱ به کمک تیغهٔ B با کلاف ۲ سری شده و از طریق کلاف ۲ جریان به تیغهٔ مثبت می‌رسد.

در همین زمان مسیر دیگر جریان از طریق تیغهٔ A شروع شده و پس از گذشتن از کلاف شمارهٔ ۴ به تیغهٔ D رسیده و به کمک این تیغه کلافهای ۴ و ۳ با هم سری شده‌اند. جریان از طریق کلاف ۳ به تیغهٔ مثبت C می‌رسد و از آن‌جا به مدار خارجی می‌رود.

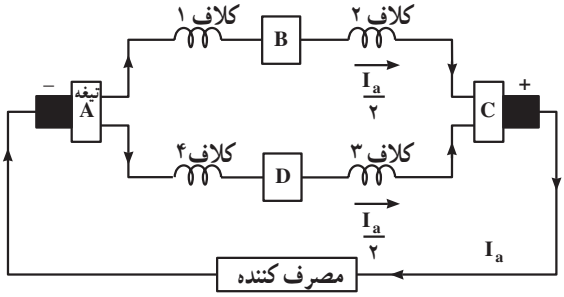
برای اینکه بهتر بتوانید چگونگی اتصال کلافها را دریابید کلافها و آرمیچر را بصورت شکل ۳۵ــ۲ که دیاگرام مدور آرمیچر نامیده می‌شود نشان داده‌ایم. با دنبال کردن مسیر جریان در این دیاگرام مدور بهتر می‌توانید درک کنید که با این روش سربندی آرمیچر، یعنی وصل کردن سر و ته کلافها به تیغه‌های مجاور کلکتور چگونه کلافها دو به دو (۱ با ۲ و ۳ با ۴) با همدیگر سری شده و سپس دو دسته کلاف سری با هم موازی می‌شوند.



شکل ۳۵ــ۲ــ طرح مدور مولّد DC چهارکلافی

با این طریق به هم بستن، چنانکه پیداست، در تمام لحظات، کلیه کلافها نقش مفید دارند. ولتاژ خروجی مولد برابر با جمع ولتاژهای القاء شده در دو کلاف (۱ و ۲ یا ۳ و ۴) می‌باشد. در ضمن جریان خروجی مولد برابر با جمع جریانهایی است که از هر یک از مسیرهای سری می‌آید شکل ۳۶ــ۲

چگونگی اتصال کلافها به همدیگر و به تیغه‌های کلکتور را به صورت دیگری نشان می‌دهد. به این طریق، نمایش سیم‌بندی آرمیچر دیاگرام خطی گفته می‌شود. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد در اینجا دو مسیر جریان داریم و جریان آرمیچر برابر $I_a = \frac{I_a}{۲} + \frac{I_a}{۲}$ است. تعداد مسیرهای جریان را با $۲a$ نشان می‌دهند و آن عبارتست از تعداد راههای جریان که بین دو جاروبک مثبت و منفی قرار دارد. در این آرمیچر $۲a = ۲$ است.



شکل ۳۶ــ۲ــ دیاگرام مسیر جریان آرمیچر دوقطب چهارکلافی

۲ــ۸ــ۲ــ روشهای سیم‌پیچی آرمیچر: آرمیچر ماشینهای DC به روشهای زیر سیم‌پیچی می‌گردد :

الف ــ سیم‌پیچی حلقوی[۱]

ب ــ سیم‌پیچی موجی[۲]

پ ــ سیم‌پیچی پای قورباغه‌ای[۳]

این سیم‌پیچها از نظر تعداد راههای جریان و ترتیب اتصال سرو ته کلافها به تیغه‌ها با هم تفاوتهایی دارند به صورتی که شکل سیم‌پیچی و نحوه اتصال کلافهای آنها به یکدیگر نیز متفاوت می‌شود. حال به شرح مختصری دربارهٔ انواع سیم‌پیچها می‌پردازیم.

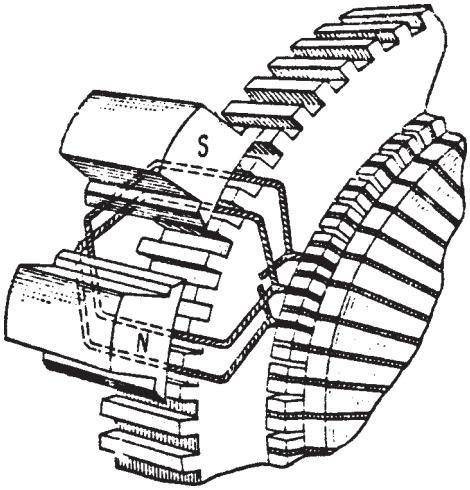
الف ــ سیم‌پیچی حلقوی: روش سیم‌پیچی در آرمیچر چهارکلافی قبلی، روش حلقوی می‌باشد. به این روش سیم‌پیچی روش درهم نیز گفته می‌شود. کلمه درهم بخاطر این است که وقتی یک کلاف در شیارهای آرمیچر قرار گرفت کلاف بعدی باید برگردد و قسمتی از آن روی کلاف اوّل در شیار بعدی قرار گیرد (شکل ۳۷ــ۲).

در شکل ۳۸ــ۲ طرح مدوّر یک آرمیچر ۱۲ شیار با ۱۲ کلاف و چهار قطب که سیم‌پیچی آن بصورت حلقوی و برای مولّد می‌باشد دیده می‌شود. در این مولد کلاف شمارهٔ ۱ پررنگ نشان داده

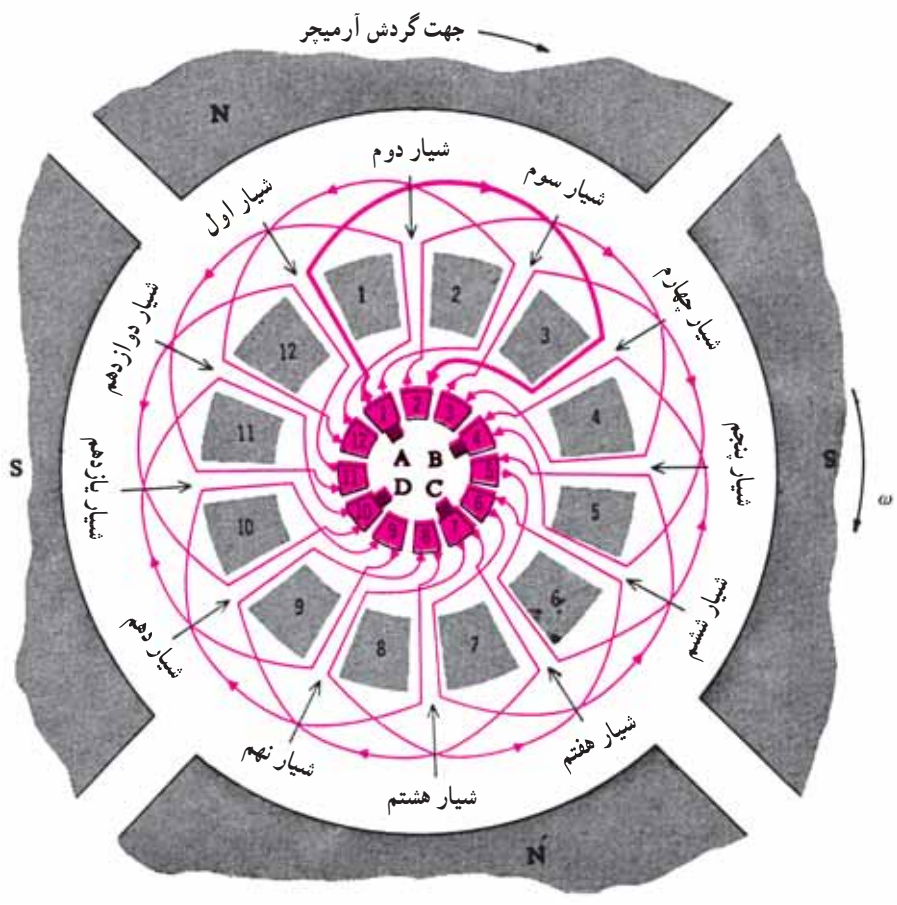
---

۱ ــ Lap Winding ۲ ــ Wave Winding

۳ ــ Frog - Leg Winding



شکل ۳۷ــ۲ــ نحوه قرار گرفتن کلافهای سیم‌پیچی حلقوی روی آرمیچر



شکل ۳۸ــ۲ــ دیاگرام مدوّر یک آرمیچر ۱۲ شیار ۴ قطب با سیم‌پیچی حلقوی

شده است. بازوی اوّل این کلاف در شیار ۱ و بازوی دوم آن در شیار ۴ قرار دارد. دلیل این امر این است که چون این ماشین ۴ قطب و ۱۲ شیار دارد پس گام قطبی آن برحسب تعداد برآمدگی مابین شیارهای آرمیچر برابر است با :

