ساختمان موتورهای القایی

۱) استاتور

شامل یک مدار مغناطیسی است که از هسته مورق و سیم‌پیچ‌های معمولاً **توزیع شده** در داخل شیارها تشکیل شده است.

۲) روتور

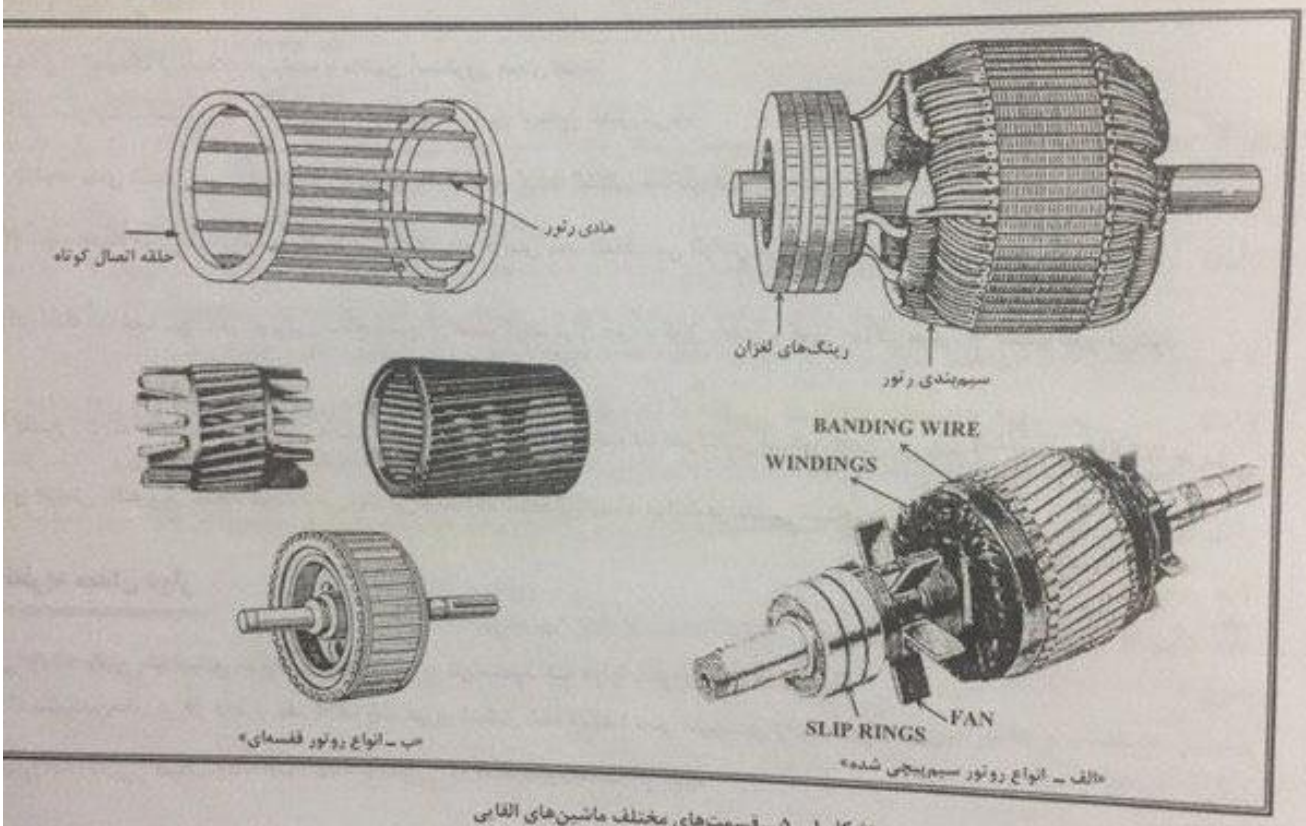
روتور موتورهای القایی به دو صورت زیر ساخته می‌شوند :

الف) روتور سیم‌پیچی شده :

که یک سیم‌پیچی سه فاز مانند استاتور است و در شیارهای یک هسته مغناطیسی مورق قرار دارد و توسط سه عدد **رینگ لغزان** و زغال به بیر
راه دارد.

ب) روتور قفسه‌ای :

که تشکیل شده است از یک هسته مغناطیسی مورق استوانه‌ای شکل با سوراخ‌های محوری در روی آن ، این سوراخ‌ها به وسیله آلومینیوم (یا م
پر شده و در دو طرف بالا و پایین اتصال کوتاه می‌شوند تا یک مدار بسته پدید آید.



