۵ـ۲ـ۴ـ محاسبه توان، جریان و قطر سیم موتورها

توان خروجی یک هسته با قطر داخلی D و طول L از رابطه ۱۱ـ۴ به‌دست می‌آید.

$$P_۲ = K \times B_m^۲ \times D^۲ \times L \times N_r \qquad (۴ـ۱۱)$$

در این رابطه $P_۲$ توان خروجی موتور برحسب کیلووات می‌باشد.

K ضریب توان یابی است که به ابعاد هسته موتور بستگی دارد و از منحنی شماره ۲ تعیین می‌شود.

B_m چگالی میدان برحسب تسلا از منحنی شماره ۱ مشخص می‌شود.

D قطر داخلی استاتور برحسب میلی‌متر می‌باشد. ازطریق اندازه‌گیری قطر داخلی استاتور به‌دست می‌آید این مقدار تقریباً با قطر خارجی رتور برابر است.

L طول مؤثر هسته استاتور یا رتور می‌باشد از روش اندازه‌گیری حاصل شده و برحسب میلی‌متر است.

N_r دور رتور در دقیقه می‌باشد با توجه به تعداد قطب و لغزش موتور از رابطه ۱۲ـ۴ قابل محاسبه می‌باشد.

$$N_r = N_r\,(۱-S) \qquad (۴ـ۱۲)$$

$$N_S = \frac{f \times ۱۲۰}{۲P}$$

S لغزش موتور است که با توجه به ابعاد هسته و تعداد قطب‌های موتور از منحنی شماره ۳ تعیین می‌شود.

۶ـ۲ـ۴ـ برآورد قطر سیم مورد نیاز سیم‌پیچی:

پس از تعیین توان خروجی با توجه به راندمان الکتروموتورها توان دریافتی موتور از رابطه $P_۱ = \frac{P_۲}{\eta}$ معلوم می‌شود.

η راندمان با توجه به ابعاد هسته و تعداد قطب‌ها از منحنی شماره ۵ تعیین می‌شود.

جریان الکتریکی دریافتی را از رابطه ۱۳ـ۴ به‌دست می‌آوریم.

$$I_L = \frac{P_۱}{\sqrt{۳} \times V_L \times \cos\varphi} \qquad (۴ـ۱۳)$$

$\cos\varphi$ ضریب توان از منحنی شماره ۶ با توجه به وابستگی آن به ابعاد هسته و تعداد قطب‌ها تعیین می‌شود.

$$\begin{cases} \text{اتصال ستاره} \rightarrow I_L = I_P \\ \text{اتصال مثلث} \rightarrow I_P = \frac{I_L}{\sqrt{۳}} \end{cases}$$

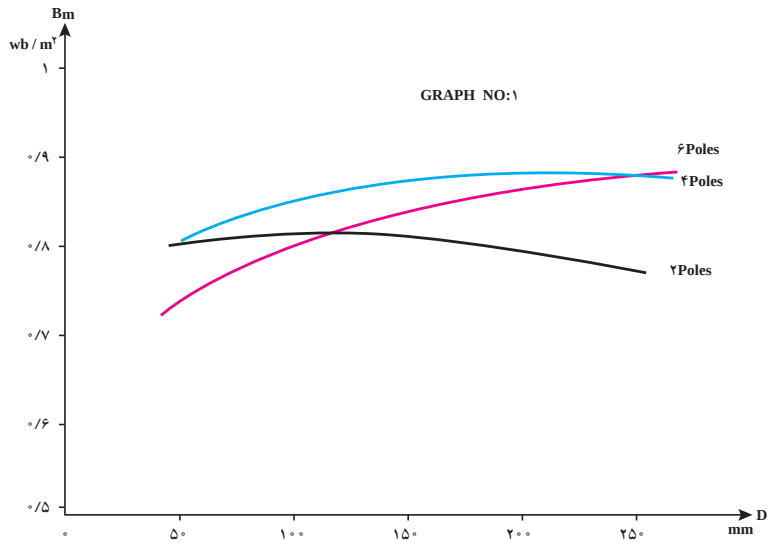
از تقسیم جریان فازی بر چگالی جریان سطح مقطع سیم مشخص می‌شود که می‌توان قطر سیم را تعیین کرد.

$$S = \frac{I_P}{J}$$

$$d = ۱/۱۳\sqrt{S}\ mm \qquad (۴-۱۴)$$

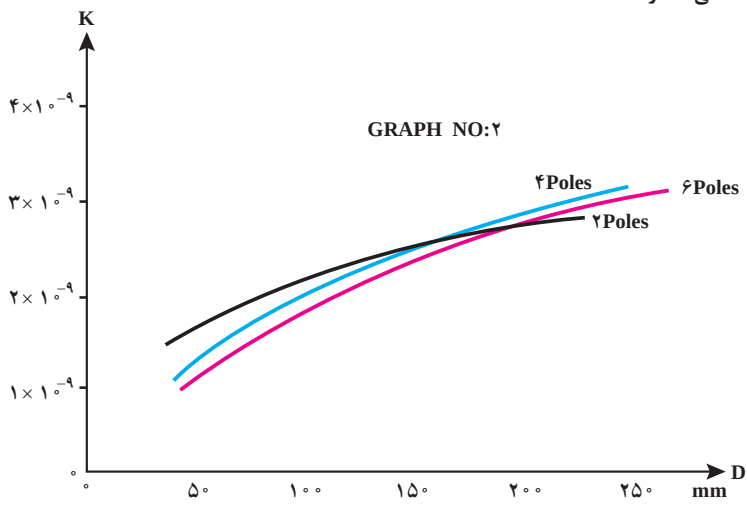
J چگالی جریان از منحنی شماره ۴ با توجه به وابستگی آن به ابعاد هسته و تعداد قطب‌ها تعیین می‌شود.

منحنی شماره ۱



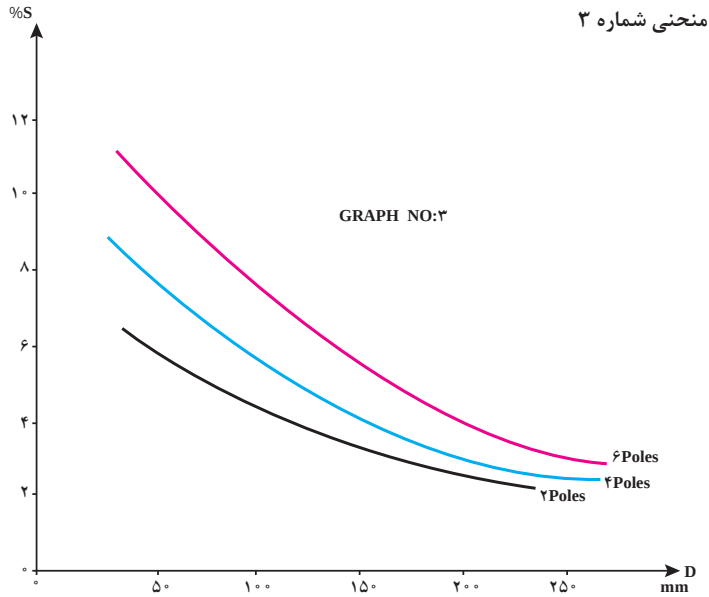
شکل ۵ـ منحنی تعیین چگالی میدان

منحنی شماره ۲



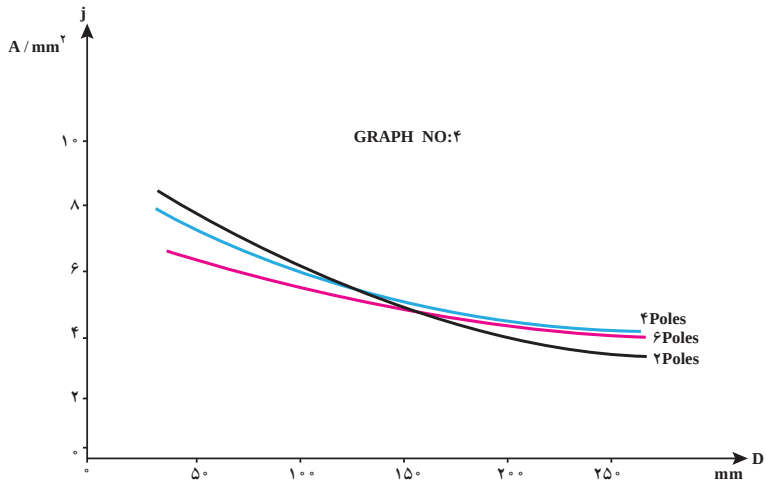
شکل ۶ـ منحنی تعیین ضریب توان یابی (K)

