یا حق

جزوه ماشین DC

فصل اول

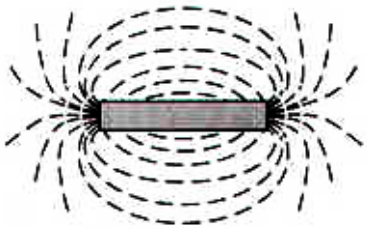
آهن ربای طبیعی:

آهن ربای طبیعی دارای دو قطب مغناطیسی شمال (N) و جنوب (S) می‌باشد و اطراف آن را میدان مغناطیسی احاطه کرده است.

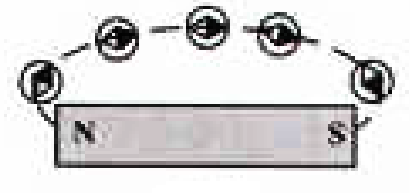
– برای تعیین مسیر خطوط میدان اطراف آهنربای طبیعی می‌توان از براده آهن استفاده نمود اما برای تعیین جهت این خطوط از عقربه های مغناطیسی استفاده می‌شود.

– سمتی که قطب جنوب عقربه مغناطیسی بطرف آن می‌ایستد قطب شمال (N) آهنربا را نشان می‌دهد و برعکس.

– جهت خطوط میدان مغناطیسی را همیشه از سمت قطب N بطرف قطب S در نظر می‌گیرند یعنی خطوط میدان از قطب N خارج و به قطب S وارد می‌شوند.



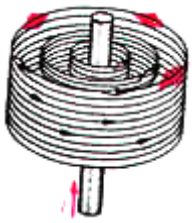
نمایش امتداد خطوط میدان

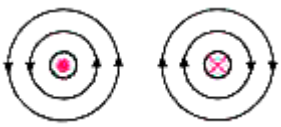


نمایش جهت خطوط میدان

میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان:

در اطراف سیم حامل جریان یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود. شکل خطوط میدان بصورت دایره های هم مرکز است. جهت میدان به جهت جریان الکتریکی بستگی داشته و نیز قطب شمال عقربه مغناطیسی جهت خطوط میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان از قانون پیچ راستگر تعیین می‌شود.

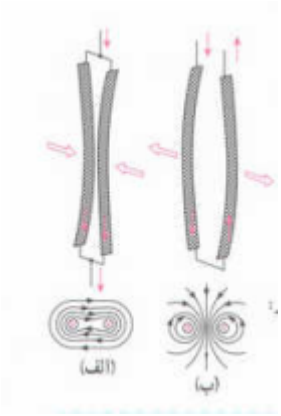




– در اطراف سیم حامل جریان متناوب نیز میدان مغناطیسی ایجاد می‌گردد، اما همچنان که جریان متناوب تغییر جهت می-دهد جهت میدان آن نیز تغییر می‌کند.

نیروی بین دو سیم حامل جریان موازی:

بین دو سیم موازی حامل جریان با جهت جریان یکسان، نیروی جاذبه و با جهت جریان مخالف نیروی دافعه بوجود می-آید.



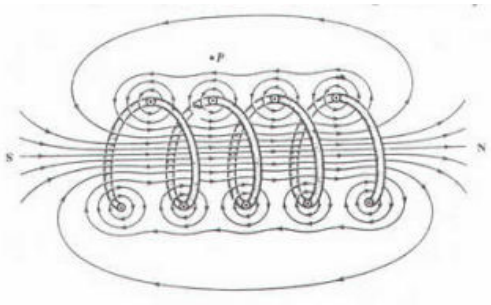
– مقدار نیروی مغناطیسی بین دو سیم حامل جریان به سه عامل بستگی دارد:

1– شدت جریان الکتریکی عبوری از سیمها ، 2– طول سیما ، 3– فاصله بین دو سیم

الف) جریان ها موافق – نیرو جاذبه ، ب) جریان ها مخالف – نیرو دافعه

میدان مغناطیسی سیم پیچ حاصل جریان:

خطوط میدان مغناطیسی در داخل سیم پیچ بطور موازی و در یک جهت و با چگالی یکنواخت حرکت می‌کند و لذا این میدان را یکنواخت یا همگن می‌نامند. محلی را که خطوط میدان مغناطیسی از آن خارج می‌شوند قطب شمال (N) و محلی را که خطوط میدان به آن وارد می‌شوند قطب جنوب (S) می‌نامند.



– برای تعیین قطبهای S,N یک سیم پیچ حامل جریان از قانون سیم پیچها استفاده می‌شود.

قانون سیم پیچ ها: اگر دست راست خود را طوری دور یک سیم پیچ قرار دهیم که انگشتان نیم بسته جهت جریان الکتریکی را نشان دهند انگشت شست باز شده جهت خطوط میدان یا قطب N را نشان می‌دهد.

کمیتهای مغناطیسی:

1– نیروی محرکه مغناطیسی: حاصلضرب شدت جریان در تعداد حلقه ها را نیروی محرکه مغناطیسی نامیده و آن را با θ نمایش می‌دهند.

$$\theta = N.I \quad , \quad [\theta] = A$$

I= شدت جریان بر حسب آمپر ، N= تعداد دور سیم پیچ ، θ= نیروی محرکه مغناطیسی بر حسب آمپر

2- شدت میدان مغناطیسی: نیروی محرکه مغناطیسی را که به واحد طول سیم پیچ می‌رسد شدت میدان مغناطیسی می-نامند و با H نمایش می‌دهند.

شدت میدان مغناطیسی را می‌توان از تقسیم نیروی محرکه مغناطیسی به طول متوسط خطوط میدان بدست آورد.

$$H = \frac{\theta}{L} = \frac{N.I}{L}$$

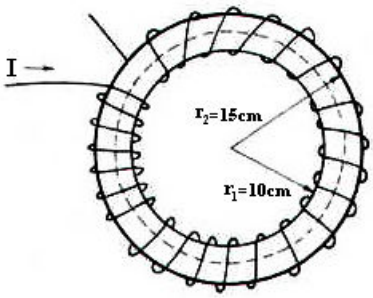
θ= نیروی محرکه مغناطیسی بر حسب آمپر

$$[H] = \frac{A}{M} \quad \frac{\text{امپر}}{\text{متر}}$$

L= طول متوسط خطوط میدان بر حسب متر

H= شدت میدان مغناطیسی بر حسب آمپر بر متر

مثال: یک سیم پیچ 1000 دوری بر روی هسته ای به شکل زیر پیچیده شده است و جریان 4 آمپر از آن می‌گذرد مطلوب است محاسبه ی: الف) نیروی محرکه مغناطیسی ب) شدت میدان مغناطیسی



حل: الف) $\theta = N.I = 1000 \times 4 = 4000 \ [A]$

ب) $L = 2\pi r = 2\pi \left(\frac{r1+r2}{2} \right) =$

$2 \times 3.14 \times \left(\frac{10+15}{2} \right) = 78.5 \text{ cm}$

$$H = \frac{\theta}{L} = \frac{4000}{78.5 * 10^{-2}} = 5095.5 \ \left[\frac{A}{M} \right]$$

3- فوران مغناطیسی: به مجموع خطوط میدان مغناطیسی که از قطب N سیم پیچ خارج می‌شوند را فوران یا شار یا فلوی مغناطیسی می‌گویند و آن را با φ (فی) نشان می‌دهند. (واحد فوران ولت- ثانیه (V.S) یا وبر (wb) می‌باشد.)

4- چگالی فوران مغناطیسی: مقدار فورانی که از واحد سطح هسته عبور می‌کند را چگالی شار یا چگالی فوران یا اندوکسیون مغناطیسی می‌نامند و با B نمایش می‌دهند.

- واحد چگالی فروان وبر بر مترمربع یا ولت ثانیه بر مترمربع یا تسلا می‌باشد.

$$B = \frac{\varphi}{A}$$

φ = فوران مغناطیسی بر حسب وبر

A = سطحی که فوران از آن می گذرد بر حسب متر مربع

$$[B] = \frac{wb}{m^2} = \frac{v.s}{m^2} = T$$

B = چگالی فوران بر حسب تسلا

5- ضریب نفوذ مغناطیسی: نسبت چگالی فوران (B) به شدت میدان مغناطیسی (H) را ضریب نفوذ مغناطیسی جسم گویند و با علامت (M) نشان می‌دهند.

- این ضریب همبستگی به جنس جسم داشته و تا حد زیادی خواص مغناطیسی مواد مختلف را تعیین می‌کند.

$$\mu = \frac{B}{H} \qquad [\mu] = \frac{\frac{wb}{m^2}}{\frac{A}{m}} = \frac{wb.m}{a.m^2} = \frac{wb}{A.m} \text{ یا } \frac{v.s}{A.m} \text{ یا } \frac{T.m}{A}$$

B = چگالی فوران مغناطیسی بر حسب تسلا ، H = شدت میدان مغناطیسی بر حسب آمپر بر متر

μ = ضریب نفوذ مغناطیسی بر حسب وبر بر آمپر متر

نکته 1: مقدار شدت میدان (H) برای یک سیم پیچ معین تابع جریانی است که از آن عبور می‌کند.

منظور از یک سیم پیچ معین سیم پیچی است که تعداد دور و طول آن ثابت و معین باشد.

نکته 2: در مواد با ضریب نفوذ بیشتر مقدار مشخصی از شدت میدان (H) باعث ایجاد چگالی فوران (B) بیشتری می‌گردد.

6- ضریب نفوذ خلاء: نسبت چگالی فوران یک سیم پیچ با هسته خلاء به شدت میدان مغناطیسی سیم پیچ باهسته خلاء را که مقداری ثابت و برابر با ($4.\pi.10^{-7}$) می‌باشد ضریب نفوذ خلاء گفته و با μ_0 نشان می‌دهند.

$$\mu_0 = 4\,\pi\,10^{-7} \quad [\frac{wb}{A.m}]$$

نکته 1: ضریب نفوذ سیم پیچهای بدون هسته آهنی مثلاً با هسته هوا یا پلاستیک یا چوب، چینی، مس، آلومینیم و غیره نزدیک به ضریب نفوذ خلاء می‌باشد که تقریباً با آن در نظر می‌گیریم.

$$\mu_0 = \frac{\text{چگالی فوران سیم پیچ بدون هسته آهنی}}{\text{شدت میدان سیم پیچ بدون هسته آهنی}} = \frac{B}{H} \quad \rightarrow \quad B = \mu_0 \times H$$

نکته 2: اگر در یک سیم پیچ با هسته هوا، هسته آهنی قرار دهیم فوران یا چگالی فوران سیم پیچ شدیداً افزایش می‌یابد که این ناشی از پدیده فرومغناطیسی می‌باشد.

نکته 3: بواسطه حرکت وضعی و انتقالی الکترونها اطراف هسته اتمها میدانهای مغناطیسی ایجاد می‌شود اما چون همه الکترونها در یک جهت نمی‌چرخند اثر مغناطیسی یکدیگر را خنثی می‌کنند ولی حدوداً در 1/3 عناصر شناخته شده میدانهای مغناطیسی الکترونها بطور کامل خنثی نمی‌شوند ولی در این عناصر ترتیب قرار گرفتن اتمها به گونه ای است که

اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند تنها در 5 عنصر که نام آنها در زیر آورده شده اتمها توسط یکدیگر خنثی نشده اند که به این مواد، مواد فرو مغناطیسی می‌گویند. 1- آهن ، 2- نیکل ، 3- کبالت ، 4- دیسپورسیم ، 5- گادولینوم

بنابراین می‌توان گفت که مواد فرومغناطیسی از ذرات آهنربایی کوچکی که قطبهای مغناطیسی آنها در جهات مختلف قرار دارند تشکیل می‌شوند که تحت تأثیر میدانهای خارجی قرار گیرند در جهت میدان مرتب شده و میدان را تقویت می-نمایند.

نکته 4: اگر از یک بوبین با هسته آهنی جریان عبور کند میدان مغناطیسی ناشی از آن باعث نظم گرفتن تعدادی از ذرات مغناطیسی هسته می‌شود و فوران تقویت می‌شود اگر جریان سیم پیچ را افزایش دهیم ذرات بیشتری نظم گرفته و میدان قوی تر خواهد شد اما اگر جریان را تا حد آن افزایش دهیم که تمام ذرات شکل منظمی بگیرند از آن به بعد افزایش جریان دیگر موجب افزایش فوران نخواهد شد و می‌گویند هسته اشباع شده است.

7- ضریب نفوذ نسبی: برای سادگی مقایسه، مقدار ضریب نفوذ هر جسم را با ضریب نفوذ خلاء مقایسه کرده و این نسبت را ضریب نفوذ مغناطیسی می‌نامند و با μ_r نمایش می‌دهند.

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad \rightarrow \quad \mu = \mu_0 \times \mu_r$$

μ_r بدون واحد می‌باشد.

نکته 1: براساس مقدار ضریب نفوذ نسبی، مواد در سه گروه عمده دسته بندی می‌شوند:

1- مواد فرومغناطیسی با ضریب نفوذ نسبی حوالی چند هزار

2- مواد پارامغناطیسی با ضریب نفوذ نسبی کمی بیشتر از واحد

3- مواد یا مغناطیسی با ضریب نفوذ نسبی کمی کمتر از واحد

(ضریب نفوذ نسبی خلاء به عنوان مقدار مبنا برابر واحد است) $(\mu_r \text{ خلا } = 1)$

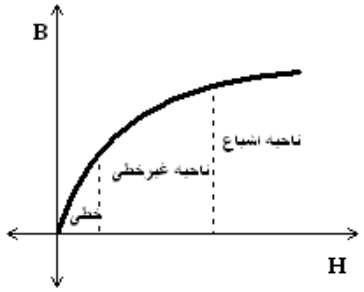
نکته 2: مواد فرومغناطیسی وقتی درون یک میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند میدان را با شدت تقویت می‌کنند اما مواد پارامغناطیسی تا حدی کم میدان را تقویت می‌کنند ولی مواد یا مغناطیسی علاوه بر آن که میدان را تقویت نمی‌کنند کمی میدان را تضعیف هم می‌نمایند.

نکته 3: مقدار ضریب نفوذ مغناطیسی هر ماده تا حد زیادی خواص مغناطیسی آن را مشخص می‌کند.

نکته 4: خواص مغناطیسی یک جسم به فرکانس و درجه حرارت نیز بستگی دارد با افزایش فرکانس و زیاد شدن درجه حرات ضریب نفوذ مغناطیسی کاهش می‌یابد.

نکته 5: حداکثر دمای مجاز کار مواد مغناطیسی بین 100 الی 600 درجه سانتی گراد محدود می‌شود.

منحنی مغناطیسی: در سیم پیچهای با هسته آهنی بین شدت میدان مغناطیسی و چگالی فوران مغناطیسی رابطه ساده ریاضی وجود ندارد در حالی که در سیم پیچهای با هسته هوایی بین این دو کمیت رابطه خطی $B = \mu_0 H$ همواره برقرار است. بنابراین رابطه بین چگالی فوران و شدت میدان را اغلب به کمک یک منحنی موسوم به منحنی مغناطیسی یا منحنی مغناطیس شوندگی و یا منحنی مغناطیسی نشان می‌دهند.



منحنی مغناطیسی دارای سه ناحیه مشخص همانند شکل زیر می‌باشد.

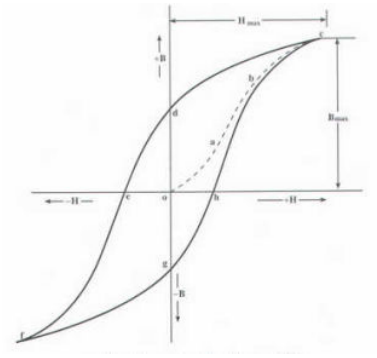
نکته 1: در تمام اجسام مغناطیسی مورد استفاده در ترانسفورماتورها و ماشینهای الکتریکی، در صورت افزایش میدان مغناطیسی از یک حد معین پدیده اشباع مغناطیسی ظاهر می‌گردد.

نکته 2: در اجسام فرومغناطیسی شروع حالت اشباع در محدود 1 الی 1/6 تسلا و در اجسام فری مغناطیسی که شیب منحنی اشباع آنها کمتر است شروع حالت اشباع از حدود 3 می‌باشد.

پس ماند مغناطیسی (اثر هیسترزیس): اگر یک سیم پیچ با هسته آهنی را توسط جریان مستقیم تغذیه کرده و پس از مدتی جریان آن را قطع نمائیم ملاحظه می‌شود که با وجود قطع جریان مقداری فوران در هسته باقی مانده است. به مقداری از چگالی فوران که در هسته باقی می‌ماند پس مانده چگالی فوران (Br) می‌گویند.

اگر در این حالت جهت جریان در سیم پیچ را عوض نمائیم و مقداری جریان به آن بدهیم شدت میدانی به نام شدت میدان خنثی کننده (HC) تولید شده که سبب از بین رفتن چگالی فوران پسماند می‌شود.

نمایش حلقه هیسترزیس مواد فرو مغناطیسی:



نکته 1: اگر سیم پیچ توسط جریان مستقیم تغذیه شود مقادیر معینی از B , H را دارا خواهد شد و در یک نقطه از حلقه هیسترزیس قرار خواهد داشت. اما اگر سیم پیچ

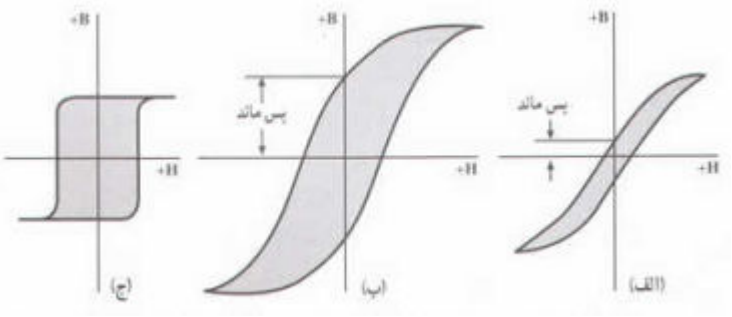
به جریان متناوب وصل شود در هر سیکل جریان، یک بار مسیر رفت و برگشت حلقه هیسترزیس طی می‌شود که برای این کار مقداری انرژی تلف می‌شود. مقدار این انرژی تلف شده در یک ثانیه را تلفات هیسترزیس می‌نامند.

نکته 2: تلفات هیسترزیس به دو عامل بستگی دارد: 1- فرکانس ، 2- سطح حلقه هیسترزیس

نکته 3: واحد سطح محصور حلقه هیسترزیس ژول بر مترمکعب می‌باشد. که از حاصلضرب واحدهای شدت میدان و چگالی فوران مغناطیسی بدست می‌آید.

$$[H] \cdot [B] = \frac{A}{m} \times \frac{v.s}{m^2} = \frac{v.A.s}{m^3} = \frac{w.s}{m^3} = \frac{j}{m^3}$$

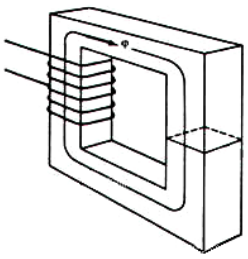
نکته 4: مدارهای مغناطیسی که با جریان متناوب کار می‌کنند باید دارای هسته ای با سطح حلقه هیسترزیس کوچک باشند و برعکس در ماشینهایی که با جریان مستقیم کار کرده و هدف داشتن قطبهای ثابت است از هسته ای با سطح حلقه هیسترزیس بزرگ استفاده می‌شود.