$$y_p = \frac{Z}{2p} = \frac{12}{4} = 3$$

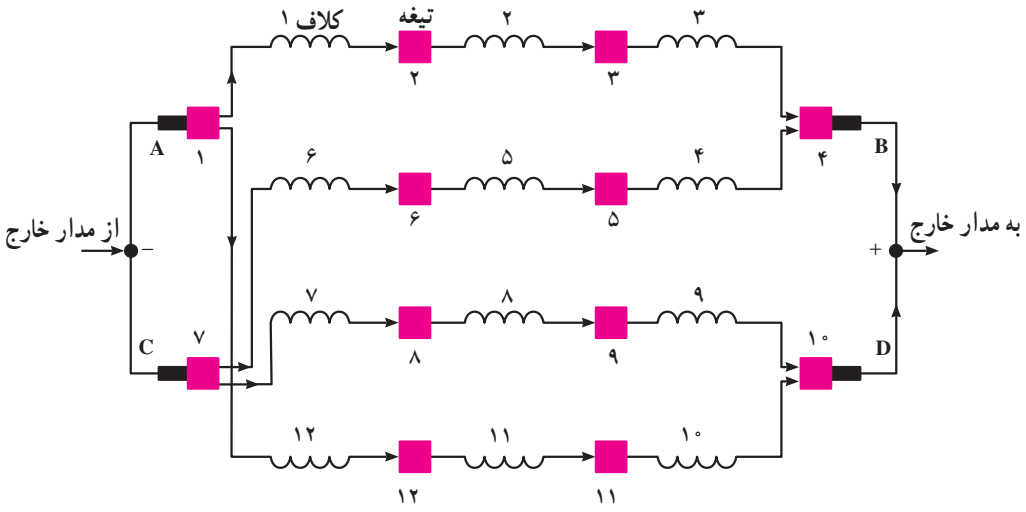
چنانکه گفتیم فاصله بین دو بازوی یک کلاف که آن را گام اوّل کلاف (y_1) نامیدیم باید تقریباً برابر گام قطبی باشد. بنابراین باید بازوی اوّل و دوم یک کلاف به اندازهٔ سه برآمدگی بین شیار فاصله داشته باشد.

بدیهی است که اگر بازوی اوّل در شیار ۱ قرار گیرد بازوی دوم باید در شیار ۴ ($1 + y_1 = 1 + 3 = 4$) قرار بگیرد. به همین ترتیب سرکلاف شمارهٔ ۲ به تیغهٔ کلکتور ۲ اتصال می‌یابد و بازوی اوّل کلاف ۲ از شیار ۲ می‌گذرد و بازوی دوم آن وارد شیار ۵ ($2 + y_1 = 2 + 3 = 5$) و ته آن به تیغهٔ ۳ کلکتور وصل می‌شود. به همین ترتیب سروته کلافها تا آخر به تیغه‌های کلکتور اتصال می‌یابند.

چنانکه در شکل ۳۸ــ۲ به وضوح دیده می‌شود در این سیم‌پیچی تمام کلافهایی که بازوهای آنها مابین قطب N و قطب S بعدی قرار دارند توسط تیغه‌های کلکتور با هم سری می‌شوند. در این مثال کلافهای ۱ و ۲و ۳ با هم سری می‌شوند. به این معنی که اگر مسیر جریان را از جاروبک منفی A که به تیغهٔ ۱ وصل است دنبال کنیم، می‌بینیم که جریان پس از عبور از کلاف اوّل به تیغهٔ ۲ رسیده و از آن‌جا چون مسیر دیگری ندارد، وارد کلاف ۲ می‌شود و پس از عبور از کلاف شمارهٔ ۲ به تیغهٔ شمارهٔ ۳ رسیده و چون در این تیغه نیز مسیر دیگری به جز کلاف ۳ وجود ندارد، از آنجا وارد کلاف ۳ شده و از طریق این کلاف، به تیغهٔ شمارهٔ ۴ می‌رسد و از طریق جاروبک مثبت B به مدار خارجی می‌رود. نظیر همین مسیر سری برای کلافهایی که مابین جاروبک B و C (یعنی بین قطب S سمت راست و قطب N پایینی در شکل ۳۸ــ۲ قرار گرفته‌اند)، بوجود می‌آید و به همین ترتیب کلافهای بعدی نیز ۳ تا ۳ تا با هم سری می‌شوند. یعنی در این سیم‌پیچی چهار مسیر (به تعداد قطبها) موازی مستقل از هم برای جریان وجود دارد که هریک از این مسیرها $\frac{1}{4}$ از جریان کل آرمیچر را از خود عبور می‌دهند.

ولتاژ مابین جاروبکهای مثبت و منفی ۳ برابر ولتاژ متوسط القاء شده در هریک از کلافهاست (زیرا سه کلاف مشابه با هم سری هستند). این مطلب را با توجه به شکل ۳۹ــ۲ که دیاگرام خطی آرمیچر مورد مطالعه است بهتر می‌توانید درک کنید.

تعداد راههای جریان در این سیم‌پیچی برابر با تعداد قطبها می‌باشد که ۴ است. یعنی $2a = 4$



شکل ۳۹ــ۲ــ دیاگرام خطی آرمیچر ۱۲ شیار ۴ قطب با سیم‌پیچی حلقوی

تعیین محل و پلاریته جاروبکها: برای تعیین محل جاروبکها بهترین روش این است که جهت جریانهایی را که به تیغه‌های کلکتور وارد یا از آن خارج می‌شود را مورد توجه قرار دهیم. ابتدا با قانون دست راست جهت جریان را در کلیه هادیها تعیین می‌کنیم. آنگاه باید ببینیم که کدامیک از جاروبکها پتانسیل بیشتر و کدام یک پتانسیل کمتر دارند.

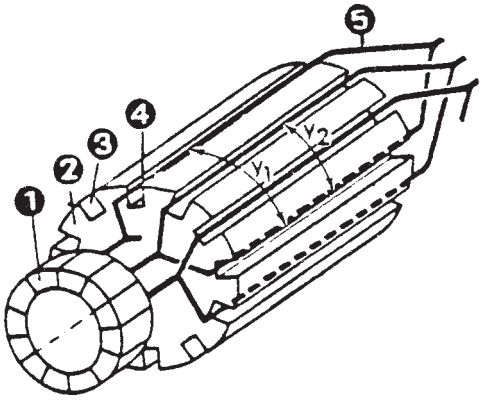
مثلاً در شکل ۳۸ــ۲ تیغه‌های ۴ و ۱۰ تیغه‌هایی هستند که دو جریان از کلافها به آنها وارد می‌شود. پس این تیغه، جایی است که باید محل خروج جریان از مولد (نقطه پتانسیل مثبت) باشد.

پس دو جاروبک مثبت روی این تیغه‌ها قرار می‌دهند. جاروبک B روی تیغهٔ ۴ و جاروبک D روی تیغه ۱۰. به همین ترتیب تیغه‌های ۱ و ۷ تیغه‌هایی هستند که دو جریان از آنها خارج می‌شود. پس این نقاط محل ورود جریان از مدارهای خارجی به مولد یعنی، قطب منفی یا نقاط پتانسیل کمتر هستند. یعنی جاروبک منفی A را باید روی تیغهٔ ۱ و جاروبک منفی C را روی تیغهٔ ۷ قرار داد.

اگر توجه کنید کلیه تیغه‌های دیگر محل اتصال بین یک جریان ورودی و خروجی هستند، که جریان از یک بازوی کلاف به آنها وارد شده و از آنجا به یک بازو از کلاف بعدی می‌رود. یعنی تیغه‌های دیگر فقط وظیفهٔ اتصال یا سری کردن کلافها را با هم‌دیگر به عهده دارند. به این ترتیب می‌بینید که در سیم‌پیچی حلقوی همیشه به تعداد جفت قطبهای مولد نقاط پتانسیل مثبت و پتانسیل منفی بوجود می‌آید. لذا در این نوع سیم‌پیچی تعداد جاروبکها برابر با تعداد قطبهاست.

دیاگرام گسترده: گرچه ترسیم دیاگرام گسترده بیشتر بکار سیم‌پیچی عملی آرمیچر می‌خورد

ولی ما در اینجا، آن را به اختصار ذکر کرده و تأکید می‌کنیم که هدف ما در اینجا آموزش چگونگی ترسیم دیاگرام گسترده سیم‌پیچی نیست. در این روش فرض بر این است که آرمیچر و کلکتور که استوانه‌ای شکل هستند باز شده و بصورت صفحه‌ای درآمده باشد. برای رسم دیاگرام گسترده ابتدا به تعداد شیارهای آرمیچر خطوطی بطور عمودی رسم می‌شود و از آنجا که در هر شیار دو بازو از دو کلاف مختلف قرار می‌گیرد، برای هر شیار دو خط رسم می‌کنیم، یکی خط پر، به نشانه بازویی که در بالای شیار قرار گرفته و یکی هم خط‌چین، به‌عنوان بازویی که در پایین شیار قرار گرفته است. شکل ۴۰ــ۲ آرمیچر و سیم‌بندی آن را قبل از اینکه استوانه آرمیچر را به‌صورت گسترده نمایش دهیم نشان می‌دهد.