منحنی شماره ۳



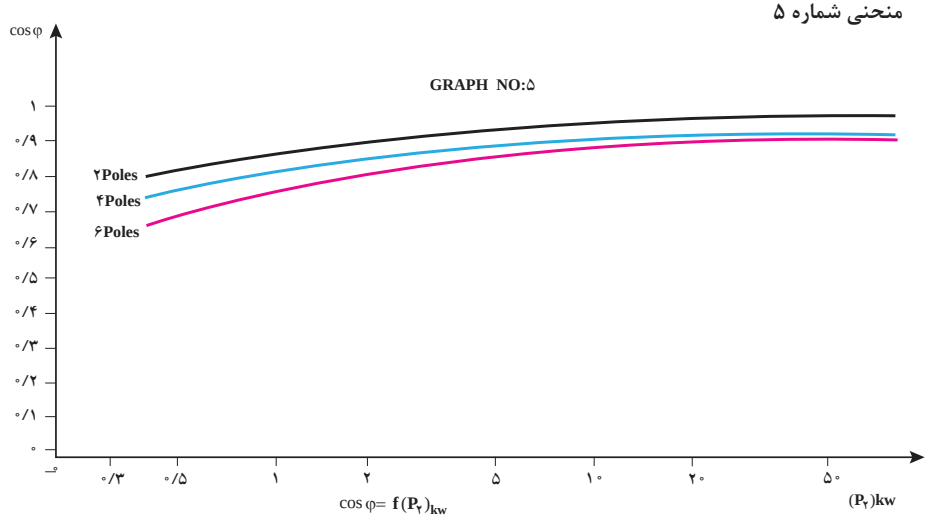
شکل ۷ـ منحنی تعیین لغزش (S)

منحنی شماره ۴



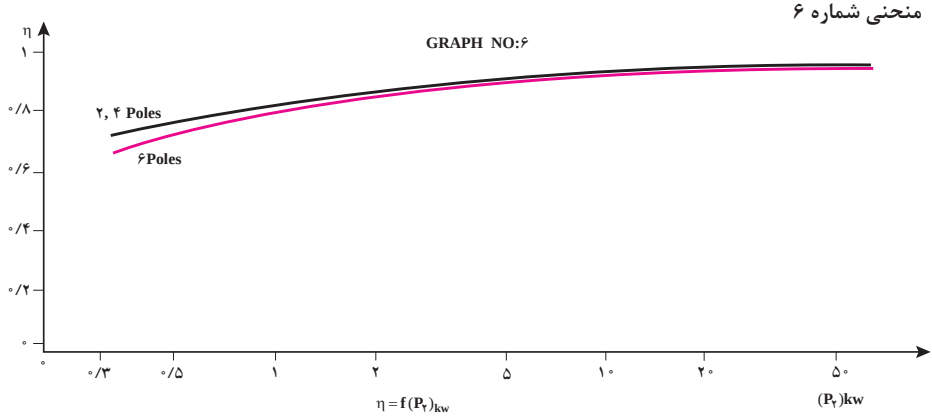
شکل ۸ ـ منحنی تعیین چگالی جریان (J)

منحنی شماره ۵



شکل ۹ـ منحنی تعیین ضریب توان (cosφ)

منحنی شماره ۶



شکل ۱۰ـ منحنی تعیین راندمان (η)

۳ـ۴ـ مفهوم فیزیکی گشتاور

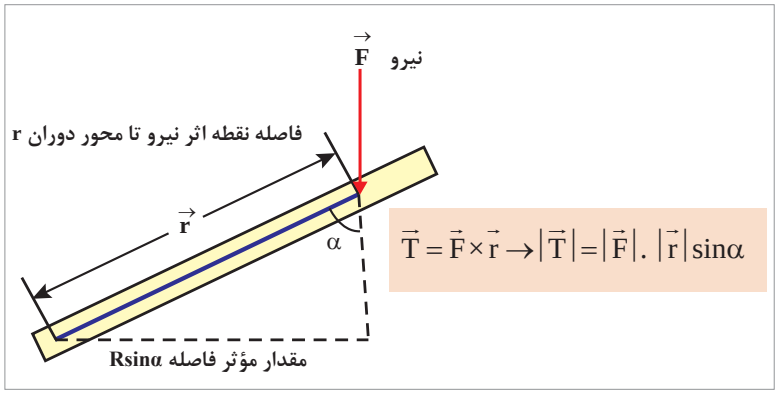
عامل مؤثر گشتن یک جسم را حول یک محور گشتاور نیرو می‌گویند با T نشان می‌دهند (شکل ۱۱).

گشتاور نیرو یک کمیت برداری است و واحد آن نیوتن متر است و عوامل مؤثر در آن عبارت‌اند از:

$\vec{F}$ نیرو (واحد نیوتن)

$\vec{r}$ فاصله نقطه اثر نیرو تا محور دوران (واحد متر)

α زاویه بین نیرو و فاصله نیرو تا محور دوران



شکل ۱۱ـ گشتاور

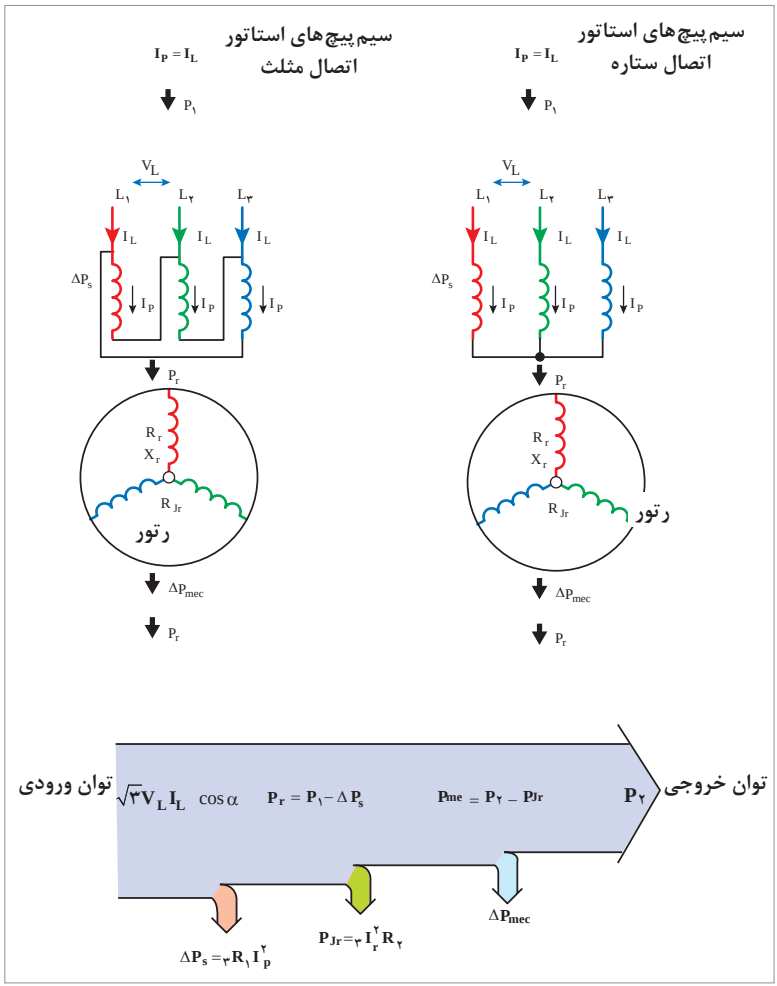
در موتورهای الکتریکی دو نوع گشتاور، گشتاور مکانیکی (یا گشتاور مفید یا گشتاور خروجی) و گشتاور الکترومغناطیسی (گشتاور رتور) وجود دارد. این گشتاورها با توان مکانیکی و توان الکترومغناطیسی تعریف می‌شوند جهت آشنایی با این توان‌ها ابتدا به‌طور مختصر روند توان ورودی و خروجی الکتروموتورها را از طریق دیاگرام توازن توان‌ها بررسی می‌کنیم از شبکه الکتریکی توان ورودی $P_1 = \sqrt{3}\, V_L\, I_L \cos\varphi$ وارد استاتور می‌شود به اندازه $\Delta p_S = 3I_{P1}^2 R_1$ در استاتور تلف شده و بقیه از طریق فاصله هوایی وارد رتور می‌شود. توان الکترومغناطیسی نام دارد و با $P_r = P_1 - \Delta P_S$ برابر است. از توان ورودی به رتور به اندازه $P_{Jr} = s P_r = 3I_r^2 R_2$ (تلفات ژولی یا تلفات رتور) و به اندازه ΔP_{mec} در سیستم تهویه و اصطکاک یاتاقان‌ها از بین می‌رود و توان خروجی P_2 به بار تحویل داده می‌شود s لغزش موتور است.

۴ـ۴ـ راندمان یا ضریب بهره

نسبت توان خروجی به توان ورودی را راندمان یا ضریب بهره می‌گویند و با η نشان می‌دهند و آن را به درصد بیان می‌کنند.

$$\%\eta = \frac{P_۲}{P_۱} \times ۱۰۰$$

دیاگرام توان در حالت ستاره و مثلث در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲ـ دیاگرام توازن توان

۴ـ۵ـ گشتاور مفید یا مکانیکی

نسبت توان خروجی به سرعت زاویه‌ای رتور را گشتاور مکانیکی می‌گویند و به‌صورت زیر بیان می‌شود.

$$T_m = T_U = T_۲ = \frac{P_۲}{\omega_r} \Rightarrow \omega_r = ۲\pi N_r$$

$$T_U = \frac{P_۲ \times ۶۰}{۲\pi N_r} \text{ N.m}$$

N_r دور رتور در هر دقیقه می‌باشد.