«ب ـ انواع روتور قفسه‌ای»

«الف ـ انواع روتور سیم‌پیچی شده»

«شکل ۱ ـ ۵ ـ قسمت‌های مختلف ماشین‌های القایی

مفهوم لغزش در ماشین‌های القایی

به اختلاف سرعت میدان دوار روتور (N_r) و سرعت محور روتور (N_m) سرعت لغزش می‌گویند یعنی:

$$\Delta N = N_r - N_m$$

معمولاً به جای سرعت لغزش، نسبت آن را به سرعت میدان دوار در نظر می‌گیرند و به آن لغزش می‌گویند یعنی:

(۵ـ۱۱)

$$S = \frac{\Delta N}{N_r} = \frac{N_r - N_m}{N_r} \quad \& \quad \%S = S \times 100 = \frac{N_r - N_m}{N_r} \times 100$$

نکته ۱۳: در بعضی از کتب به لغزش ضریب لنگی موتور نیز می‌گویند.

نکته ۱۴: در موتورهای القایی چند سرعت به قرار زیر موجود است:

۱ـ سرعت میدار دوار استاتور نسبت به استاتور (N_s): که همان سرعت سنکرون است ($N_s = \frac{120 f_s}{P}$)

۲ـ سرعت میدان دوار روتور نسبت به استاتور (N_r): این سرعت نیز برابر سنکرون است

۳ـ سرعت محور روتور نسبت به استاتور (N_m): کمی کمتر از سرعت سنکرون بوده و از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$N_m = N_s(1-S)$$

(۵ـ۱۲)

۴ـ سرعت میدان دوار روتور نسبت به محور روتور:

$$N_r - N_m = N_s - N_m = SN_s$$

(۵ـ۱۳)

۵ـ سرعت محور روتور نسبت به میدان دوار استاتور:

$$N_m - N_s = -SN_s$$

(۵ـ۱۴)

۶ـ سرعت محور روتور نسبت به میدان دوار روتور:

$$N_m - N_r = N_m - N_s = -SN_s$$

(۵ـ۱۵)

۷ـ سرعت میدان دوار روتور نسبت به میدان دوار استاتور: همواره برابر صفر است

نکته ۱۵: با توجه به یکی بودن سرعت چرخش میدان دوار استاتور با میدان دوار روتور داریم:

$$\%S = \frac{N_r - N_m}{N_r} \times 100 = \frac{N_s - N_m}{N_s} \times 100$$

(۵ـ۱۶)

مثال ۳: در یک موتور القایی سه فاز ۵۰ Hz چهار قطبی، سرعت بارداری روتور ۱۴۴۰ rpm است. لغزش این موتور چند درصد است؟

۱) ۴- ۲) ۴ ۳) ۲/۵ ۴) ۲/۵-

پاسخ:

$$N_s = \frac{120 f_s}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{rpm} \qquad \%S = \frac{N_s - N_m}{N_s} \times 100 = \frac{1500 - 1440}{1500} \times 100 = 4\%$$

یعنی در حالت بارداری سرعت روتور ۴% کمتر از سرعت سنکرون است.

مثال ۴: در یک موتور القایی سه فاز ۶ قطب ۶۰ Hz لغزش بار نامی ۵% است. سرعت حرکت روتور چقدر است؟

۱) ۱۱۴۰ ۲) ۹۵۰ ۳) ۱۰۰۰ ۴) ۱۲۰۰

پاسخ: گزینه «۱»

$$\%S = 5\% \rightarrow S = 0/05$$

$$N_s = \frac{120 f_s}{P} = \frac{120 \times 60}{6} = 1200 \text{rpm} \Rightarrow N_m = N_s(1-S) = 1200(1-0/05) \Rightarrow N_m = 1140 \text{rpm}$$

مثال ۵: موتور القایی ۴ قطب ۵۰ Hz در سرعت ۱۰۰۰ rpm می‌چرخد. سرعت دوران میدان دوار حاصل از جریان‌های روتور نسبت به محور رتور چند rpm است؟

۱) ۲۰۰۰ ۲) ۵۰۰ ۳) ۱۵۰۰ ۴) ۱۰۰۰

پاسخ: گزینه «۲»

$$N_s = \frac{120 f_s}{P} = \frac{120 \times 50}{4} \rightarrow N_s = 1500 \text{ rpm}$$

$$N_r - N_m = N_s - N_m = 1500 - 1000 \rightarrow N_r = 500 \text{ rpm}$$

طبق این رابطه با قطع شدن یک فاز، دو میدان دوار راستگرد با جاروننده (ترم اول $B_{eq}(t)$) و چپگرد با عقب رونده (ترم دوم $B_{eq}(t)$) بوجود می‌آید به طوری که

$$B_{eq}(t) = B_f(t) + B_b(t) \Rightarrow \frac{B_f(t)}{B_b(t)} = 2 \quad (5\text{-}6)$$

