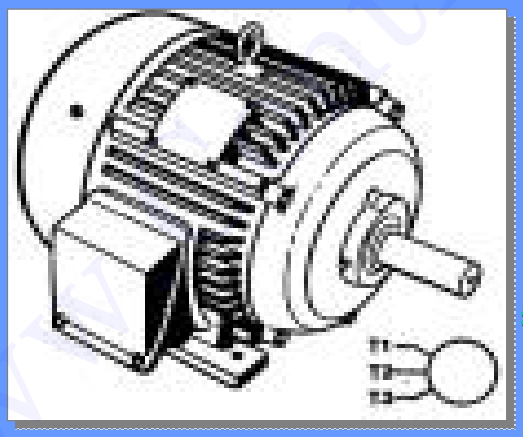
مزایا و معایب موتورهای القایی سه فاز

مزایای موتورهای القایی سه فاز :

- خود راه انداز هستند.
- عدم نیاز به تعمیر و نگهداری
- ارزان هستند
- سادگی ساختمان و استحکام

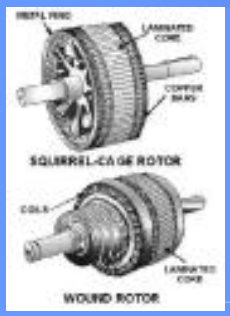


معایب موتورهای القایی سه فاز :

- سرعت ثابت نیست.
- کنترل دور آن به نسبت به موتورهای دیگر سخت‌تر است.
- ضریب قدرت نسبتاً پایین و ثابت

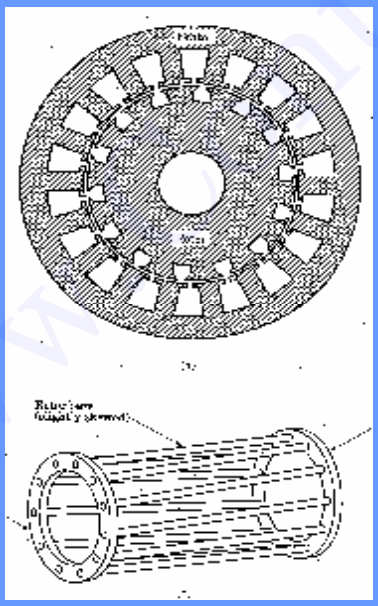
www.ControlMakers.ir

ساختمان موتورهای القایی سه فاز:



موتورهای القایی
- استاتور
  - هسته
  - سیم‌پیچی سه فازه
- رتور
  - هسته
  - سیم‌پیچی (یا قفس سنجابی)

سیم‌پیچی رتور
- برای موتورهای با قدرت کم قفس از جنس آلومنیوم است (ریخته گری)
- برای موتورهای با قدرت بالا قفس از جنس مس است (دایکست)

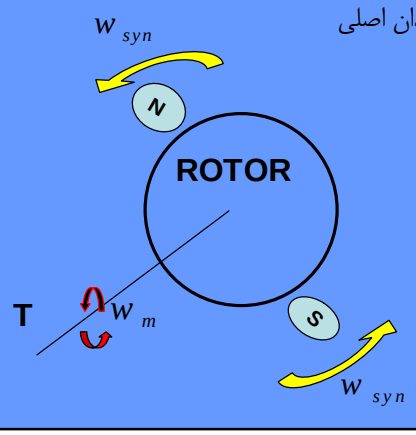


روتورموتور هاي القايي
- سیم پیچی شده
- قفس سنجابی

روتور قفس سنجابی
- شمش مسی (موتور بزرگ)
- شمش آلومینیوم (موتور کوچک)

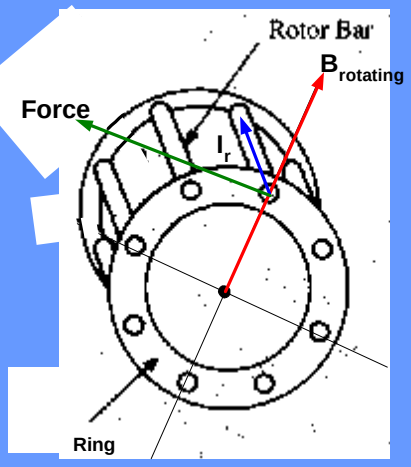
نحوه کار موتور القایی

- 3 چرخش دو قطب یک اهن ربا با سرعت زاویه ای
- 3 القائ ولتاژ و جاری شدن جریان در روتور در جهت مخالف عامل بوجود اورنده
- 3 ایجاد گشتاور بر روی روتور و چرخش در جهت میدان اصلی
- 3 رسیدن سرعت روتور به نزدیکی سرعت سنکرون