۴ـ۶ـ گشتاور الکترومغناطیسی

نسبت توان رتور یا توان الکترومغناطیسی را به سرعت زاویه‌ای دور سنکرون را گشتاور رتور یا گشتاور الکترومغناطیسی می‌گویند و به‌صورت زیر بیان می‌شود.

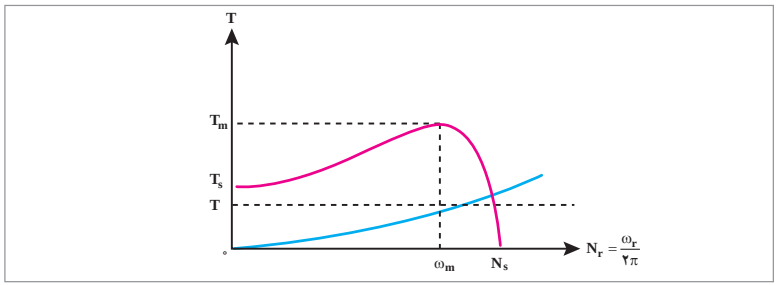
$$T_e = \frac{P_r}{\omega_s} \Rightarrow \omega_s = ۲\pi N_s$$

$$T_e = \frac{P_r \times ۶۰}{۲\pi N_s} \text{ N.m}$$

N_s دور سنکرون در هر دقیقه می‌باشد.

۴ـ۷ـ منحنی گشتاور دور

در بارهای مختلف، دور رتور تحت تأثیر بار قرار می‌گیرد به عبارت دیگر هر چقدر بار موتور سنگین‌تر شود. دور موتور کاهش می‌یابد این کاهش به علت داشتن گشتاور بیشتر برای غلبه بر بار است با کاهش دور، مفتول‌های رتور، خطوط میدان بیشتری را قطع می‌کنند و در آنها، جریان بیشتری القا می‌گردد جریان قوی گشتاور قوی ایجاد می‌کنند و موتور می‌تواند بر بار غلبه کند. از محل تلاقی گشتاور موتور و گشتاور بار گشتاور، نقطه کار موتور مشخص می‌شود.

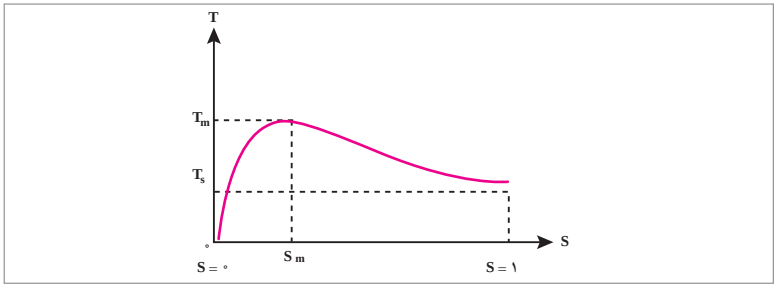


شکل ۱۳ــ منحنی گشتاور دور

T_m گشتاور ماکزیمم نیوتن.متر، T_S گشتاور راه‌اندازی نیوتن.متر، T گشتاور کار N_s دور سنکرون، N_r دور رتور ω_m سرعت زاویه‌ای که گشتاور به ازای آن ماکزیمم می‌شود.

۸ــ۴ــ منحنی گشتاور لغزش

گشتاور یک موتور الکتریکی، براساس مشخصه‌های رتور نیز تعیین می‌شود. اگر مقاومت اهمی هر فاز رتور را به R_2، مقاومت القایی هرفاز رتور را به هنگام راه‌اندازی با X_2، ولتاژ القایی هر فاز رتور در زمان راه‌اندازی E_2 و لغزش موتور S باشد، گشتاور موتور به‌صورت $T = \frac{KE_2^2 SR_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$ بیان می‌شود. در لحظه راه‌اندازی به علت آنکه دور رتور صفر است لغزش $S = \frac{N_S - 0}{N_S} = 1$ می‌باشد. در این حالت گشتاور برابر $T_S = \frac{KE_2^2 SR_2}{R_2^2 + X_2^2}$ می‌شود و آن را گشتاور راه‌اندازی می‌گویند. در لغزش $S_m = \frac{R_2}{X_2}$، گشتاور حداکثر می‌گویند و برابر $T_{max} = \frac{KE_2^2}{2X_2}$ می‌باشد و آن را گشتاور ماکزیمم می‌گویند S_m را لغزش بحرانی می‌گویند در لحظه‌ای $S=0$ آنگاه $N_r \approx N_S$ گشتاور صفر می‌شود.



شکل۱۴ــ منحنی گشتاور لغزش

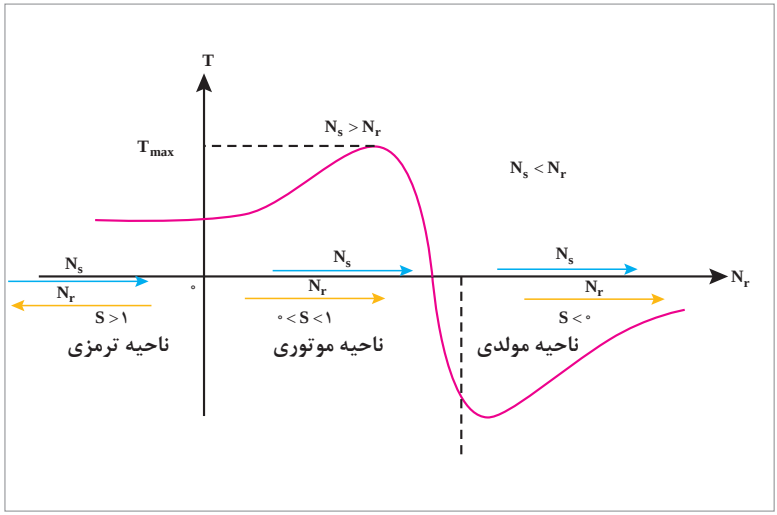
۹ـ۴ـ مشخصه موتورهای آسنکرون در لغزش‌های مختلف

سه حالت کاری در موتورهای آسنکرون وجود دارد

۱ لغزش منفی است در این حالت دور رتور بیشتر از دور حوزه دوار است. وسیله نقلیه که توسط موتور به حرکت در می‌آید در سراشیبی قرار گیرد. یا رتور با یک وسیله خارجی به گردش در می‌آید. دور رتور بیشتر از دور حوزه دوار می‌شود. و موتور خاصیت مولدی پیدا می‌کند. به شبکه برق انرژی می‌دهد. در این حالت $S<0$ می‌شود.

۲ موتور کار طبیعی خود را انجام می‌دهد در این حالت دور رتور کوچک‌تر از دور حوزه دوار است. موتور از شبکه انرژی الکتریکی دریافت می‌کند و آن را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. در این حالت $0 \leq S<1$ است و وظیفه اصلی موتور در این ناحیه کاری است.

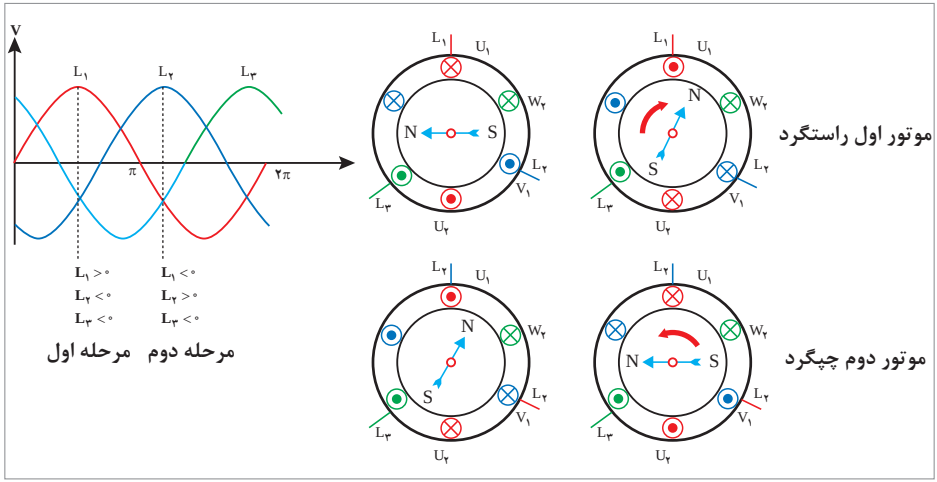
۳ موتور در حالت کاری است، جای دو فاز از سه فاز تغذیه موتور جابه‌جا می‌شود. و جهت گردش دور سنکرون N_s برعکس جهت گردش رتور N_r می‌شود در این حالت موتور خاصیت ترمزی دارد و $S>1$ می‌شود (شکل ۱۵).