شکل ۴۰ــ۲ــ دیاگرام آرمیچر قبل از باز کردن فرضی و نمایش گسترده آن
۱ــ تیغهٔ کلکتور ۲ــ برآمدگی شیار ۳ــ شیار ۴ــ بازوی کلاف ۵ــ پیشانی کلاف

قبل از رسم دیاگرام گسترده آرمیچر لازم است تا با بعضی از اصطلاحات سیم‌پیچی آرمیچر آشنا شویم. البته قبلاً با مواردی چون گام قطبی (y_p) و گام اوّل کلاف (y_1) آشنا شده‌ایم. پس در اینجا به ذکر بقیه موارد می‌پردازیم.

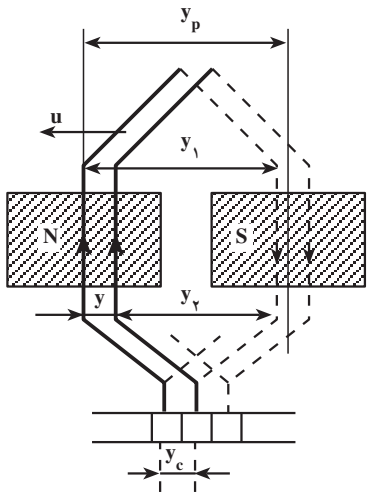
گام سیم‌پیچی: فاصله بین دو بازوی اوّل دو کلاف متوالی را گام سیم‌پیچی گویند و آن را با y نشان می‌دهند.

گام کلکتور: فاصله سر و ته یک کلاف را روی کلکتور گام کلکتور می‌گویند و آن را با y_c نشان می‌دهند (شکل ۴۱ــ۲).

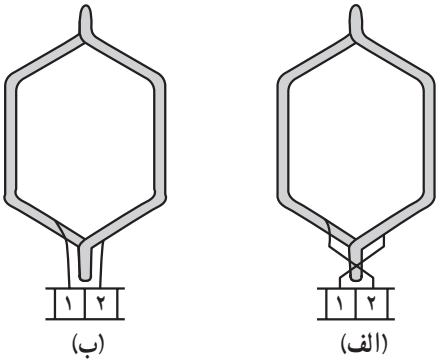
گام کلکتور در سیم‌بندی حلقوی از رابطه (۷ــ۲) به‌دست می‌آید.

$$y_c = \pm m \qquad (۷ــ۲)$$

در صورتی که $m = ۱$ باشد سیم‌پیچی را حلقوی ساده و در صورتی که y_c مثبت باشد سیم‌پیچی



شکل ۴۱ــ۲ــ دیاگرام گسترده دو کلاف از سیم‌پیچی حلقوی



شکل ۴۲ــ۲ــ اتصال سرکلاف به کلکتور در سیم‌پیچی حلقوی ساده

را راستگرد (شکل ۴۲ــ۲ــ الف) و اگر y_c منفی باشد سیم‌پیچی را چپگرد گویند (شکل ۴۲ــ۲ــ ب).

اگر $m > ۱$ باشد سیم‌پیچی را حلقوی مرکب گویند. مثلاً اگر $m = ۲$ باشد سیم‌پیچی حلقوی مرکب دوگانه است.

گام برگشت یا دوم سیم‌پیچی: فاصله بین بازوی دوم یک کلاف و بازوی اوّل کلاف بعد را برحسب برآمدگی بین شیار، گام برگشت یا گام دوم سیم‌پیچی گویند و آن را با $y_۲$ نشان می‌دهند. گام کلکتور از رابطه (۸ــ۲) به‌دست می‌آید.

$$y_c = y_۱ + y_۲ \qquad (۸ــ۲)$$

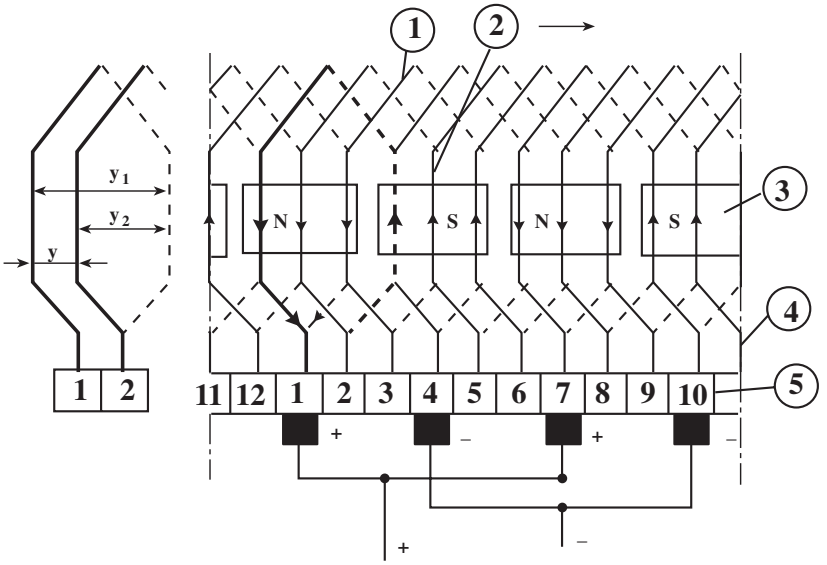
$y_۱$: گام رفت

y_c : گام کلکتور

$y_۲$: گام برگشت یا دوم سیم‌پیچی

چنانچه در شکل ۴۱ــ۲ می‌بینید در سیم‌بندی حلقوی برای جازدن بازوی اوّل کلاف دوم باید از بازوی دوم کلاف اوّل به اندازهٔ $y_۲$ به عقب برگشت (در خلاف جهت پیشرفت سیم‌پیچی)، به این سبب در این نوع سیم‌پیچی $y_۲$ را منفی درنظر می‌گیریم.

طبق رابطه (۸ــ۲) در سیم‌بندی حلقوی ساده که $y_c = \pm ۱$ است، طبیعی است که $y_۲$ منفی خواهد شد. شکل ۴۳ــ۲ دیاگرام گسترده سیم‌پیچی حلقوی ساده مربوط به دیاگرام مدور شکل ۳۸ــ۲ را نشان می‌دهد.



شکل ۴۳ــ۲ــ دیاگرام گسترده آرمیچر مولد چهار قطب، ۱۲ شیار، حلقوی ساده
۱ــ پیشانی کلاف ۲ــ بازوی کلاف ۳ــ قطب ایجاد شده ۴ــ خط برش ۵ــ تیغهٔ کلکتور

راههای جریان در سیم‌پیچی حلقوی ساده: در سیم‌پیچی ساده که $m = \pm 1$ است تعداد راههای جریان بین جاروبکهای مثبت و منفی همیشه برابر است با :

$$2a = 2p \qquad (۲ــ۹)$$

$2a$: تعداد راههای جریان موازی

$2p$: تعداد قطبهای ماشین DC

تعداد جاروبکها در این نوع سیم‌پیچی باید برابر تعداد قطبها باشد.

بطور نسبی سیم پیچی حلقوی قابلیت جریاندهی بیشتر و ولتاژ خروجی کمتری نسبت به سیم‌پیچی موجی دارد.

مثال ۳ــ۲: یک مولد ۴ قطبی دارای آرمیچری است که جمعاً ۴۴۰ دور سیم‌پیچی به‌طور حلقوی ساده دارد. اگر مقاومت اهمی سیم‌پیچها برای هر دور ۰/۰۰۴Ω و جریان آرمیچر ۱۰۰ آمپر باشد مقاومت اهمی آرمیچر و جریانی که از هر مسیر جریان می‌گذرد چقدر است؟

حل: مقاومت کل سیم‌پیچها برابر است با : $R_t = ۲۴۰ \times ۰/۰۰۴ = ۱/۷۶\Omega$

تعداد راه جریان برابر است با : $2a = 2p = ۴$

مقاومت هر مسیر جریان چنین است : $R_۱ = \frac{R_t}{2a} = \frac{۱/۷۶}{۲} = ۰/۴۴\Omega$

مقاومت اهمی آرمیچر : $R_a = \frac{R_۱}{2a} = \frac{۰/۴۴}{۴} = ۰/۱۱\Omega$

جریان هر مسیر موازی جریان : $I_1 = \frac{I_a}{2a} = \frac{100}{4} = 25A$

سیم‌پیچی حلقوی مرکب: نوعی سیم‌پیچی است که در آن $m > 1$ است.

در سیم‌پیچی حلقوی مرکب تعداد راههای جریان m برابر تعداد قطبها است (رابطه ۱۰ــ۲).
به همین دلیل از حلقوی مرکب در ماشینهایی که ولتاژ کم و جریان زیاد دارند، استفاده می‌شود.

$$2a = 2p.m \qquad (2ــ10)$$

2a : راههای موازی جریان

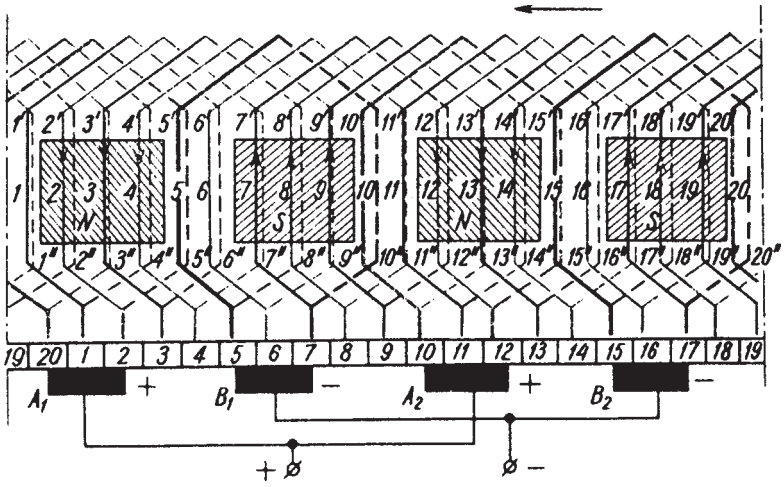
2p : تعداد قطبها

m : درجه مرکب است.