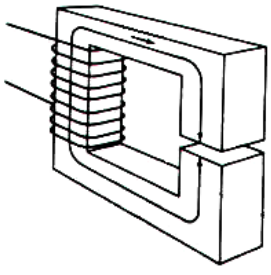
نکته 5: اجسام مغناطیسی با حلقه هیسترزیس کوچک را اجسام نرم مغناطیسی و اجسام با حلقه هیسترزیس بزرگ را اجسام سخت مغناطیسی گویند.

از بین بردن پس مانده مغناطیسی: برای از بین بردن پس مانده مغناطیسی باید عملی انجام شود تا ذرات مغناطیسی منظم شده از نظم خارج شوند. برای این کار باید قطعات را داخل یک میدان مغناطیسی متناوب قرار داده و کم کم جریان الکتریکی را کم نمود تا به صفر برسد و یا اینکه قطعه را آرام آرام از میدان مغناطیسی متناوب خارج کرد.

مدارهای مغناطیسی: مسیر بسته ای را که خطوط میدان مغناطیسی در آن برقرارمی‌شود، مدار مغناطیسی می‌نامند. مانند مدارهای زیر:



مدار مغناطیسی آهنی



مدار مغناطیسی آهنی با فاصله هوایی

مقاومت مغناطیسی یارلوکتانس: مخالفت اجسام در مقابل عبور فوران مغناطیسی را مقاومت مغناطیسی یا ولوکتانس می‌نامند و با (Rm) نمایش می‌دهند.

$$R_m = \frac{L}{\mu.A} = \frac{L}{\mu_0.\mu_r.A} \quad , \quad [R_m] = \frac{\frac{m}{1}}{\frac{wb}{A.m}m^2} = \frac{A.m^2}{wb.m^4} = \frac{A}{wb}$$

L : طول متوسط مدار مغناطیسی برحسب متر، A= سطح مقطع عبور فراوان برحسب مترمربع، μ= ضریب نفوذ هسته برحسب وبر آمپرمتر ، Rm: مقاومت مغناطیسی برحسب آمپر بر وبر

نکته: چون ضریب نفوذ مغناطیسی هسته آهنی مقدار ثابتی ندارد مقاومت مغناطیسی هسته آهنی نیز با تغییر شدت میدان تغییر می‌کند. اما برای مواد غیرمغناطیسی مانند خلاء و هوا چون ضریب نفوذ ثابت است مقاومت مغناطیسی نیز ثابت می-ماند.

مقاومت مغناطیسی مدار های با فاصله هوایی:

$$R_m = R_c + R_g \qquad R_g = \frac{L_g}{\mu_0.A} \qquad R_c = \frac{L_c}{\mu_0.\mu_r.A}$$

R_c = مقاومت مغناطیسی هسته ($\frac{A}{wb}$) L_c = طول متوسط هسته بر حسب متر

R_g = مقاومت مغناطیسی فاصله هوایی ($\frac{A}{wb}$) L_g = طول فاصله هوایی بر حسب متر

R_m = مقاومت مغناطیسی کل مدار ($\frac{A}{wb}$) A = سطح مقطع هسته بر حسب متر مربع

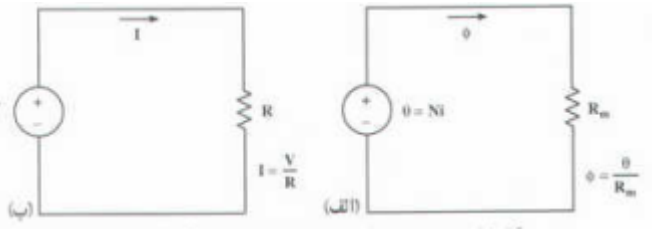
نکته: فاصله هوایی با وجود کوچک بودن به دلیل کمی ضریب نفوذ مغناطیسی دارای مقاومت مغناطیسی بزرگی می‌باشد که موجب افت قابل توجهی از نیروی محرکه مغناطیسی مدار می‌گردد.

قانون اهم مغناطیسی: $\varphi = \frac{\theta}{R_m}$

φ = فوران بر حسب وبر، θ = نیروی محرکه مغناطیسی بر حسب آمپر، R_m = مقاومت مغناطیسی بر حسب آمپر بر وبر

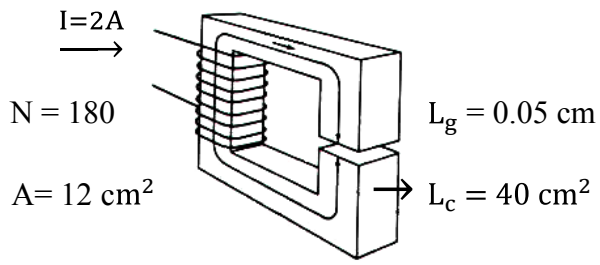
تحلیل مدارهای مغناطیسی به کمک مدار معادل الکتریکی آن: مانند قانون اهم در مدارهای الکتریکی ($I = \frac{E}{R}$) می‌توانیم فوران را مشابه جریان، نیروی محرکه مغناطیسی را مشابه نیروی محرکه الکتریکی و مقاومت مغناطیسی را مشابه مقاومت الکتریکی فرض کنیم.

نکته: تحلیل مدار های مغناطیسی به کمک مدار معادل الکتریکی آنها فقط در مواردی کاربرد دارد که مقدار ضریب نفوذ هسته ثابت فرض شود و هسته دارای نقطه کار مشخص باشد.



$$I = \frac{E}{R} , \varphi = \frac{\theta}{R} \quad \Rightarrow \quad I \to \varphi , R \to R_m , E \to \theta$$

مثال: در مدار مغناطیسی شکل زیر فوران، چگالی فوران و شدت میدان مغناطیسی در هسته و در فاصله هوایی را محاسبه کنید. ($\mu_r = 1400$)



$\theta = N.I = 180 \times 2 = 360\ A$ $\qquad R_c = \frac{L_c}{\mu_0.\mu_r.A} = \frac{40\times10^{-2}}{4\pi \times 10^{-7}\times1400\times12\times10^{-4}} = 189566\ \frac{A}{wb}$

$R_g = \frac{L_g}{\mu_0.A} = \frac{0.05\times10^{-2}}{4\pi \times 10^{-7}\times12\times10^{-4}} = 331741\ \frac{A}{wb}$, $R_m = R_c + R_g = 189566 + 331741 = 521307\ \frac{A}{wb}$

$\varphi_c = \varphi_g = \varphi = \frac{\theta}{R_m} = \frac{360}{521307} = 0.69\times10^{-3}\ wb = 0.69\ mwb$

$B_c = B_g = B = \frac{\varphi}{A} = \frac{0.69\times10^{-3}}{12\times10^{-4}} = 0.57\ T$, $H_c = \frac{B}{} = \frac{0.57}{} = 324\ A$ $\qquad H_g = \frac{B}{} = \frac{0.57}{} = 453821\ \frac{A}{wb}$

تحلیل مدارهای مغناطیسی به کمک قانون نیروی محرکه مغناطیسی (قانون آمپردور):

چون هسته های آهنی دارای نقطه کار مشخصی نمی‌باشند از روش مدار معادل الکتریکی نمی‌توان آنها را تحلیل کرد بنابراین از این روش که اساس آن جمع نیروهای محرکه در مغناطیسی قسمتهای مختلف مدار می‌باشد استفاده می‌کنیم که در زیر آورده شده است.

$\theta = \theta_C + \theta_g$, $H_c = \frac{\theta_c}{L_c} \rightarrow \theta_c = H_c.L_c$, $H_g = \frac{\theta_g}{L_g} \rightarrow \theta_g = H_g.L_g$ $\Rightarrow$ $\theta = H_c\ .\ L_c + H_g\ .\ L_g$

θ_g = نیروی محرکه مغناطیسی در فاصله هوایی ، θ_c = نیروی محرکه مغناطیسی هسته

در حالت کلی اگر مدار مغناطیسی مرکب از چندین قسمت باشد خواهیم داشت.

$\theta = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \cdots = H_1\ .\ L_1 + H_2\ .\ L_2 + H_3\ .\ L_3 + \cdots = \varphi\ (R_{m_1} + R_{m_2} + R_{m_3} + \cdots)$

نکته 1: نیروی محرکه مغناطیسی در قسمت های مختلف به نسبت مقاومت مغناطیسی آنها توزیع می‌شود.

نکته 2: در یک مدار مغناطیسی با نیروی محرکه مغناطیسی ثابت هر قدر فاصله هوایی کوچکتر باشد، فوران بیشتر خواهد بود.

نیروی لورنس:

اگر سیم حامل جریان الکتریکی در یک میدان مغناطیسی عمود بر خطوط میدان قرار گیرد نیرویی بر سیم اثر می‌کند که بر چهار عامل بستگی دارد: 1- طول مؤثرهای هادی ، 2- جریان عبوری از هادی ، 3- چگالی فوران میدان ، 4- زاویه ای که جریان هادی با میدان می‌سازد (جهت جریان در امتداد طول هادی فرض می‌شود.)

بنابراین می‌توان مقدار این نیرو را از رابطه زیر بدست آورد: $F = I.L.\sin\alpha$

I = جریان هادی بر حسب آمپر ، L = طول موثر هادی بر حسب متر ، B = چگالی فوران بر حسب تسلا ، α = زاویه بین امتداد جریان هادی با میدان ، F = نیروی وارد بر سیم بر حسب نیوتن

نکته: برای افزایش نیرو می‌توان به جای یک هادی از یک سیم پیچ با تعداد هادیهای بیشتر استفاده نمود. پس در حالت کلی نیروی وارد بر سیم پیچ از رابطه زیر بدست می‌آید. (Z = تعداد هادی ها) $F = Z.I.L.B.\sin\alpha$

نکته 1: جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان درون میدان مغناطیسی به سه عامل بستگی دارد:

1- جهت خطوط میدان ، 2- وضعیت سیم در داخل میدان ، 3- جهت جریان

نکته 2: اگر سیم بر میدان عمود باشد می‌توان با استفاده از قانون دست چپ (قانون موتوری) جهت نیروی تولید شده را بدست آورد.

قانون دست چپ: اگر دست چپ خود را طوری نگه داریم که خطوط میدان مغناطیسی وارد کف دست شوند و انگشتان کشیده جهت جریان الکتریکی را نشان دهند، انگشت شست باز شده جهت نیرو را نشان خواهد داد.

تعبیر الکتریکی نیروی لورنس: نیرویی که در میدان مغناطیسی بر بارهای الکتریکی در حال حرکت اثر می‌کند را نیروی لورنس می‌نامند.

نکته 3: نیروی لورنس زمانی حداکثر مقدار خود را دارا خواهد شد که امتداد جریان هادی بر خطوط میدان عمود باشد اما اگر امتداد جریان هادی موازی خطوط میدان شد هیچ نیرویی بر سیم اثر نخواهد کرد.

$\alpha = 90 \rightarrow \sin 90 = 1 \quad \rightarrow \quad F = I.L.B.\sin\alpha = I.L.B$

$\alpha = 0 \rightarrow \sin 0 = 0 \quad \rightarrow \quad F = I.L.B.\sin\alpha = 0$

پدیده القاء: تولید نیروی محرکه الکتریکی توسط میدان مغناطیسی را القاء می‌نامند و به دو روش زیر صورت می‌گیرد:

1- القاء از طریق حرکت ، 2- القاء از طریق تغییرات فوران

1-القاء از طریق حرکت: اگر یک هادی در داخل یک میدان مغناطیسی طوری حرکت کند که خطوط میدان را قطع نماید در هنگام حرکت ولتاژی در آن القاء می‌گردد. مقدار این ولتاژ نیز به چهار عامل بستگی دارد.

1- چگالی فوران ، 2- طول مؤثر هادی ، 3- سرعت حرکت هادی ، 4- زاویه بین امتداد بردار سرعت هادی با میدان

بنابراین می‌توان از رابطه زیر مقدار ولتاژ القایی درون هادی را بدست آورد. $E = V.B.L.\sin\alpha$

V = سرعت حرکت هادی بر حسب تسلا ، B = چگالی فوران بر حسب تسلا ، L = طول موثر هادی بر حسب متر

α = زاویه بین امتداد سرعت با میدان

نکته: برای داشتن یک ولتاژ القایی بزرگتر می‌توان به جای یک هادی از یک سیم پیچ N دوری استفاده نمود که ولتاژ القایی درون آن از رابطه زیر بدست خواهد آمد: ($Z=2N$ = تعداد هادی ها) $E=Z.V.B.L.\sin\alpha$

نکته: $V=V.\sin\alpha$ را مؤلفه سرعت حرکت هادی در جهت عمود بر خطوط میدان می‌نامند.

نکته: اگر هادی به موازات میدان حرکت نماید ولتاژ القایی صفر خواهد شد و اگر عمود بر میدان حرکت نماید ولتاژ القایی حداکثر خواهد شد.

$$\alpha = 0 \rightarrow \sin\alpha = 0 \Rightarrow E = Z.V.B.L.\sin\alpha = 0$$

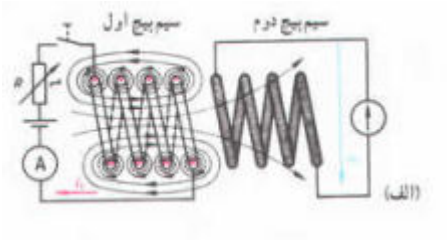
$$\alpha = 90 \rightarrow \sin\alpha = 1 \Rightarrow E = Z.V.B.L.\sin\alpha = Z.V.B.L$$

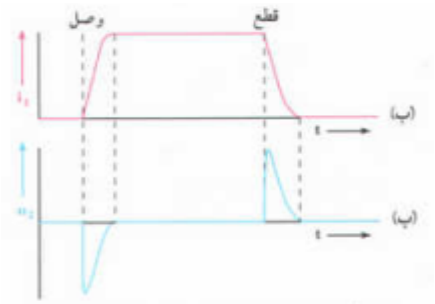
نکته: اگر ولتاژ القایی در یک مدار بسته موجب جاری شدن جریان گردد جهت این جریان را می‌توان با استفاده از قانون دست راست (قانون مولدی) تعیین کرد.

قانون دست راست یا قانون مولدی: اگر دست راست خود را به گونه ای نگه داریم که فوران مغناطیسی از قطب شمال به کف دست وارد شود و انگشت شست باز شده جهت حرکت هادی را نشان دهد چهار انگلشت کشیده جهت جریان القایی را نشان خواهند داد.

2- القاء از طریق تغییرات فوران: با توجه به شکل زیر وقتی جریان از سیم پیچ اول عبور می‌کند یک میدان مغناطیسی در اطراف آن بوجود می‌آید که قسمتی از آن سیم پیچ دوم را نیز در بر می‌گیرد. در هنگام وصل و قطع کلید که میدان مغناطیسی افزایش و فروکش می‌نماید و تغییرات میدان خواهیم داشت و این تغییرات میدان مغناطیسی موجب القای ولتاژ

در سیم پیچ می‌گردد.





نکته: هر قدر تغییرات میدان سریعتر باشد به همان نسبت دامنه ولتاژ القایی بیشتر می‌شود. پس بیشترین القای ولتاژ در حالتی اتفاق می‌افتد که سریعترین تغییرات جریان را داشته باشیم.

ولتاژ القایی با استفاده از قانون فاراده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$E = -N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ ولتاژ القایی بر حسب ولت = E ، تغییرات فوران بر حسب وبر = $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$

$\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ سرعت تغییرات فوران بر حسب وبر بر ثانیه یا ولت = ، تغییرات زمان بر حسب ثانیه = $\Delta t = t_2 - t_1$

پس بطور کلی ولتاژ القایی ناشی از تغییرات فوران در یک سیم پیچ ساکن متناسب با تعداد دورسیم پیچ و نیز سرت تغییرات فوران می‌باشد.

قانون لنز: جهت جریان القایی به گونه ای است که با عامل بوجود آورنده خود مخالفت می‌کند بنابراین علامت منفی در فرمول فاراده به دلیل رعایت قانون لنز می‌باشد.

نکته: در یک سیم پیچ اگر تغییرات فوران نداشته باشیم ولتاژی در سیم پیچ القاء نمی‌شود یعنی فوران کم یا زیاد اگر ثابت باشد ولتاژ در سیم پیچ القاء نمی‌کند همچنین اگر فوران افزایش یابد ولتاژ القایی در جهت خلاف یعنی منفی خواهد شد اما اگر فوران کاهش یابد ولتاژ القایی مثبت خواهد شد.

جریانهای القایی گردابی (فوکو): اگر از یک سیم پیچ با هسته آهنی یکپارچه جریان متناوب عبور کند هسته آهنی در زمان کوتاهی به شدت گرم می‌شود زیرا هسته آهنی ضمن اینکه از نظر مغناطیسی فوران را بخوبی عبور می‌دهد، اگر یکپارچه باشد از نظر الکتریکی برای عبور جریان الکتریکی هادی خوبی هم محسوب می‌شودو. در واقع فوران مغناطیسی متناوب در هر نقطه از هسته آهنی یکپارچه جریانی جاری می‌کند که چون این جریانها به صورت گرداب وار می‌باشند به آنها جریانی گردابی می‌گویند.

نکته: برای کاهش جریانهای گردابی یا فوکو هسته های آهنی را به صورت ورقه ورقه و عایق از هم می‌سازند.

خود القایی: اگر یک سیم پیچ توسط فوران خود قطع شود در آن القای ولتاژ صورت می‌گیرد که چون منشأ این ولتاژ فوران خود سیم پیچ بوده است ولتاژ خودالقایی نامیده می‌شود و طبق رابطه فاراده نیز قابل محاسبه می‌باشد.

نکته: جهت ولتاژ خودالقایی طوری است که با تغییرات جریان مخالفت می‌کند.

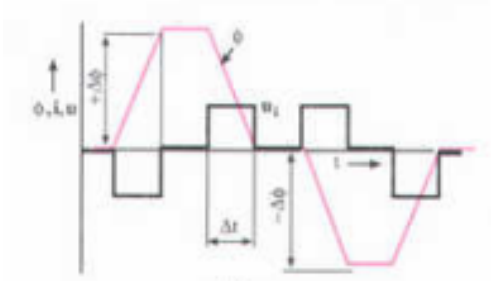
انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی: برای ایجاد میدان مغناطیسی مقداری کار انجام می‌گیرد که در میدان مغناطیسی بصورت انرژی ذخیره خواهد شد و از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$W = \frac{1}{2} L I^2$$

L = ضریب خود القایی سیم پیچ بر حسب هانری (H) ، I = شدت جریان سیم پیچ بر حسب آمپر(A) ، W = انرژی ذخیره شده در سیم پیچ بر حسب ژول (J)

$$[w] = H \times A^2 = \frac{wb}{A} \times A^2 = wb \,.\, A = V.S.A = WS = J$$

مثال: منحنی تغییرات فوران نسبت به زمان در شکل زیر رسم شده است منحنی تغییرات ولتاژ القایی را رسم نمائید.



فصل دوم

ماشینهای الکتریکی: وسائل تبدیل انرژی الکترومکانیکی گردان را ماشینهای الکتریکی گویند و برای مطالعه و بررسی بهتر آنها را طبقه بندی می‌کنند.