شکل ۱۵ـ مشخصه گشتاور دور در لغزش‌های مختلف

۱۰ـ۴ـ تغییر جهت گردش موتورهای آسنکرون

دو موتور مشابه دو قطب را در نظر می‌گیریم سیم‌پیچ‌های U_1، V_1، W_1 موتور اول را به ترتیب با فازهای L_1، L_2، L_3 و سیم‌پیچ‌های U_1، V_1، W_1 موتور دوم را به ترتیب با فازهای L_2، L_3، L_1 تغذیه می‌کنیم در دو مرحله وضعیت قطب‌ها را در سطح استاتور آنها تعیین می‌کنیم. مشاهده می‌شود در موتور اول جابه‌جایی قطب‌ها راستگرد و در موتور دوم جابه‌جایی قطب‌ها چپگرد می‌باشد از آنجایی که گردش رتور در جهت جابه‌جایی قطب‌ها انجام می‌شود بنابراین در موتورهای سه فاز آسنکرون با تعویض جای دوفاز در سیم‌پیچ موتورها، جهت گردش موتورها عوض می‌شود.



شکل ۱۶ـ تغییر جهت الکتروموتور آسنکرون

۱۱ـ۴ـ راه‌اندازی موتورهای القایی آسنکرون سه فاز

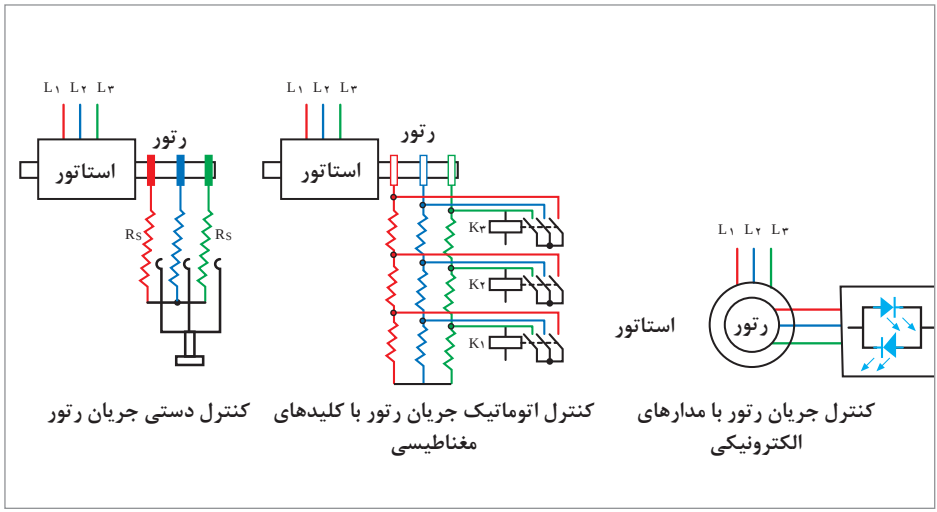
نیروی الکتروموتوری، در موتورهای الکتریکی، جریان دریافتی موتورهای الکتریکی را تعیین می‌کند. نیروی الکتروموتوری با توجه به رابطه $E=K\varphi\omega$، متناسب با تعداد دور گردش رتور تولید می‌گردد. مقدار نیروی الکتروموتوری در بار نامی موتور به ولتاژ تغذیه موتورها خیلی نزدیک است. اختلاف پتانسیل ولتاژ شبکه با نیروی الکتروموتوری و امپدانس معادل هر فاز رتور، جریان موتور را در بار نامی تعیین می‌کند. به هنگام راه‌اندازی دور موتور صفر می‌باشد بنابراین نیروی الکتروموتوری صفربوده و جریان موتور تحت ولتاژ شبکه بدون مخالفت نیروی محرکه برقرار می‌شود که مقدار آن خیلی زیاد بوده و تا ۸ برابر جریان نامی می‌رسد این جریان

را جریان راه‌اندازی می‌گویند. جریان راه‌اندازی به سیم‌پیچ‌های موتور و تأسیسات حفاظتی آن صدمه شدید وارد می‌کند. برای کنترل جریان راه‌اندازی و جلوگیری از صدمات شدید آن با روش‌های مختلف از قبیل، کنترل جریان رتور، کنترل ولتاژ ورودی توسط اتوترانسفورماتور، مدارهای الکترونیکی و روش ستاره و مثلث، موتورها را راه‌اندازی نمود.

۱ـ۱۱ـ۴ـ کنترل جریان رتور با مقاومت راه‌انداز

این روش راه‌اندازی در موتور آسنکرون رتور سیم‌پیچی اجرا می‌شود. با قرار دادن مقاومت راه‌انداز درمسیر مقاومت‌های رتور جریان رتور و در نهایت جریان راه‌اندازی را می‌توان کنترل کرد. در این حالت مقاومت‌های راه‌انداز پس از دور گرفتن رتور به‌تدریج به‌وسیله دست یا کلیدهای مغناطیسی یا مدارات الکترونیکی از مسیر مدار رتور برداشته می‌شوند. با انتخاب مقاومت مناسب، در این روش می‌توان گشتاور راه‌اندازی را به مقدار گشتاور ماکزیمم سوق داد. اگر اندازه مقاومت راه‌انداز سری (R_S) با مقاومت رتور ($R_۲$) در هر فاز، برابر راکتانس القایی رتور در هر فاز در حال راه‌اندازی ($X_۲$) باشد گشتاور راه‌اندازی برابر گشتاور ماکزیمم می‌شود (شکل ۱۷).

$$R_S + R_۲ = X_۲$$



شکل ۱۷ـ کنترل جریان راه‌اندازی از طریق کنترل جریان رتور

۲ـ۱۱ـ۴ـ راه‌اندازی موتورهای القایی با روش کنترل ولتاژ استاتور

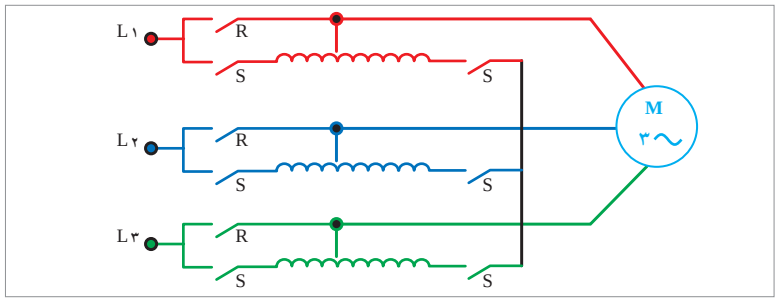
الف) اتوترانسفورماتور: با کاهش ولتاژ ورودی الکتروموتور را می‌توان با کاهش جریان راه‌اندازی کاهش داد. چون گشتاور موتورها با مجذور جریان موتور متناسب است. کاهش جریان سبب خواهد شد که موتور نتواند بر بار غلبه کرده و آن را به گردش درآورد. بنابراین لازم است در زمان راه‌اندازی بار را از موتور جدا کرده، موتور را راه‌اندازی نمود، سپس بار را به موتور وصل کرد. یکی از روش‌های کاهش ولتاژ اتوترانسفور است با ترانسفور ابتدا تقریباً نصف ولتاژ را به سیم‌پیچ‌های موتور اعمال می‌کنند. پس از دورگرفتن موتور اتوترانسفورماتور را از مدار سیم‌پیچ استاتور برمی‌دارند (شکل ۱۸).

R کلیدهای کار معمولی

S کلیدهای استارت

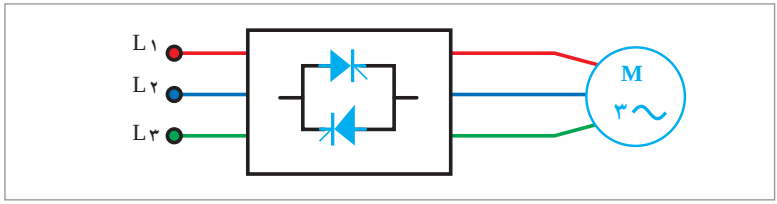
Rها باز Sها بسته، موتور در وضعیت راه‌اندازی

Rها بسته Sها باز، موتور در وضعیت کار



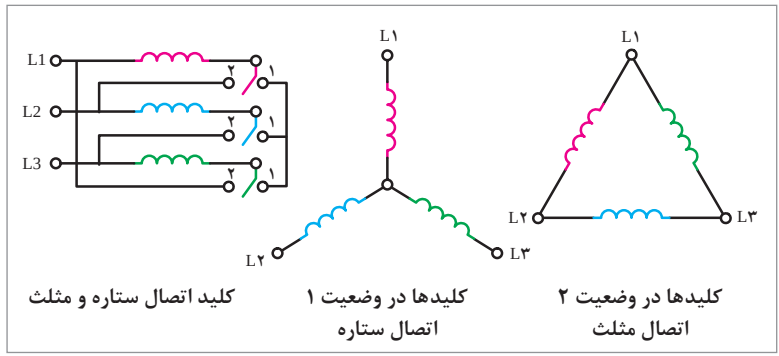
شکل ۱۸ـ راه‌اندازی موتور با کاهش ولتاژ استاتور (روش استاتوری)