یعنی با قطع شدن یک فاز نسبت دامنه میدان راستگرد به چپگرد برابر ۲ می‌شود. پس اگر یک فاز قطع شود ماشین می‌تواند در جهت راستگرد شتاب بگیرد. (البته به شرطی که ماشین بدون بار باشد)

نکته ۷: چنانچه هر دو فاز b و c قطع شوند داریم

$$B_{eq}(t) = B_{m_{Ph}} \cos(\omega_s t + \varphi \pm \alpha) \cos\alpha \quad (5\text{-}7)$$

با تبدیل حاصلضرب به حاصل جمع و ساده‌سازی داریم:

$$B_{eq}(t) = \frac{1}{2} B_{m_{Ph}} \cos(\omega_s t + \varphi + \alpha) + \frac{1}{2} B_{m_{Ph}} \cos(\omega_s t + \varphi - \alpha) = B_f(t) + B_b(t) \quad (5\text{-}8)$$

در نتیجه:

$$\frac{B_f(t)}{b_B(t)} = 1 \quad (5\text{-}9)$$

یعنی اگر دوفاز قطع شود (یا ماشین یکفاز باشد) نمی‌تواند در هیچ جهتی بچرخد.

نکته ۸: اگر بین سیم‌پیچ‌های موجود در یک ماشین ۳ فاز اختلاف زاویه مکانی وجود نداشته باشد با اعمال سه جریان سینوسی که اختلاف فاز $c = 120^\circ$ دارند دامنه میدان برآیند همواره صفر می‌شود.

تولید گشتاور در یک موتور القایی

همانطور که دیدیم چنانچه استاتور یک موتور القایی سه فاز به شبکه وصل شود میدان دواری (B_{eq_s} یا B_s) در فاصله هوایی بین استاتور و روتور با **سرعت سنکرون** شروع به چرخش می‌کند . این میدان دوار میله‌های روتور که در این لحظه ساکن هستند را قطع می‌کند لذا یک ولتاژ (E_{ind}) در آن القاء می‌کند. به علت اتصال کوتاه بودن روتور این ولتاژ القایی باعث ایجاد جریانی در هادی‌های روتور می‌شود . وجود این جریان سبب می‌شود که روتور نیز یک میدان دوار (Br) ایجاد کند که میدان نیز با همان سرعت سنکرون و در همان جهت می‌گردد. ($N_s = N_r$) از تأثیر متقابل این دو میدان گشتاوری بر مجموعه روتور و استاتور وارد می‌شود و چون استاتور ساکن است پس روتور **در جهت گشتاور ایجاد** شده شتاب می‌گیرد، مقدار این گشتاور از رابطه زیر بدست می‌آید .

$$\overline{T_e} = K\overline{B_r} \times \overline{B_s} = K\overline{B_r} \times B_{net} \Rightarrow |\overline{T_e}| = KB_r B_{net} \sin\delta \quad (5\text{-}10)$$

نکته ۹: در رابطه فوق δ زاویهٔ میدان دوار روتور و میدان برآیند بوده و به نام **زاویه گشتاور** معروف است.

نکته ۱۰: طبق رابطه‌ی اخیر گشتاور متناسب با **ضرب خارجی** بردار چگالی میدان استاتور و روتور است.