نحوه کار موتور القایی

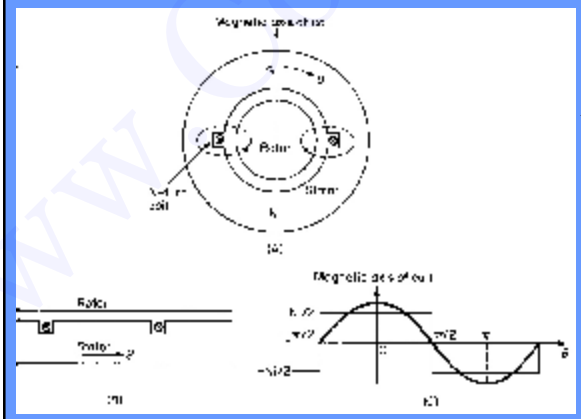
ایجاد گشتاور بر روی روتور و چرخش در جهت میدان اصلی



نحوه کار موتور القایی

- 3 اساس کار ماشینهای القایی سه فاز میدان گردان می باشد.
- 3 خطوط شار در فاصله هوایی به شکل شعاعی هستند.
- 3 اندازه میدان مغناطیسی در فاصله هوایی ثابت است.

تئوری میدان گردان

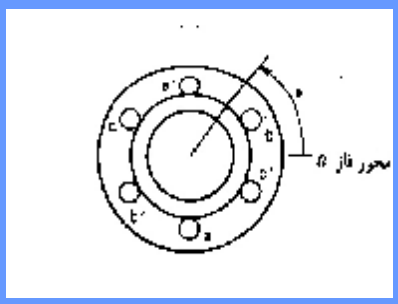


$$F_a = \begin{cases} \dfrac{Ni_a}{2} & -\dfrac{p}{2} \le q \le \dfrac{p}{2} \\ -\dfrac{Ni_a}{2} & \dfrac{p}{2} \le q \le \dfrac{3p}{2} \end{cases}$$

$$F_a = K.i_a.\cos q$$

www.ControlMakers.ir

تئوری میدان گردان



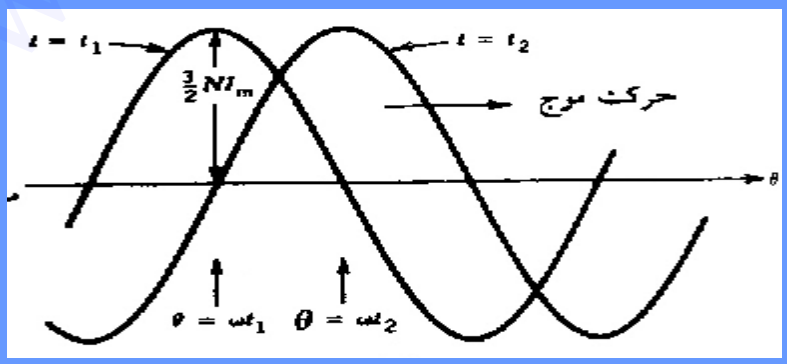
$$\begin{cases} F_a = K.i_a.\sin q \\ F_b = K.i_b.\sin(q - \frac{2p}{3}) \\ F_c = K.i_c.\sin(q + \frac{2p}{3}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_a = I_m.\sin wt \\ i_b = I_m.\sin(wt - \frac{2p}{3}) \\ i_c = I_m.\sin(wt + \frac{2p}{3}) \end{cases}$$

$$F = F_a + F_b + F_c$$

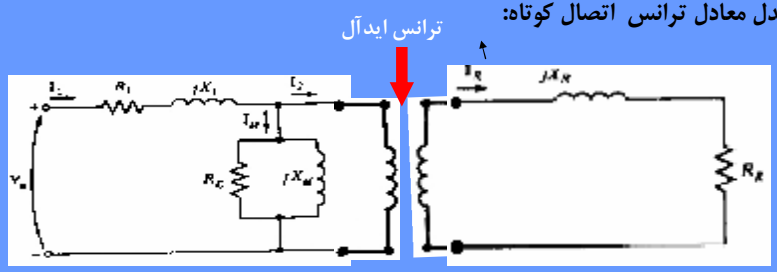
$$\rightarrow \quad F = k.I_m[\sin q \sin wt + \sin(q - \frac{2p}{3})\sin(wt - \frac{2p}{3}) + \sin(q + \frac{2p}{3})\sin(wt + \frac{2p}{3})]$$

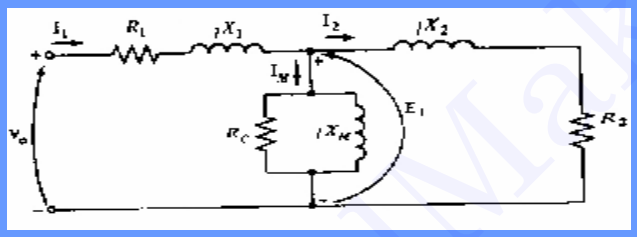
$$\rightarrow \quad \boxed{F = \frac{3}{2}.k.I_m.\cos(q - wt)}$$