ب) سیستم‌های الکترونیکی: با تغییر دامنه ولتاژ ورودی با کنترل‌کننده‌های تریستوری (SCR) می‌توان یک راه‌اندازی نرم را مهیا کرد در شکل ۱۹ بلوک دیاگرام این روش را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۹ـ راه‌اندازی با سیستم الکترونیکی

پ) ستاره مثلث: این روش برای موتورهایی قابل استفاده است که در کار نامی به‌صورت مثلث طراحی شده‌اند به عبارت دیگر سیم‌پیچ‌های هر فاز استاتور به راحتی ولتاژ خطی شبکه را تحمل می‌کنند و توان نامی آنها در اتصال مثلث برقرار می‌شود. در اتصال ستاره ولتاژ فازی روی هر فاز قرار می‌گیرد در نتیجه ولتاژ تغذیه موتور $\frac{۱}{\sqrt{۳}}$ برابر ولتاژ نامی می‌شود و جریان ۳ برابر کاهش می‌یابد (شکل ۲۰).



شکل ۲۰ــ راه‌اندازی ستاره مثلث

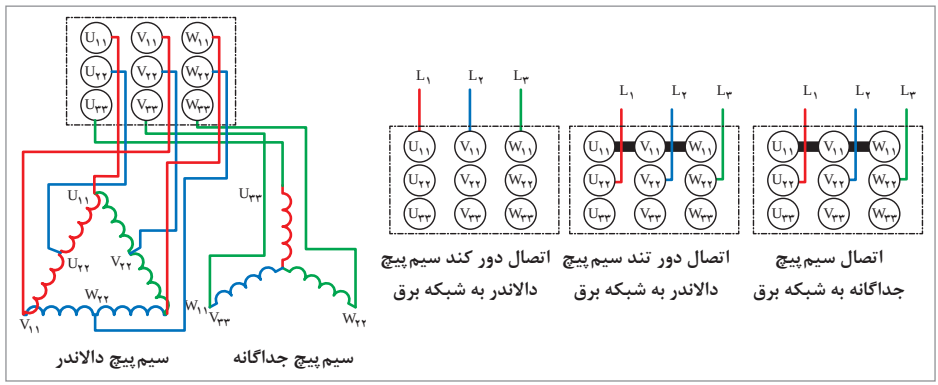
۱۲ــ۴ــ تغییردور موتورهای آسنکرون

برای کنترل دبی سیالات، تغییر سرعت خطوط تولید، داشتن سرعت‌های متفاوت در سیستم‌های مخلوط کننده‌ها و سانتریفوژها از موتورهای الکتریکی انتظار سرعت‌های متفاوت است. سرعت موتورها را با توجه به روابط $N_r = N_S(۱-S) = \frac{f \times ۶۰}{P}(۱-S)$ و $E=K\varphi\omega$ می‌توان با روش‌های زیر تغییر داد.

۱ تغییر دور با تغییر تعداد قطب‌ها
۲ تغییر دور با تغییر فرکانس
۳ تغییر دور با تغییر ولتاژ تغذیه
۴ تغییر دور با تغییر هم‌زمان فرکانس و ولتاژ

الف) تغییر دور موتورها با تغییر قطب‌ها: با افزایش تعداد دور قطب‌ها، جابه‌جایی مکانیکی رتور، کاهش یافته و سرعت موتور کمتر می‌شود. برای این منظور سیم‌پیچ‌های داخل استاتور را برای قطب‌های متفاوت می‌پیچند که با اتصال هرکدام از سیم‌پیچ‌ها به شبکه الکتریکی موتور با دور مربوط به آن سیم‌پیچ به گردش درمی‌آید اگر تغییر قطب‌ها به نسبت ۱ به ۲ باشد از یک سیم‌پیچ با اتصال دالاندر برای دریافت دو دور

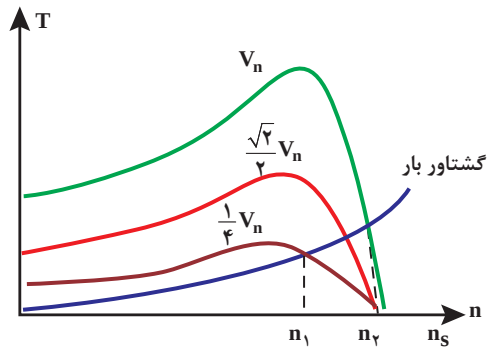
استفاده می‌شود. ممکن است در یک ماشین از ترکیب سیم‌پیچی دالاندر و سیم‌پیچ جداگانه استفاده شود می‌توان حداقل سه سرعت متفاوت از موتور دریافت نمود در شکل ۲۱ سیم‌پیچ داخل این موتورها دیده می‌شود.



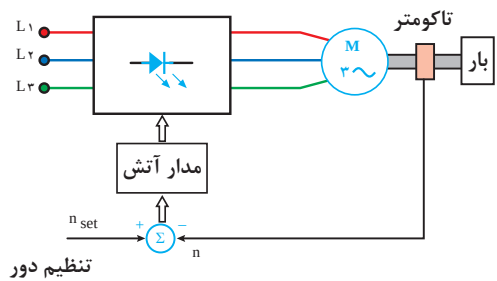
شکل ۲۱ــ تغییر دور موتورها از روش تغییر قطب‌ها

ب) تغییردورموتورها با تغییر فرکانس: دور سنکرون ارتباط مستقیم با فرکانس دارد می‌توان با تغییر فرکانس دور سنکرون را تغییر دهیم با تغییر دور سنکرون دور موتور نیز تغییر می‌کند. امپدانس سیم‌پیچ‌های استاتور و رتور با توجه به رابطه $X_L=2\pi f$ با تغییر فرکانس تغییر خواهد نمود بدین ترتیب مشخصات موتور، جریان دریافتی و گشتاور موتور در تغییر دور از طریق تغییر فرکانس تغییر خواهند کرد.

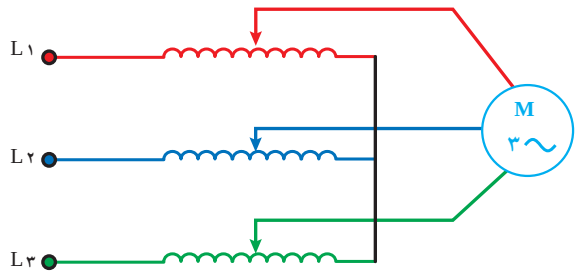
پ) تغییر دور موتورها با تغییر ولتاژ: گشتاور موتورهای القایی با مجذور ولتاژ متناسب است در شکل ۲۲ گشتاور یک موتور القایی در ولتاژ نامی، $\frac{\sqrt{2}}{2}$ ولتاژ نامی و $\frac{1}{4}$ ولتاژ نامی نشان داده شده است. از تعیین نقطه کار موتور از تقاطع گشتاور بار و گشتاور موتور مشاهده می‌شود دور موتور در محدوده n_1 تا n_2 تغییر می‌کند. تغییر ولتاژ را می‌توان با اتوترانسفورماتور یا با قراردادن سیم‌پیچ در مسیر سیم‌پیچ استاتور یا کنترل‌کننده‌های مدارهای الکترونیک قدرت انجام داد. در کنترل‌کننده‌های الکترونیکی با تعیین سرعت مورد نیاز (n_{set})، جمع‌کننده (Σ) تفاضل $n_{set}-n$ را مشخص می‌کند و برحسب آنکه تفاضل مثبت یا منفی است زاویه آتش تریستور را تغییر می‌دهد. این عمل در ولتاژ خروجی تریستورها اثرکرده و سرعت انتخاب شده را در موتور با سیستم کنترل حلقه باز یا حلقه بسته فراهم می‌کند. تاکومتر از یک سیم‌پیچ و یک آهن‌ربای دایم تشکیل می‌گردد متناسب با دور موتور ولتاژ ایجاد می‌کند تا با ولتاژ مرجع n_{set} برای تنظیم دور مقایسه شود (شکل ۲۳).