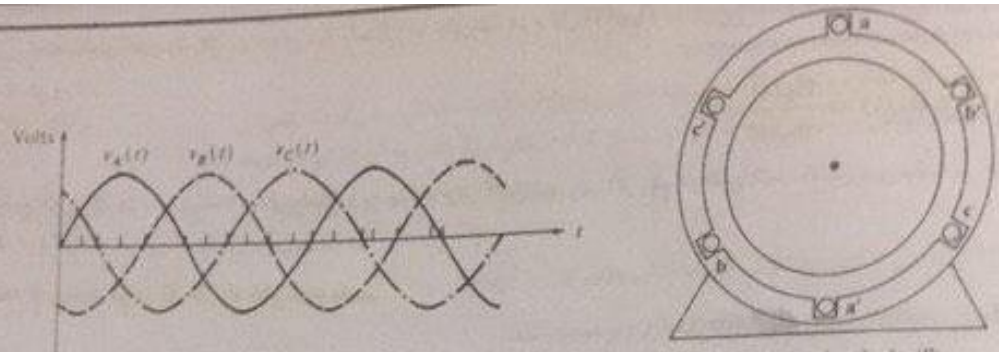
نکته ۱۱: طبق رابطه اخیر برای اینکه گشتاور تولیدی مخالف صفر باشد باید اولاً دو میدان **هم‌سرعت** بوده وثانیاً دارای **اختلاف فاز** باشند. پس بدین ترتیب موتور شروع به گردش کرده و سرعت آن از صفر شروع به افزایش می‌کند. حد فوقانی سرعت روتور (N_m یا ω_m) برابر سرعت سنکرون (N_s یا ω_{ms}) است، یعنی اگر سرعت روتور برابر سرعت سنکرون شود سرعت نسبی استاتور و روتور صفر شده لذا ولتاژ القایی در روتور و درنتیجه جریان و میدان روتور وگشتاور القایی صفر می‌شود در نتیجه سرعت روتور کاهش می‌یابد اما به محض اینکه سرعت روتور کمی کمتر از سرعت سنکرون شود دوباره در آن ولتاژ القاء می‌شود و سرعت بالا می‌رود . لذا در عمل ، سرعت بی‌باری موتورهای القایی کمی کمتر از سرعت سنکرون است.

نکته ۱۲: طبق توضیحات فوق سرعت روتور موتور القایی هیچوقت نمی‌تواند برابر سرعت سنکرون شود لذا به آن **موتور آسنکرون** گویند.

مثال ۲: اگر روتور یک ماشین القایی با سرعت سنکرون گردش کند، آنگاه:

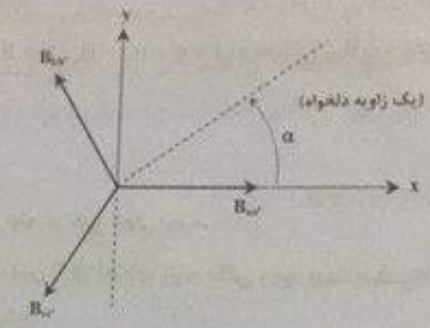
۱) ولتاژ القایی در روتور صفر است.
۲) جریان روتور صفر است.
۳) گشتاور موتور صفر است.
۴) همه موارد فوق

☑ **پاسخ :** گزینه «۴»



«ب» ولتاژ سه فاز متقارن

«الف» استاتور با سیم‌بندی سه فاز



«ج» فازورهای میدان مغناطیسی تولیدی و فاز

«شکل ۲ـ۵ـ تولید میدان دوار در موتورهای القایی»

در شکل «۲ـ۵ ـ الف» دو سر سیم‌بندی فاز A به صورت aa' و دو سر سیم‌بندی فاز B به صورت bb' و دو سر سیم‌بندی فاز C به صورت cc' نشان داده شده است. می‌خواهیم ببینیم که چنانچه سه جریان سینوسی با اختلاف فاز زمانی ۱۲۰° e (شبکه سه فاز) به صورت شکل «۲ـ۵ـ ب» به این سیم‌بندی‌ها اعمال کنیم وضعیت میدان مغناطیسی بوجود آمده در فاصله هوایی چگونه خواهد بود اگر معادله جریان سه فاز سینوسی باشد داریم:

$$\begin{aligned} i_{aa'}(t) &= I_m \cos(\omega_s t + \varphi) \\ i_{bb'}(t) &= I_m \cos(\omega_s t + \varphi - ۱۲۰^\circ\ e) \\ i_{cc'}(t) &= I_m \cos(\omega_s t + \varphi - ۲۴۰^\circ\ e) \end{aligned} \qquad (۵\text{ـ}۱)$$

در اثر عبور جریان‌های فوق‌الذکر سه میدان مغناطیسی به صورت شکل «۲ـ۵ ـ ج» ایجاد می‌شود که از نظر مکانی ۱۲۰° m با یکدیگر اختلاف فاز خواهند داشت. معادله میدان تولیدی هر فاز در یک زاویه دلخواه مانند α در شکل «۲ـ۵ ـ ج» به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\begin{aligned} B_{aa'}(t) &= K_b i_{aa'}(t)\cos\alpha = K_b I_m \cos(\omega_s t + \varphi)\cos\alpha \\ B_{bb'}(t) &= K_b i_{bb'}(t)\cos(\alpha - ۱۲۰^\circ\ m) = K_b I_m \cos(\omega_s t + \varphi - ۱۲۰^\circ\ e)\cos(\alpha - ۱۲۰^\circ\ m) \\ B_{cc'}(t) &= K_b i_{cc}(t)\cos(\alpha - ۲۴۰^\circ\ m) = K_b I_m \cos(\omega_s t + \varphi - ۲۴۰^\circ\ e)\cos(\alpha - ۲۴۰^\circ\ m) \end{aligned} \qquad (۵\text{ـ}۲)$$

