فعالیت ۱۴ ـ ۲

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

۲ ـ ۱۵ ـ ۲ ـ جریان

در روش‌های سیم‌پیچی حلقوی و موجی بخش ۱۴ ـ ۲ در شکل‌های (۱۱۲ ـ ۲) و (۱۲۰ ـ ۲) نشان داده شد کلاف‌های سیم‌پیچی آرمیچر بین راه‌های جریان توزیع می‌شوند و با اتصال جاروبک‌ها به تیغه‌های کموتاتور، راه‌های جریان با هم موازی خواهند شد. جریان هر راه جریان $I_{A۱}$ با یک‌دیگر جمع می‌شوند و جریان آرمیچر I_A به‌وجود می‌آید. در این دو شکل مشاهده می‌شود جریان هر مسیر جریان برابر جریان هر کلاف است که با جریان هر هادی درون شیارهای آرمیچر، تفاوتی ندارد. در دیاگرام گسترده سیم‌پیچی حلقوی ساده شکل (۱۱۲ ـ ۲) نسبت به دیاگرام گسترده سیم‌پیچی موجی ساده شکل (۱۲۰ ـ ۲) تعداد راه‌های جریان بیش‌تری ایجاد شده است، لذا سیم‌پیچی حلقوی نسبت به سیم‌پیچی موجی تحمل جریان بیش‌تری را خواهد داشت. این موضوع تاثیر نوع سیم‌پیچی بر جریان آرمیچر را نشان می‌دهد.

جریان آرمیچر با توجه به نوع سیم‌پیچی از رابطه (۱۰ ـ ۲) به‌صورت زیر به‌دست می‌آید.

$$I_A = aI_{a۱} \qquad (۲-۲۲)$$

مثال ۷ ـ ۲ ـ رتور یک ماشین جریان مستقیم دارای سیم‌پیچی موجی ساده، ۴ قطب می‌باشد. اگر جریان هر راه جریان ۴ آمپر باشد، جریان سیم‌پیچی آرمیچر چند آمپر است.

حل:

سیم‌پیچی موجی ساده است لذا $m=۱$ است.

در سیم‌پیچی موجی داریم:

$$a = ۲m$$

$$a = ۲\times ۱ = ۲$$

از رابطه (۲۲ ـ ۲) خواهیم داشت:

$$I_A = aI_{a۱}$$

$$I_A = ۲\times ۴ = ۸\ [A]$$

فعالیت ۱۵ ـ ۲

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

۳ ـ ۱۵ ـ ۲ ـ مقاومت الکتریکی

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

مقاومت الکتریکی سیم‌پیچی آرمیچر از رابطه

(۲۳ ـ ۲) به‌دست می‌آید.

$$R_A = \frac{Z \cdot R_t}{2a^2} \qquad (۲-۲۳)$$

که در این رابطه:

R_t مقاومت الکتریکی یک حلقه از کلاف‌های سیم‌پیچی آرمیچر

Z تعداد هادی‌های درون شیارهای آرمیچر

a تعداد راه جریان

R_A مقاومت الکتریکی سیم‌پیچی آرمیچر

مثال ۸ ـ ۲ ـ رتور یک ماشین جریان مستقیم دارای سیم‌پیچی حلقوی مرکب دوگانه، ۴ قطب می‌باشد. این سیم‌پیچی شامل ۲۰۰۰ حلقه است و مقاومت الکتریکی هر حلقه ۰/۰۰۴ Ω می‌باشد. مقاومت الکتریکی سیم‌پیچی آرمیچر چند اهم است؟

حل:

سیم‌پیچی حلقوی مرکب دوگانه است؛ لذا $m=2$ می‌باشد.

در سیم‌پیچی حلقوی داریم: $a = mP$

$$a = 2 \times 4 = 8$$

هر حلقه دارای ۲ هادی است. پس تعداد هادی‌ها دو برابر تعداد حلقه‌های سیم‌پیچی است. یعنی:

$$Z = 2N$$

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

از رابطه (۲۳ ـ ۲) خواهیم داشت.

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

$$R_A = \frac{4000 \times 0/004}{2 \times 8^2} = 0/125\ [\Omega]$$

فعالیت ۱۵ ـ ۲

مقاومت الکتریکی سیم‌پیچی آرمیچر مثال ۷ ـ ۲ به ازای سیم‌پیچی موجی مرکب دوگانه چند اهم می‌شود.