شکل ۲۲ـ تغییرات سرعت از طریق ولتاژ تغذیه



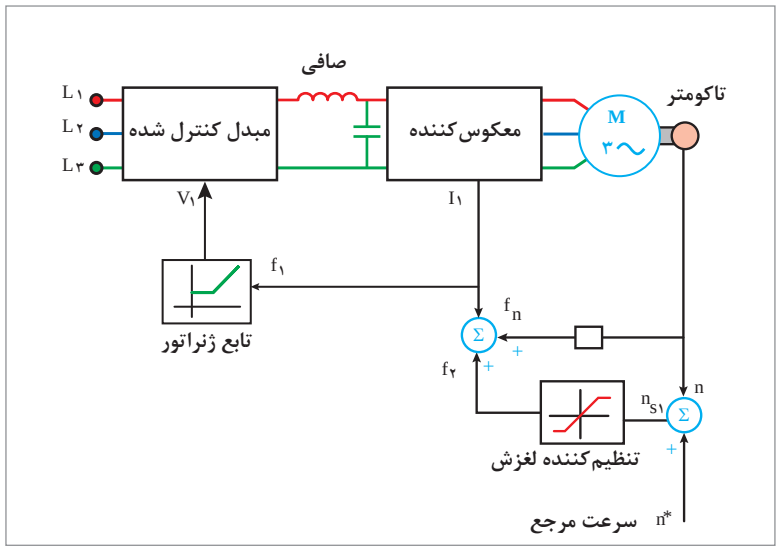
شکل ۲۳ـ۱ تغییر ولتاژوتنظیم دور از طریق مدار الکترونیکی



شکل ۲۳ـ۲ تغییر ولتاژ از طریق اتوترانسفورماتور

شکل ۲۳ـ تغییر دوراز طریق تغییر ولتاژ تغذیه

ت) تغییردور موتورها با تغییر هم‌زمان ولتاژ و فرکانس: در تغییر دور موتورها با تغییر فرکانس با تغییرات نقطه کار موتور روبه‌رو می‌شویم و با تغییر دور موتورها با روش تغییر ولتاژ با تغییرات گشتاور مواجه می‌شویم این تغییرات ممکن است در کارکرد موتور اثر نامطلوب گذاشته و موتور نتواند بر بار غلبه کند چه بسا زیر بار خوابیده، موتور آسیب خواهد دید پس مناسب است به هنگام تغییر سرعت موتور گشتاور موتور ثابت بماند. موتور به بار غلبه کند. بدین منظور در تغییر دور با تغییر فرکانس، متناسب با فرکانس ولتاژ را نیز تغییر می‌دهند به گونه‌ای در هر تغییر نسبت $\frac{V}{f}$ ثابت بماند تا گشتاور ثابت بماند. تغییر توأم و متناسب ولتاژ و فرکانس توسط مجموعه مدارات الکترونیک قدرت به نام درایو (Drive) انجام می‌شود. گسترش تکنولوژی در صنعت امروزی توانسته است سرعت موتورهای آسنکرون را در محدودهٔ وسیعی تغییر دهد این بازه کنترل سرعت از صفر تا سرعت دو برابر سرعت نامی را در برمی‌گیرد. در تغییر سرعت با تغییر فرکانس، از فرکانس صفر تا فرکانس نامی کنترل سرعت در گشتاور ثابت انجام می‌شود و در فرکانس‌های بالا کنترل در توان ثابت انجام می‌گردد. شکل ۲۴ یک نمونه درایو با اینورتر منبع ولتاژ (VSI) (Voltage Source Invertor) نشان می‌دهد. کنترل دور موتور با تغییر هم‌زمان و متناسب فرکانس و ولتاژ را انجام می‌دهد این درایو وضعیت کار موتور را در لغزش‌های فروپاشی حفاظت می‌کند لغزش فروپاشی لغزش موتور در گشتاور ماکزیمم است.



شکل ۲۴ـ سیستم کنترل دور با تنظیم فرکانس با $\frac{V}{f}$ ثابت

۱۳ـ۴ـ تأثیر تغییرات بار بر فرکانس، دور، جریان، ضریب توان رتور

افزایش بار موتور سبب می‌شود دور موتور کاهش یابد تا مفتول‌های رتور خطوط میدان مغناطیسی بیشتری را قطع کنند و جریان بیشتری در آنها القا شود. در این حالت گشتاور موتور تقویت‌شده، موتور بر بار غلبه می‌کند. تغییر دور رتور در بارهای مختلف، لغزش موتور را براساس رابطه $S=\frac{N_S-N_r}{N_S}$ تغییر می‌دهد. تغییر لغزش، باعث تغییر فرکانس جریان رتور می‌شود. تغییر فرکانس رتور راکتانس رتور را تغییر می‌دهد تغییر راکتانس موجب تغییر امپدانس و جریان و ضریب توان و گشتاور موتور خواهد شد. آثار این تغییرات را می‌توان در روابط زیر بیان کرد که به روابط اساسی موتورهای آسنکرون معروف هستند.

الف) فرکانس جریان رتور: $f_r=S\times f$ لغزش و f فرکانس برق تغذیه می‌باشد.

ب) امپدانس هرفازرتور: $Z_r=\sqrt{R_2^2+(SX_2)^2}$ ، R_2 مقاومت هرفاز رتور و x_2 مقاومت القایی هرفاز رتور درهنگام راه‌اندازی است؟

ولتاژالقایی درهرفاز رتور

$E_r=S\times E_2$ ولتاژالقایی درهرفاز رتور در راه‌اندازی E_2 است.

پ) جریان هرفاز رتور

$$I_r=\frac{E_r}{Z_r}=\frac{S\times E_2}{\sqrt{R_2^2+(SX_2)^2}}$$

ت) ضریب توان رتور

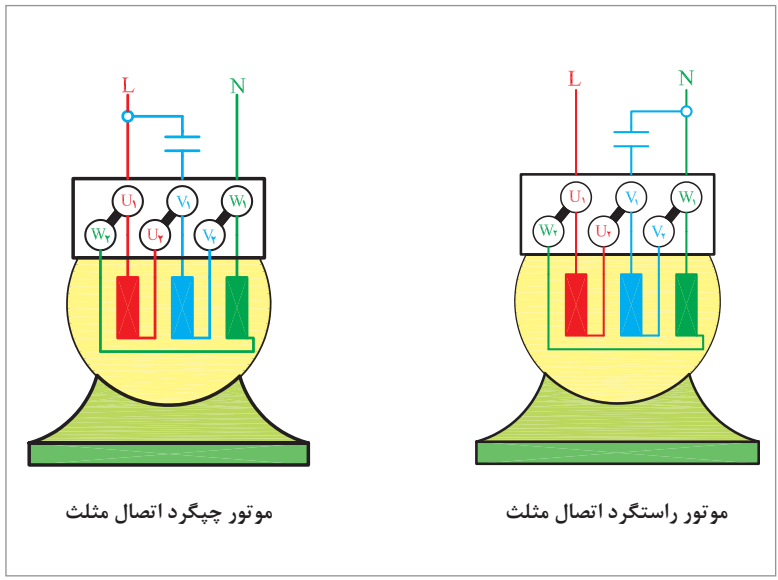
$$\cos\varphi_r=\frac{R_2}{Z_r}=\frac{R_2}{\sqrt{R_2^2+(SX_2)^2}}$$

۴ـ۱۴ راه‌اندازی موتور سه فاز با برق تک فاز

در کارگاه‌های محلی، گاهی به علت عدم دسترسی به برق سه فاز، موتورهای سه فاز را با برق تک فاز راه‌اندازی می‌کنند از آن جایی که لازم است، سیم‌پیچ موتورهای سه فاز با برق متناوب سه فاز با اختلاف فاز ۱۲۰ درجه بین فازها تغذیه شود، در راه‌اندازی موتورهای سه فاز با برق متناوب تک فاز اختلاف فاز ۹۰ درجه توسط خازن ایجاد می‌شود و لازم است اتصال سیم‌پیچ‌های موتور به صورت مثلث باشد تا به هر فاز ولتاژ فازی داده شود بنابراین، این موتورها در راه‌اندازی برق تک فاز توان نامی را نمی‌توانند ارائه بدهند و حدود ۸۰٪ توان نامی، کار خواهند کرد. برای تغییر جهت گردش موتورها، اتصال خازن را بین سیم نول و فاز جابه‌جا می‌کنند. به‌طور تقریب برای هر کیلو وات توان موتور ظرفیت خازن را ۷۰ میکروفاراد منظور می‌کنند. ظرفیت خازن را از رابطه زیر باتلرانس ۲۰٪ نیز می‌توان به‌دست آورد (شکل ۲۵).

$$C_{\mu F} = \frac{۲ \times I \times ۱۰^{۶}}{\omega . U} \sin \varphi$$

C ظرفیت خازن برحسب میکروفاراد
I جریان نامی موتور ـ ω سرعت زاویه‌ای
U ولتاژ برق متناوب تک فاز ـ sinφ ضریب توان غیرمؤثر موتور