($^\circ m = ^\circ e$ چون ماشین دوقطبی است لذا)

با جمع سه میدان فازی فوق‌الذکر میدان برآیند در هر زاویه دلخواه α به صورت زیر بدست می‌آید:

$$B_{eq}(t) = B_{aa'}(t) + B_{bb'}(t) + B_{cc'}(t) = \frac{۳}{۲}K_b I_m \cos(\omega_s t + \varphi - \alpha) = \frac{۳}{۲}B_{m_{ph}} \cos(\omega_s t + \varphi - \alpha) \qquad (۵\text{ـ}۳)$$

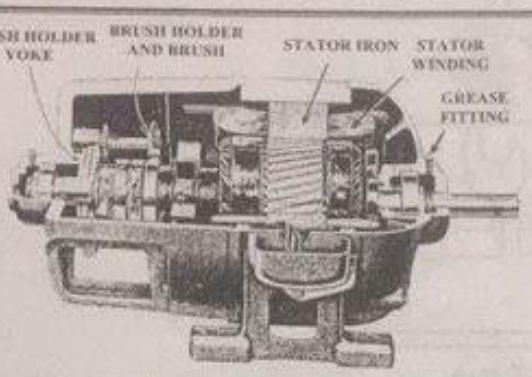
در این رابطه K_b یک ضریب ثابت است که وابسته به پارامترهای ماشین (نظیر تعداد دور، مشخصه مغناطیسی، ضریب سیم‌بندی و ...) می‌باشد. رابطه اخیر نشان می‌دهد که دامنه میدان دوار همواره ثابت بوده ($\frac{۳}{۲}B_{m_{ph}}$) و با سرعت ثابت ω_s (سرعت سنکرون) در حال دوران است به این گونه میدان، **میدان دوار** گویند.

نکته ۶: در شکل «۲ـ۵ـ الف» چنانچه یکی از فازها مثلاً فاز C قطع شود داریم:

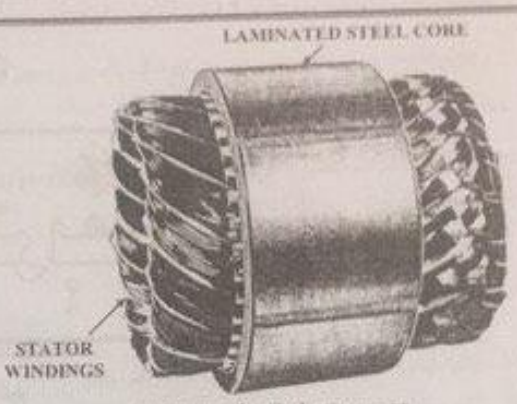
$$B_{eq}(t) = B_{m_{ph}} \cos(\omega_s t + \varphi)\cos\alpha + B_{m_{ph}} \cos(\omega_s t + \varphi - ۱۲۰^\circ)\cos(\alpha - ۱۲۰^\circ) \qquad (۵\text{ـ}۴)$$

با تبدیل حاصلضرب به حاصل جمع و ساده‌سازی داریم:

$$B_{eq}(t) = B_{m_{ph}} \cos(\omega_s t + \varphi - \alpha) + \frac{۱}{۲}B_{m_{ph}} \cos(\omega_s t + \varphi + \alpha + ۶۰^\circ) \qquad (۵\text{ـ}۵)$$



«د ـ اجزای تشکیل دهندهٔ یک موتور القایی رتور سیم‌پیچی شده»



«ج ـ سیم‌بندی استاتور یک موتور القایی»

«ادامه شکل ۱ـ ۵»

نکته ۱: روتورهای قفسه‌ای فاقد قطب‌بندی خاص می‌باشند لذا این نوع روتور می‌توانند با هر نوع استاتوری (با هر چند تاقطب) کار کنند اما روتورهای سیم‌بندی شده دارای قطب‌بندی بوده لذا فقط در صورتی می‌توانند گشتاور تولید کنند که قطب‌های رتور با استاتور یکی باشد.

نکته ۲: در موتورهای صنعتی پرقدرت (روتور سیم‌پیچی) معمولاً به جای استفاده از یک سیم‌پیچی سه فاز در روتور از یک سیم‌پیچی دو فاز استفاده می‌شود.