در این سیم‌پیچی $y_c = \pm m$ است و معمولاً m را بزرگتر از ۴ انتخاب نمی‌کنند.

تعداد جاروبکهای سیم‌پیچی حلقوی مرکب مانند سیم‌پیچی حلقوی ساده برابر تعداد قطبها می‌باشد. امّا پهنای هر جاروبک باید m تیغهٔ کلکتور را بپوشاند زیرا گام کلکتور مساوی m می‌باشد. سیم‌بندی حلقوی مرکب در واقع دارای m سیم‌پیچی حلقوی مستقل از هم است که پهنای جاروبک باعث می‌شود تا این m سیم‌پیچی با هم موازی شوند. یعنی اگر یک سیم‌بندی حلقوی مرکب دوگانه ۴ قطب داشته باشیم دو سیم‌پیچی حلقوی داریم که هریک دارای چهار مسیرجریان هستند و سروته کلافهای آنها روی تیغه‌های کلکتور یک در میان وصل شده است. حال جاروبک با پهنای دو تیغه سبب ارتباط الکتریکی بین دو سیم‌پیچ از طریق اتصال سروته کلافهای آنها به یکدیگر می‌شود. در نتیجه آرمیچر دارای ۸ مسیر جریان می‌شود.

شکل ۴۴ــ۲ دیاگرام گسترده سیم‌پیچی حلقوی مرکب یک آرمیچر را نشان می‌دهد.



شکل ۴۴ــ۲ــ دیاگرام گسترده سیم‌پیچی حلقوی مرکب دوگانه یک آرمیچر ۲۰ شیار چهار قطب

ب ــ سیم‌پیچی موجی: در سیم‌پیچی حلقوی ساده سر و ته یک کلاف به تیغه‌های مجاور هم وصل می‌شد و سر کلاف دوم به ته کلاف اوّل وصل می‌گردید و بازوی اوّل کلاف دوم در شیار بعدی نسبت به شیاری که بازوی اوّل قرار گرفته است جای می‌گرفت. به این ترتیب نیروی محرکهٔ کلافهایی که بین دو قطب N و S متوالی قرار می‌گرفتند با هم جمع می‌گردید. توجه کنید که در این نوع سیم‌پیچی بازوهای کلاف متوالی زیر یک قطب قرار می‌گیرند. یعنی اگر بازوی اوّل کلاف ۱ زیر قطب N قرار گیرد، بازوی اوّل کلاف دوم نیز زیر همان قطب N قرار می‌گیرد و بازوهای دوم آنها نیز به همین ترتیب هر دو زیر قطب S مجاور قرار می‌گیرند.

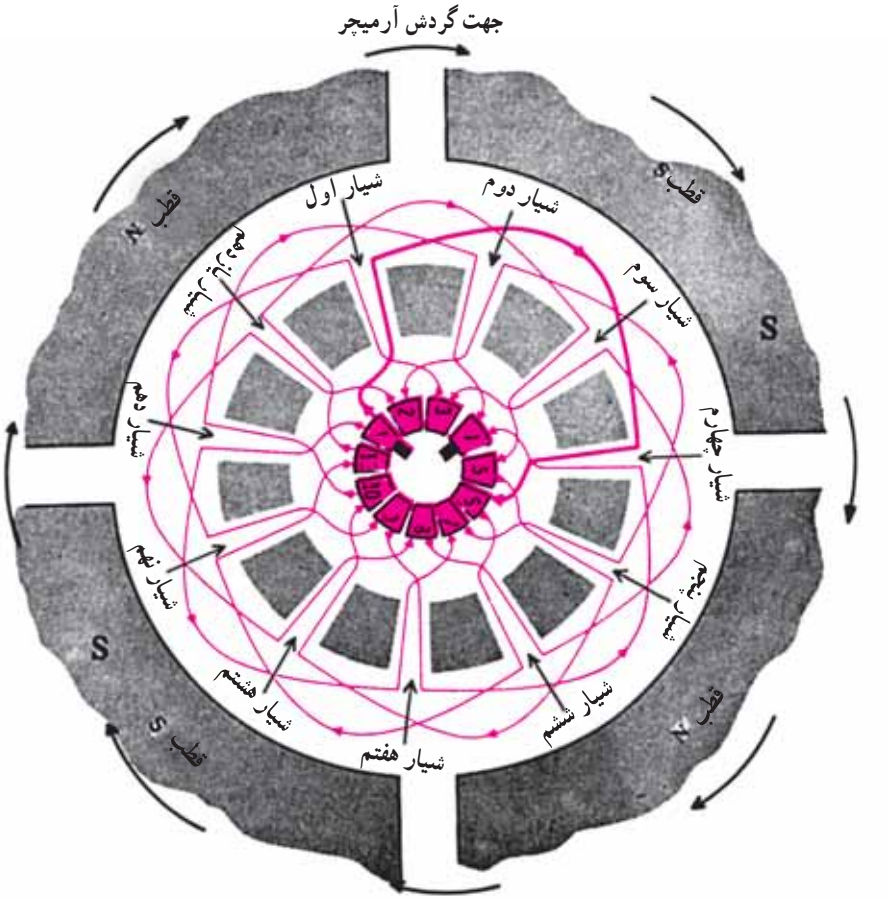
اما اگر بجای این کار بازوی کلافهای متوالی ته زیر یک قطب، بلکه زیر قطبهای همنام بعدی قرار گیرند، یعنی این‌که وقتی بازوی اوّل کلاف ۱ زیر یک قطب N قرار می‌گیرد بازوی اوّل کلاف ۲ زیر قطب N بعدی (یعنی به فاصله تقریبی دوگام قطبی) قرار بگیرد. آنوقت نیمی از تمام کلافها با همدیگر بطور سری قرار می‌گیرند.

به این ترتیب ولتاژ خروجی مولد برابر با مجموع ولتاژهای القاء شده در نصف کل کلافها خواهد بود و لذا با این‌گونه سیم‌پیچی می‌توان ولتاژ زیادی تولید کرد. اینگونه سیم‌بندی را سیم‌بندی موجی یا گاهی سری نیز می‌گویند. برای این‌که به نحوه سری شدن نیمی از کل کلافها پی‌ببرند شکل **۴۵ــ۲** که دیاگرام مدور سیم‌پیچی مولّد ۱۱ شیار، ۴ قطب و موجی ساده را نشان می‌دهد درنظر بگیرید.

با توجه به شکل **۴۵ــ۲** مشاهده می‌شود که اگر از تیغهٔ ۱ که سر کلاف شمارهٔ ۱ (پررنگ) به آن وصل است شروع کنیم، سر بازوی اوّل این کلاف که زیر قطب N قرار دارد دارای پتانسیل منفی و سر بازوی دوم آن که از شیار ۴ عبور می‌کند چون زیر قطب S قرار دارد دارای پتانسیل مثبت می‌شود. بازوی دوم این کلاف به تیغهٔ ۶ وصل است و جریان آن راهی ندارد جز اینکه از طریق کلاف ۲ عبور کند. بازوی اوّل کلاف دوم که از شیار ۶ عبور می‌کند زیر قطب N بعدی قرار دارد، لذا پلاریتهٔ سر آن منفی است و بازوی دوم همین کلاف که در شیار ۹ قرار دارد زیر قطب S بعدی قرار می‌گیرد که پلاریتهٔ سر آن مثبت است.

بازوی دوم کلاف دوم پس از عبور از شیار ۹ به تیغهٔ ۱۱ رسیده و از طریق این تیغه به کلاف سوم که بازوی اوّل آن در شیار ۱۱ قرار داشته و باز زیر قطب N قرار دارد و پلاریتهٔ آن منفی است وصل می‌شود.