۴ ـ ۱۵ ـ ۲ ـ گشتاور تولیدی

گشتاور تولیدی[1] سیم‌پیچی آرمیچر، ناشی از نیرویی است که از طرف میدان مغناطیسی قطب‌های استاتور به هادی‌های حامل جریان در شیارهای رتور وارد می‌شود. این گشتاور را بعضاً «گشتاور آرمیچر» یا «گشتاور الکترومغناطیسی»[2] می‌نامند و مقدار آن از رابطه (۲۴ ـ ۲) به‌دست می‌آید.

$$T_A = \frac{P}{a} \cdot Z \cdot \varphi \cdot \frac{I_A}{2\pi} \qquad (۲-۲۴)$$

در این رابطه:

I_A جریان سیم‌پیچی آرمیچر بر حسب آمپر [A]

φ فوران قطب‌ها بر حسب وبر [wb]

Z تعداد هادی‌های درون شیارهای آرمیچر

P تعداد قطب‌های استاتور

A تعداد راه جریان سیم‌پیچی آرمیچر

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

مثال ۹ ـ ۲ ـ یک ماشین جریان مستقیم با سیم‌پیچی موجی مرکب دوگانه ۴ قطب و فوران قطب ۰/۰۱ wb دارای ۵۰۰ هادی در شیارهای آرمیچر است. اگر جریان سیم‌پیچی آرمیچر ۱۲ آمپر باشد. گشتاور آرمیچر چند نیوتن متر خواهد شد.

حل:

۱. Developed Torque

۲. Electromagnetic Torque

سیم‌پیچی آرمیچر موجی مرکب دوگانه است. لذا $m=۲$ است. در سیم‌پیچی موجی داریم:

$$a = ۲m$$

$$a = ۲\times ۲ = ۴$$

گشتاور آرمیچر از رابطه (۲۳ ـ ۲) به‌دست می‌آید:

$$T_A = \frac{P}{a}\cdot Z\cdot \varphi\cdot \frac{I_A}{۲\pi}$$

در صورتی‌که $\pi = ۳$ فرض شود:

$$T_A = \frac{۴}{۴}\times ۵۰۰\times ۰/۰۱\times \frac{۱۲}{۲\pi} = ۱۰\,[N.m]$$

فعالیت ۱۶ ـ ۲

گشتاور آرمیچر مثال ۹ ـ ۲ به ازای سیم‌پیچی حلقوی مرکب دوگانه چند نیوتن متر است؟

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

$$T_A = K\cdot \varphi\cdot I_A \qquad (۲\text{-}۲۵)$$

رابطه (۲۵ ـ ۲) نشان می‌دهد، گشتاور آرمیچر تابع فوران قطب‌ها و جریان آرمیچر است.

مثال ۱۰ ـ ۲ ـ یک ماشین جریان مستقیم با جریان آرمیچر ۱۰A و فوران قطب wb ۰/۰۱ گشتاور ۲ N.m تولید می‌کند. ضریب ثابت ماشین چقدر است؟

حل:

از رابطه (۲۵ ـ ۲) ضریب ثابت به‌دست می‌آید:

$$T_A = K\cdot \varphi\cdot I_A$$

$$K = \frac{T_A}{\varphi\cdot I_A} = \frac{۲}{۰/۰۱\times ۱۰} = ۲۰\left[\frac{۱}{rad}\right]$$

فعالیت ۱۷ ـ ۲

گشتاور آرمیچر مثال ۱۰ ـ ۲ را در صورتی‌که جریان آرمیچر به ۱۵ A و فوران قطب‌ها ۰/۰۵ wb افزایش یابند را به‌دست آورید.