موتور چپگرد اتصال مثلث

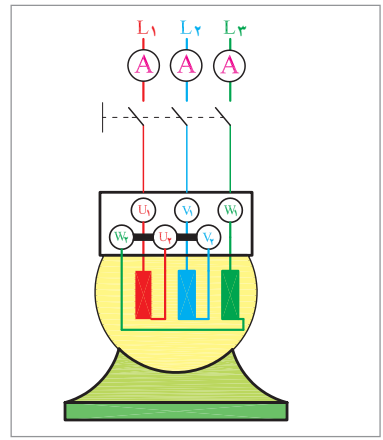
موتور راستگرد اتصال مثلث

شکل ۲۵ـ راه‌اندازی موتور سه فاز در برق تک فاز

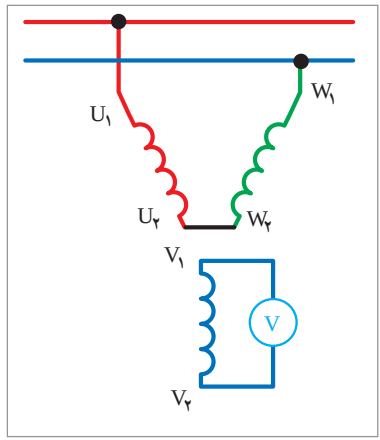
۱۵ـ۴ـ تشخیص سروته کلاف‌ها موتورهای سه فاز ونام‌گذاری صحیح آنها

ابتدا ۶ سر سیم‌پیچ‌ها را در جعبه اتصال آزاد می‌کنیم از طریق یک اهم متر یا لامپ سری ابتدا و انتهای هر فاز را مشخص می‌کنیم. ابتدا و انتهای فاز اول را به U_1 , U_2 و فاز دوم را V_1 , V_2 و فاز سوم را به W_1 , W_2 نام‌گذاری می‌کنیم. و سرهای نام‌گذاری شده را مطابق شکل ۲۵ به تخته کلم اتصال می‌دهیم و به شبکه برق وصل می‌کنیم اگر موتور بدون سروصدا و ملایم کار کرد و هر سه آمپر مقادیر مساوی و برابر جریان نامی نشان دادند نام‌گذاری و اتصال صحیح است وگرنه ممکن است نام‌گذاری U_1 , U_2 اشتباه باشد جای U_1 را با U_2 عوض کرده و موتور به برق وصل می‌کنیم اگر موتور به‌طور صحیح کار کرد اشتباه در U_1 , U_2 بوده که برطرف می‌شود وگرنه ممکن است نامگذاری سرهای دوفاز دیگراشتباه است. U_1 , U_2 را به جای اولیه برمی‌گردانیم و جای V_1 , V_2 را در تخته کلم عوض می‌کنیم و موتور را به شبکه برق وصل می‌کنیم اگر کار موتور طبیعی و صحیح باشد اشتباه در فاز V_1 , V_2 بوده و اشتباه برطرف می‌گردد وگرنه جای دو سر فاز W_1 , W_2 اشتباه است در این حالت موقعیت دو سر فاز V_1 , V_2 را به حالت اولیه برگردانیده و جای W_1 , W_2 را عوض می‌کنیم و نام‌گذاری صحیح فازها حاصل خواهد شد.

در روش دیگرپس از پیدا کردن سرهای هر فاز و نام‌گذاری آنها مدار با ولتاژ تقریباً نصف ولتاژ نامی دوفاز مطابق شکل ۲۶ تغذیه می‌کنیم و ولت‌متر مقدار صفر را نشان دهد نام‌گذاری صحیح است در غیراین صورت دو سر فازها جابه‌جا کرده تا ولت متر مقدار صفر را نشان دهد در این نام‌گذاری براساس شکل ۲۷ صحیح خواهد شد.

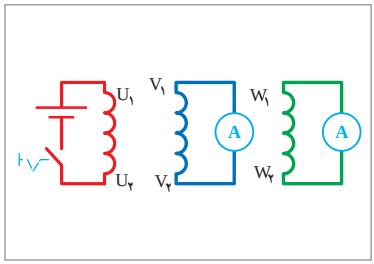


شکل ۲۶ـ تغذیه با نصف ولتاژ نامی



شکل ۲۷ـ نامگذاری سرهای کلاف

در روش سوم از یک باطری پس ازتعیین سرها استفاده می‌کنیم و مدار مطابق شکل ۲۸ می‌بندیم اگر با زدن کلید هر دو میلی‌آمپر به یک سمت راست منحرف شدند اتصال درست است وگرنه سروته کلاف‌ها باید جابه‌جا شوند تا دو میلی آمپرمتر به یک طرف منحرف شوند.



شکل ۲۸ــ تعیین سرهای کلاف

۱۶ــ۴ سیم‌پیچی شیارکسری

شرایط خاص سیم‌پیچی درتغییر دور موتورها یا سیم‌پیچی الکتروموتورها وضعیتی پیش می‌آید که $q=\frac{Z}{۲P.m}$ عدد صحیح در نمی‌آید و به صورت یک کسر بیان می‌شود به این نوع سیم‌پیچی ها سیم‌پیچی شیار کسری می‌گویند. برای آنکه در سیم‌پیچی شیار کسری از تقارن سیم‌پیچی اطمینان حاصل کنیم شرایط تقارن را بررسی می‌کنیم

الف) شرط تقارن در سیم‌پیچی یک طبقه آن است که $\frac{Z}{۲.m}$ عدد صحیح باشد.

ب) شرط تقارن در سیم‌پیچی یک طبقه آن است که $\frac{Z}{m}$ عدد صحیح باشد.

ج) اگر $q=\frac{Z}{۲P.m}$ را ساده کنیم که صورت و مخرج کسر نسبت به هم اول باشند و آن را به صورت زیر بیان کنیم.

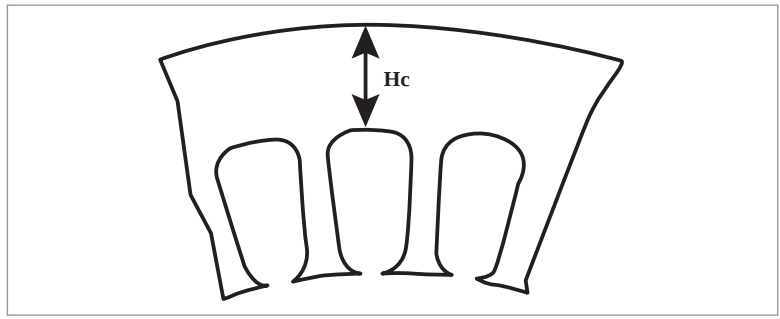
$$q=\frac{Z}{۲P.m}=\frac{C}{d}=k+\frac{a}{d}$$

در این حالت زمانی تقارن برقرار است که حاصل $\frac{۲p}{d}$ عدد صحیح باشد. روش سیم‌بندی شیار کسری محاسبات تعداد دور کلاف و قطر سیم را تحت‌الشعاع قرار نمی‌دهد فقط آرایش کلاف‌ها را برای یک سیم‌پیچی متقارن مشخص می‌کند. نقطه قابل توجهی که در تغییر سیم‌پیچی الکتروموتورها باید به آن توجه نمود یوغ استاتور است که آیا ضخامت هسته جوابگوی تغییر سیم‌پیچی می‌باشد یا نه. اگر از قطب کمتر به قطب بیشتر تغییر سیم‌پیچی داده شود مشکلی به‌وجود نمی‌آید ولی از قطب بیشتر به قطب کمتر، تغییر سیم‌پیچی مجاز نمی‌باشد چون ضخامت هسته در قطب بیشتر، کمتر از قطب کمتر است و هسته سریع به اشباع رسیده،

موتور برای دریافت توان نامی از شبکه جریان خیلی زیاد دریافت می‌کند. این جریان، موتور را تهدید جدی خواهد کرد. برای آنکه قطب مجاز را برای سیم‌پیچی مشخص کنیم از رابطه $H_C = \frac{B_m \times D_s}{B_C \times 2P}$ استفاده می‌شود در این رابطه H_C یوغ یا ضخامت هسته، B_m چگالی میدان، D_s قطر داخلی استاتور، B_C چگالی متوسط میدان که ازجدول شکل ۲۹ به‌دست می‌آید و $2P$ تعداد قطب‌هایی که استاتور براساس آن طراحی شده است بنابراین در تغییر سیم‌پیچی از قطب‌ها بیشتر از این مقدار مجاز است نه کمتر.

تعدادقطب‌ها	۲	۴	۶
B_C (تسلا)	۱/۴۵	۱/۴۸	۱/۵

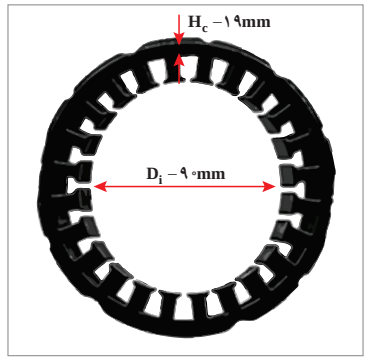
اندوکسیون متوسط یوغ استاتور



شکل ۲۹ـ یوغ استاتور

مثال ۱:

قطر داخلی یک استاتور ۸۰ میلی‌متر و ارتفاع یوغ آن ۱۹ میلی‌متر است تعداد قطب‌های این موتور را به‌دست آورید. آیا این موتور را می‌توان ۴ قطب سیم‌بندی کرد (شکل ۳۰).