بازوی دوم کلاف سوم در شیار ۳ قرار دارد که زیر قطب S واقع شده است و لذا سر آن پلاریتهٔ مثبت خواهد داشت و به همین ترتیب کلافهای ۴ و ۵ نیز دنبال کلافهای ۱ و ۲ و ۳ بطور سری وصل



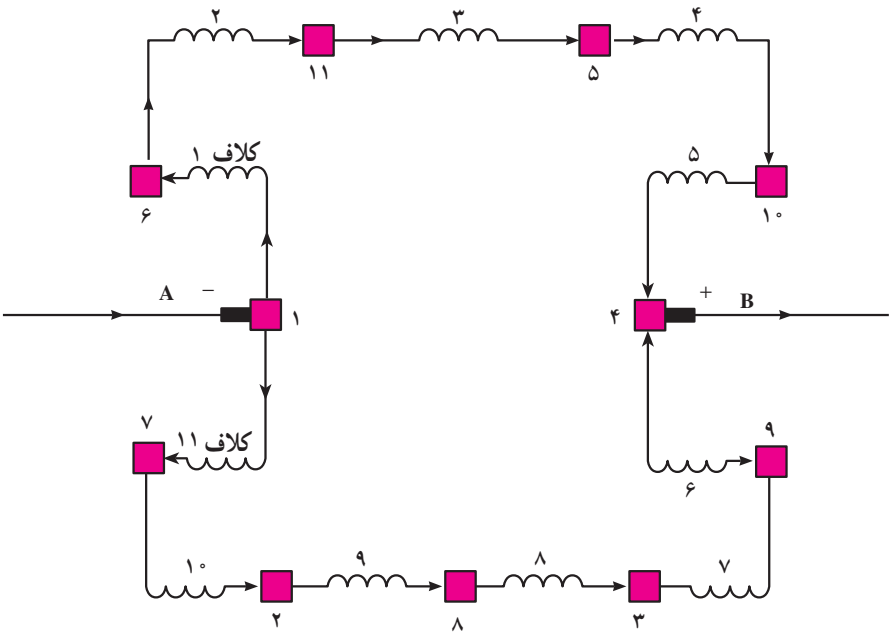
شکل ۴۵ــ۲ــ دیاگرام مدور آرمیچر ۱۱ شیار ۴ قطب با سیم‌پیچی موجی

می‌شوند، تا اینکه ته کلاف ۵ به تیغهٔ شمارهٔ ۴ وصل می‌گردد. نیروی محرکهٔ این کلافها درست نظیر چند پیل سری با همدیگر جمع می‌شود. ۶ کلاف باقیماندهٔ بعدی نیز به همین ترتیب با هم سری شده و در مجموع دو مسیر موازی جریان بوجود می‌آورد. باز هم برای اینکه بهتر بتوانید چگونگی سری‌شدن کلافها و تشکیل دو مسیر موازی جریان را دریابید دیاگرام خطی آرمیچر مورد مطالعه را در شکل ۴۶ــ۲ رسم کرده‌ایم.

در این دیاگرام بخوبی دو مسیرجریان مستقل از هم که از تیغهٔ ۱ شروع و به تیغهٔ ۴ ختم می‌گردند و چگونگی سری شدن کلافها دیده می‌شود.

پس تعداد راههای جریان در این سیم‌پیچی برابر ۲ و مستقل از تعداد قطبها می‌باشد یعنی $2a = 2$.

دیاگرام گسترده سیم‌پیچی موجی ساده: برای رسم دیاگرام گسترده این نوع سیم‌پیچی باید



شکل ۴۶ــ۲ــ دیاگرام تک‌خطی آرمیچر ۱۱ شیار، ۴ قطب با سیم‌پیچی موجی ساده

توجه کرد که :

ــ گام کلاف در اینجا نیز تقریباً برابر گام قطبی است و از رابطه (۶ــ۲) به‌دست می‌آید :

$$y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon \qquad (۶ــ۲)$$

ــ گام کلکتور در این سیم‌پیچی از رابطه (۱۱ــ۲) به‌دست می‌آید :

$$y_c = \frac{C \pm m}{P} \qquad (۱۱ــ۲)$$

C : تعداد تیغه‌های کلکتور

P : تعداد زوج قطب

y_c : گام قطبی

m : درجه مرکب بودن

اگر $m = ۱$ باشد سیم‌بندی موجی ساده، علامت (+) برای سیم‌پیچی راستگرد و علامت (−) برای سیم‌پیچی چپگرد است.

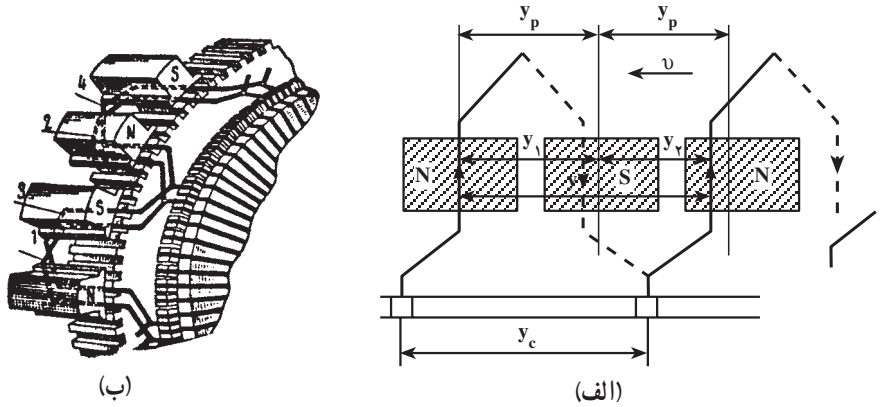
ــ گام سیم‌بندی برای گام کلکتور است و تقریباً دو برابر گام قطبی است.

ــ گام دوم در این سیم‌پیچی از رابطه (۸ــ۲) قابل محاسبه است. البته به لحاظ بزرگتر بودن y_c از y_1 ، y_2 همواره مثبت است.

$$y_c = y_1 + y_2 \qquad (۲_۸)$$

ـ در این سیم‌پیچی تنها دو جاروبک لازم است گرچه می‌توان تعداد جاروبکها را به تعداد قطبها نیز گرفت.

شکل ۴۷ـ۲ نحوه قرار گرفتن کلافهای سیم‌پیچی سری روی آرمیچر و ارتباط گامها با کلافهای سیم‌پیچی را نشان می‌دهد.



شکل ۴۷ـ۲ـ نحوه قرار گرفتن کلافها در سیم‌پیچی موجی

مثال: دیاگرام گسترده آرمیچر شکل ۴۵ـ۲ را که موجی ساده چپگرد است پس از محاسبه رسم کنید.

سیم‌پیچی را با گام بلند رسم می‌نماییم.

$$y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon = \frac{11}{4} + \frac{1}{4} = 3$$

$$y_c = \frac{C-1}{p} = \frac{11-1}{2} = 5$$

$$y_c = y_1 + y_2$$

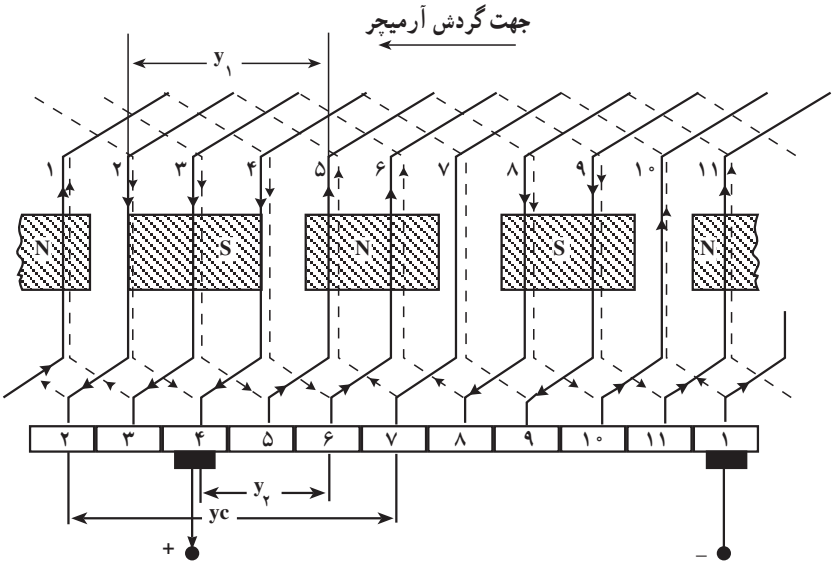
$$5 = 3 + y_2 \Rightarrow y_2 = 2$$

شکل ۴۸ـ۲ دیاگرام گسترده آرمیچر ۱۱ شیار، ۴ قطب به روش موجی ساده را نشان می‌دهد.

تعداد راههای جریان در سیم‌پیچی موجی از رابطه (۱۲ـ۲) بدست می‌آید و مستقل از تعداد قطبها می‌باشد.

$$2a = 2m \qquad (۲_۱۲)$$

m درجه مرکب بودن سیم‌پیچی است اگر m برابر یک باشد سیم‌پیچی را موجی ساده و اگر $m > 1$ باشد سیم‌پیچی را موجی مرکب گویند.



شکل ۴۸ــ۲ــ دیاگرام گسترده آرمیچر ۱۱ شیار، ۴ قطب موجی ساده

سیم‌پیچی موجی در مقایسه با سیم‌پیچی حلقوی قابلیت ولتاژ خروجی بیشتر و جریاندهی کمتر را دارد.

۳ــ۸ــ۲ــ مقایسه مشخصات و کاربردهای انواع سیم‌پیچیهای آرمیچر: جدول ۱ــ۲ موارد کاربرد سیم‌پیچیهای مختلف آرمیچر ماشینهای جریان مستقیم را بیان می‌نماید.