تمرین ۱۰ ـ ۲

۱ ـ رتور یک ماشین جریان مستقیم دارای سیم‌پیچی حلقوی ساده با ۱۰۰۰ هادی و فوران زیر هر قطب ۲۰ mwb با چه سرعتی گردانده شود تا نیروی محرکه القایی ۱۲۰ ولت ایجاد شود؟

۲ ـ رتور یک ماشین جریان مستقیم چهار قطب با ۱۰۰۰ هادی و فوران زیر هر قطب ۱۰ mwb با سرعت ۶۰۰ RPM گردانده می‌شود. نیروی محرکه القایی را در دو حالت زیر به‌دست آورید:

الف ـ سیم‌پیچی حلقوی مرکب دو گانه

ب ـ سیم‌پیچی موجی مرکب دوگانه

۳ ـ سیم‌پیچی آرمیچر یک ماشین جریان مستقیم ۶ قطب با فوران زیر هر قطب ۱۰ mwb دارای ۱۰۰۰ هادی می‌باشد. رتور با سرعت ۱۲۰۰ RPM گردانده می‌شود. مطلوب است محاسبه نیروی محرکه القایی

سیم‌پیچی آرمیچر در حالت‌های جدول زیر:

الف ـ سیم‌پیچی آرمیچر حلقوی ساده	E_A=.....
ب ـ سیم‌پیچی آرمیچر حلقوی مرکب دوگانه	E_A=.....
ج ـ سیم‌پیچی آرمیچر موجی ساده	E_A=.....
د ـ سیم‌پیچی آرمیچر موجی مرکب دوگانه	E_A=.....

از نتایج به‌دست آمده چه نتیجه‌ای حاصل می‌شود؟

۴ ـ رتور یک ماشین جریان مستقیم دارای سیم‌پیچی ۴ قطب می‌باشد. این سیم‌پیچی شامل ۱۰۰۰ حلقه است. نیروی محرکه القایی، مقاومت و جریان هر حلقه به ترتیب [V] ۱۰، [Ω] ۰/۱ و [A] ۴ است. مطلوب است کمیت‌های الکتریکی سیم‌پیچی آرمیچر که در حالت‌های جدول زیر آمده است. پس از تکمیل جدول، بر روی نتایج بحث کنید.

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

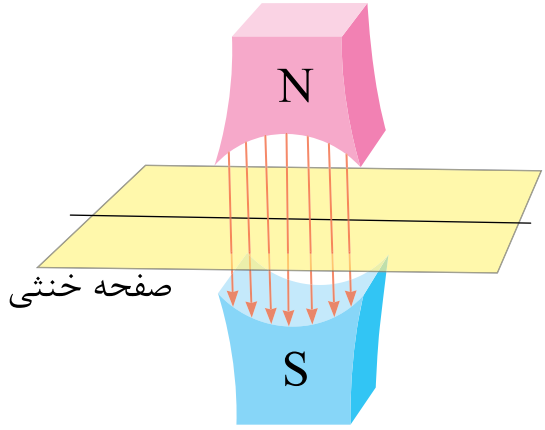
۵ ـ یک ماشین جریان مستقیم با سیم‌پیچی حلقوی ساده ۶ قطب و فوران قطب ۲۰ mwb دارای ۱۰۰۰ هادی در شیارهای آرمیچر است. اگر گشتاور آرمیچر ۵ N.m باشد، جریان سیم‌پیچی آرمیچر چند آمپر است؟

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

۱۶ ـ ۲ ـ عکس‌العمل آرمیچر

میدان مغناطیسی میان دو قطب غیرهمنام «میدان طولی» نام دارد؛ خطوط مغناطیسی میدان طولی به‌طور مستقیم موازی با یک‌دیگر بین دو قطب غیرهمنام قرار گرفته‌اند. می‌توان صفحه‌ای فرضی، عمود بر میدان طولی در نظر گرفت و آن را «صفحه خنثی»[1] نامید. شکل (۱۲۴ ـ ۲)