برحسب اهمیت موضوع و عملکرد ماشینهای الکتریکی را به دو طریق زیر تقسیم بندی می‌کنند:

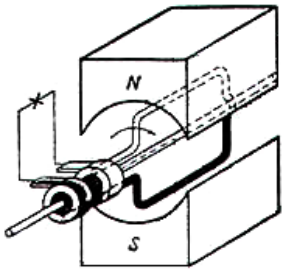
1-از نظر نوع جریان الکتریکی:1-ماشینهای الکتریکی جریان مستقیم (DC) 2-ماشینهای الکتریکی جریان متناوب (AC)

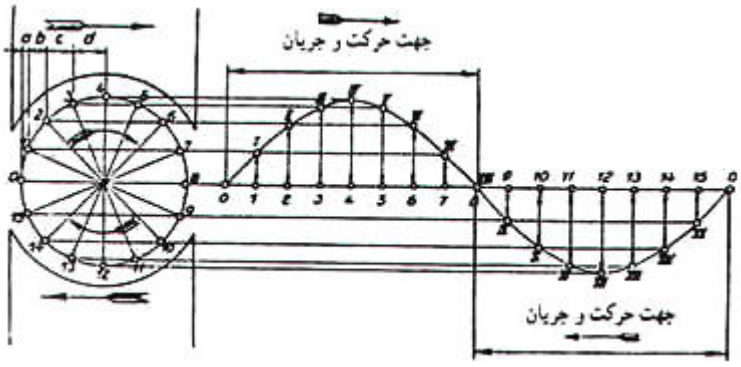
2- از نظر نوع انرژی تبدیلی:1- مولدهای الکتریکی: که انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند.

2- موتورهای الکتریکی: که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند.

نکته: ماشینهای الکتریکی بطور کلی جزء وسایل تبدیل انرژی غیرخطی هستند. یعنی هر تغییر در ورودی همیشه به یک نسبت در خروجی ظاهر نمی‌شود.

مولد ساده جریان مستقیم: برای آغاز نحوه ایجاد نیروی محرکه القایی درون یک مولد ساده تک حلقه ای که ابتدا و انتهای حلقه مسی را دورینگ مسی استوانه ای قرار دارد واین دورینگ به دو جاروسبک در تماس می‌باشد در نظر می-گیریم اگر این حلقه سیم مسی را بین دو قطب N , S آهنربای دائمی به گردش در آوریم خطوط a , b مخالف هم می-باشد جهت نیروی محرکه القای در هادی a مخالف هادی b می‌باشد. اما از نظر مقدار با هم مساوی هستند و چون این دو بازو با هم سری هستند ولتاژهای القایی هر دو با هم جمع می‌گردد.





در صورت بسته شدن مدار الکتریکی این مولد در کلاف آن جریان جاری می‌شود که دامنه شدت جریان القایی و جهت آن دائماً در حال تغییرات بطوریکه این تغییرات را می‌توان به صورت یک موج سینوسی نشان داد.

(در طول مدت یک تناوب جریان القایی در بار جهت خود را تغییر می دهد.)

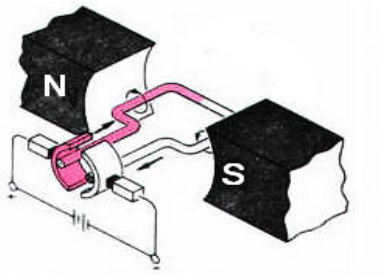
نکته 1: ولتاژ القاء شده در یک حلقه یک ولتاژ متناوب است که مقدار دامنه آن را از رابطه $E = B.L.V.\sin\alpha$ می‌توان به دست آورد.

نکته2:برای افزایش دامنه ولتاژ و جریان القایی بایستی بجای یک کلاف تک حلقه ای از کلاف چند حلقه ای استفاده نمود.

حال به شرح **مولد ساده جریان مستقیم** می‌پردازیم: مولد ساده جریان مستقیم از چهار قسمت اصلی زیر تشکیل شده است:

1- قطبهای مغناطیسی که نقش آن ایجاد میدان مغناطیسی اصلی مولد است، 2- هادیها که برای ایجاد ولتاژ القایی به کار می‌روند، 3- کموتاتور یا کلکتور: که در ساده ترین حالت آن از دو نیم استوانه مسی که توسط میکا نسبت به یکدیگر عایق شده اند تشکیل می‌گردد و وظیفه آن یکطرفه کردن ولتاژ و جریان القایی در خارج از مولد می‌باشد.

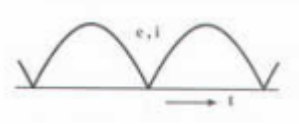
4- جاروبک ها: که به منظور انتقال جریان الکتریکی از هادیها به مصرف کننده بکار می‌روند.



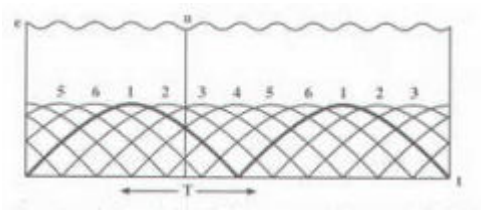
ابتدا و انتهای هادی ی حلقه ای هر کدام به یک نیم استوانه مسی یا یک تیغه کموتاتور وصل می‌شود و روی تیغه های کموتاتور دو عدد جارویک بطور ثابت قرار دارد.

با توجه به شکل مقابل همیشه بازوی بالایی کلاف با جارویک بالائی مرتبط است و چون سر بازوی دارای پلریته و مثبت است پس ولتاژ القایی همیشه در زیر جاروبک ها ثابت است و ولتاژ متناوب القاء شده در داخل مولد در خروجی توسط کموتاتور یکسو می‌شود.

نکته: به قسمت گردان مولد DC آرمیچر می‌گویند.



نکته: برای افزایش دامنه موج یکسو شده تعداد دور کلاف را افزایش می‌دهیم اما برای بهبود یکسوسازی و بدست آوردن ولتاژ القایی با دامنه تقریباً ثابت به جای یک کلاف از کلافهای متعددی استفاده می‌شود یعنی تعداد کلافها را افزایش می‌دهند که شمل موج خروجی به صورت زیر خواهد شد.



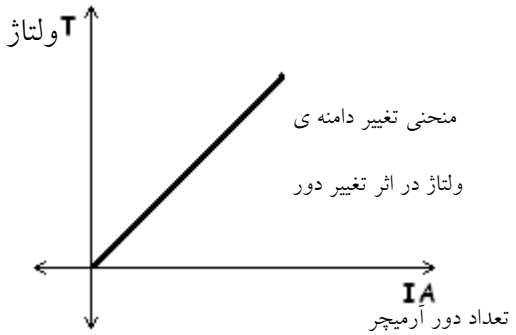
از جمع ولتاژ تک تک کلاف ها ولتاژ خروجی مولد e بدست می آید.

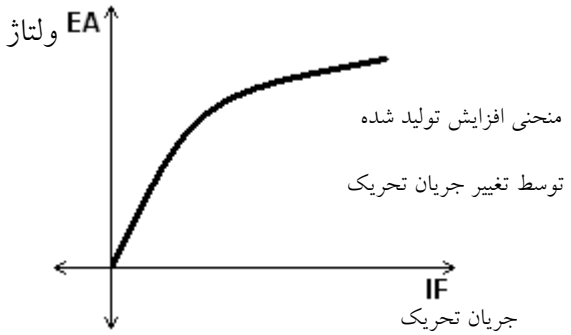
چگونگی تغییر پلاریته ولتاژ القایی مولد ساده: برای تغییر پلاریته و ولتاژ خروجی مولد به دو صورت می‌توان عمل کرد: 1- جهت چرخش آرمیچر عوض می‌شود ، 2- جهت جریان دو سیم پیچ قطبها تغییر کند.

چگونگی تغییر دامنه ولتاژ القایی در مولد ساده: به دو طریق می‌توان دامنه ولتاژ القایی در مولد را تغییر داد:

1- تغییر در سرعت آرمیچر: چنانچه آرمیچر با سرعت بیشتری چرخانده شود در یک زمان معین خطوط میدانی که توسط هادیها قطع می‌شوند بیشتر خواهد شد بنابراین ولتاژ القاء شده بیشتر می‌گردد.

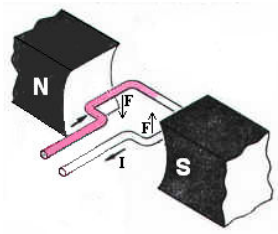
2- تغییر جریان تحریک: چنانچه جریان تحریک افزایش یابد چگالی شار بیشتر شده و نتیجتاً ولتاژ تولید شده زیادتر خواهد شد.





موتور ساده جریان مستقیم: برای شروع موتور ساده بدون کموتاور را مورد بررسی قرار می‌دهیم:

اگر یک کلاف تک حلقه ای را طوری بین قطبهای یک مغناطیس قرار دهیم که بتواند حول محورش دوران کند با عبور جریان الکتریکی از این کلاف به بازوهای آن نیرو وارد می‌شود و کلاف می‌خواهد حول محورش بحرکت درآید. یعنی وارد آمدن زوج نیرو موجب ایجاد گشتاور در کلاف می‌گردد.



جهت وارد آمدن نیروها و به عبارتی جهت گشتاور وارده را می‌توان توسط قانون دست چپ تعیین نمود.

معایب موتور ساده بدون کموتاتور

1- گشتاور ایجاد شده پس از نیم دور گردش تغییر جهت می‌دهد. پس حرکت دورانی مداوم نخواهیم داشت.

2- به محض اینکه صفحه حامل کلاف در صفحه و خنثی (بین دو قطب) قرار گرفت گشتاور وارده به آن صفر می‌شود بنابراین اگر صفحه کلاف در صفحه خنثی قرار داشته باشد و آنرا به برق وصل کنیم موتور به راه نمی‌افتد چون گشتاور

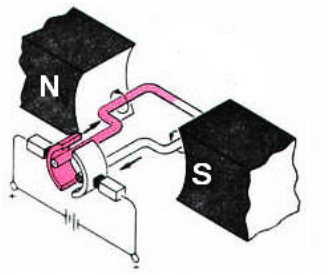
صفر است.

رفع عیب: برای اینکه حرکت دورانی مداوم در یک جهت داشته باشیم باید کاری کنیم که پس ازعبور کلاف از صفحه خنثی گشتاور وارده به آن برعکس نشود که به دو صورت زیر این امر ممکن می‌شود:

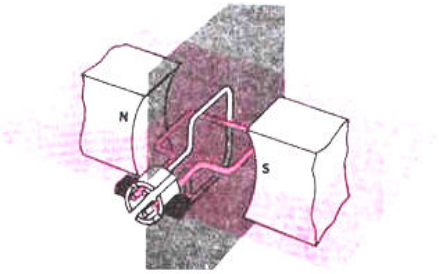
1- جای قطب ها را در این صفحه عوض کنیم.

2- جهت جریان الکتریکی کلاف را در دست در لحظه عبور کلاف از صفحه خنثی برعکس کنیم.

- که روش دوم را توسط کموتاتور ممکن می‌سازیم. بنابراین کموتاتور در مولد ساده رفتار یکسو کردن جریان و در موتور ساده یکسو کردن گشتاور را بعهده دارد.



- مشکل دیگری که هنوز موتور فوق دارد این است که اگر کلاف در صفحه خنثی باشد و به برق وصل شود گشتاوری بر آن اثر نکرده و به راه نمی‌افتد و حتی اگر آنرا از این وضعیت خارج کرده و بحرکت در آوریم گشتاور وارد بر کلاف یکنواخت نخواهد بود. برای رفع این عیب باید تعداد کلافها را در سطح آرمیچهر افزایش دهیم مثلاً بجای استفاده از یک کلاف از دو یا بیشتر کلاف استفاده نمائیم.



- لازم به ذکر است که چون تعداد کلافها افزایش یافته است باید تعداد تیغه های کلکتور را نیز افزایش دهیم.

نکته: از بحث بالا به این نتیجه می‌رسیم که کلکتور دو وظیفه مهم در موتور ساده جریان مستقیم بعهده دارد:

1- جهت جریان را در کلاف طوری عوض کند که گشتاور ایجاد شده همیشه در یک جهت بماند.

2- جریان را توسط جارویک به کلافی وصل کند که در وضعیت گشتاور حداکثر قرار می‌گیرد.

نکته 2: برای آنکه تمام کلافها بوجود آوردن گشتاور نقش داشته باشند و در هر لحظه از تمام آنها جریان عبور کند آنها را طبق قواعدی به صورت سری یا موازی اتصال می‌دهند.

تغییر جهت گردش در موتور ساده DC: برای تغییر وضعیت گردش موتور DC در کار می‌توان کرد:

1- جهت جریان در کلاف را با عوض کردن پلاریته منبع از خارج موتور تغییر داد.

2- جهت جریان در سیم پیچی قطبها (تحریک) را عوض نمود تا قطبهای N , S عکس شوند.

چگونگی ایجاد گشتاور در موتور ساده:

اگر در یک موتور ساده دو هادی که تشکیل یک حلقه را داده اند بر روی استوانه به شعاع r قرار گرفته باشند در اثر عبور جریان I از کلاف به هر کدام از بازوها نیروی F_1 وارد می‌شود لذا به کلاف تک حلقه ای نیرویی طبق رابطه زیر وارد می-گردد:

$$F= 2\ F_1 = 2.I.L.B.\sin\alpha$$

و گشتاور ایجاد شده در کلاف از رابطه ی روبرو بدست می آید:

$$T = F\ .r = 2.I.L.B.r.\sin\alpha$$

نکته:اگر z تعداد هادی های کلاف باشد رابطه ی گشتاور در حالت کلی به صورت زیر خواهد بود.

$$T = Z.I.L.B.r.\sin\alpha$$

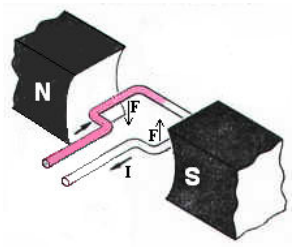
I = جریان عبوری از هادی بر حسب آمپر

L = طول موثر هادی بر حسب متر، B = چگالی فوران بر حسب تسلا، r = فاصله هادی از مرکز دوران بر حسب متر

α = زاویه ی بین جهت هادی جریان دار و خطوط میدان بر حسب درجه یا رادیان

T = گشتاور تولید شده در هادی بر حسب نیوتن – متر (N.m)

نکته 1: از رابطه بالا نتیجه گرفته می‌شود که گشتاور ایجاد شده با چگالی فوران (B)، جریان کلاف (I) تعاد هادیهای کلاف (Z)، طول مؤثر هادی در داخل میدان مغناطیسی (L) و سینوس زاویه بین جهت حرکت هادی جریان دار و جهت خطوط قوای میدان رابطه مستقیم دارد.



ساختمانهای ماشینهای جریان مستقیم:

ماشینهای جریان مستقیم از سه قسمت عمده تشکیل می‌شود:1- قسمت ساکن شال قطبها و بدنه، 2- قسمت گردان (آرمیچر)، 3- مجموعه جارویک و جارویک نگهدارها

1- قسمت های ساکن شامل اجزاء زیر می‌باشد:

A- قطبهای اصلی: که وظیفه تأمین میدان میدان مغناطیسی مورد نیاز ماشین را بعهده دارد و روی استاتور نصب می‌شوند و شامل سه قسمت می‌گردد. هسته قطبها- کفشک قطبها- سیم پیچ تحریک که هسته قطبها را به صورت ورقه وربقه به ضخامت 0/5 تا 0/65 میلیمتر از جنس آهن یا فولاد الکتریکی می‌رساند.

نکته: علت استفاده از کفشک های قطبی:

1- فوران وارد شده به آرمیچر بیشتری را اشغال می‌نماید.

2- با کم شدن شدن سطح مقطع در هسته قطب، سیم های مسی کمتری برای سیم پیچی میدان مصرف می‌گردد.

3- مقاومت مغناطیسی فاصله هوایی بین قطب اصلی و هسته آرمیچر تقلیل می‌یابد.

4- امکان سیم پیچی قطب در خارج از ماشین فراهم می‌شود.

B- قطبهای کمکی: که از دو قسمت هسته و سیم پیچ تشکیل شده است و هسته آن معمولاً از فولاد یکپارچه می‌سازند اما در ماشینهای جریان مستقیمی که تغییر باز ناگهانی دارند از هسته های ورقه ورقه استفاده می‌کنند.

نکته: سیم پیچی قطب کمکی با تعداد دور کم و سطح مقطع زیاد پیچیده می‌شود.

C- بدنه: قطبهای اصلی، کمکی و جاروبک نگهدارها روی بدنه نصب می‌شود. قسمتی از بدنه را هسته آهنی تشکیل می-دهد که برای هدایت فوران مغناطیسی قطبهای اصلی و کمکی بکار می‌رود و این قسمت طوق نام دارد. جنس بدنه از چدن یا آلومینیوم می‌باشد.

2- قسمت گردان یا آرمیچر یا القاء شونده:

قسمتهای اصلی آرمیچر به صورت زیر می‌باشد:

A- هسته آرمیچر: که از ورقه های فولادی به ضخامت 0/5 میلیمتر ساخته می‌شود.

نکته: آرمیچر ماشینهای کوچک دارای شیارهای تهویه محوری و آرمیچر ماشینهای با قدرت زیاد، دارای شیارهای تهویه شعاعی می‌باشند.

B- سیم پیچی آرمیچر:

C- کلکتور یا یکسو کننده مکانیکی: که از تیغه های مسی سخت که توسط میکا نسبت به یکدیگر و محور ماشین عایق شده اند تشکیل شده است.

D- محور: محور آرمیچر باید از فولادی ساخته شود که خاصیت مغناطیسی آن کم اما استحکام مکانیکی کافی در مقابل تنش های برش، کششی و پیچشی را دارا باشد.

E- پروانه خنک کننده: که سبب تهویه و ازدیاد عمر مفید ماشین می‌گردد.

3- جاروبک و جاروبک نگهدار: جاروبک ها قطعاتی از جنس زغال یا گرافیت می‌باشند که برای گرفتن جریان از کلکتور یا دادن جریان به آن مورد استفاده قرار می‌گیرد و ماشینهای با قدرت زیاد از جاروسک با مخلوطی از گرافیت و مس استفاده می‌شود.

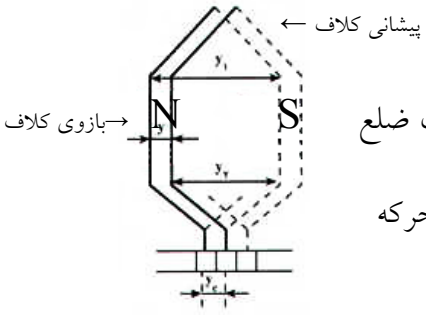
سیم پیچی آرمیچر ماشینهای جریان مستقیم: بطور کلی در سیم پیچی آرمیچر باید نکات زیر مدنظر قرار گیرد:

1- سیم پیچی را طوری طراحی کرد که ضمن صرفه جویی در مواد اولیه به بهترین وجهی از آن استفاده شود.

2- سیم پیچی باید از استحکام مکانیکی و حرارتی کافی برخوردار باشد.

3- به هنگام گرفتن جریان از کلکتور جرقه زیادن آوری ایجاد نگردد.

4- حداکثر گشتاور، جریان و ولتاژ را با حداقل نوسان بوجود آورد.



نکته: در سیم پیچی آرمیچر 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.