جدول ۱ ــ۲

نوع سیم‌پیچی	$y_c = y$	y_1	y_2	عده شاخه‌های موازی	موارد کاربرد
سیم‌پیچی حلقه‌ای ساده	± 1	$\frac{Z_i}{2p} \mp \varepsilon$	$\pm 1 - y_1$	$2p$	ماشینهای با قدرت متوسط و ولتاژ عادی و ماشینهای با قدرت زیاد و ولتاژ زیاد
سیم‌پیچی حلقه‌ای مرکب	$\pm m$	$\frac{Z_i}{2p} \mp \varepsilon$	$\pm m - y_1$	$2pm$	ماشینهای با قدرت کم و ولتاژ ضعیف و ماشینهای با قدرت متوسط و ولتاژ متوسط و زیاد
سیم‌پیچی موجی ساده	$\frac{c \pm 1}{p}$	$\frac{Z_i}{2p} \mp \varepsilon$	$y - y_1$	2	ماشینهای با قدرت کم و ولتاژ عادی ماشینهای با قدرت متوسط و ولتاژ متوسط و زیاد
سیم‌پیچی موجی مرکب	$\frac{c \mp m}{p}$	$\frac{Z_i}{2p} \mp \varepsilon$	$y - y_1$	$2m$	ماشینهای با قدرت متوسط و ولتاژ زیاد

۹ــ۲ــ پرسش

۱ــ خصوصیات اصلی یک سیم‌پیچ حلقوی چیست؟

۲ــ بطور کلی کدام یک از سیم‌پیچهای موجی یا حلقوی ظرفیت جریان بیشتری دارند؟

۳ــ سیم‌پیچی ماشینهای جریان مستقیم معمولاً به چند صورت انجام می‌گیرد؟

۴ــ در سیم‌بندی حلقوی گام کلکتور چقدر است؟

۵ــ یک آرمیچر دو قطب با سیم‌پیچی موجی و حلقوی ساده چند مسیر جریان دارد؟

۶ــ مفهوم سیم‌پیچی سری و موازی چیست؟

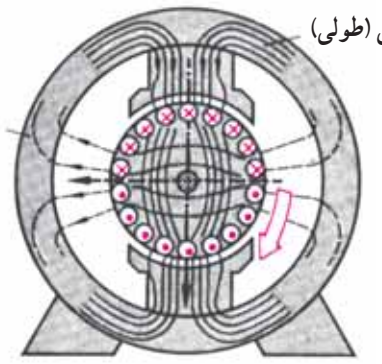
۷ــ موارد کاربرد هریک از انواع سیم‌پیچهای آرمیچر را شرح دهید.

۸ــ چرا در مبحث سیم‌پیچی ماشینهای الکتریکی جریان مستقیم معمولاً از روش سیم‌پیچی تحریک صحبتی نمی‌شود؟

۹ــ گام کلکتور در سیم‌پیچی موجی مرکب راستگرد از چه رابطه‌ای بدست می‌آید؟

۱۰ــ۲ــ عکس‌العمل مغناطیسی آرمیچر

هرگاه قطبهای یک ماشین جریان مستقیم را تحریک نماییم، بر اثر عبور جریان از سیم‌پیچ قطبها، جهت خطوط قوای مغناطیسی ایجاد شده از قطب شمال (N) به قطب جنوب (S) می‌باشد. حوزه این مغناطیس که آن را میدان اصلی (طولی) می‌نامند، مدار خود را از طریق هستهٔ قطبها می‌بندد (شکل ۴۹ــ۲).



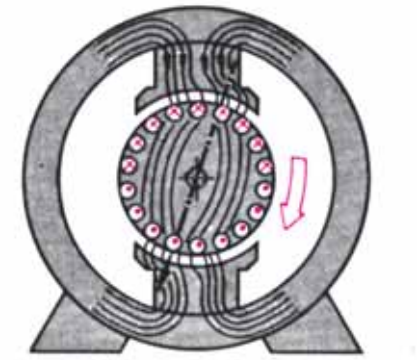
شکل ۴۹ــ۲ــ میدان عکس‌العمل (عرضی)

۱ــ۱۰ــ۲ــ ایجاد میدان عرضی آرمیچر: اگر یک ماشین جریان مستقیم زیر بار قرار گیرد از آرمیچر آن جریانی عبور می‌کند. هادیهای آرمیچر در زیر هر قطب دارای جهت جریان یکسان هستند و مانند سیمهای بوبینی بوده که در یک طرف بازوی آن جریان الکتریکی در جهت رفت و در

بازوی دیگر جهت جریان در جهت برگشت می‌باشد. به این ترتیب در اثر عبور جریان از آرمیچر یک میدان مغناطیسی دیگر بوجود می‌آید بطوری‌که جهت این میدان عمود بر جهت میدان قطبها می‌باشد (شکل ۴۹ــ۲). این میدان را میدان عرضی آرمیچر می‌گویند.

چنانچه ماشینهای الکتریکی جریان مستقیم زیر بار قرار گیرند یک میدان عکس‌العمل (عرضی) توسط آرمیچر ایجاد می‌گردد.

هر قدر ماشین بیشتر زیر بار برود میدان عرضی آرمیچر قوی‌تر خواهد بود. این میدان با میدان قطب‌های اصلی ایجاد یک میدان منتجه می‌کند که محور خنثی آن نسبت به میدان اصلی دارای انحراف می‌باشد. این انحراف محور خنثی در مولدها در جهت چرخش و در موتورها در خلاف جهت چرخش آرمیچر می‌باشد (شکل ۵۰ــ۲).



شکل ۵۰ــ۲ــ برآیند میدان در یک ماشین جریان مستقیم

چنانچه یک ماشین جریان مستقیم زیر بار قرار گیرد، باعث می‌شود که منطقه خنثی در مولدها در جهت چرخش و در موتورها در خلاف جهت چرخش تغییر مکان دهد.

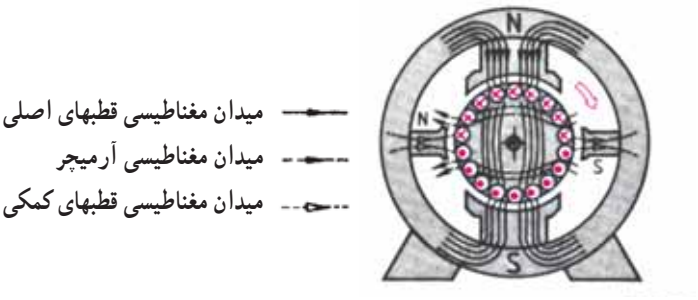
تأثیر میدان آرمیچر بر میدان اصلی قطبها را عکس‌العمل آرمیچر می‌نامند. عکس‌العمل آرمیچر سبب تضعیف میدان اصلی ماشین می‌شود. از طرف دیگر در ماشین به دلیل این‌که پهنای زغال بزرگتر از پهنای عایق بین دو تیغه کلکتور است. در لحظاتی، دو تیغهٔ مجاور توسط جاروبکها به هم متصل

می‌شوند. به همین دلیل مثلاً در سیم‌پیچی حلقوی سر و ته یک کلاف که به دو تیغه کنار هم وصل است، اتصال کوتاه می‌شود. در این حالت برای اینکه انرژی تلف نشود بایستی کلاف اتصال کوتاه شده فاقد ولتاژ باشد. در طراحی ماشینها محل قرار گرفتن جاروبکها رابه نحوی تعیین می‌کنند تا بازوهای کلاف اتصال کوتاه شده در ناحیه خنثی یا به‌عبارت دیگر در منطقه بین دو قطب قرار داشته باشند و ولتاژی در آنها القاء نشود. از آنجایی‌که عکس‌العمل آرمیچر سبب انحراف محور خنثی می‌شود، لذا کلافی که اتصال کوتاه می‌شود دیگر در ناحیه خنثی نبوده و در آن ولتاژ القاء می‌شود. پس انرژی موجود در آن به هنگام اتصال کوتاه با ایجاد یک جریان ناخواسته در کلاف تلف می‌شود و هم‌چنین جرقه شدیدی در زیر جاروبکها ظاهر می‌گردد.

عکس‌العمل آرمیچر سبب تضعیف میدان مغناطیسی اصلی و انحراف محور خنثی می‌شود. در نتیجه نیروی محرکه القاء شده در سیم‌پیچ کم شده، تلفات انرژی در ماشین و جرقه در زیر جاروبکها بوجود می‌آید.

برای از بین بردن و یا کم‌کردن اثر عکس‌العمل آرمیچر در ماشینهای DC می‌توان از قطبهای کمکی و یا در ماشینهای بزرگتر از قطبهای کمکی و سیم‌پیچ جبرانگر استفاده نمود.

۲ــ۱۰ــ۲ــ تعدیل میدان عرضی توسط قطب کمکی[1]: قطبهای کمکی، در ماشینهای الکتریکی جریان مستقیم، میدانی در خلاف جهت میدان آرمیچر ایجاد می‌کنند که اثر میدان عرضی را از بین می‌برد (شکل ۵۱ــ۲). لذا در ماشینهایی که از قطب کمکی استفاده می‌کنند در اثر افزایش و یا تغییر بار، منطقهٔ خنثی تغییر نمی‌کند. قطبهای کمکی این امکان را نیز بوجود می‌آورند که جرقه جاروبکها خیلی ضعیف شود.