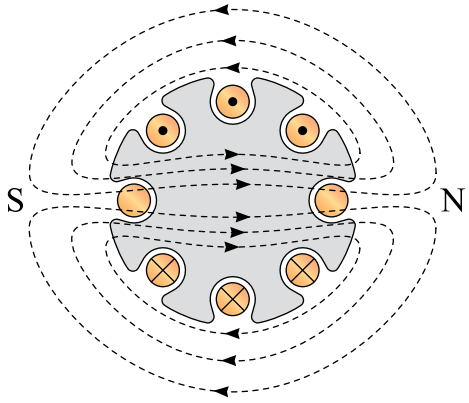
۱. Neutral Plane



شکل ۱۲۴ ـ ۲ میدان مغناطیسی طولی قطب‌ها و صفحه خنثی

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

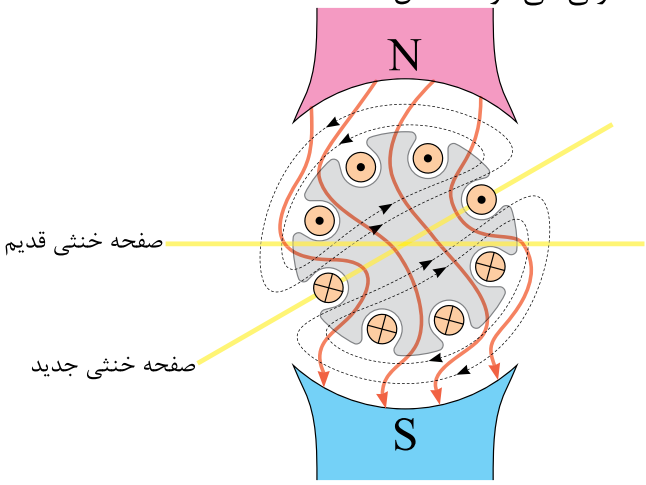
در حالت ژنراتوری با اتصال آرمیچر به مصرف‌کننده در هادی‌های آن جریان القایی جاری می‌شود و در حالت موتوری با اتصال آرمیچر به منبع جریان مستقیم یا یک باتری، هادی‌های آن حامل جریان خواهند شد. با جاری شدن جریان در هادی‌های سیم‌پیچی آرمیچر، در اطراف رتور میدان مغناطیسی به‌وجود می‌آید. این میدان را «میدان عرضی»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



شکل ۱۲۵ ـ ۲ میدان مغناطیسی عرضی رتور

هر قدر جریان سیم‌پیچی آرمیچر بیش‌تر باشد میدان عرضی قوی‌تر خواهد شد.

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



شکل ۱۲۶ ـ ۲

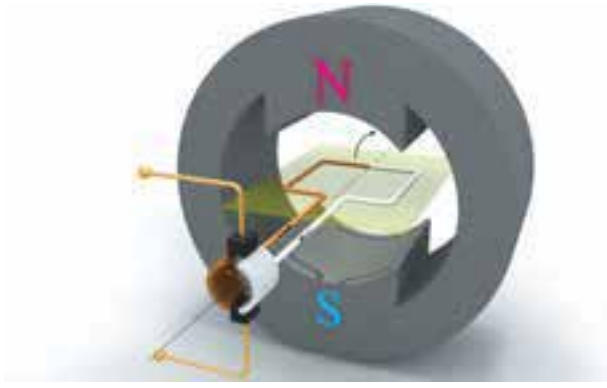
تاثیر میدان عرضی رتور بر میدان طولی قطب‌ها را «عکس‌العمل آرمیچر»[1] می‌نامند.

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

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

۱. Armature Reaction

آرمیچـر در محـل قدیـم صفحه خنثـی قرار می‌گیرند در آن‌ها نیروی محرکه القا می‌شـود. در ایـن لحظه هادی‌ها توسـط جاروبک‌ها روی کمـوتاتور اتصـال کوتـاه شـده‌اند. شـکـل (۱۲۷ ـ ۲).



شکل ۱۲۷ ـ ۲

بنابراین جریان شـدیدی از هادی‌هـا می‌گذرد. این جریان می‌تواند به سـیم‌پیچی آرمیچر صدمه بزند و در محل تماس جاروبک‌ها با کموتاتور جرقه به‌وجود آورد. حـرارت ناشـی از جرقه به کموتاتور آسـیب می‌رساند.

۱۷ ـ ۲ ـ روش هـای مقابلـه بـا عکس‌العمـل آرمیچر

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

- جابه‌جایی محل جاروبک‌ها
- قطب‌های کموتاسیون[۱] یا میان قطب[۲]
- سیم‌پیچ‌های جبران‌کننده[۳]

هـر یک از ایـن روش‌ها دارای نقـاط قوت و ضعفی هستند که در ادامه توضیح داده شده‌اند.