روشهای سیم پیچی آرمیچر:

1- سیم پیچی حلقوی (درهم): 1- حلقوی ساده ، 2- حلقوی مرکب

2- سیم پیچی موجی :1- موجی ساده ، 2- مرکب

3- سیم پیچی پای قورباغه ای

1- سیم پیچی حلقوی ساده:

گام قطبی (yp) : فاصله بین مرکز دو قطب مجاور هم را گام قطبی گویند و یا به عبارت دیگر تعداد و شیارهای آرمیچر که زیر یک قطب قرار می‌گیرند.

$$Y_p = \frac{Z}{2p}$$

Z = تعداد شیار های آرمیچر ، 2p = تعداد قطب های ماشین ، Y_p = گام قطبی

گام رفت یا گام اول کلاف $(y1)$: فاصله بین بازوهای یک کلاف را برحسب شیار گام رفت گویند.

در این رابطه ε (اپسیلن) مقدار کسری است که باید به حاصل $\frac{Z}{2p}$ اضافه یا کم شود. $Y= y_p \pm \varepsilon = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon$

$+\varepsilon$ زمانی بکار می رود کا گام کلاف از گام قطبی بیشتر باشد.(گام اضافی) ($y_1 > y_p$)

$-\varepsilon$ زمانی بکار می رود که گام کلاف از گام قطبی کمتر باشد.(گام کسری) $(y_1 < y_p)$

$\varepsilon = 0$ سیم پیچی با گام کامل است.($y_p = y_1$)

گام کلکتور (yc) : فاصله سرو ته یک کلاف را روی کلاکتور گام کلکتور گویند و در سیم بندی حلوقی ساده از رابطه زیر بدست می‌آید. $y_c = \pm 1$

اگر yc مثبت باشد سیم پیچی را راستگرد و اگر yc منفی باشد سیم پیچی را چپگرد گویند.

گام برگشت (y_2) : فاصله بین بازوی دوم یک کلاف و بازوی اول کلاف بعد ار برحسب برآمدگی بین شیار گام برگشت یا گام دوم سیم پیچی گویند. $Y_2 = y_c - y_1$

نکته: گام برگشت در سیم بندی حلقوی همیشه منفی بدست می‌آید.

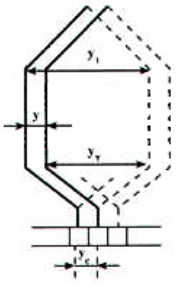
گام سیم پیچی (y) : فاصله بین دو بازوی اول در کلاف متوالی را گام سیم پیچی گویند و از نظر مقدار با گام کلکتور برابر می‌باشد. $y = y_c$

تعداد راه های جریان $(2a)$: تعداد راههای جریان که بین دو جاروبک مثبت و منفی قرار دارد و در سیم بندی حلقوی ساده با تعداد قطبها برابر است. $2a = 2p$

تعداد جاروبک ها : تعداد جاروبک ها در سیم بندی حلقوی با تعداد قطبها برابر می‌باشد. $2p$ = تعداد جاروبک ها

پهنای هر جاروبک : پهنای هر جاروبک در سیم بندی حلقوی ساده به اندازه پهنای یک تیغه کلکتور می‌باشد.

مثال: مطلوب است محاسبه و رسم دیاگرام گسترده آرمیچر یک مولد دو قطب با 6 شیار در آرمیچر و 6 تیغه کلکتور به طریقه حلقوی ساده را ستگرد. (دیاگرام خطی آنرا نیز رسم کنید).

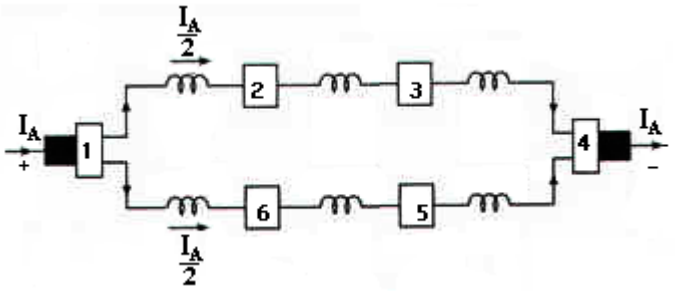


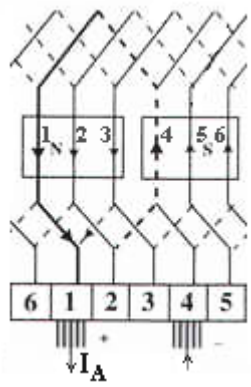
$y_p = \frac{Z}{2p} = \frac{6}{2} = 3$

$y_1 = y_p \pm \varepsilon = 3+0 = 3$ گام کامل $Y_c = +1$ راستگرد

$Y_2 = y_c - y_1 = 1- 3 = -2$ $Y = y_c = 1$ $2p = 2$ تعداد جاروبک ها

$2a = 2p = 2$ پهنای هر جاروبک = به اندازه ی یک تیغه کلکتور





دیاگرام خطی سیم پیچی آرمیچر دیاگرام گسترده آرمیچر

نکته: برای تعیین محل جاروبک ها ابتدا جهت جریان در کلافها را در زیر قطبها مشخص می‌کنیم سپس تیغه هایی را که در جریان به آنها وارد یا دو جریان از آنها خارج می‌شوند را بعنوان محل جاروبک ها در نظر می‌گیریم.

2- سیم پیچ حلقوی مرکب:

این سیم پیچی از m سیم پیچی حلقوی ساده تشکیل شده است و در ماشینهایی که ولتاژ کم و جریان زیاد دارند استفاده می شود.

$Y_p = \frac{Z}{2p}$ =گام قطبی $Y_1 = y_p \pm \varepsilon = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon$ = گام رفت

$Y = y_c$ =گام سیم پیچی $Y_2 = y_c - y_1$ =گام برگشت $Y_c = \pm m$ =گام کلکتور

$2a = 2.p.m$ = تعداد راه های جریان ، $2p$= تعداد جاروبک ها ، به اندازه ی m تیغه کلکتور = پهنای هر جاروبک

3- سیم پیچی موجی ساده:

$Y_p = \frac{Z}{2p}$ =گام قطبی

$Y_1 = y_p \pm \varepsilon = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon$ = گام رفت c = تعداد تیغه های کلکتور

$Y_c = \frac{c \pm 1}{p}$ =گام کلکتور p = تعداد جفت قطبها ، + برای سیم پیچی راستگرد ، - برای سیم پیچی چپ گرد

$Y_2 = y_c - y_1$ =گام بر گشت

$Y = y_c$ = گام سیم پیچی $2a = 2$ تعداد راه های جریان

پهنای هر جاروبک = به اندازه ی یک تیغه کلکتور 2 = تعداد جاروبک ها

مثال: مطلوب است رسم دیاگرام گسترده و محاسبه سیم پیچی آرمیچر با 6 شیار و 6 تیغه کلکتور به طریقه موجی ساده چپگرد بطوریکه مولد فوق 2 قطب باشد دیاگرام خطی آنرا نیز رسم کنید.

4- سیم پیچی موجی مرکب:

این سیم پیچی تشکیل شده از m سیم پیچی موجی ساده و معمولاً در ماشینهای با ولتاژ زیاد و جریان کم استفاده می‌شود.

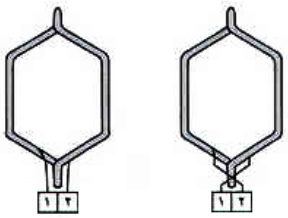
$Y_p = \frac{Z}{2p}$ = گام قطبی ، $Y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon = y_p \pm \varepsilon$ =گام رفت ، $Y_c = \frac{c \pm m}{p}$ = گام کلکتور ، $Y_2 = y_c - y_1$ = گام برگشت

$Y = y_c$ =گام سیم پیچی $2a = 2m$ = تعداد راه های جر یان

2 = تعداد جاروبک به اندازه ی m تیغه کلکتور = پهنای هر جاروبک

نکته 1: سیم پیچی موجی در مقایسه با سیم پیچی حلقوی قابلیت ولتاژ خروجی بیشتر و جریاندهی کمتر را دارد.

نکته 2: تفاوت سیم پیچی راستگرد و چپ گرد در شکلهای زیر نشان داده شده است:



مثال: یک مولد 8 قطبی با سیم پیچی حلقوی مرکب دوگانه ای دارای 400 دور سیم که مقاومت هر دور 0/004 اهم می‌باشد مطلوب است محاسبه:

الف) مقاومت کل آرمیچر

ب) جریان هر مسیر جریان آن اگر IA=320A باشد.

الف) مقاومت کل دور ها به طور سری $R_t = N \times R_N = 400 \times 0.004 = 1.6\ \Omega$

تعداد راه های جریان $2a = 2.p.m = 8 \times 2 = 16$

مقاومت هر مسیر جریان موازی $R_1 = \frac{R_t}{2a} = \frac{1.6}{16} = 0.1\ \Omega$

مقاومت آرمیچر (معادل مسیر های موازی) $R_A = \frac{R_1}{2a} = \frac{0.1}{16} = 0.00625\ \Omega$

ب) جریان هر مسیر جریان آرمیچر $I_1 = \frac{I_A}{2a} = \frac{320}{16} = 20\ A$

در یک ماشین جریان مستقیم خطوط قوای مغناطیسی را که از قطب N به سمت قطب S گسیل می‌شوند را میدان طولی یا اصلی ماشین می‌نامند.

میدان عرضی آرمیچر: اگر یک ماشین جریان مستقیم زیربار قرار گیرد از آرمیچر آن

جریان عبور می‌کند و در اثر عبور این جریان از هادیهای آرمیچر یک میدان مغناطیسی دیگری بوجود می‌آید که جهت آن عمود بر میدان اصلی می‌باشد. این میدان را میدان عرضی آرمیچر گویند.

عکس العمل مغناطیسی آرمیچر: تأثیر میدان آرمیچر بر میدان اصلی قطبها را عکس العمل آرمیچر می‌نامند.

نکته 1: هر قدر ماشین بیشتر زیر بار برود میدان عرضی آرمیچر قوی تر خواهد شد.

نکته 2: عکس العمل مغناطیسی آرمیچر: تأثیر میدان آرمیچر بر میدان اصلی قطبها را عکس العمل آرمیچر می‌نامند.

نکته 1: هر قدر ماشین بیشتر زیر بار برود میدان عرضی آرمیچر قوی تر خواهد شد.

نکته 2: عکس العمل مغناطیسی آرمیچر باعث می‌شود که اولاً میدان اصلی ماشین تضعیف شده و ثانیاً منطقه حنثی در مولدها در جهت چرخش و در موتورها در خلاف جهت چرخش آرمیچر تغییر مکان دهد این تغییر مکان ستگی به تارما ماشین دارد.

نکته 3: در ماشینهای جریان مستقیم چون پهنای ذغال بزرگتر از پهنای عایق بین دو تیغه کلکتور است. در لحظاتی دو تیغه مجاور توسط جاروبک بهم متصل می‌شوند به همین دلیل مثلاً در سیم پیچی حلقوی سروته یک کلاف که به دو تیغه کنار هم وصل است اتصال کوتاه می‌شود. برای اینکه در این حالت جرقه ای صورت نگیرد. محل جاروبک ها را به نحوی تعیین می‌کنند تا بازوهای کلاف اتصال کوتاه شده در ناحیه خنثی قرار داشته باشند و ولتاژی در آنها القا نشود از آنجا که عکس العمل آرمیچر سبب انحراف محور خنثی می‌شود. در اینصورت کلافی که اتصال کوتاه می‌شود دیگر در ناحیه خنثی نبوده و در آن ولتاژ القاء می‌شود بنابراین در زیر جاروبک ها ایجاد جرقه خواهیم داشت.

نکته 4: برای از بین بردن و یا کم کردن اثر عکس العمل آرمیچر در ماشینهای DC می‌توان از قطبهای کمکی و یا در ماشینهای بزرگتر از قطبهای کمکی و سیم پیچ جبرانگر استفاده نمود.

قطب های کمکی: قطبهایی می‌باشند که بین قطبهای اصلی یعنی در منطقه خنثی قرار می‌گیرند و میدانی در خلاف جهت میدان آرمیچر ایجاد می‌کنند که اثر میدان عرضی آرمیچر را از بین می‌برد بنابراین قطبهای کمکی در ماشینهای جریان مستقیم این امکان را فراهم می‌کنند تا منطقه خنثی در طول زمان بارداری ماشین تغییر نکند و در نتیجه بین کلکتکور و جاروبک دیگر جرقه ایجاد نگردد.

سیم پیچ های جبرانگر یا تعدیل: فصلهای کمکی نمی‌توانند اثر میدان عرضی آرمیچر را در ناحیه زیرقطبها کاملاً از بین ببرند. بنابراین در ماشینهای بزرگ سیم پیچهای در پیشنای قطبهای اصلی قرار می‌گیرد تا اثرعکس العمل عرضی آرمیچر را در زیرفصلها از بین ببرد.

نکته 1: از سیم پیچ جبرانگر بیشتر در ماشینهای صنعتی که تغییرات بار آنها به صورت ضربه ای است استفاده می‌شود.

نکته 2: سیم پیچ قطب کمکی و همچنین سیم پیچی جبرانگر را با سیم پیچ آرمیچر به طور سری به هم وصل می‌کنند تا جریان آرمیچر از آنها عبور کرده و میدان مغناطیسی آنها همیشه متناسب با میدان مغناطیسی آرمیچر باشد.

نکته 3: جهت جریان در سیم پیچ جبرانگر مخالف جهت جریان در بازوهایی از سیم پیچ آرمیچر است که در مجاورت آن قرار می‌گیرد.

کموتاسیون: تغییر تماس جاروبک از یک تیغه کلکتور به تیغه دیگر به طوریکه از تغییر جهت جریان در مدار خارجی جلوگیری کند را کموتاسیون گویند.

زمان کموتاسیون: مدت زمانی را که طول می‌کشد تا اتصال جاروبک از یک تیغه به تیغه دیگر تغییر کند زمان کموتاسیون نامیده می‌شود. هرچه جاروبک پهن تر و سرعت ماشین کمتر باشد مدت زمان کموتاسیون طولانی تر خواهد بود.

نکته 1: در هنگام عمل کموتاسیون وقتی که یک کلاف از زیر یک قطب (N) به زیر قطب بعدی (S) می‌رود در این هنگام جهت جریان در آن عکس می‌شود و چون سیم پیچ خاصیت خود القایی دارد در آن ولتاژ القاء می‌گردد که موجب جرقه در زیر جاروبک ها و کلکتور می‌گردد که با قرار دادن قطب کمکی در ناحیه بین دو قطب متوالی (S , N) صرف نظر از اینکه عکل العمل مغناطیسی آرمیچر از بین می‌رود اثر خودالقایی آرمیچر را نیز از بین می‌برد و در نتیجه عمل کموتاسیون بدون جرقه صورت خواهد گرفت.

نکته 2: از نظر پلاریته قطب های کمکی موند باید در جهت چرخش مولد و مخالف قطب اصلی باشد. مثلاً در کنار یک قطب S با توجه به جهت چرخش مولد باید یک قطب کمکی با پلاریته N باشد و در موتورها عکس آن است.

نکته 3: در ماشینهایی که قطب کمکی ندارند بهبود عمل کموتاسیون در صورت امکان با تغییر محل جاروبک ها و گردان آنها (در جهت گردش در مولدها و در جهت خلاف گردش در موتورها) انجام می‌گیرد.

رابطه اساسی نیروی محرکه القایی در ماشینهای DC واقعی:

ولتاژ تولید شده در هر ماشین به سه عامل بستگی دارد:

1- فوران مغناطیسی ماشین (φ) برحسب وبر (wb) ، 2- سرعت زاویه ای روتور ماشین (W) برحسب رادیان برثانیه (Rad/s) ، 3- ضریب ثابت که به ساختمان ماشین بستگی دارد (K)

$E_A = K.\varphi.W$

Z = تعداد هادیهای ماشین

$K = \frac{ZP}{2\pi a}$

P = زوج های قطبها یا جفت قطبها

$W = \frac{2.\pi.n}{60}$

a = زوج راه های جریان یا جفت راه جریان

n = تعداد دور های محور ماشین بر حسب دور بر دقیقه (R.P.M) ، E_A = نیروی محرکه ی القایی ماشین بر حسب ولت (v)

نکته: با جایگذاری رابطه سرعت زاویه ای در رابطه نیروی محرکه القایی به رابطه زیر می‌رسیم که می‌توان برای محاسبه مقدار ولتاژ القایی از آن نیز استفاده نمود.

$E_A = \acute{K} . \varphi . n$ $\qquad$ $\acute{K} = \frac{Z.P}{60 .A}$

مثال: یک ماشین چهارقطبی که دارای 500 هادی در آرمیچر می‌باشد با سرعت 3000 دور در دقیقه در حرکت می‌باشد اگر فلوی زیر هر قطب 200 میلی وبر باشد و سیم بندی آرمیچر آن از نوع حلقوی ساده باشد. فرار نیروی محرکه القا شده در آرمیچر چقدر است؟

حل: روش اول

$K = \frac{Z.P}{2.\pi.a} = \frac{500\times2}{60\times2} = \frac{50}{6} = {}^{25}/_{3}$

$2a = 2P = 4 \rightarrow a = 2$

$W = \frac{2.\pi.n}{60} = \frac{2\pi\times3000}{60} = 100\,\pi \ ({}^{rad}/_{s})$

$E_A = K . \varphi . W = \frac{250}{\pi} \times 200 \times 10^{-4} \times 100\pi = 5000 \text{ v}$

روش دوم

$\acute{K} = \frac{Z.P}{60\,a} = \frac{500\times2}{60\times2} = \frac{50}{6} = \frac{25}{3}$

$2a = 2P = 4 \rightarrow a = 2$

$E_A = \acute{K} . \varphi . n = \frac{25}{3} \times 200 \times 10^{-3} \times 3000 = 5000 \text{ V}$

رابطه اساسی گشتاور تولیدی در آرمیچر ماشینهای جریان مستقیم واقعی:

گشتاور تولید شده در ماشینهای جریان مستقیم به سه عامل بستگی دارد: 1- فوران مغناطیسی ماشین (φ) برحسب وبر (wb) ، 2- جریان آرمیچر (Ia) برحسب آمپر (A) ، 3- یک ضریب ثابت که به ساختمان ماشین بستگی دارد (K)

$$T = K.\varphi.I_A \qquad K = \frac{Z.P}{2.\pi.a}$$

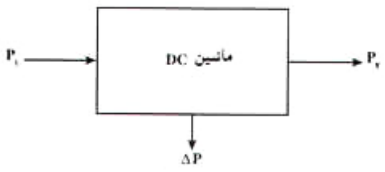
مثال: یک ماشین جریان مستقیم 2 قطبی با 400 هادی در آرمیچر و فوران 0/05 وبر در زیر هر قطب اگر جریان آرمیچر 10 آمپر و سیم پیچی آرمیچر از نوع موجی مرکب دو گانه باشد گشتاور در تولیدی در آرمیچر چقدر می‌باشد.

$$2a = 2m = 2 \times 2 = 4 \quad \rightarrow \quad a = 2 \qquad (\pi = 3.14)$$

$$k = \frac{Z.P}{2.\pi.a} = \frac{400 \times 1}{2 \times 3.14 \times 2} = 31.85$$

$$T = K.\varphi.I_A = 31.85 \times 0.05 \times 10 = 16 \ (N.m)$$

توان و راندمان در ماشینهای جریان مستقیم: توان ورودی به ماشین را P_1 و توان خروجی آن را P_2 می‌نامند چون $P_2<P_1$ می‌باشد بنابراین تفاضل این دو توان توان تلف شده نامیده می‌شود و با Δ_p نشان می‌دهند.