شکل ۵۱ــ۲ــ ایجاد میدان توسط قطبهای کمکی

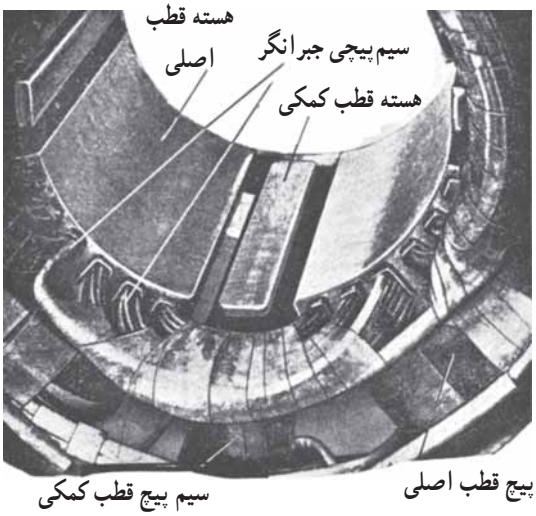
۱ ــ Interpole

قطبهای کمکی در ماشینهای الکتریکی جریان مستقیم این امکان را بوجود می‌آورند که منطقهٔ خنثی در طول زمان بارداری ماشین تغییر نکند.

از نظر پلاریته قطبهای کمکی مولد باید در جهت چرخش مولد و مخالف قطب اصلی باشد. مثلاً در کنار یک قطب S (جنوب) با توجه به جهت چرخش مولد باید یک قطب کمکی با پلاریته N (شمال) باشد و در موتورها عکس آن است (شکل ۵۱ــ۲).

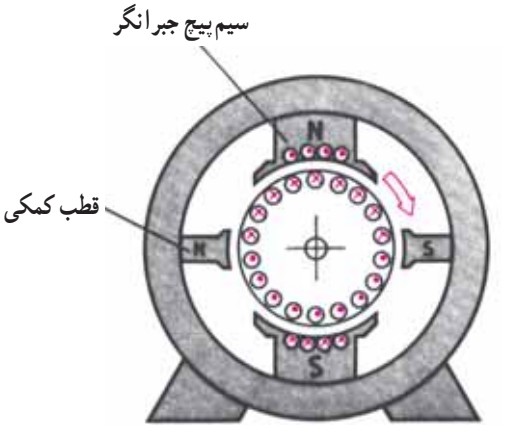
از آنجایی که مقدار میدان عرضی به بار ماشین وابسته است، به همین جهت میدان قطب کمکی نیز باید متناسب با تغییرات بار ماشین، تغییر کند. به این معنی که اگر میدان عرضی آرمیچر ضعیف بود میدان قطب کمکی نیز ضعیف باشد و چنانچه میدان عرضی آرمیچر قوی بود میدان ناشی از قطب کمکی نیز باید قوی باشد. به همین جهت سیم‌پیچ قطب کمکی را با سیم‌پیچ آرمیچر بطور سری به‌هم وصل می‌کنند تا جریان آرمیچر از آن عبور کرده و میدان مغناطیسی آن همیشه متناسب با میدان مغناطیسی آرمیچر باشد.

۳ــ۱۰ــ۲ــ سیم‌پیچی جبرانگر[1] (تعدیل): قطبهای کمکی نمی‌توانند اثر میدان عرضی آرمیچر را در ناحیهٔ زیر قطبها کاملاً از بین ببرند. به همین دلیل در ماشینهای بزرگ صنعتی میدان عرضی آرمیچر را در ناحیه زیر قطبها به کمک سیم‌پیچهایی به نام سیم‌پیچهای جبرانگر خنثی می‌کنند. این سیم‌پیچها در پیشانی قطبهای اصلی تعبیه می‌شوند (شکل ۵۲ــ۲).



شکل ۵۲ــ۲ــ استاتور یک ماشین DC همراه با سیم‌پیچهای قطب کمکی و جبرانگر

۱ ــ Compensating Winding



شکل ۵۳ــ۲ــ جهت جریان در سیم‌پیچهای جبرانگر و آرمیچر

سیم‌پیچی جبرانگر همچون سیم‌پیچی قطب کمکی با آرمیچر به‌صورت سری قرار گرفته و از جریان آرمیچر تغذیه می‌کنند. جهت جریان در سیم پیچ جبرانگر مخالف جهت جریان در بازوهایی از سیم‌پیچ آرمیچر است که در مجاورت آن قرار می‌گیرد (شکل ۵۳ــ۲).

در ماشینهای بزرگ DC ، سیم‌پیچ جبرانگر که در پیشانی قطبهای اصلی قرار دارد اثر میدان عرضی آرمیچر را در زیر قطبهای اصلی ازبین می‌برد.

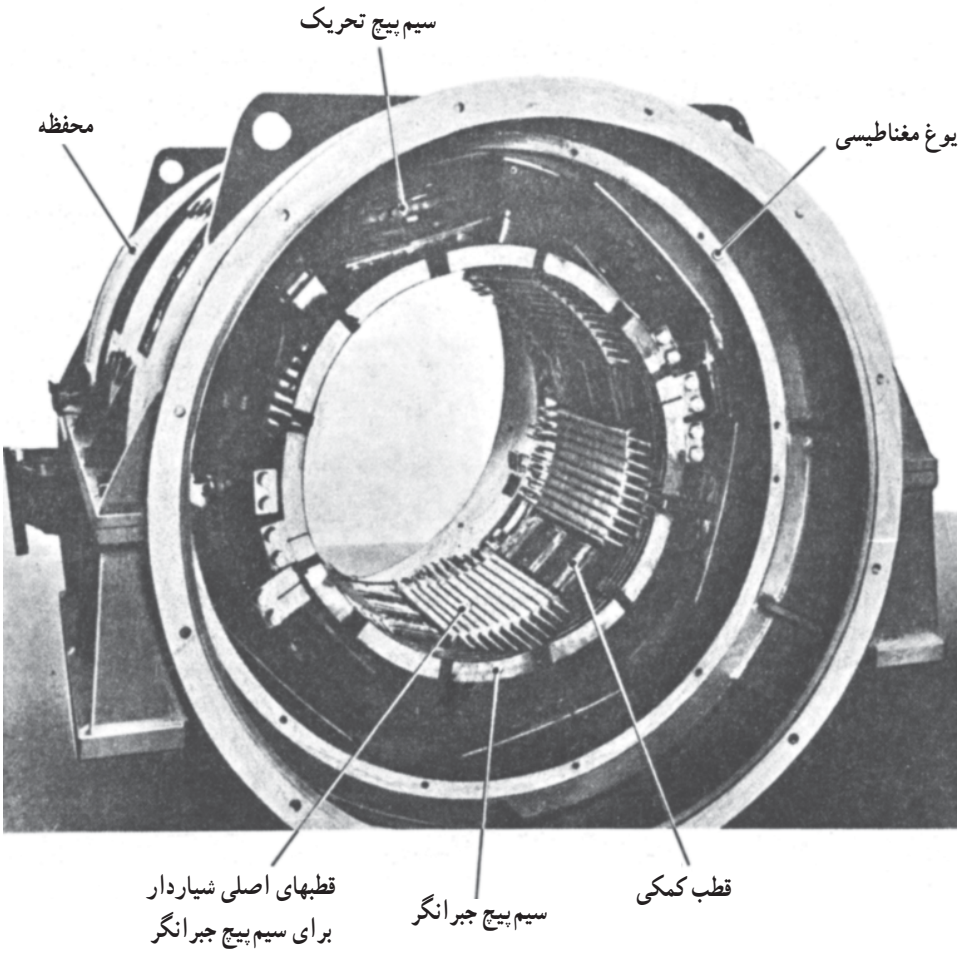
از سیم‌پیچ جبرانگر بیشتر در ماشینهای صنعتی که تغییرات بار آنها به‌صورت ضربه‌ای است استفاده می‌شود.

۴ــ۱۰ــ۲ــ پدیدهٔ کموتاسیون در ماشینهای جریان مستقیم: قبلاً گفته شد که وظیفهٔ اصلی کموتاتور این است که با تغییر تماس جاروبک از یک تیغهٔ کموتاتور به تیغهٔ دیگر از تغییر جهت جریان در مدار خارجی جلوگیری کند. این عمل کموتاسیون نام دارد و مدّت زمانی که طول می‌کشد تا اتصال از یک تیغه به تیغهٔ دیگر، تغییر کند زمان کموتاسیون نامیده می‌شود. هرچه جاروبک پهن‌تر و سرعت ماشین کمتر باشد، مدّت زمان کموتاسیون طولانی‌تر است.