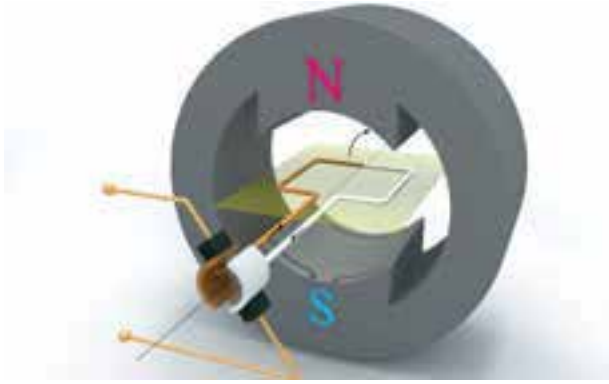
۱ ـ ۱۷ ـ ۲ ـ جابه‌جایی محل جاروبک‌ها

بـرای کاهش جرقـه زیر جاروبک‌هـا می‌توان محل جاروبک‌هـا را روی کموتاتور به اندازه جابه‌جایی صفحه خنثـی جابه‌جا کـرد و آن‌ها را به محـل جدید صفحه خنثی بـرد. ولی اجرای آن معمولاً با مشـکلاتی همراه است که به آن اشاره خواهد شد.

- میـزان جابه‌جایـی صفحه خنثـی تابع جریان آرمیچـر اسـت. بنابرایـن هر دفعه کـه جریان آرمیچـر تغییر کنـد باید محـل جاروبک‌ها را تنظیم کرد.
- صفحـه خنثی در ژنراتورهـا در جهت چرخش آرمیچـر و در موتورها برخـلاف جهت چرخش آرمیچر جابه‌جا می‌شـود. بنابراین متناسـب با حالـت ژنراتوری یـا موتوری محـل جاروبک‌ها تنظیم خواهد شد.
- جابه‌جـا کردن جاروبک‌ها جرقه زیر جاروبک‌ها را کاهـش می‌دهد اما در بهبود دیگر پیامدهای عکس‌العمل آرمیچر اثر ندارد.

در عمل جاروبک‌ها را به ازای دو سوم بار کامل ماشین جابه‌جـا و ثابت می‌کنند. در این حالت، در بی‌باری و تا حدودی در بار کامل جرقه زده می‌شـود. روش جابه‌جا کردن جاروبک‌ها برای کاهش جرقه منسوخ شده است. امروزه جابه‌جایی جاروبک‌ها تنها در ماشین‌های جریان مسـتقیم کوچک و بسـیار کوچک به کار می‌رود. علت این‌که در این ماشین‌ها هنوز این روش استفاده می‌شود این اسـت که راه‌حل های بهتر در چنین ماشـین‌های کوچکی اقتصادی نیستند. شکل (۱۲۸ ـ ۲)

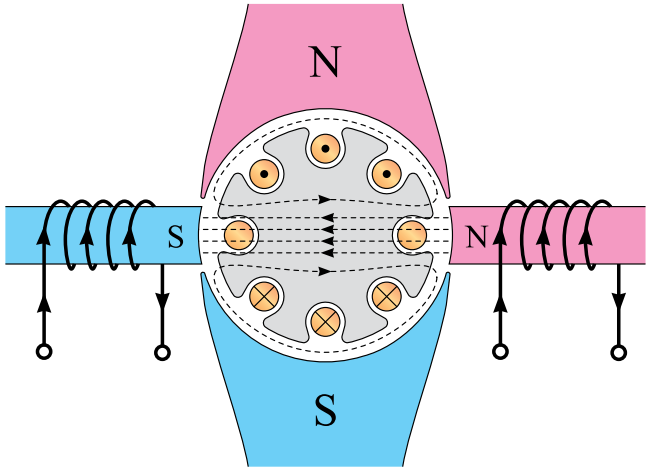
۱. Commutating Poles ۲. Interpoles ۳. Compensating Windings



شکل ۱۲۸ ـ ۲

۲ ـ ۱۷ ـ ۲ ـ قطب های کموتاسیون

روش مناسب مقابله با جرقه زیر جاروبک‌ها ایجاد میدان مغناطیسی مخالف با میدان عرضی رتور است.



شکل ۱۲۹ ـ ۲

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

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

برای ایجاد این میدان مغناطیسی قطب‌های کوچکی به نام «قطب‌های کموتاسیون[۱]» یا «میان قطب[۲]» استفاده می‌شود. قطب های کموتاسیون در فاصله بین قطب‌های اصلی ماشین جریان مستقیم، در محل صفحه خنثی مقابل هادی‌هایی که در حال عبور از صفحه خنثی هستند قرار می‌گیرند.