نکته: قدرتی که روی پلاک ماشین نوشته می‌شود قدرت خروجی (P_2) ماشین است.

راندمان یا ضریب بهره: نسبت توان خروجی به توان ورودی را راندمان یا ضریب بهره ماشین می‌نامند و با η (اتا) نمایش می‌دهند. معمولاً ضریب بهره را به درصد بیان می‌کنند.

راندمان را با توجه به رابطه Δ_p می‌توان به دو صورت زیر نیز محاسبه نمود:

$$\% \eta = \frac{p_2}{p_2 + \Delta_p} \times 100 \qquad \% \eta = \frac{p_1 - \Delta_p}{p_1} \times 100$$

تلفات توان در ماشینهای DC: تلفات ماشینهای الکتریکی جریان مستقیم را می‌توان به صورت زیر تقسیم بندی نمود:

1- تلفات مکانیکی یا اصطکاکی (pmec): این تلفات ناشی از اصطکاک بین محور و یاتاقانها و نیز اصطکاک بین جاروبکها و کلکتور و مقاومت هوا می‌باشد و تابع دور محور ماشین می‌باشد.

2- تلفات آهنی یا تلفات هسته (pfe): این تلفات ناشی از تلفات هیستروزین و فوکو در هسته آرمیچر می‌باشد و تابع دور محور و مقدار ولتاژ القایی (E_A) ماشین می‌باشد.

3- تلفات مسی یا ژولی (P_{CU}): این تلفات ناشی از تلفات عبور جریان از سیم پیچهای تحریک، آرمیچر و دیگر سیم پیچهای موجود در ماشین از قبیل سیم پیچهای و قطبهای کمکی و همچنین جاروبک های می‌باشد.

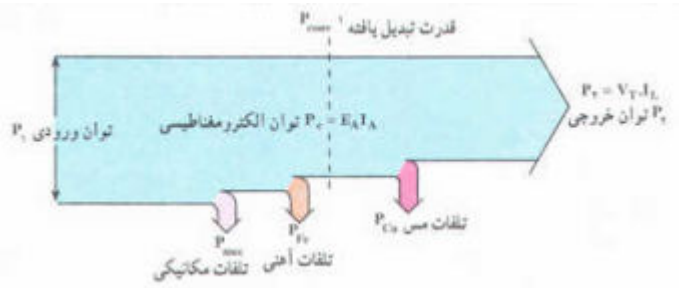
نکته 1: اگر مقاومت کل مسیر سیم پیچ تحریک را با R_F و مقاومت مجموع سیم پیچ آرمیچر، قطبهای کمکی و سیم پیچی جبرانگر و محل تماس جاروبک ها را که از جریان آرمیچر تغذیه می‌کنند با R_A نشان دهیم خواهیم داشت:

تلفات مسی تحریک $P_F = R_F \cdot I_F^2$ ، تلفات مسی آرمیچر $P_A = R_A \cdot I_A^2$

تلفات مسی کل ماشین $P_{CU} = P_F + P_A$

نکته 2: مجموع تلفات آهنی و مکانیکی که از بی‌باری تابار کامل تغییر چندانی ندارد تلفات ثابت ماشین نامیده می‌شود اما تلفات مسی را که در بارهای مختلف متغییر است را تلفات متغییر می‌نامند.

بلوک و دیاگرام توان در مولدهای جریان مستقیم:



برای نمایش توزیع توان در مولدها از روش زیر استفاده می‌کنند.

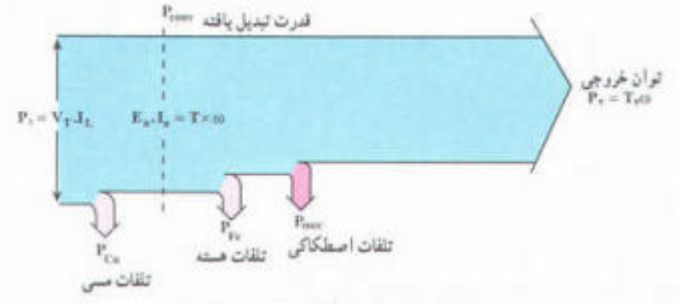
– pe را توان الکترومغناطیسی یا توان ایجاد شده در فاصله هوایی بین قطبها و آرمیچر می‌گویند و از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشد: $P_e = P_2 + P_{cu}$ $P_e = P_1 - (P_{mec} + P_{Fe})$ $P_e = E_A \cdot I_A$

– کل تلفات در مولد را از رابطه $\Delta_p = p_{mec} + p_{Fe} + p_{CU}$ بدست می‌آورند.

– توان خروجی مولد (P_2) را می‌توان از حاصلضرب ولتاژ خروجی مولد در جریان خروجی آن بدست آورد:

$P_2 = P_1 - \Delta_P$ $P_2 = P_e - P_{cu}$ $P_2 = V_T \cdot I_L$

بلوک دیاگرام توان در موتورهای جریان مستقیم:



–(pe) توان الکترومغناطیسی از روابط زیر بدست می‌آید:

$P_e = E_A \cdot I_A$, $P_e = T_e \cdot W$, $P_e = P_1 - P_{cu}$

$P_e = P_2 + (P_{Fe} + P_{mec})$

Te = گشتاور الکترو مغناطیسی (N.m) , W = سرعت زاویه ای

– توان خروجی (p_2) نیز از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$P_2 = T_2 \cdot W$ $P_2 = P_e - (P_{Fe} + P_{mec})$ $P_2 = P_1 - \Delta_P$

– کل تلفات موتور (Δ_p) از رابطه زیر قابل محاسبه است: $\Delta_P = P_{cu} + P_{Fe} + P_{mec}$

مثال: در یک مولد DC 10 kw/2580v تلفات بصورت زیر است:

تلفات مکانیکی 650W، تلفات مسی تحریک یا استاتور 350w، تلفات مسی آرمیچر 300w و تلفات آهنی 50w می-باشد، مطلوب است محاسبه:

الف) تلفات کل مولد ، ب) توان ورودی یا توان مکانیکی ، ج) راندمان یا ضریب بهره مولد ، د) توان الکترومغناطیسی مولد

$$P_{cu} = P_A + P_F = 300 + 350 = 650\ W$$

$$\Delta P = P_{cu} + P_{Fe} + P_{mec} = 650 + 50 + 650 = 1350\ W$$

$$P_1 = P_2 + \Delta P = 10000 + 1350 = 11350\ W$$

$$\%\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 = \frac{10000 \times 100}{11350} = \%\ 88.1$$

$$P_e = P_2 + P_{cu} = 10000 + 650 = 10650\ W$$

فصل سوم

مولدهای جریان مستقیم:

ماشینهای DC واقعی دارای دو دسته سیم پیچ هستند:

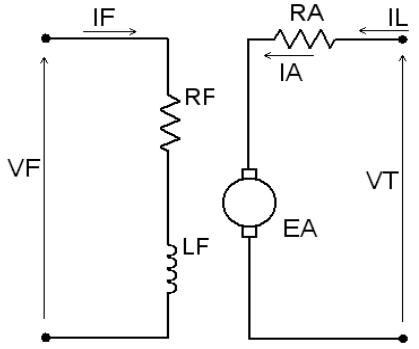
1- سیم پیچ آرمیچر ، 2- سیم پیچ های تحریک

- مولدهای DC را می‌توان با توجه به نحوه ارتباط الکترویکی سیم پیچ تحریک و سیم پیچ آرمیچر به چهار سته تقسیم بندی کرد:1- مولد تحریک مستقل، 2- مولد شست یا موازی ، 3- مولد سری، 4- مولد سری-موازی یا مختلط (کمپوند) مولدها را از نظر چگونگی تأمین جریان تحریک به دو دسته تقسیم می‌کنند:

1- مولدهای تحریک مستقل ، 2- مولدهای خود تحریک

1- مولد تحریک مستقل: در اینگونه مولدها سیم پیچ تحریک از طریق یک منبع تغذیه جریان DC خارجی بنام اکسایتر تغذیه می‌شود و ارتباطی با سیم پیچ آرمیچر ندارد.

مدار الکتریکی معادل مولد تحریک مستقل همراه با ولتاژها و جریانهای قسمتهای مختلف آن و روابط بین آنها در ز یر نشان داده شده است.



$$I_A = I_L$$

$$I_F = \frac{V_F}{R_F}$$

$$V_T = E_A - R_A I_A - \varepsilon$$

I_A = جریان آرمیچر ، I_L = جریان بار ، I_F = جریان تحریک

R_A = مقاومت اهمی آرمیچر ، R_F = مقاومت تحریک ،

L_F = اندوکتانس مدار تحریک ، E_A = نیروی محرکه تولیدی مولد ، V_T = ولتاژ خروجی مولد ، V_F = ولتاژ تحریک ،

ε (اپسیلون) = افت ولتاژ ناشی از عکس العمل آرمیچر

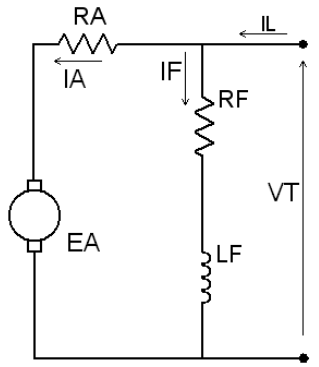
2- مولدهای خود تحریک: مولدهای خودتحریک برحسب اتصال سیم پیچ تحریک با سیم پیچ آرمیچر عبارتند از:

الف) مولد موازی یا شست: در این مولد سیم پیچ تحریک با سیم پیچ آرمیچر بطور موازی قرار می‌گیرد و از 2 تا 3 درصد جریان تولیدی آرمیچر برای تغذیه خود استفاده می‌نماید:

نکته 1: در این مولد چون جریان سیم پیچ تحریک کم می‌باشد برای ایجاد آمپر دور لازم تعداد دور آن زیاد اما قطر آن کم می‌باشد بنابراین مقاومت تحریک زیاد می‌باشد.

نکته 2: ولتاژ خروجی مولد توسط یک مقاومت متغیر که با سیم پیچ تحریک سری می‌شود تنظیم می‌گردد.

مدار الکتریکی این مولد همراه با فرمولهای مربوطه در زیر آورده شده است:

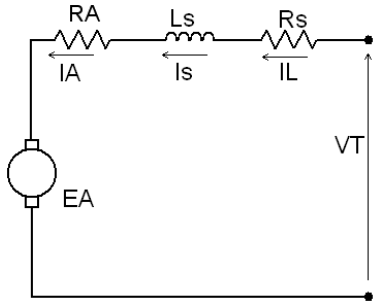


$$I_A = I_F + I_L \quad , \quad I_F = \frac{V_T}{R_F} \quad , \quad I_L = \frac{P_2}{V_T} \quad , \quad V_T = E_A - R_A I_A - \varepsilon$$

ب- مولد سری: در این مولد سیم پیچ تحریک با سیم پیچ آرمیچر بصورت سری اتصال پیدا می‌کند.

نکته: در این مولد چون تمام جریان آرمیچر که جریان زیادی می‌باشد از سیم پیچ تحریک می‌گذرد بنابراین تعداد دور سیم پیچ تحریک را کم اما قطر آن را زیاد انتخاب می‌کنند بنابراین مقاومت تحریک کم می‌باشد.

مدار الکتریکی این مولد همراه با فرمولهای مروبطه در زیر آمده است:



$$I_A = I_S = I_L = \frac{P_2}{V_T} \quad , \quad V_T = E_A - I_A (R_A + R_S) - \varepsilon$$

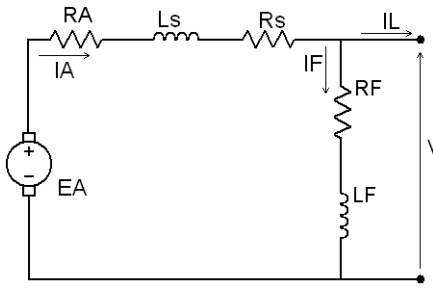
R_S = مقاومت تحریک سری ، L_S = اندوکتانس سیم پیچی سری ، I_S = جریان تحریک سری

پ- مولد مختلط یا کمپوند: مدار تحریک این مولد از دو سیم پیچ تشکیل شده است یکی بطور سری و دیگری بطور موازی، و به دو صورت این سیم پیچها تغذیه می‌شوند:

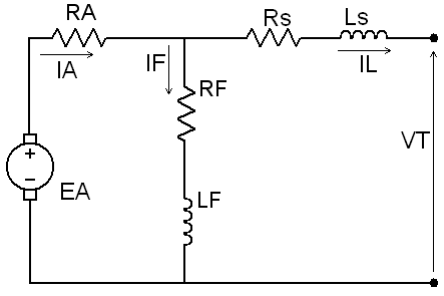
1- مولد کمپوند با انشعاب بلند (شست بلند) 2- مولد کمپوند با انشعاب کوتاه (شست کوتاه)

شکل مدار الکتریکی هر دو مولد در زیرآورده شده است:

مولد کمپوند با انشعاب بلند



مولد کمپوند با انشعاب کوتاه



بدلیل کوچک بودن افت ولتاژ در سیم پیچ سری، اختلاف بین این دو نوع اتصال ناچیز است لذا با تقریب مناسب روابط مربوطه زیر برای هر دو نوع بکار می‌رود.

$$I_A = I_F + I_L \quad , \quad I_F = \frac{V_T}{R_F} \quad , \quad I_L = \frac{P_2}{V_T} \quad , \quad V_T = E_A - I_A (R_A + R_S) - \varepsilon$$

مشخصات اصلی مولدهای جریان مستقیم: کیفیت و خواص مولدهای جریان مستقیم را به کمک مشخصات آنها مورد تحلیل و بررسی قرار می‌دهند این مشخصات روابط بین مقادیر اصلی زیر را که مبین کار مولدهاست نشان می‌دهند.

$E_A , V_T , I_A , I_F , W , n$ (معمولاً مشخصات مولدها را در دور ثابت بدست می‌آورند).

1- مشخصه بی‌باری: این منحنی تغییرات نیروی محرکه مولد را به ازاء تغییرات جریان تحریک نشان می‌دهد.

$$E_A = f (I_F) \quad , \quad n = const \quad , \quad I_L = 0$$

2- مشخصه خارجی مولد: این مشخصه ولتاژ خروجی مولد را به ازاء تغییرات بار نشان می‌دهد.

$$V_T = f (I_L) \quad , \quad n = const \quad , \quad R_F = const$$

3- مشخصه تنظیم مولد: این مشخصه تغییرات جریان تحریک را به ازاء تغییرات بار نشان می‌دهد.

$$I_F = f (I_L) \quad , \quad n = const \quad , \quad V_T = const$$

درصد تنظیم ولتاژ: نسبت تغییرات ولتاژ خروجی را نسبت به ولتاژ بار درصد تنظیم ولتاژ گویند.

$$\% V_R = \frac{E_A - V_T}{V_T} \times 100$$

نکته: در یک مولد هر قدر درصد تنظیم ولتاژ در بار نامی کوچکتر باشد، امکان تنظیم ولتاژ خروجی ساده تر است.

مشخصات مولد با تحریک مستقل:

الف) مشخصه بی‌باری: این مشخصه به ازاء جریان بار صفر و دور ثابت بدست می‌آورند و برای رسم آن از رابطه نیروی محرکه استفاده می‌کنند. $E_A = f (I_F) \quad , \quad n = const \quad , \quad I_L = 0$

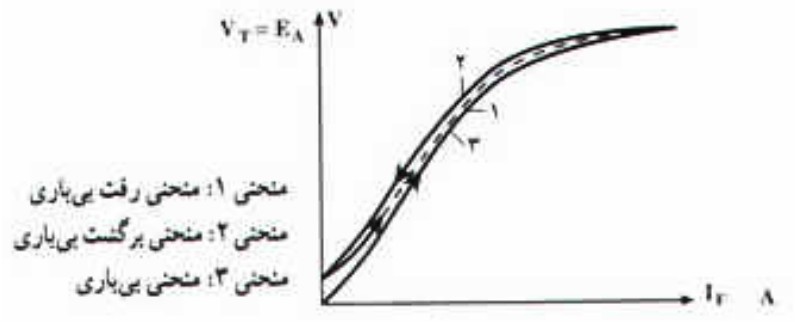
نکته: چون در طول آزمایش بی‌باری w ثابت است و هر تابعی از جریان تحریک است یعنی $\varphi = f (I_f)$ لذا نیروی محرکه تولیدی تابع جریان تحریک I_f می‌باشد.

$$V_T = E_A - R_A I_A - \varepsilon \quad \rightarrow \quad V_T = E_A = K.\varphi.w$$

برای انجام آزمایش بی‌باری و رسم منحنی آن ابتدا مولد را با دور ثابت بحرکت در می‌آوریم سپس با افزایش جریان تحریک از صفر تا اینکه ولتاژ خروجی به اندازه 1/1 تا 1/25 ولتاژ نامی افزایش یابد سپس نقاط بدست آمده ولتاژ

خروجی را با توجه به جریان تحریک آن به هم وصل می‌کنیم تا منحنی رفت بی‌باری بدست آید حال اگر جریان تحریک را کاهش دهیم تا به صفر رسد و نقاط بدست آمده را نیز بار به هم وصل کنیم.

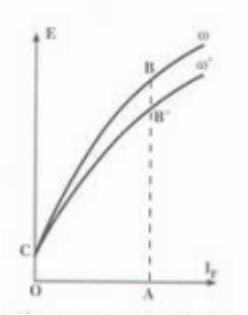
نکته 1: در حالت بی‌باری E_A با VT برابر می-باشد.



نکته 2: منحنی بی‌باری را چون شبیه منحنی مغناطیسی شوندگی هسته می‌باشد در بعضی موارد منحنی مغناطیسی هسته نیز نامیده می‌شود.

نکته 3: نقطه مربوط به ولتاژ نامی ماشین باید در قسمت منحنی (شروع اشباع) باشد زیرا اگر ولتاژ نامی ماشین روی قسمت خطی قرار گیرد به ازاء تغییر جزئی در جراین تحریک ولتاژ بشدت تغییر می‌کند و کار ماشین ناپایدار می‌شود و چنانچه روی قسمت اشباع شده واقع شود امکان تنظیم ولتاژ ماشین محدود می‌گردد.

نکته 4: اگرمنحنی بی‌باری را در دور n داشته باشیم، می‌توانیم مشخصات بی‌باری را در دور n بدست آوریم به شرط آنکه جریان تحریک را ثابت فرض کنیم از رابطه زیر می‌توانیم استفاده نمائیم.



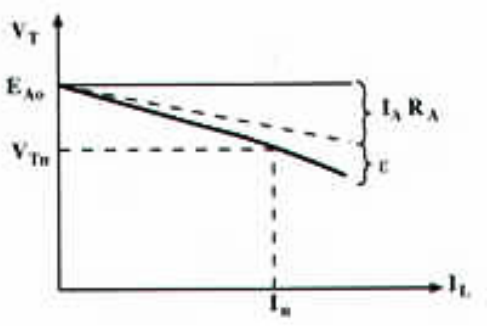
$$\frac{E_A}{E_A'} = \frac{K.\varphi.w}{K.\varphi.w'} = \frac{W}{W'} = \frac{n}{n'}$$

ب) مشخصه خارجی مولد تحریک مستقل: این مشخصه عبارتست از:

$$V_T = f\,(I_L) \quad , \quad n = \text{const} \quad , \quad R_F = \text{const}$$

برای بدست آوردن این مشخصه: ابتدا مولد را با دور نامی بحرکت در می‌آوریم سپس مدار تحریک را وصل کرده و با تغییر رتوستای آن جریان تحریک را به مقدار نامی آن می‌رسانیم. حال با ثابت نگه داشتن دور و جریان تحریک، بار را وصل کرده و مقدار آن را تا جایی افزایش می‌دهیم تا به ازاء جریان نامی، ولتاژ ترمینال مقدار نامی خود را بدست آورد.