نکته ۳: در هر دو نوع روتور ذکر شده در فوق، سیم‌پیچ‌ها و یا میله‌های روتور اتصال کوتاه می‌باشند.

نکته ۴: به منظور کاهش تلفات فوکو هسته استاتور و روتور کلیه موتورهای AC به صورت ورقه ورقه ساخته می‌شود.

نکته ۵: بین روتور و استاتور فاصله هوایی وجود دارد . اندازه این فاصله هوایی باید تا حد امکان کوچک باشد در غیر این صورت حرارت زیادی در ماشین تولید می‌شود. ضمناً کاهش فاصله هوایی سبب کاهش تلفات و کاهش جریان مغناطیس کننده و بی‌باری شده و ضریب قدرت موتور را نیز بهبود می‌بخشد.

مثال ۱: کدامیک از جملات در رابطه با ماشین آسنکرون صادق است؟

۱) اگر اتصال مثلث استاتور، به ستاره تبدیل شود تنها امپدانس استاتور تقلیل می‌یابد.

۲) چنانچه بجای شمش مسی، شمشهای آلومینیومی جایگزین گردد، گشتاور حداکثر تغییر می‌کند.

۳) چنانچه فاصله هوائی در اثر تراش یک لایه نازک از رتور افزایش یابد، تلفات مس افزایش می‌یابد.

۴) اگر تعداد دور سیم پیچ روتور دو برابر و سطح مقطع آن نصف گردد، دران صورت کویل راه‌انداز و کویل حداکثر موتور، $\frac{1}{8}$ مقادیر نظیر می‌شود.

☑ پاسخ : گزینه «۳» با افزایش طول فاصله هوایی رلوکتانس افزایش یافته لذا اندوکتانس استاتور کاهش می‌یابد $(L_{ss} = \frac{N_s^2}{R_m})$ لذا جریان بی‌باری افزایش یافته و در نتیجه تلفات مسی زیاد می‌گردد (که نتیجه آن ازدیاد حرارت در ماشین است) .

نظریه میدان دوار

شکل «۲ـ۵» مقطع یک استاتور مربوط به یک ماشین جریان متناوب سه فاز را نشان می‌دهد که در آن :

۱) سیم‌بندی‌های هر فاز فقط از یک کلاف چند دوری تشکیل شده است. (یعنی سیم‌بندی از نوع متمرکز است)

۲) محور مغناطیسی این سیم‌بندی‌ها به اندازه 120° m با یکدیگر اختلاف فاز دارند.

الف) تعداد قطب‌ها ب) لغزش نامی ج) سرعت‌های مختلف

☑ پاسخ :

الف)

$$N_s = \frac{۱۲۰ f_s}{P} \quad \& \quad N_m < \frac{۱۲۰ f_s}{P} \Rightarrow P < \frac{۱۲۰ \times ۶۰}{۱۱۵۰} \Rightarrow P < ۶/۲$$

و چون P عددی صحیح است لذا ماشین ۶ قطبی است.

ب)

$$N_s = \frac{۱۲۰ f_s}{P} = \frac{۱۲۰ \times ۶۰}{۶} = ۱۲۰۰ \text{ rpm}$$

$$\%S = \frac{N_s - N_m}{N_s} \times ۱۰۰ = \frac{۱۲۰۰ - ۱۱۵۰}{۱۲۰۰} \times ۱۰۰ = ۴/۱\%$$

ج)

۱) سرعت میدان دوار استاتور نسبت به استاتور همان rpm ۱۲۰۰ است.

۲) سرعت محور روتور نسبت به استاتور در صورت مسئله rpm ۱۱۵۰ داده شده است.

۳) سرعت میدان دوار روتور نسبت به محور روتور برابر با :

$$N_r - N_m = ۱۲۰۰ - ۱۱۵۰ = ۵۰ \text{ rpm}$$

۵) سرعت محور روتور نسبت به میدان دوار استاتور

$$N_m - N_s = ۱۱۵۰ - ۱۲۰۰ = -۵۰ \text{ rpm}$$

علامت منفی نشان می‌دهد که سرعت محور روتور کمتر از سرعت میدان دوار استاتور است.