میدان مغناطیسی قطب‌های کموتاسیون از طریق سیم‌پیچ آن‌ها تولید می‌شود. سیم‌پیچ قطب‌های کموتاسیون با سیم‌پیچی آرمیچر سری هستند. بدین ترتیب میدان مغناطیسی آن‌ها با میدان عرضی آرمیچر هماهنگ خواهد بود. شکل (۱۲۹ ـ ۲)

۳ ـ ۱۷ ـ ۲ ـ سیم‌پیچی‌های جبران‌کننده

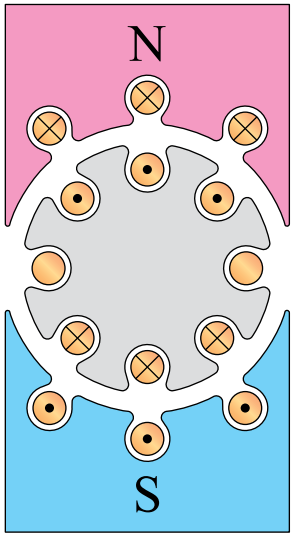
برای خنثی کردن عکس‌العمل آرمیچر و بهبود اعوجاج در میدان طولی قطب‌ها از «سیم‌پیچی جبران‌کننده»[۳] استفاده می‌شود.

سیم‌پیچی‌های جبران‌کننده درون شیارهایی در کف قطب‌ها به موازات شیارهای آرمیچر قرار می‌گیرند و این سیم‌پیچی‌ها، با سیم‌پیچی آرمیچر سری می‌شوند به طوری که هرگاه جریان آرمیچر تغییر کرد، جریان

۱. Commutating Poles ۲. Interpoles ۳. Compensating Windings

سیم‌پیچی‌های جبران کننده نیز تغییر کند.

میدان مغناطیسی سیم‌پیچی‌های جبران‌کننده باید مخالف میدان مغناطیسی هادی‌های آرمیچر باشد. لذا جهت جریان در سیم‌پیچی‌های جبران‌کننده مخالف جهت جریان در هادی‌های آرمیچر است که در مقابل آن‌ها قرار می‌گیرد. شکل (۱۳۰ ـ ۲)



شکل ۱۳۰ ـ ۲

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

پرسش ۱۱ ـ ۲

پرسش‌های کامل کردنی

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

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

۳ ـ هر قدر جریان آرمیچر ..... باشد میدان ..... قوی‌تر خواهد شد.

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

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

۶ ـ برای خنثی‌کردن عکس‌العمل آرمیچر و بهبود اعوجاج در میدان طولی قطب از ..... استفاده می‌شود.

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

پرسش‌های صحیح غلط

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

صحیح ☐ غلط ☐

۲ ـ میـزان جابه‌جایـی صفحه خنثـی تابع جریان آرمیچر است.

صحیح ☐ غلط ☐

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

صحیح ☐ غلط ☐

۴ ـ قطب‌های کموتاسـیون جرقه زیر جاروبک ها را رفع می‌کند.

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ میدان عرضی را تعریف کنید.

۲ ـ عکس‌العمل آرمیچر را توضیح دهید.

۳ ـ روش‌هـای مقابله با عکس‌العمـل آرمیچر را نام ببرید.

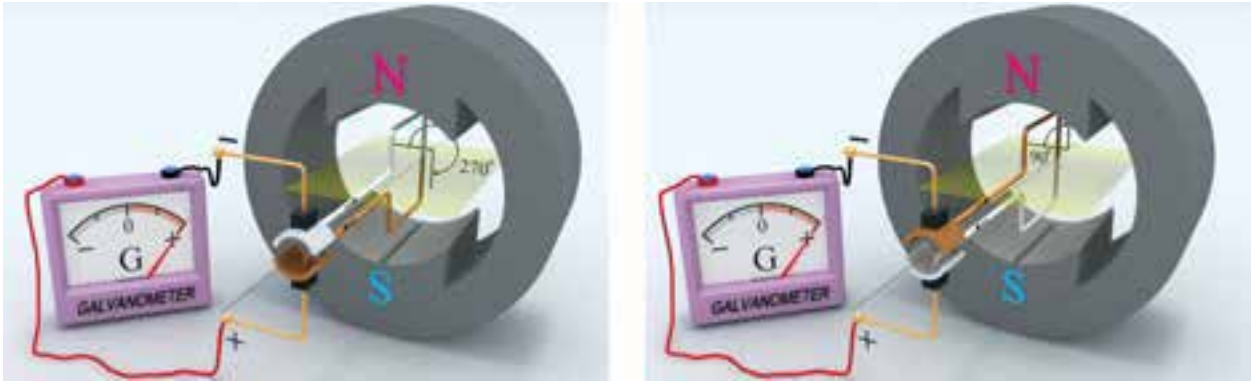
۴ ـ وظیفه قطب‌های کموتاسیون را بنویسید.