– از کنارهم قرار دادن مقادیر بدست آمده از این آزمایش مشخصه خارجی مولد به صورت شکل زیر بدست می‌آید.



– همانطور که از منحنی خارجی پیداست با افزایش بار افت ناشی

از مقاومت اهمی آرمیچر ($R_A I_A$) و افت ناشی از عکس العمل آرمیچر (ε) افزایش یافته و در نتیجه ولتاژ خروجی کاهش می‌یابد.

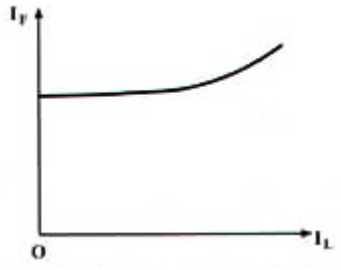
– در حالتیکه جریان بار صفر است ولتاژ خروجی مولد با نیروی محرکه القایی (E_A) برابر است. ($V_T = E_{A_0}$)

ج) مشخصه تنظیم مولد تحریک مستقل: در این مشخصه به ازاء

$$I_F = f\,(I_L)\,,\ n = \text{const}\,,\ V_T = \text{const}$$

می باشد که در زیر رسم شده است.

– در واقع مشخصه تنظیم نشان می‌دهد که برای ثابت ماندن ولتاژ خروجی در بارهای مختلف، جریان تحریک چگونه بایستی تغییر کند (زیرا می‌دانیم که با افزایش بار ولتاژ خروجی کاهش می‌یابد ولی می‌توان با افزایش جریان تحریک جبران این کاهش را نمود).



کاربرد مولد تحریک مستقل:

1– به علت درصد تنظیم بالا در مولدهای 4 تا 24 ولت یا در مولدهای با ولتاژ بیش از 600 ولت که باید ولتاژ آنها در حدود وسیعی تنظیم گردد. 2– تحریک مولدهای بزرگ نیروگاهی 3– تنظیم دور موتورها

مولد شنت یا موازی (راه اندازی و تعیین نقطه کار آن):

– شرط خود تحریکی مولد موازی آن است که فوران پسماند مغناطیسی در آن 2 تا 3 درصد فوران نامی ماشین باشد.

– شروع کار مولد شست بر اثر وجود پسماند مغناطیسی در قطبها می‌باشد. یعنی وقتی مولد را به گردش در می‌آوریم، به علت قطع خطوط قوای پس مانده توسط هادیهای آرمیچر، ولتاژی در آن القاء می‌شود.

این ولتاژ به دو سر مدار تحریک اعمال می‌گردد و جریان کمی از سیم پیچ تحریک قطبها عبور می‌دهند. در نتیجه فوران قطبها زیاد شده و نیروی محرکه الکتریکی بیشتری در مولد القاء می‌شود و ولتاژ دو سر مدار تحرک بالا می‌رود و مجدداً جریان تحریک افزایش یافته و ولتاژ القایی بزرگتر می‌شود. بالاخره به حالتی می‌رسیم که($V_T = R_F.I_F$) می‌شود. در اینصورت نیروی محرکه القایی ثابت می‌ماند.

– **خط القاء:** اگر مشخصه $V_T = R_F.I_F$ را رسم کنیم خطی بدست می‌آید که در نقطه ای منحنی بی‌باری را قطع می‌کند

به این خط، خط القاء می‌گویند.

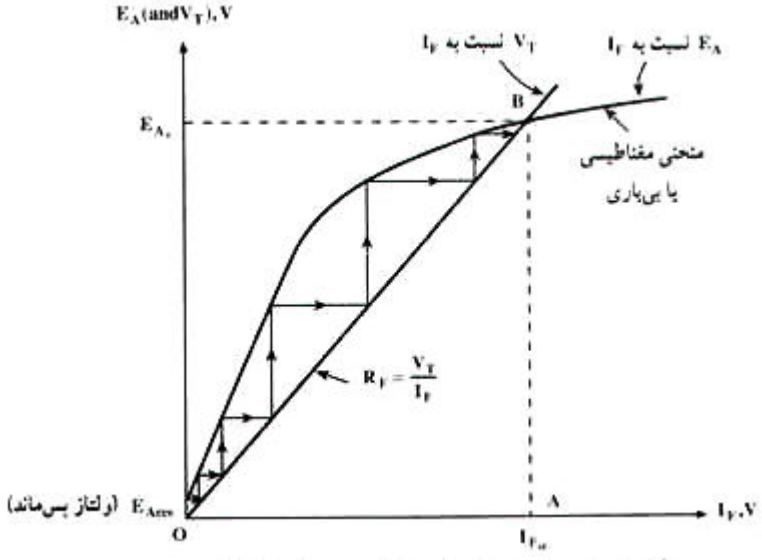
- **نقطه کار مولد شنت:** نقطه تقاطع خط القاء $V_T = R_F.I_F$ و منحنی بی‌باری $E_A = f\ (I_F)$ را که ولتاژ مولد در آن نقطه تثبیت می‌شود. نقطه کار مولد شست گویند.

- عمل افزایش جریان تحریک و نیروی محرکه در نقطه کار خاتمه می‌یابد و ولتاژ در این نقطه ثابت می‌شود.

- ولتاژ خروجی ترمینال مولد شست روی خط القاء تحرکت می‌کند و ولتاژ القایی آرمیچر روی منحنی بی‌باری.

- شیب خط القاء در واقع مقومت تحریک مولد را نشان می‌دهد. $R_F = \frac{V_T}{I_F}$

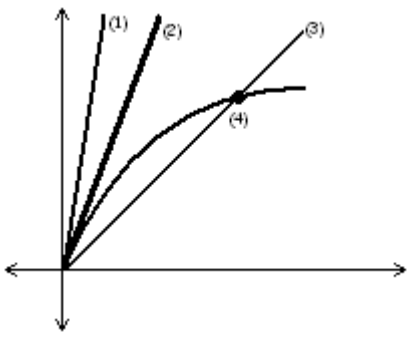
- اگر مقاومت مدار تحریک (RF) زیاد شود خط القاء منحنی بی‌باری را زودتر قطع می‌کند.



در نتیجه نقطه کار به سمت مبدأ مختصات حرکت می‌کند (یعنی شیب آن زیادتر می‌شود)

- بعبارتی دیگر، افزایش مقاومت مدار تحریک، سبب تغییر مکان خط القاء می‌شود.

- اگر مقاومت مدار تحریک آنقدر زیاد شود که خط القاء بر منحنی بی‌باری مماس شود، مولد حالت ناپایداری خواهد داشت و نیروی محرکه نمی‌تواند مقدار معینی باشد در این حالت می‌گویند مقاومت مدار تحریک بحرانی است.



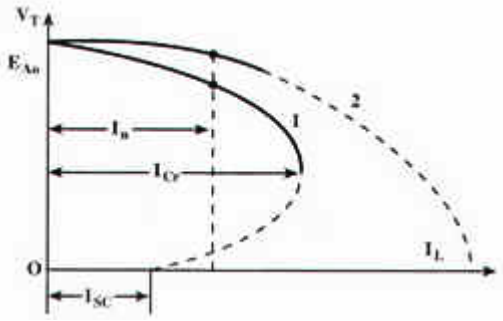
- اگر مقاومت مدار تحریک را آنقدر زیاد کنیم که دیگر خط القاء و منحنی بی‌باری یکدیگر را قطع نکنند در اینصورت دیگر ولتاژی در آرمیچر القاء نخواهد شد.

عواملی که سبب عدم تحریک یا عدم راه اندازی مولد نشست می‌شود عبارتند از:

1- پس مانده مغناطیسی ناچیز یا صفر باشد. 2- جهت جریان تحریک طوری باشد که فوران ناشی از آن، فوران پسماند را خنثی کند. 3- مقاومت مدار تحریک از حد معینی بیشتر باشد. 4- جهت گردش آرمیچر برعکس باشد که سبب عکس شدن جهت جریان تحریک می‌شود. 5- دور محور از حد معین کمتر باشد.

الف) مشخصه بی‌باری مولد شنت: این مشخصه همانند مشخصه بی‌باری مولد تحریک مستقل می‌باشد که قبلاً رسم گردید. اصولاً برای رسم منحنی بی‌باری مولد شست آن را به صورت تحریک مستقل راه اندازی می‌کنند.

ب) مشخصه خارجی شست: این مشخصه، تغییرات ولتاژ ترمینال یا خروجی برحسب جریان بار یعنی $V_T = f(I_L)$ به ازاء $R_F = const$ و $n = const$ می‌باشد که در زیر رسم شده است.



– لازم به ذکر است که مشخصه خارجی مولد تحریک مستقل نیز جهت مقایسه با مشخصه خارجی مولد شست رسم شده است.

نکته مهم: در مولد تحریک مستقل افت ولتاژ در هنگام بارداری ناشی از دو عامل بود: 1– افت ولتاژ ناشی از مقاومت اهمی آرمیچر $(R_A \cdot I_A)$ 2– افت ولتاژ ناشی از مقاومت عکس العمل مغناطیسی آرمیچر (ε)

اما در مولد نشست کم شدن ولتاژ خروجی در هنگام بارداری ناشی از سه عامل می‌باشد:

1– افت ولتاژ ناشی از مقاومت اهمی آرمیچر $(R_A \cdot I_A)$ 2– افت ولتاژ ناشی از عکس العمل آرمیچر (ε)

3– کاهش جریان تحریک به دلیل کاهش ولتاژ خروجی (V_T)

– در مولد تحریک مستقل با کاهش مقاومت بار R_L جریان بار I_L دائماً رو به افزایش است و در حالتیکه $R_L = 0$ یعنی حالت اتصال کوتاه مولد این جریان به حداکثر می‌رسد.

– اما در مولد شست جریان I_L فقط تا مقدار معینی (I_{SC}) که معمولاً از 2 تا 2/5 برابر جریان نامی تجاوز نخواهد کرد، افزایش می‌یابد و سپس رو به کاهش می‌رود (طبق منحنی)

– در حالت I_{SC} که مربوط به اتصال کوتاه دو سر خروجی است، $(V_T = 0)$ لذا جریان تحریک نیز صفر می‌شود. پس جریان اتصال کوتاه فقط ناشی از ولتاژ القایی در اثر پسماند مغناطیسی طبیعی می‌باشد.

ج) مشخصه تنظیم مولد شنت: این مشخصه $I_F = f(I_L)$ به ازاء $V_T = CONST$ و $n = CONST$ می‌باشد.

مشخصه تنظیم تمام ماشینهای جریان مستقیم خود تحریک مانند مشخصه تنظیم مولد تحریک مستقل می‌باشد.

کاربرد مولد شنت: درصد تنظیم ولتاژ مولد شست بالاست البته کمتر از تحریک مستقل است: 1- بعلت درصد تنظیم بالا در شارژ باطری ها ، 2- تأمین برق روشنایی (اضطراری) ، 3- تغذیه سیستم پیچ تحریک مولدهای نیروگاهی

مشخصات مولد سری: این مولد اصولاً فقط دارای یک مشخصه $V_T = f(I_L)$ به ازاء $n = const$ می‌باشد اما می‌توان با تحریک مستقل مشخصه مغناطیسی این مولد را نیز بدست آورد.

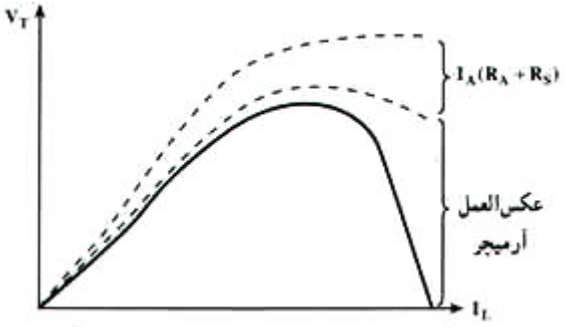
الف) مشخصه بی‌باری مولد سری: همانطور که گفته شد با مولد سری نمی‌توان آزمایش بی‌باری را انجام داد زیرا در حالت بی‌باری دو سر خروجی باز است و در نتیجه جریان تحریک و فوران ایجاد شده توسط آن صفر می‌باشد و نیروی محرکه ای در آرمیچر القاء نمی‌شود. بنابراین برای رسم منحنی بی‌باری مولد را به صورت تحریک مستقل راه اندازی می‌کنند در نتیجه منحنی آن همانند منحنی بی‌باری مولد تحریک مستقل می‌باشد.

ب) مشخصه خارجی مولد سری: $n = const\ ,\ V_T = f(I_L)$

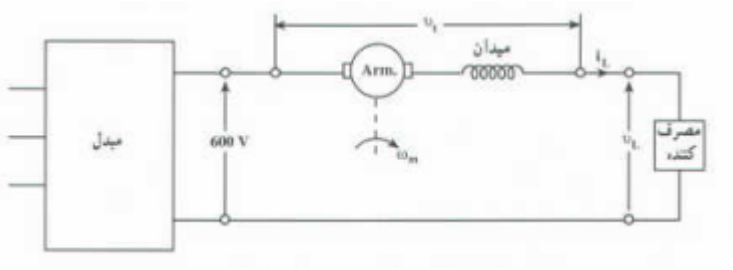
ابتدا مولد را با دور ثابت به گردش در می‌آوریم. حداکثر مقاومت بار را در مدار قرار می‌دهیم. در این حالت جریان کمی از آرمیچر و تحریک می‌گذرد و فوران پسماند تقویت شده و نیروی محرکه القایی زیاد می‌گردد و بدنبال آن ولتاژ خروجی افزایش می‌یابد. با کاهش مقاومت بار جریان بار و جریان تحریک افزایش می‌یابد تا جایی که قطبها اشباع شوند از آن به بعد چون فوران قطبها ثابت شده و دور هم ثابت است نیروی محرکه ثابت می‌ماند. اما به دلایل زیر ولتاژ خروجی مقداری کاهش می یابد.

1- افت ولتاژ در هادیهای آرمیچر ، 2- افت ولتاژ در سیم پیچی تحریک ، 3- افت ولتاژ بر اثر عکس العمل مغناطیسی القاء شونده (آرمیچر)

- در زیر مشخصه خارجی و بی باری مولد سری با هم رسم شده اند:



کاربرد مولد سری: مورد استفاده مولد سری خیلی کم است، زیرا ولتاژ دو سر آرمیچر بر اثر تغییر جریان بار بطور قابل ملاحضه ای تغییر می‌کند.

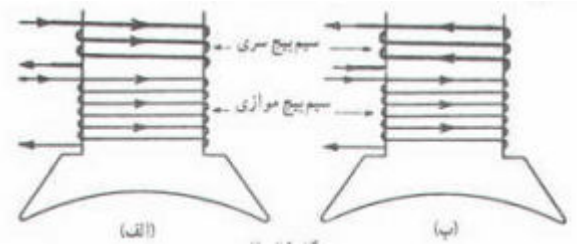


– از این مولد به عنوان جبران کننده افت ولتاژ خط همانند شکل مقابل استفاده می‌شود.

مولد کمپوند: این مولد اعم از کمپوند با بلند یا شست کوتاه بر دو نوع است:

1– مولد کمپو.ند اضافی ، 2– مولد کمپوند نقصانی

– در مولد کمپوند اضافی، فوران ناشی از سیم پیچ تحریک سری، فوران سیم پیچ تحریک شنت را تقویت می‌نماید. در این مولد سیم پیچ تحریک شنت نقش اصلی را به عهده دارد و سیم پیچ تحریک سری در یک بار معین برای جبران افت ولتاژ اهمی و عکس العمل مغناطیسی آرمیچر به کار می‌رود.



– در مولد کمپوند نقصانی فوران ناشی از سیم پیچ تحریک سری با فوران ناشی از سیم پیچ شنت مخالفت می‌کند.

مشخصه بی‌باری مولد کمپوند: در این مولد اعم از اضافی یا نقصانی چون جریان عبوری از سیم پیچ تحریک سری در آزمایش بی باری صفر یا ناچیز است. بنابراین منحنی بی باری آن همانند مولد شنت بدست می آید.

مشخصه خارجی مولد کمپوند اضافی: همانند مولدهای دیگر آزمایش بارداری را روی این مولد انجام داده و شاخص $V_T = f\ (I_L)$ را در $R_F = const$ و $n = const$ رسم می‌کنیم.

برای مولد کمپوند اضافی در حالت بارداری یکی از سه حالت زیر پیش خواهد آمد:

1– با افزایش بار، ولتاژ خروجی نیز زیاد می‌شود. این حالت را فوق کمپوند می گویند.

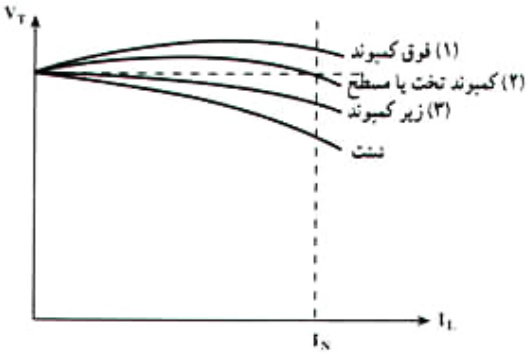
– در این حالت، افزایش نیروی محرکه ناشی از سیم پیچ سری بزرگتر از افت ولتاژ در اثر مقاومت و عکس العمل آرمیچر است.

2– با افزایش بار، ولتاژ خروجی ثابت می ماند. این حالت را کمپوند مسطح یا تخت می گویند.

– در این حالت، افت ولتاژ ناشی از مقاومت و عکس العمل آرمیچر، با افزایش نیروی محرکه ناشی از سیم پیچ سری جبران می شود.

3- با افزایش بار، ولتاژ خروجی کاهش می‌یابد. این حالت را زیر کمپوند می‌گویند.

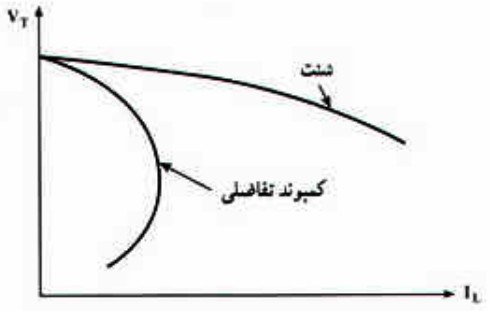
- در این حالت، افزایش نیروی محرکه ناشی از سیم پیچ سری نمی‌تواند افت ولتاژها را جبران کند.



البته در این حالت افت ولتاژ مولد کمتر از افت ولتاژ در مولد شنت است.

نکته:در مولد کمپوند اضافی میتوان با موازی بستن یک مقاومت با سیم پیچ تحریک سری جریان آن را تنظیم نمود تا در صورت نیاز ، یکی از حالات فوق را برای مولد ایجاد کرد.

منحنی مشخصه مولد کمپوند نقصانی: در این مولد میدان ناشی از تحریک سری هنگامی که از مولد بار گرفته می‌شود با میدان ناشی از تحریک شست مخالفت کرده و آن را تضعیف می‌کند و ولتاژ خروجی آن بشدت کاهش می‌یابد.