۶) سرعت محور روتور نسبت به میدان دوار روتور:

$$N_m - N_r = ۱۱۵۰ - ۱۲۰۰ = -۵۰ \text{ rpm}$$

۷) سرعت میدان دوار روتور نسبت به میدان دوار استاتور :

$$N_r - N_s = ۰ \text{ rpm}$$

مثال ۷: استاتور یک موتور القایی سه فاز با روتور سیم‌بندی شده و ۶ قطب به یک منبع ۶۰Hz و روتور آن به یک منبع ۵۰Hz وصل است. سرعت‌های بی‌باری ممکن در روتور این موتور چند rpm می‌باشند؟

۱) ۱۰۰۰ ،۱۲۰۰ ۲) ۸۰۰ ،۱۰۰۰ ۳) ۲۲۰۰ ،۲۰۰ ۴) ۸۰۰ ،۱۲۰۰

☑ پاسخ : گزینه «۳» سرعت میدان دوار استاتور نسبت به یک مرجع ساکن (نظیر خود استاتور) برابر است با:

$$N_s = \frac{۱۲۰ \times f_s}{P} = \frac{۱۲۰ \times ۶۰}{۶} = ۱۲۰۰ \text{ rpm}$$

سرعت میدان دوار روتور نسبت به یک مرجع ساکن (نظیر استاتور) برابر است با:

$$N_r = \frac{۱۲۰ f_r}{P} = \frac{۱۲۰ \times ۵۰}{۶} = ۱۰۰۰ \text{rpm}$$

از آنجایی که سرعت میدان دوار استاتور و روتور باید با یکدیگر برابر باشند باید محور روتور با سرعتی به اندازه اختلاف دو سرعت فوق گردش نماید لذا:

$$N_m = N_s - N_r = ۱۲۰۰ - ۱۰۰۰ = ۲۰۰ \text{ rpm}$$

اگر قطب‌بندی روتور طوری باشد که میدان دوار روتور در خلاف جهت میدان دوار استاتور بچرخد باید برای برابر شدن N_s و N_r محور در جهت میدان دوار استاتور و با سرعتی برابر با مجموع دو سرعت N_s و N_r بچرخد یعنی:

$$۱۲۰۰ + ۱۰۰۰ = ۲۲۰۰ \text{ rpm}$$

نکته ۱۶: در موتورهای القایی فرکانس جریان در روتور و استاتور در حالت دائمی مخالف یکدیگر می‌باشد اما شرط لازم برای ایجاد گشتاور در کلیه ماشین‌های الکتریکی گردان یکی بودن تعداد قطب‌های روتور و استاتور است یعنی اگر تعداد قطب‌های روتور و استاتور یکی نباشد گشتاور القایی همواره صفر می‌شود.

نکته ۱۷: چنانچه در یک موتور القایی با روتور سیم‌بندی شده پایانه‌های روتور توسط ولتاژ مناسب تغذیه شده و پایانه‌های استاتور اتصال کوتاه شوند باز هم موتور قادر به تولید گشتاور کار دائم می‌باشد در این صورت روتور طبق قانون لنز در **خلاف جهت میدان** دوار روتور خواهد چرخید تا ولتاژ القایی در استاتور کاهش یابد.

مثال ۸: اگر پایانه‌های استاتور یک موتور القائی با روتور سیم‌پیچی شده سه فاز را بر روی سه مقاومت مساوی اتصال کوتاه نموده و سپس روتور را از طریق حلقه‌های لغزان خود توسط یک ولتاژ سه فاز متقارن با فرکانس نامی تغذیه استاتور، تغذیه کنیم. در این صورت کدامیک از موارد زیر صحیح است؟

۱) موتور قادر به ایجاد کوپل پایدار نبوده و در نتیجه حرکت نمی‌کند.

۲) موتور با ایجاد کوپل پایدار در سمت خلاف گردش میدان مغناطیسی دوار حاصل از رتور به حرکت در می‌آید.

۳) موتور با جریان راه‌اندازی نسبتاً کمی نسبت به حالتی که موتور در شرایط عادی کار می‌کرد، کار می‌کند.

۴) از هر نظر مشابه شرایط متعارف ماشین بحرکت در می‌آید.

☑ پاسخ : گزینه «۲» موتور در جهت معکوس کار می‌کند.

حدود تغییرات لغزش در ماشین‌های القایی

۱) چنانچه $0 \le S \le 1$ باشد، یعنی $N_m < N_s$ بوده و ماشین در ناحیه موتوری می‌باشد به طوریکه $S = 1$ مربوط به لحظه راه‌اندازی و $S = 0$ مربوط به حالت بی‌باری است.

۲) چنانچه $S < 0$ باشد، یعنی $N_m > N_s$ بوده و ماشین در ناحیه مولدی عمل می‌کند.