۵ ـ چرا قطب‌های کموتاسیون اثری در بهبود اعوجاج میدان طولی ندارند؟

۶ ـ چرا سـیم‌پیچی‌های جبران کننده با سیم‌پیچی آرمیچر سری می‌شوند؟

۱۸ ـ ۲ ـ کموتاسیون

در بخش ۲ ـ ۵ ـ ۲ نشان داده شد وقتی هادی‌های سـیم‌پیچی آرمیچر از حوزه قطـب N وارد حوزه قطب S می‌شـوند جهت جریـان در آن‌ها معکوس می‌شـود. معکوس شـدن جریان زمانی اتفاق می‌افتد که هادی‌ها از صفحه‌ی خنثی عبور می‌کنند. شکل (۱۳۱ ـ ۲)

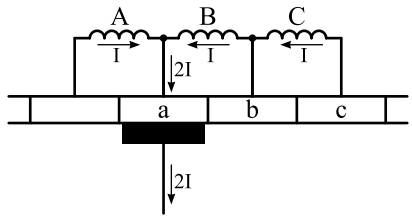


شکل ۱۳۱ ـ ۲

تغییـر جهـت جریـان در کلاف‌هـای آرمیچـر را «کموتاسیون»[1] گویند. به هنگام کموتاسیون جاروبک‌ها از یک تیغه یا تیغه‌ی دیگر کموتاتور می‌روند. مدت زمانی که طول می‌کشد تا جاروبک از یک تیغه به تیغه‌ی دیگر کموتاتور برود را «زمان کموتاسـیون» گویند. و آن را با Δt نشان می‌دهند.

بـرای بررسـی پدیـده کموتاسـیون یـا معکـوس شـدن جهت جریـان کلاف‌های آرمیچـر در طی زمان کموتاسـیون، قسمتی از کموتاتور و تعدادی از کلاف‌های آرمیچر در شکل (۱۳۲ ـ ۲) نشان داده شده است.

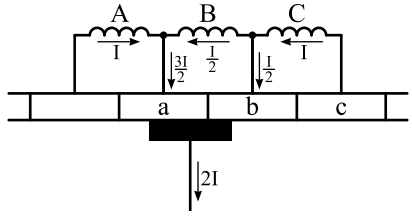
۱. Commutation



شکل ۱۳۲ ـ ۲

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

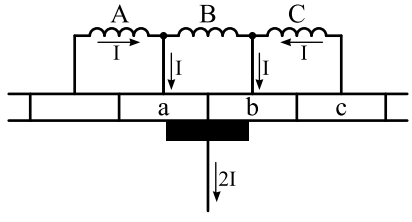
با گردش رتور لحظه‌ای فرا می‌رسد که جاروبک به تیغه‌های a و b کموتاتور تماس می‌یابد. شکل (۱۳۳ ـ ۲)



شکل ۱۳۳ ـ ۲

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

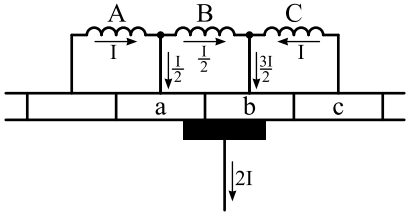
در ادامه گردش رتور لحظه‌ای فرا می‌رسد که سطح تماس جاروبک با تیغه‌های a و b کموتاتور مساوی می‌شود. شکل (۱۳۴ ـ ۲)