نکته: افت ولتاژ خروجی در این مولد بسیار شدیدتر از مولد شست است. زیرا در این مولد علاوه بر افت ولتاژهای موجود در مولد شست، مخالت میدان سیم پیچی تحریک سری با میدان تحریک شست، سبب تضعیف شدید میدان مغناطیسی قطبها می‌شود و در نتیجه نیروی محرکه بشدت کاهش می‌یابد.

کاربرد مولد کمپوندها:

1- مولد کمپوند اضافی در تحریک مولدهای نیروگاهی نقش مؤثری دارد.

2- از مولدهای کمپوند تخت، جایی استفاده می‌شود که نیاز به ولتاژ ثابتی باشد و فاصله بین مولد و مصرف کننده کم باشد.

3- از مولدهای کمپوند اضافی در حالت فوق کمپوند در مواردی استفاده می شود که بار نیاز به ولتاژ ثابت دارد ولی فاصله بین مولد و مصرف کننده زیاد می باشد. که در اینصورت ولتاژ اضافی تولید صرف به جبران افت ولتاژ خط می شود.

4- از مولد کمپوند نقصلانی بیشتر در جوشکاری استفاده می شود.

فصل چهارم

موتورهای جریان مستقیم:

– موتورهای الکتریکی امکان دسترسی به انرژی مکانیکی در حالتهای مختلف را با هزینه نسبتاً کم، طول، عمر زیاد، بهره برداری ساده و کم سرو صدا و روشهای متنوع و کارآمد کنترل، فراهم ساخته اند.

– در حال حاضر موتورهای الکتریکی از قدرتهای بسیار کوچک برای استفاده در ابزار دقیق و مهندسی پزشکی و ... تا قدرتهای بسیار زیاد (صدها کیلو وات) برای استفاده در صنایع سیمان و کارخانجات نورد فولاد و پالایشگاه ها و ... ساخته می شوند.

– دو ویژگی برجسته موتورهای جریان مستقیم که باعث شده هنوز از آنها استفاده شود عبارتند از:

1– امکان کنترل دور دقیق و وسیع ، 2– گشتاور راه اندازی بسیار خوب

– علی رغم مزیت بالا باید در نظر داشت مزیت بالا باید در نظر داشت که موتور DC نسبت به مشابه AC خود به مراتب گرانتر و هزینه بهره برداری و تعمیرات آن نیز غالباً بیشتر است. مضافاً بر اینکه چون شبکه های صنعتی معمولاً AC هستند در صورت استفاده از موتورهای جریان مستقیم بایستی یک منبع تغذیه اختصاصی نیز برای موتور تدارک ببینیم که بر گرانی هزینه آن می افزاید.

کمیتهای اصلی در موتورهای مستقیم: همانند مولدها عبارتند از:

جریان آرمیچر(I_A) ، جریان تحریک (I_F) ، سرعت با دور (n) ، نیروی محرکه القایی (E_A)و ولتاژ ترمینالها (V_T)

– در مولدها فرض بر این بود که دور ثابت است و تغییرات 4 کمیت دیگر مورد مطالعه قرار می گرفت اما در موتورها را V_T را ثابت می گیرند.

– در موتورها کمیتهای مکانیکی خصوصاً دور و گشتاور بیشتر مورد توجه قرار می گیرند اما در مولدهای بحث اصلی روی کمیتهای الکتریکی خصوصاً ولتاژ و جریان می باشد.

گشتاور در سیستم های دوار:

– حاصلضرب خارجی بردارهای نیرو و فاصله به عنوان گشتاور تعریف می شود. $T = F \times r$

$|T| = |F| \,.\, |r| \,.\, \sin\alpha$ (N.m) = بردار گشتاور بر حسب نیوتن متر T

F = بردار نیرو بر حسب نیوتن (N) ، r = بردار فاصله بر حسب متر ، α = زاویه بین بردار نیرو و فاصله

– اگر امتداد نیرو و فاصله بر هم عمود باشند رابطه بالا مهار شده و به صورت $T = F.\, r$ در می آید.

– در سیستم های دوار رابطه بین گشتاور با توان و سرعت زاویه ای بصورت زیر تعریف می شود.

$$T = \frac{P}{W} \quad , \quad W = \frac{2\pi n}{60} \quad , \quad T = \frac{60P}{2\pi n}$$

P = قدرت مکانیکی محور دوار بر حسب وات ، w = سرعت زاویه ای محور دوار بر حسب رادیان بر ثانیه

T = گشتاور محور بر حسب نیوتن متر

مثال: در یک موتور هنگام راه اندازی قدرت مکانیکی محور چقدر است؟

در راه اندازی $\rightarrow \quad n = 0 \quad \rightarrow \quad w = 0 \quad \rightarrow \quad P = T.W = T \times 0 = 0$

پس قدرت مکانیکی سیستم های دوار در زمان راه اندازی صفر است.

انواع گشتاور در موتورهای DC:

الف) گشتاور الکتکرومغناطیسی: نسبت قدرت تبدیل یافته (قدرت الکترومغناطیسی) به سرعت زاویه ای محور را گشتاور الکترومغناطیسی می نامند و با T_e نمایش می دهند. $T_e = \frac{P_e}{w} = \frac{60P_e}{2\pi n}$

ب) گشتاور مفید: نسبت قدرت خروجی (قدرت مفید) به سرعت زاویه ای محور گشتاور مفید نامیده می شود و با T_2 یا T_U نمایش می دهند. $T_U = \frac{P_2}{w} = \frac{60P_2}{2\pi n}$

چون $P_2 < P_e$ می باشد پس $T_2 < T_e$ نیز می باشد.

مشخصه های موتورهای جریان مستقیم:

مشخصه اصلی موتورهای جریان مستقیم عبارتند از:

الف) مشخصه الکترومغناطیسی: $T = f\,(I_A)$: از این مشخصه می توان نتیجه گرفت که برای تأمین گشتاورهای مختلف بوسیله الکتروموتور چه مقدار جریان توسط آرمیچر آن از شبکه دریافت می شود.

ب) مشخصه الکترومکانیکی: $n = f(I_A)$: از این مشخصه می فهمیم که درباره های مختلف دور موتور چگونه تغییر خواهد کرد.

ج) مشخصه گشتاور دور : $n = f(T)$ یا $W = f(T)$: مهمترین مشخصه الکتروموتور می باشد و بیان کننده تغییرات دور در گشتاورهای مختلف است.

درصد تنظیم سرعت در موتورهای DC :

تغییرات سرعت از بی باری تا بار کامل را نسبت به سرعت در بار کامل، درصد تنظیم سرعت گویند.

$$\%S_R = \frac{n_0 - n}{n} \times 100 \ , \quad \%S_R = \frac{w_0 - w}{w} \times 100$$

$\%S_R$ = درصد تنظیم سرعت ، n_0 = سرعت در بی باری ، n = سرعت در بار کامل

– هرقدر درصد تنظیم سرعت کوچکتر باشد امکاان تنظیم دور در موتور بیشتر است .

نکته: در رابطه اساسی ماشینهای جریان مستقیم که قبلاً مطرح شده بود کماکان در مورد موتورهای DC نیز مورد استفاده قرار می گیرند:

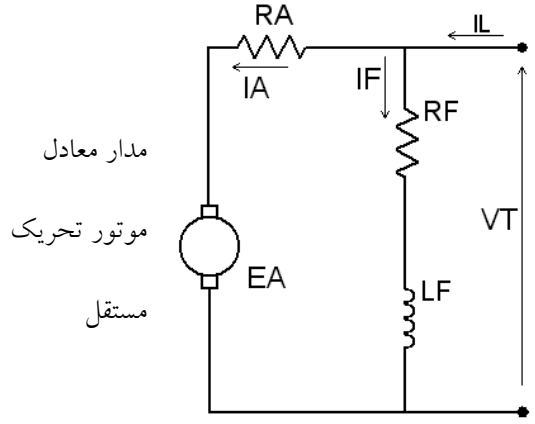
$$(1) E_A = K.\varphi.W \quad , \quad K = \frac{ZP}{2\pi a}$$

$$(1) E_A = \acute{K}.\varphi.n \quad , \quad \acute{K} = = \frac{ZP}{60a} \quad , \quad (2)\ T = K.\varphi.I_A$$

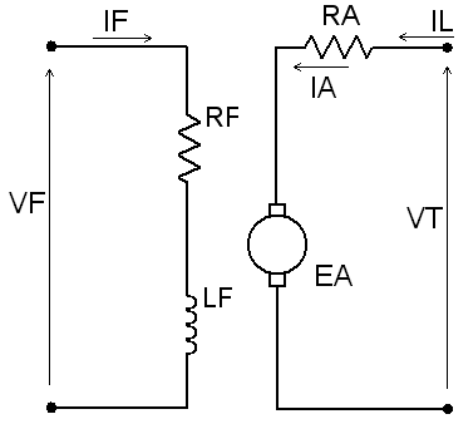
انواع تحریک موتورهای جریان مستقیم:

1) موتور تحریک مستقل و موتور شست:

– چون این دو نوع موتور از نظر مشخصه های موتوری تفاوت کمی دارند بنابراین در یک گروه مورد بررسی قرار می گیرند.



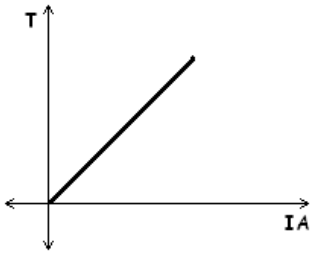
مدار معادل موتور شنت



مدار معادل موتور تحریک مستقل

$$I_F = \frac{V_F}{R_F} , I_L = \frac{P_1}{V_T} , I_A = I_L , V_T = E_A + R_A.I_A \quad ,,, \quad I_F = \frac{V_F}{R_F} , I_L = \frac{P_1}{V_T} , I_A = I_L - I_F , V_T = E_A + R_A.I_A$$

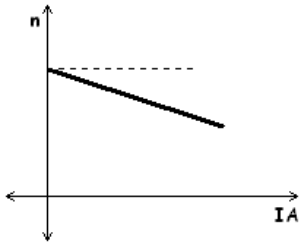
مشخصه الکترومغناطیسی موتور شست و تحریک مستقل: $T = f\ (I_A)$



با فرض $V_T = Const$ و $\varphi = const$ مشخصه $T = f(I_A)$ طبق رابطه ی $T = K.\varphi.I_A$ به صورت زیر میباشد.

مشخصه گشتاور دور موتور شست و تحریک مستقل: $W = f(T)$

با جایگزینی روابط اساسی در رابطه ی $V_T = E_A + R_A.I_A$ به رابطه T $W=\frac{V_T}{K\varphi} - \frac{R_A}{(K\varphi)^2}$ خواهیم رسید که



ارتباط بین سرعت زاویه ای و گشتاور را بیان و اگر آن را رسم کنیم نمودار آن خطی با شیب منفی خواهد بود.

– $\frac{VT}{K\varphi}$ را در معادله عرض از مبدا و $\frac{R_A}{(K\varphi)^2}$ را شیب خط که منفی هم باشد میگویند.

– دقت در نمودار نشان می دهد که موتور شنت و تحریک مستقل در بارهای مختلف سرعت تقریبا ثابتی دارند.

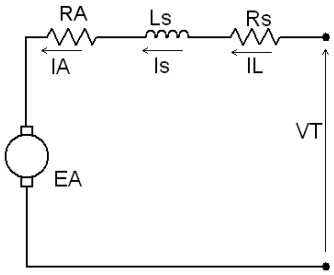
نکته1– هنگام افزایش بار مکانیکی محور موتور به دلیل افزایش گشتاور مقاوم باید مطابق رابطه ی $T = K.\varphi.I_A$ یکی از کمیتهای جریان آرمیچر (I_A) یا جریان تحریک (I_F) و یا هر دو به گونه ای افزایش یابند که گشتاور محرک موتور برابر گشتاور مقاوم بار گردد.

I_F را با تغییر در رئوستای تحریک می توان کنترل کرد اما I_A می تواند با کاهش دور موتور و بدون نیاز به اعمال کنترل از بیرون موتور کنترل گردد.(خاصیت خود تنظیمی موتور شنت)

نکته2– در مئتئر شنت و تحریک مستقل اگر تغییر یدر جریان تحریک موتور نداشته باشیم میتوانیم در بارهای مختلف مقدار فوران φ را ثابت فرض نمود و از رابطه ی زیر نسبت ولتاژ القایی آرمیچر و سرعت را بطور کلی بدست آورد.

$$\frac{E_{A_1}}{E_{A_2}} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

موتور سری:

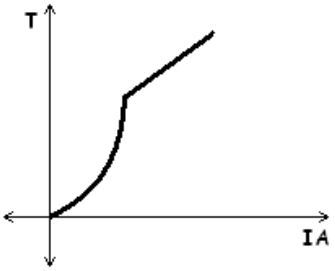


$$I_A = I_S = I_L = \frac{P_1}{V_T} \quad , \quad V_T = E_A + (R_A + R_S).I_A$$

مشخصه الکترومغناطیسی در موتور سری $T = f(I_L)$:

اگر فرض کنیم که هسته وارد ناحیه اشباع نشده باشد داریم: $\varphi = K_1 . I_S = K_1 . I_A$

$T= K.\varphi.I_A = K(K_1.I_A).I_A = K.K_1.I_A^2 \quad \rightarrow \quad T= K_S.I_A^2$



K_S = ضریب ثابت موتور سری بر حسب وبر بر آمپر (یا اهم ثانیه)

I_A = جریان موتور سری بر حسب آمپر

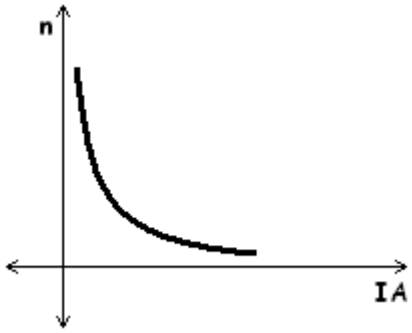
T = گشتاور موتور سری بر حسب نیوتن متر

– تا وقتی که هسته وارد ناحیه اشباع نشده مشخصه ی الکترومغناطیسی موتور سری همانند یک تابع درجه دو میباشد اما وقتی وارد ناحیه ی اشباع شد به صورت یک تابع خطی خواهد شد.

– رابطه ی $T= K_S.I_A^2$ نشان میدهد که در موتور سری گشتاور تا وقتی که هسته وارد ناحیه اشباع نشده متناسب با مجذور جریان است و این خاصیت می تواند ایجاد گشتاور راه اندازی بسیار زیادی را در زمان راه اندازی موتور موجب گردد.چرا که در زمان راه اندازی جریان قابل تئجهی از موتور می گذرد.

مشخصه گشتاور دور موتور سری $W= f(T)$:

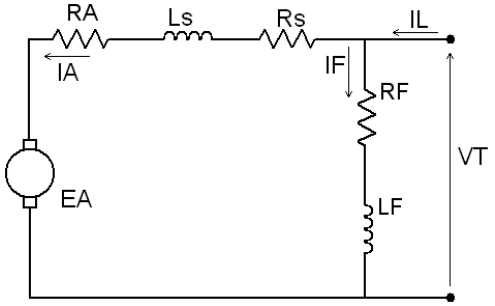
رابطه ی گشتاور دور موتور سری بصورت $W = \frac{V_T}{\sqrt{K.K_1}} - \frac{1}{\sqrt{T}} - \frac{R_A+R_S}{K.K_1}$ می باشد که اگر آن را رسم کنیم به صورت یک سهمی خواهد شد.



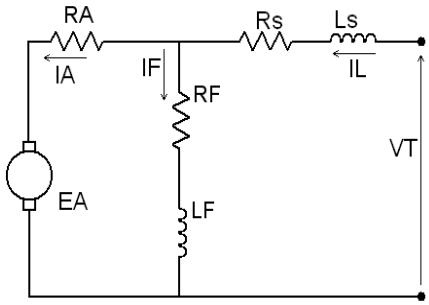
در شکل مقابل مشخصه گشتاور دور یک موتور سری و نقطه کارنامی موتور نشان داده شده است. این مشخصه نشان می دهد که گشتاور راه اندازی موتور سری بسیار بزرگ و در عوض دربارهای کم و بی باری دور موتور بسیار زیاد است.

– پس موتور سری برای بارهای با گشتاور راه اندازی زیاد (مانند وسایل حمل و نقل و جراثقالهای برقی) بسیار مناسب است. اما به هیچ وجه نباید موتور سری بی بار شود چرا که در اینصورت دور آن بسیار زیاد شده قسمتهای گردنده ماشین آسیب خواهند دید.

موتور مختلط (کمپوند) :



کمپوند با انشعاب بلند



کمپوند با انشعاب کوتاه

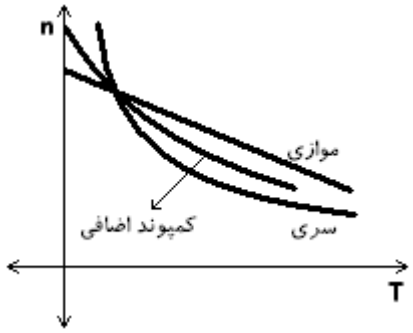
نکته: اگر دایره ها را سر اول سیم پیچهای تحریک در نظر بگیریم کمپوند اضافی را در شکل خواهیم داشت اما اگر مربع ها را سر اول سیم پیچهای تحریک در نظر بگیریم کمپوند نقصانی را در شکل خواهیم داشت.

– روابط ولتاژ و جریان برای هر دو شکل به صورت زیر می باشد:

$$I_F = \frac{V_F}{R_F} \quad , \quad I_L = \frac{P_1}{V_T} \quad , \quad I_A = I_L - I_F \quad , \quad V_T = E_A + (R_A . I_A) . I_A$$

مشخصه گشتاور دور موتور کمپوند $W = f(T)$:

در قسمتهای قبل دانستیم که موتور سری نسبت به موتور شنت مشابه خود دارای گشتاور راه اندازی بزرگتری است. اما در مقابل موتور شنت تحمل بی باری را داشته و تغییرات دور آن محدودتر است بنابراین موتور کمپوند دارای ویژگیهای بین موتور سری و شنت می باشد یعنی گشتاور راه اندازی موتور کمپوند بیشتر از موتور شنت و کمتر از موتور سری است و تغییرات دور آن نیز در زیر بار حد وسطی بین موتور شنت و موتور سری است.



– در موتور کمپوند در بی باری و بارهای کم که اثر سیم پیچی تحریک سری در میدان مغناطیسی ماشین کم است و ایجاد میدان مغناطیسی عمدتاً توسط سیم پیچی تحریک شست انجام می‌پذیرد رفتار آن شبیه موتور شست می‌باشد اما با افزایش بار که جریان سیم پیچی تحریک سری زیاد شده موتور کمپوند رفتاری شبیه به موتور سری پیدا می‌کند.

بنابراین از موتور کمپوند در جاهایی استفاده می‌شود که نیاز به گشتاور راه اندازی زیاد و در عین حال با تغییرات گسترده بار از حوالی بی‌باری تا بار کامل مورد نظر باشد.