۳) چنانچه $S > 1$ باشد، یعنی N_s و N_m معکوس هم بوده و ماشین در ناحیه ترمزی (pluging) می‌باشد.

نکته ۱۸: در ناحیه مولدی جهت حرکت روتور و استاتور یکی است و فقط سرعت محور روتور از سرعت میدان دوار استاتور بیشتر است.

نکته ۱۹: طبق توضیحات فوق در حالت کلی لغزش ماشین القایی می‌تواند از $+\infty$ تا $-\infty$ باشد.

نکته ۲۰: چنانچه f_s فرکانس منبع تغذیه استاتور باشد، فرکانس جریان هادی‌های روتور (f_r) از رابطه روبرو به دست می‌آید: $f_r = Sf_s$

نکته ۲۱: طبق رابطه اخیر در موتورها همواره داریم:

۱) در لحظه راه‌اندازی چون $S = 1$ است، لذا $f_r = f_s$ است.

۲) در بی‌باری چون $S \to 0$ لذا $f_r << f_s$ است.

مثال۹: فرکانس جریان روتور یک موتور القایی ۲۰۸V و ۵۰Hz چهار قطب که در بار نامی با سرعت ۱۴۲۵ دور در دقیقه می‌چرخد چند Hz است؟

۱) ۵۰ ۲) ۲۵ ۳) ۵ ۴) ۲/۵

☑ پاسخ: گزینه «۴»

$$N_s = \frac{120f}{P} = \frac{120\times 50}{4} = 1500\,rpm \Rightarrow S = \frac{N_s - N_m}{N_s} = \frac{1500-1425}{1500} = 0/05 \Rightarrow$$

$$f_r = Sf_s = 0/05\times 50 = 2/5\,Hz$$

مثال۱۰: یک موتور القایی ۴ قطب ۵۰Hz به یک موتور سنکرون ۸ قطب و ۵۰Hz متصل است. سرهای استاتور هر دو ماشین به منبع سه فاز ۵۰Hz متصل است ولی سرهای روتور موتور القایی باز است. اگر مجموعه را موتور سنکرون بچرخاند، نسبت فرکانس نیروی محرکه القایی دو سر روتور در حالی که موتور القایی در جهت میدان بچرخد به زمانی که موتور القایی در خلاف جهت میدان بچرخد چقدر است؟

۱) $\frac{1}{2}$ ۲) ۲ ۳) $\frac{1}{3}$ ۴) ۳

☑ پاسخ: گزینه «۳» موتور سنکرون مجموعه را می‌چرخاند بنابراین:

$$N_m = N_s = \frac{120f_s}{P_s} = \frac{120\times 50}{8} \to N_m = 750\,rpm$$

سرعت میدان گردان موتور القایی برابر است با:

$$N_{sA} = \frac{120f_s}{P_A} = \frac{120\times 50}{4} = 1500\,rpm$$

لغزش موتور القایی زمانی که میدان گردان در جهت روتور بچرخد عبارت است از:

$$S = \frac{N_{sA} - N_m}{N_{sA}} = \frac{1500-750}{1500} \Rightarrow S_1 = 0/5$$

و لغزش برای حالتی که میدان گردان خلاف جهت روتور بچرخد برابر است با:

$$S_2 = \frac{N_{sA} + N_m}{N_{sA}} = \frac{1500+750}{1500} \Rightarrow S_2 = 1/5$$

$$\frac{f_{r_1}}{f_{r_2}} = \frac{S_1 f_s}{S_2 f_s} = \frac{S_1}{S_2} \to \frac{f_{r_1}}{f_{r_2}} = \frac{1}{3}$$

نکته۲۲: با تعویض جای دو فاز از سه فاز استاتور لغزش در لحظه تعویض جای دو فاز برابر $S - 2$ می‌شود.

مثال۱۱: یک موتور القایی در بار نامی با لغزش ۸% در حال کار است اگر ناگهان جهت چرخش آن با تعویض جای دو فاز معکوس شود، لغزش در لحظه تعویض جای دو فاز، لغزش در کار دائمی در جهت معکوس به ترتیب چند درصد می‌شوند؟

۱) ۱۹۲ و ۸ ۲) ۸ و ۲۰۸ ۳) ۲۰۸ و ۸ ۴) ۸ و ۱۹۲

☑ پاسخ: گزینه «۱»

$$S_{new} = 2 - S = 2 - 0/08 = 1/92 \Rightarrow S_{new} = 192\%$$

در کار دائمی در جهت معکوس لغزش برابر همان ۸% می‌باشد زیرا بار موتور بدون تغییر مانده است.