شکل ۱۳۴ ـ ۲

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

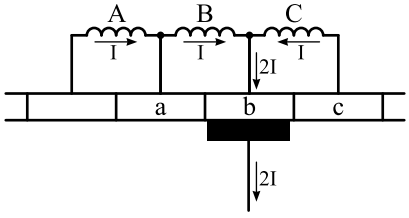
با گردش رتور سطح تماسی جاروبک با تغیه b کموتاتور بیش‌تر از تیغه a می‌شود و کلاف B از صفحه خنثی خارج خواهد شد و در آن نیروی محرکه القا می‌شود و جهت جریان آن معکوس می‌شود. شکل (۱۳۵ ـ ۲)



شکل ۱۳۵ ـ ۲

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

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



شکل ۱۳۶ ـ ۲

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

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

$$U_{Cemf} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} \qquad (۲-۲۶)$$

در این رابطه:

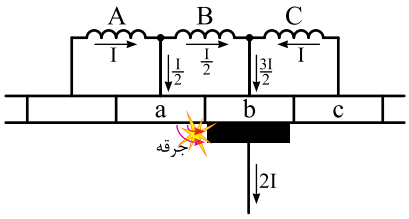
U_{Cemf} نیروی ضد محرکه

L ضریب خودالقایی کلاف اتصال کوتاه شده

ΔI تغییرات جریان

Δt زمان انجام کموتاسیون

نیـروی ضد محرکه U_{Cemf} طبـق قانون لنز با عامل به‌وجودآورنده‌اش یعنی «تغییرات جریان ΔI» مخالفت می‌کند و مانع تغییر جهت جریان به‌طور کامل در پایان زمان کموتاسیون می‌شود و جریان کلاف به I نمی‌رسد. شکل (۱۳۷ ـ ۲)



شکل ۱۳۷ ـ ۲ نمایش کموتاسیون بد

در این شـکل فرض شده اسـت جریان کلاف B در پایان زمان کموتاسیون به $\frac{I}{۲}$ رسیده است. بنابراین $\frac{۳I}{۲}$ جریان آرمیچر توسط کلاف‌های B و C، و $\frac{I}{۲}$ آن توسط جریـان کلاف A از طریق تیغـه a کموتاتور به صورت جرقه بین تیغه کموتاتور و جاروبک تامین شـده است. این جرقه‌هـا باعث وارد آمدن خسـاراتی به جاروبک و تیغه کموتاتور می‌شود.

برای بهبود «کموتاسـیون بد» بایـد اثر نیروی ضد محرکه القایی U_{Cemf} در کلافی که کموتاسـیون در آن انجام می‌شـود را از بین برد. برای این منظور به هنگام کموتاسـیون زمانی که کلاف به صفحه خنثی می‌رسد در آن نیـروی محرکه‌ای به نام «نیـروی محرکه القایی معکـوس کننده» القـا می‌کنند. جهت نیـروی محرکه القایـی معکوس‌کننده مخالف جهت نیروی ضد محرکه U_{Cemf} اسـت و اثـر آن را خنثی می‌کنـد. هم‌چنین به معکوس شـدن جهت جریـان در کلاف کمک می‌کند. لذا کموتاسیون به‌طور کامل و صحیح صورت می‌گیرد و جرقه بین تیغه کموتاتور و جاروبک ایجاد نمی‌شود.

بـرای ایجاد نیروی محرکه القایی معکوس کننده، از میدان مغناطیسـی قطب‌های کموتاسیون که در صفحه خنثی قرار دارند اسـتفاده می‌شـود. بنابراین قطب‌های

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

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

- ناصافی سطح تیغه‌های کموتاتور
- ناصافی و جذب نبودن جاروبک‌ها
- تنظیم نبودن جاروبک نگه‌دار
- تنظیم نبودن محور کموتاتور نسبت به محور رتور
- کثیف شدن سطح تیغه‌های کموتاتور در اثر ذرات چربی یا گرد و غبار
- قرار گرفتن پلیسه‌های بسیار ریز بین جاروبک و تیغه کموتاتور

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

پرسش ۱۲ ـ ۲

پرسش‌های کامل کردنی

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

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

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

پرسش‌های صحیح غلط

۱ ـ تغییر جریان در کلاف های آرمیچر را عکس‌العمل آرمیچر می‌نامند.

صحیح ☐ غلط ☐

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

صحیح ☐ غلط ☐

پرسش‌های تشریحی

۱ ـ کموتاسیون را تعریف کنید.

۲ ـ پیامد کموتاسیون ناقص چیست؟

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