نکاتی که در طی زمان کموتاسیون بایستی به آنها توجه شود عبارتند از :

۱ــ در طی این زمان جهت جریان در کلافی که دوسر آن به دو تیغهٔ مجاور وصل است عوض می‌شود. به همین دلیل لازم است در زمانی که دوسر یک کلاف اتصال کوتاه می‌شود نیروی محرکه‌ای در آن القاء نشود. برای انجام این امر لازم است که کلاف اتصال کوتاه شده در این لحظه فوران میدان مغناطیسی را قطع نکند، به عبارتی :

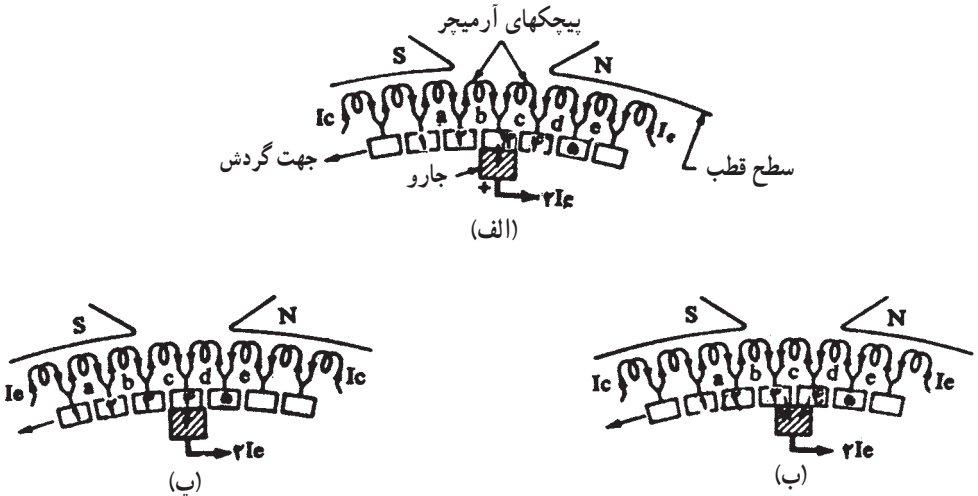
طی زمان کموتاسیون، باید کلاف اتصال کوتاه شده در صفحهٔ خنثی قرار گرفته باشد.



شکل ۵۴ــ۲ــ استاتور ماشین جریان مستقیم با قطبهای کمکی، سیم‌پیچ جبرانگر

۲ــ زمانی وجود دارد که جاروبک همزمان با دو تیغه تماس دارد و دوسر یک کلاف را اتصال کوتاه می‌کند و این زمان به ساختمان ماشین (قطر کلکتور، پهنای جاروبک و ...) و سرعت چرخش ماشین بستگی دارد.

برای بررسی نحوه کموتاسیون در ماشین DC شکل ۵۵ــ۲ را درنظر می‌گیریم. شکل ۵۵ــ۲ــالف زمانی را نشان می‌دهد که جاروبک (که در صفحهٔ خنثی قرار گرفته است) به تیغه ۳ کلکتور اتصال دارد. جهت فلشها نشان می‌دهد که جریان از دوطرف (نیمی از آن از کلاف b و نیم‌دیگر ازکلاف C) وارد تیغهٔ ۳ شده و از طریق جاروبک به مدار خارجی می‌رود. در لحظه بعد (شکل ۵۵ــ۲ــ ب) آرمیچر تغییر مکان داده و جاروبک دو تیغهٔ ۳ و ۴ را به هم وصل می‌کند. در این حالت دوسر کلاف C اتصال کوتاه می‌شود، امّا چون کلاف در صفحهٔ خنثی قرار دارد نیروی



شکل ۵۵ــ۲ــ نمایش کموتاسیون دو تیغه‌ای در ماشین DC

محرکه‌ای در آن القاء نمی‌شود و جریانی که از کلاف عبور می‌کند در اثر مقاومت اهمی کلاف و مقاومت تماسی جاروبک و تیغه‌ها مستهلک می‌شود.

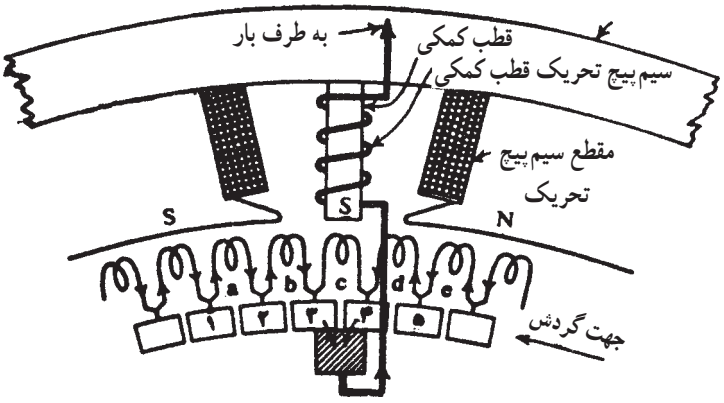
در لحظهٔ بعد، اتصال تیغهٔ ۳ از جاروبک قطع، و چنانچه در شکل (۵۵ــ۲ــ پ) دیده می‌شود کلاف C با سایر کلافهایی که زیر قطب S (جنوب) قرار گرفته‌اند سری می‌شود به این ترتیب جهت جریان در آن معکوس می‌گردد. امّا اگر توجه کنید زمان کموتاسیون بسیار کوتاه است و طی این زمان جریان در کلاف C در زمان بسیار کوتاهی می‌خواهد تا به صفر برسد و سپس در جهت عکس ازدیاد یابد، امّا چون سیم‌پیچ خاصیت خودالقایی دارد، از صفرشدن و تغییر جهت یافتن جریان جلوگیری می‌کند.

نیروی محرکه خودالقایی بویژه در لحظه‌ای که اتصال جاروبک می‌خواهد از تیغهٔ شمارهٔ ۳ قطع شود مقدار قابل ملاحظه‌ای است (زیرا زمان قطع شدن خیلی کوتاه است). این نیروی محرکه باعث می‌شود که حتی پس از قطع شدن اتصال جاروبک از تیغه، جریان ناشی از آن در فاصله هوایی به‌صورت جرقه ظاهر شود به نحوی که تداوم جرقه می‌تواند موجب سوختن تیغه‌ها شود. برای اینکه بتوانیم راه چاره‌ای برای حل این مشکل پیدا کنیم بد نیست با دقت بیشتری چگونگی ایجاد نیروی محرکهٔ خودالقایی را مورد بررسی قرار دهیم.

در واقع مکانیزم عمل به این صورت است : زمانی که جریان در یک جهت در کلاف C جاری است، در فضای اطراف آن یک میدان مغناطیسی بوجود می‌آید. وقتی این جریان ناگهان به صفر می‌رسد و می‌خواهد تغییر جهت دهد، میدان مغناطیسی ناشی از آن نیز سریع فروکش کرده و تغییر جهت می‌دهد. این تغییر سریع میدان، سیم‌پیچهای کلاف را قطع کرده و در آن نیروی محرکه‌ای القاء

می‌کند و جهت آن طوری است که جریان ناشی از این تغییر میدان می‌خواهد از کم شدن و حتی صفرشدن جریان کلاف جلوگیری کند. با توجه به مطلب فوق به نظر شما چگونه می‌توان اثر این نیروی محرکهٔ القایی را خنثی کرد؟

اگر بتوانیم درست، در لحظه‌ای که میدان در اثر تغییر سریع جریان می‌خواهد سریعاً فروکش کرده، تغییر جهت دهد، میدانی در خلاف جهت آن در همان حوالی ایجاد کنیم اثر خودالقایی از بین می‌رود. شکل ۵۶ــ۲ راه حل این مسأله را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که برای ازبین بردن این مشکل نیز قطبهای کمکی که در قسمت ۲ــ۶ــ۲ شرح آن گذشت چاره سازند. سیم‌پیچ روی این قطب در جهتی پیچیده شده که وقتی جریان آرمیچر از آن عبور می‌کند، میدان ناشی از آن در خلاف جهت میدان ناشی از کاهش ناگهانی جریان در کلاف C باشد.



شکل ۵۶ــ۲ــ نحوه قرار گرفتن قطب کمکی و سیم‌پیچ تحریک آن

قطب کمکی صرفنظر از تعدیل عکس‌العمل عرضی آرمیچر، نقش خنثی‌کنندهٔ اثر خودالقایی آرمیچر را هم به عهده دارد و سبب می‌شود که کموتاسیون بطور صحیح انجام شود. همانطور که قبلاً گفته شد این قطبها با آرمیچر سری شده و از جریان آرمیچر تغذیه می‌شوند. دلیل سری قرار گرفتن سیم‌پیچ قطب کمکی با آرمیچر این است که نیروی محرکهٔ خودالقایی بستگی به جریان آرمیچر دارد، یعنی هرچه جریان آرمیچر بیشتر باشد نیروی محرکهٔ خودالقایی نیز بیشتر است. بنابراین میدان ناشی از قطب کمکی هم باید متناسب با جریان آرمیچر باشد و لذا قطب کمکی باید بطور سری با آرمیچر قرار گیرد تا تمام جریان آرمیچر از آن عبور و اثر خودالقایی را متناسب با آن، خنثی کند.

در ماشینهایی که قطب کمکی ندارند بهبود عمل کموتاسیون در صورت امکان با تغییر محل جاروبکها (در جهت گردش در مولدها و در جهت خلاف گردش در موتورها) انجام می‌گیرد.