روشهای راه اندازی موتورهای جریان مستقیم:

در موتورهای DC هنگام راه اندازی که سرعت صفر است. (w=0)، طبق رابطه $E_A=K.\varphi.w$ چون سرعت صفر است ولتاژ آلقایی آرمیچر نیز صفر خواهد بود. $(E_{A_S}=0)$

بنابراین در موتورهای تحریک مستقل و شست جریان راه اندازی بصورت زیر بدست می‌آید.

$$V_T = E_A + R_A.I_A \quad \rightarrow \quad I_{A_S} = \frac{V_T}{R_A}$$

همچنین جریان راه اندازی در موتورهای سری و کمپوندن بصورت زیر بدست می‌آید.

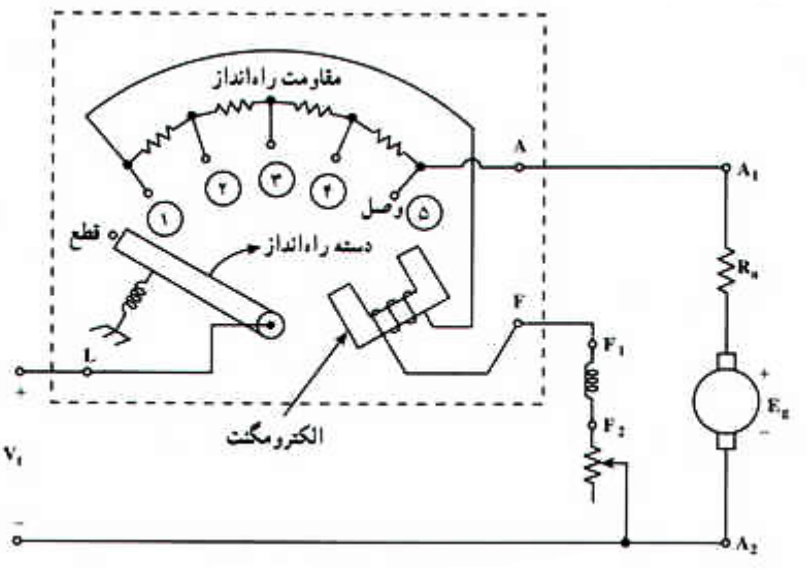
$$V_T = E_A + (R_A.I_A).I_A \quad \rightarrow \quad I_{A_S} = \frac{V_T}{R_A + R_S}$$

– چون در موتورهای صنعتی R_S , R_A مقادیر کوچکی هستند جریان راه اندازی تا حوالی 10 برابر جریان نامی (و حتی بیشتر) خواهد شد. که این جریان زیاد مشکلات زیر را در بر خواهد داشت: 1– نیاز به کلیدها و اتصالات با جریان خیلی بالاتر از جریان نامی ، 2– آسیب دیدن سیم پیچی آرمیچر و زغالها ، 3– آسیب دیدن قسمتهای مکانیکی تور به دلیل بزرگی بیش از حد گشتاور راه اندازی ، 4– افت ولتاژ زیاد در منبع تغذیه

– برای حل مشکلات راه اندازی در موتورهای صنعتی معمولاً از مقاومتهای پرقدرتی بعنوان راه انداز استفاده می‌شود. مقدار این مقاومتها عملاً طوری انتخاب می‌شوند که جریان راه اندازی از حدود دو برابر جریان نامی بیشتر نشود.

– موتورهای الکتریکی کم قدرت (زیر یک کیلووات) که جریان راه اندازی آنها بدلیل بزرگ بودن مقاومت آرمیچر (R_A) 2 تا 3 برابر جریان نامی می‌باشند می‌توانند مستقیماً بدون مقاومت راه انداز به شبکه متصل شوند.

راه اندازهای دستی موتورهای جریان مستقیم:



الف) راه اندازی سه نقطه ای: این نوع راه اندازی دارای سه ترمینال L و A و F می باشد و به همین دلیل سه نقطه ای نامیده می شود.

– عملکرد آن بدین صورت است که دسته راه انداز را در ابتدای راه اندازی بترتیب از شماره 1 تا 5 متناسب با افزایش دور موتور تغییر می دهیم.

در مرحله اول تمام مقاومتها بر سر راه آرمیچر قرار می گیرند و جریان راه اندازی کم است و در مرحله پنجم که سرعت موتور به حد نامی خود رسیده تمام مقاومتهای راه انداز از سر راه آرمیچر برداشته شده اند و دسته راه انداز توسط بوبین مغناطیسی جذب و نگه داشته می شود.

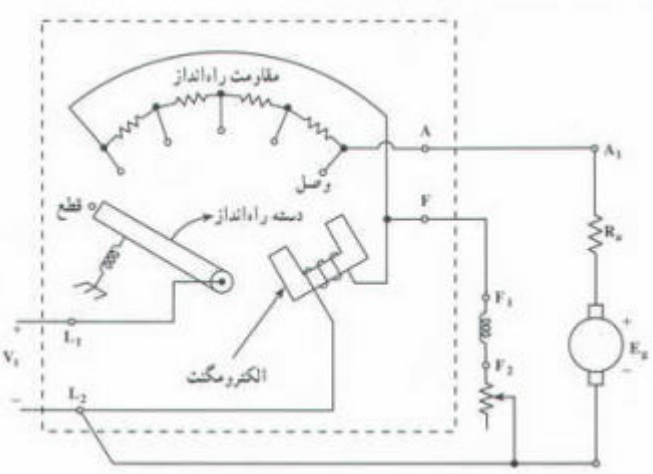
عواملی که سبب قطع دسته راه انداز و خاموش شدن موتور می شوند:

1- قطع برق اصلی: که موجب از بین رفتن خاصیت مغناطیسی هسته شکل شده و دسته راه انداز بوسیله فنر به وضعیت اول خود بر می گردد.

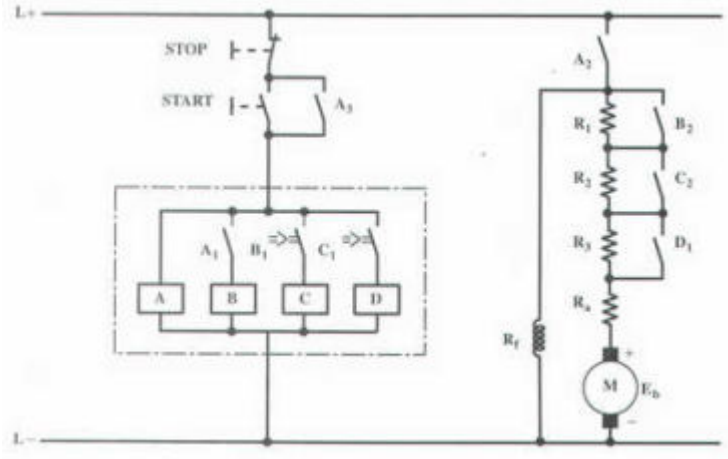
2- قطع جریان تحریک: این خاصیت در واقع حفاظت موتور در برابر قطع تحریک (افزایش شدید دور) است.

عیب راه انداز سه نقطه ای: راه انداز سه نقطه ای برای موتورهای با تنظیم دور وسیع و نیاز به دورهای زیاد مناسب نیست زیرا برای افزایش دور باید جریان تحریک را کم کنیم که این عامل ممکن است باعث جدا شدن دسته راه انداز از هسته U شکل شود.

نکته: راه انداز سه نقطه ای برای موتور سری استفاده نمی شود.



ب) راه اندازی چهار نقطه ای: در این نوع راه اندازی امکان افزایش دور در محدوده وسیع تری وجود دارد. اما قطع مدار تحریک موجب قطع راه انداز نخواهد شد و برای حفاظت موتور در برابر قطع تحریک و افزایش دور باید از کلیدهای تابع دور استفاده نمود.



راه اندازی اتوماتیک: در این نوع راه اندازی با استفاده از چند کنتاکتور و تایمر می توان مداری طراحی کرد که یکی پس از دیگری مقاومتهای راه انداز را از مدار خارج کنند. مانند شکل زیر:

تنظیم جریان تحریک در زمان راه اندازی: به علت محدودیت جریان راه اندازی برای بهبود گشتاور و راه اندازی موتورهای جریان مستقیم آنها را با حداکثر جریان تحریک مجاز راه می اندازند، زیرا طبق رابطه گشتاور تولیدی علاوه بر جریان آرمیچر با جریان تحریک نیز متناسب است.

بنابراین در موتورهای تحریک مستقل، شست و کمپوند مقاومت متغیر مدار تحریک در حداقل مجاز خود قرار می گیرد در حالیکه رئوستای راه انداز مدار آرمیچر حداکثر است.

روشهای کنترل دور موتورهای جریان مستقیم:

با توجه به رابطه اساسی خواهیم داشت: $E_A = K.\varphi.w \quad \rightarrow \quad W = \frac{E_A}{K.\varphi}$

– در موتورهای تحریک مستقل و شست رابطه سرعت به صورت زیر خواهد شد: $(1)\ W = \frac{V_T - R_A.I_A}{K.\varphi}$

– و برای موتورهای سری و کمپوند بصورت زیر می گردد: $(2)\ W = \frac{V_T - (R_S + R_A).I_A}{K.\varphi}$

پس با توجه به دو رابطه بالا به سه روش می توان دور موتورهای DC را تغییر داد:

1– از طریق کنترل فوران ، 2– از طریق کنترل ولتاژ آرمیچر ، 3– از طریق کنترل مقاومت مدار آرمیچر

– از روش سوم بدلیل زیاد بودن تلفات استفاده چندانی نمی شود.

کنترل سرعت از طریق تغییر فوران: مقدار فوران با دو رابطه عکس دارد یعنی با افزایش فوران سرعت کاهش و با کاهش فوران سرعت افزایش می یابد.

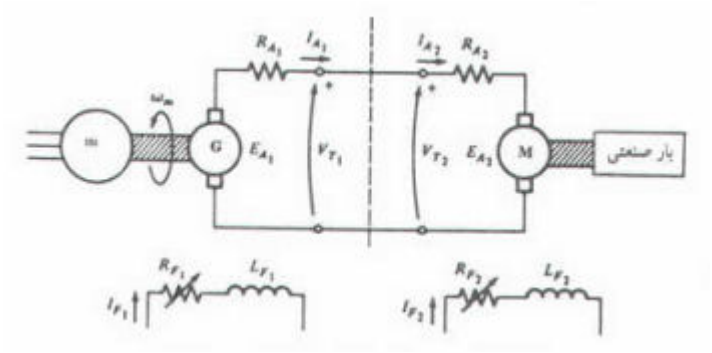
– در موتورهای تحریک مستقل، شست و کمپوند تغییر فوران توسط مقاومت متغیر مدار تحریک به سادگی امکان پذیر است.

– در موتوری سری که مدار مستقلی برای سیم پیچی تحریک وجود ندارد، برای تغییر فوران عملاً یک مقاومت متغیر پرقدرت با سیم پیچی تحریک موازی می کنند که به آن (Divereter) می گویند.

– با بکارگیری روش کنترل دور از طریق تغییر فوران در موتورهای تحریک مستقل، شست و کمپوند فقط می توان به دورهای بالاتر از حالتی که رئوستا در مدار تحریک قرار ندارد دست یافت و نمی توان دور موتور را از بین حد کمتر نمود.

کنترل سرعت موتور از طریق کنترل ولتاژ آرمیچر: سرعت موتورهای DC با ولتاژ دو سر آرمیچر آنها تناسب مستقیم دارد. در این روش برای همه انواع موتورها دور موتور به راحتی و با دقت زیاد در هر دو کاهش یا افزایش قابل تنظیم است. البته بایستی توجه نمود که ولتاژ از حد مجاز ماشین فراتر نرود.

کنترل دور به روش سیستم وارد- لئونارد: در این سستم که به شکل زیر می باشد از یک موتور سه فازه که برای چرخاندن مولد جریان مستقیم می باشد استفاده شده است. از ولتاژ تولید مولد جریان مستقیم موتور جریان مستقیم به کرت در می آید و موتور جریان مستقیم بار مورد نظر را به حرکت در می آورد.



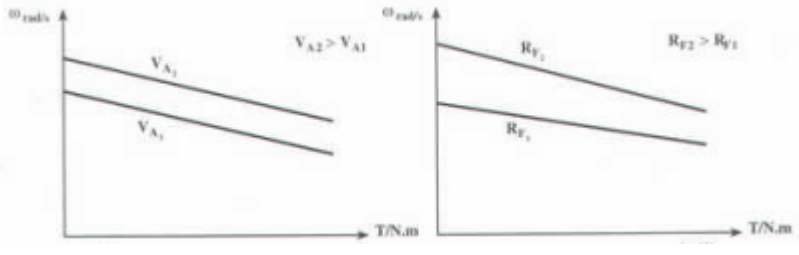
در این روش سرعت موتور DC به دو صورت تغییر داده می شود.

1- جریان تحریک خود موتور جریان مستقیم ، 2- جریان تحریک مولد که منجر به تغییر ولتاژ ورودی موتور می گردد. یعنی همزمان هم از طریق کنترل فوران و هم از طریق کنترل ولتاژ سرعت موتور کنترل می شود.

- این مجموعه مفصل و گران قیمت خواهد بود اما به دلیل امکان کنترل دور ساده موتور در یک محدوده وسیع (از یک حداقل دور تا بیش از 10 برابر این حداقل دور) کاربردهای زیادی در موتورهای پرقدرت دارد.

- در این روش کنترل دور، به دلیل امکان تنظیم ولتاژ ورودی موتور، نیازی به مقاومت راه انداز در مدار آرمیچر موتور نیز نخواهد بود.

نکته: برای مقایسه تغییر دور بوسیله کنترل فوران و کنترل ولتاژ بر منحنی مشخصه گشتاور دور در زیر مشخصه گشتاور دور موتور شست



را که اثرات این دو روش در آنها نشان داده شده رسم کرده ایم.

تغییر مشخصه گشتاور دور موتور شنت: الف) با تغییر مقاومت مدار تحریک ، ب) با تغییر ولتاژ آرمیچر

– با توجه به منحنی های رسم شده نتیجه می گیریم که با افزایش مقاومت مدار تحریک شیب مشخصه گشتاور دور و نیز عرض از مبدأ آن افزایش می یابد و مشخصه جدیدی بدست می آید.

در حالیکه با تغییر ولتاژ آرمیچر شیب مشخصه گشتاور دور تغییر نکرده، فقط عرض از مبدأ مشخصه متناسب با تغییر ولتاژ تغییر می کند.

تغییر جهت گردش موتور جریان مستقیم:

– برای تغییر جهت گردش موتورهای جریان مستقیم باید یکی از دو کمیت جریان آرمیچر (I_A) و جریان تحریک (I_F) تغییر جهت بدهند یعنی در یکی از دو سیم پیچی آرمیچر و یا تحریک پلاریته و سیم پیچی عوض شود یا به اصطلاح دو سر سیم پیچی جابجا گردد.

– معمولاً برای تغییر جهت گردش موتورهای جریان مستقیم دو سر مدار آرمیچر را جابجا می کنند. زیرا اگر بخواهیم جهت جریان تحریک را عوض کنیم، مشکلاتی همچون قطع مدار تحریک در لحظه تغییر جهت القای ولتاژهای ناخواسته در مدار آرمیچر پیش خواهد آمد.

– اگر آرمیچر دارای قطب کمکی یا سیم پیچی جبرانگر هم باشد هنگام تغییر پلاریته آرمیچر باید، ورودی و خروجی مدار آرمیچر طوری جابجا شود که جهت جریان در قطبهای کمکی و سیم پیچهای جبرانگر نیز تغییر کند.

روشهای ترمز موتورهای جریان مستقیم:

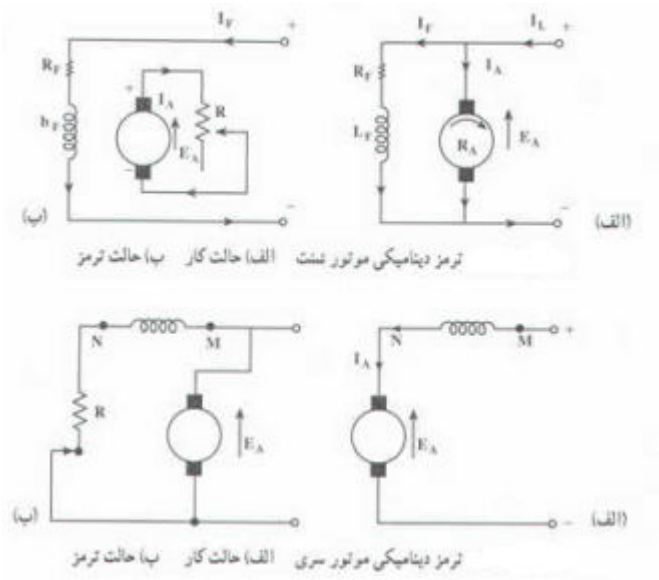
اساس کار ترمز موتورهای الکتریکی بر این مبتا استوار است که انرژی جنبشی قسمت در حال شرکت، یا به شبک برگشت داده شود و یا سریعاً مستهلک شود، تا محور موتور بایستد.

برای ترمز موتورهایDC ، سه روش بکار می رود: 1- ترمز دینامیکی ، 2- ترمز با جریان مخالف ، 3- ترمز مولدی

ترمز دینامیکی: در این روش مدار آرمیچر از شبکه جدا شده، دو سر آن به یک مقاومت متغیر وصل می گردد تا انرژی جنبشی محور بوسیله آرمیچر، ابتدا تبدیل به انرژی الکتریکی شده، سپس در داخل مقاومت متغیر تبدیل به گرما شود. یعنی عملاً آرمیچر رفتار یک مولد را از خود بروز می دهد.

– سیم پیچی تحریک موازی موتورهای تحریک مستقل، شست و کمپوند به شبکه قبلی خود متصل باقی می ماند تا میدان مغناطیسی لازم برای رفتار مولدی آرمیچر را تأمین نماید و پس از توقف کامل محور، مدار تحریک نیز از شبکه جدا می گردد.

– اما در موتور سری و کمپوند سیم پیچی تحریک سری در حالت ترمز همچنان با آرمیچر سری باقی می ماند، با این تفاوت که دو سر سیم پیچی سری در حالت ترمزی جابجا می شود تا جهت جریان آن مانند حالت موتوری باقی بماند و پسماند هسته از بین نرود.



– در روش دینامیکی مقدار نیروی ترمز بستگی به ولتاژ آرمیچر داشته با کاهش سرعت و کاهش ولتاژ آرمیچر مقدار نیروی ترمزی نیز کاهش می یابد.

ترمز با جریان مخالف: در این روش برای ایجاد گشتاور ترمزی در یک لحظه جای دو سر آرمیچر را عوض می کنند. با این کار جهت گشتاور تولیدی برعکس شده موتور سریعاً رو به توقف می رود و نیروی ترمز کننده ای به مراتب بیش از حالت دینامیکی بوجود می آید. البته در این روش موتور پس از ایست کامل باید سریعاً از شبکه جدا شود تا مجدداً در جهت معکوس به راه نیافتد.

ترمز مولدی: در مواردیکه بار موتور تحت تأثیر شتاب حاصل از نیروی وزن خود (مانند وسایل نقلیه در سر پائینی یا حرکت رو به پایین جراثقالها و آسانسورها) بتواند به بیش از سرعت بی باری خود برسد می توان از روش ترمز مولدی استفاده نمود.

– در این حالت انرژی جنبشی محور به انرژی الکتریکی تبدیل شده و به شبکه جریان مستقیم برگردانده می شود و یا صرف شارژ باتریها و یا روشنایی سیستم می گردد.

نکته: در موتور سری روشن ترمز بکار نمی روند زیرا ولتاژ در آرمیچر آن نمی تواند از ولتاژ شبکه بیشتر شود.