شکل ۳۰ـ مشخصه یک استاتور

حل:

$D_i = ۸۰mm, H_C = ۱۹mm$

$$H_C = \frac{B_m \times D_i}{B_e \times ۲P}$$

$$۱۹mm = \frac{۱ \times ۸۰mm}{۲ \times ۲P} \Rightarrow ۲P = \frac{۸۰}{۳۸} = ۲/۱$$

$۲P = ۲$

ازقطب کمتر، به قطب بیشتر، سیم‌پیچی مجاز است پس۲قطب را می‌توان ۴ قطب سیم‌پیچی کرد.

سیم‌پیچی‌های شیار کسری را به صورت یک طبقه و دو طبقه می‌توان انجام داد. برای متقارن کردن سیم‌پیچی از روش‌های جابه‌جایی بازوها در شیارها، دو طبقه کردن بعضی شیارها، حذف بعضی شیارها و جدول مخصوص استفاده می‌شود در این قسمت به طراحی سیم‌پیچی با جدول مخصوص اکتفا می‌کنیم اگر گام فازی $Y_{ph} = \frac{۲}{۳}Y_P$ عدد صحیح باشد در جدول مخصوص ازفاصله Y_{ph} تا شیار در شماره‌های جدول استفاده می‌شود. و اگر $Y_{ph} = \frac{۲}{۳}Y_P$ عدد صحیح نباشد از $۲Y_{ph}$ در فاصله بین شیارها استفاده می‌شود در سیم‌بندی شیار کسری ممکن است تعداد پیچک‌های گروه کلاف‌ها برابر نباشند و برای آرایش کلاف‌ها از نقطه‌نظر تعداد پیچک‌ها از رابطه $q = \frac{Z}{۲P.m} = \frac{C}{d} = k + \frac{a}{d}$ استفاده می‌شود این رابطه بیان می‌کند سیم‌پیچی در هرفاز a گروه کلاف $K+۱$ پیچکی و a ـ d گروه کلاف K پیچکی دارد.

مثال ۲:

دیاگرام گسترده سیم‌پیچی الکتروموتور سه فاز ۳۰ شیار ۸ قطب را به‌صورت دو طبقه و حذف هارمونی سوم طراحی و رسم کنید.

الف) محاسبات سیم‌پیچی

$$Y_P = \frac{Z}{۲P} = \frac{۳۰}{۸} = \frac{۱۵}{۴} = ۳/۷۵$$

$$q = \frac{Z}{۲Pm} = \frac{۳۰}{۸ \times ۳} = \frac{۵}{۴} = \frac{C}{d} = ۱ + \frac{۱}{۴} \rightarrow K = ۱, a = ۱, d = ۴$$

$$C = ۵ \rightarrow Y_{Ph} = \frac{۲}{۳}Y_P = \frac{۲}{۳} \times \frac{۳۰}{۸} = ۲/۵ \text{ عدد صحیح نیست}, \quad ۲Y_{Ph} = \frac{۴}{۳}Y_P = \frac{۴}{۳} \times \frac{۳۰}{۸} = ۵$$

$$\alpha_{eZ} = \frac{P \times ۳۶۰}{Z} = \frac{۴ \times ۳۶۰}{۳۰} = ۴۸$$

شروع فاز اول $= ۱$

شروع فاز دوم $= ۱ + \frac{۱۲۰}{۴۸} = ۶$

شروع فاز سوم $= ۱ + \frac{۲۴۰}{۴۸} = ۱۱$

ب) تشکیل جدول

دو نوع جدول درنظر می‌گیرند جدول عملی برای سیم‌پیچی‌هایی که عدد صحیح باشند و جدول علمی برای سیم‌پیچی‌هایی که $۲Y_{Ph}$ عدد صحیح باشد (شکل ۳۱).

جدول علمی

m / ۲P	$U_۱ , U_۲$	$V_۱ , V_۲$	$W_۱ , W_۲$

جدول عملی

m / ۲P	$U_۱ , U_۲$	$W_۱ , W_۲$	$V_۱ , V_۲$

شکل ۳۱ جداول علمی و عملی

درمثال فوق چون $۲Y_{Ph}$ عدد صحیح است ازجدول علمی استفاده می‌کنیم قابل توجه است دستورات کار برای جدول علمی و عملی پس از انتخاب نوع جدول یکی است. پس ازتعیین جدول و انتخاب ستون‌ها به تعداد فازها و انتخاب ردیف‌ها به قطب‌ها، هر ستون را به صورت کسر ساده شده $q = \frac{Z}{۲Pm} = \frac{C}{d}$ یعنی C قسمت تقسیم می‌کنیم از خانه شماره ۱ اعداد مربوط به طبقه اول را ازشماره۱ به فاصله d ـ ۱ در خانه‌های جدول ۲ درج می‌کنیم.

جدول ۲ـ آرایش بازوها در طبقه رویی

۲P \ m	U_1, U_2					V_1, V_2					W_1, W_2				
N	۱				۲				۳				۴		
S		۵				۶				۷				۸	
N			۹				۱۰				۱۱				۱۲
S				۱۳				۱۴				۱۵			
N	۱۶				۱۷				۱۸				۱۹		
S		۲۰				۲۱				۲۲				۲۳	
N			۲۴				۲۵				۲۶				۲۷
S				۲۸				۲۹				۳۰			

برای کامل کردن طبقه دوم باتوجه به گام کسری حذف هارمونی سوم داریم

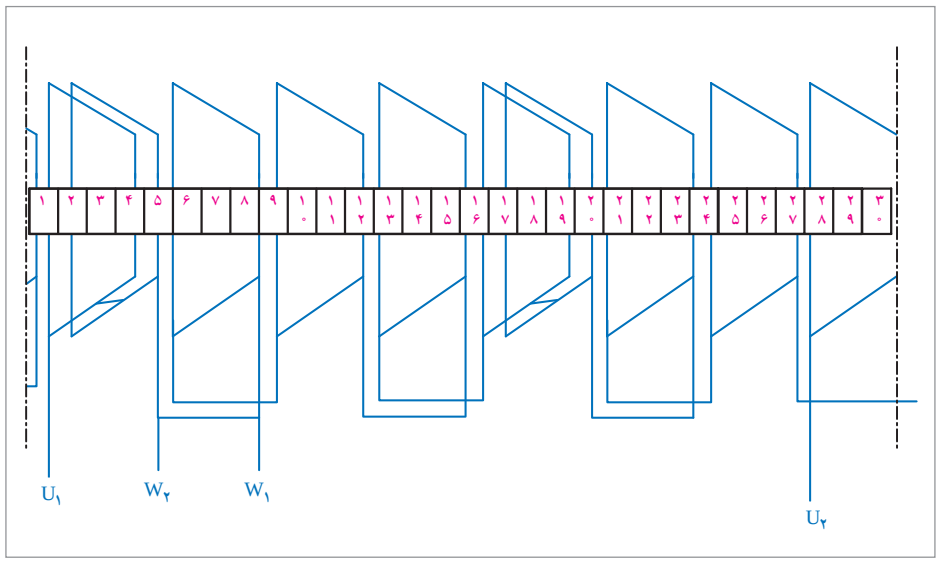
$$Y_Z = Z_P\left(۱-\frac{۱}{۳۰}\right)=\frac{۳۰}{۸}\left(۱-\frac{۱}{۳}\right)=۲/۵ \rightarrow Y_Z = ۳$$

چون گام سیم‌بندی عدد اعشاری نمی‌تواند باشد آن را با اضافه ۰/۵ به صورت عدد صحیح درنظر می‌گیریم. بازوهای طبقه دوم را ازخانه شماره ۱ با اندازه Y_Z=۳ به خانه پایین یعنی به قطب S حرکت می‌دهیم وبا فاصله ۳=۱ـ d طبقه دوم را کامل می‌کنیم (جدول ۳).

جدول ۳ـ تکمیل طبقه پایینی

m/۲P	U_1 , U_2					V_1 , V_2					W_1 , W_2				
N	۱			۱′	۲			۲′	۳			۳	۴		
S	۴′ Y_Z	۵			۵′	۶			۶′	۷			۷	۸	
N		۸′	۹			۹′	۱۰			۱۰′	۱۱			۱۱′	۱۲
S			۱۲′	۱۳			۱۳′	۱۴			۱۴′	۱۵			۱۵′
N	۱۶			۱۶′	۱۷			۱۷′	۱۸			۱۸′	۱۹		
S	۱۹′	۲۰			۲۰′	۲۱			۲۱′	۲۲			۲۲′	۲۳	
N		۲۳′	۲۴			۲۴′	۲۵			۲۵′	۲۶			۲۶′	۲۷
S			۲۷′	۲۸			۲۸′	۲۹			۲۹′	۳۰			۳۰′

ترسیم دیاگرام مطابق شکل های شماره ۳۲ تا ۳۴ است.



شکل ۳۲ـ سیم‌بندی فازاول