تحلیل رفتار موتور القایی سه فاز

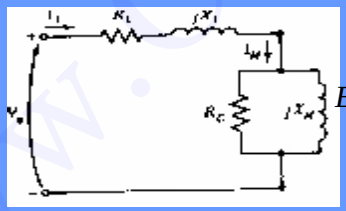
استفاده از مدل معادل ترانس اتصال کوتاه:



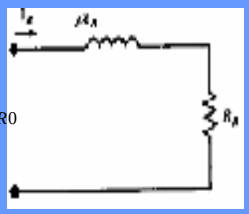


تحلیل رفتار موتور القایی سه فاز

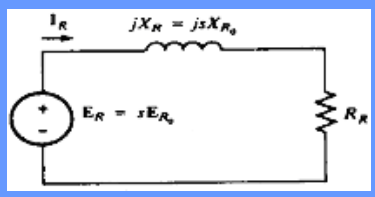
مدل موتور ساکن :



$$\frac{E_S}{E_{R0}} = \frac{N_S}{N_R}$$

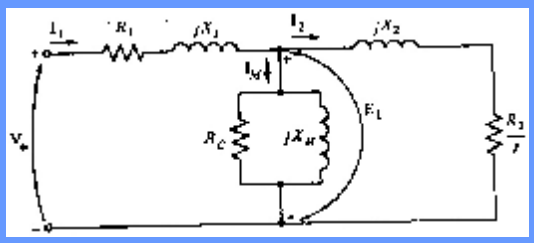


مدار معادل روتور متحرک :



$$X_R = 2p.f_r.L_r$$

مدار معادل کلی در موتور القایی و ساده سازی آن

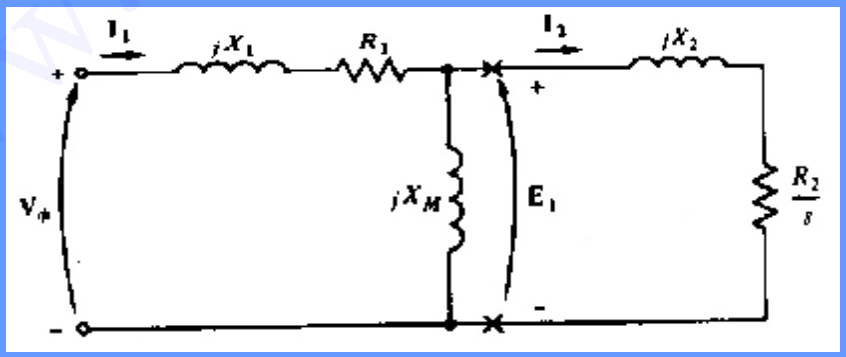


$$s.E_r = R_r.I_r + js.X_r.I_r \longrightarrow E_r = \frac{R_r}{s}.I_r + jX_r.I_r$$

جریان تحریک ماشین القایی نسبت به ترانس درصد بزرگتری دارد و بهمین دلیل انتقال شاخه موازی به انتهای مدار خطای بیشتری دارد.

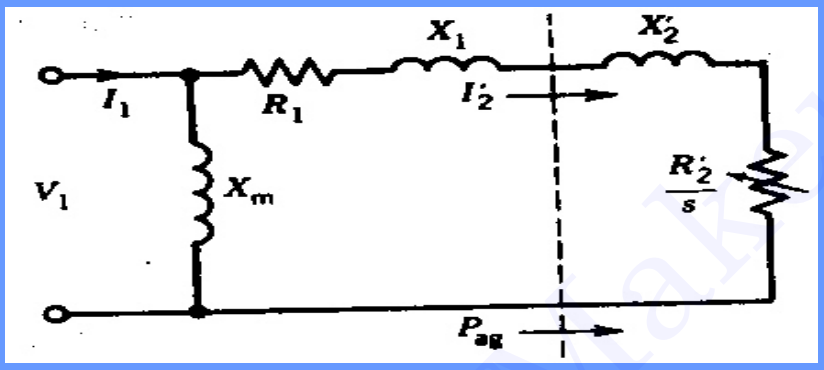
محاسبه پارامترهای موتور القایی

برای محاسبه پارامترهای مربوط به موتور القایی از آزمایشهای بی‌باری ، مقاومتی و رتور قفل شده استفاده می‌کنیم .



مدار معادل ساده شده موتور القایی

و در یک شکل ساده‌تر می‌توانیم شاخه موازی را به ابتدای مدار منتقل کنیم که در این صورت محاسبات مربوطه ساده‌تر خواهد شد. و در حالت دقیق‌تر مدار معادل تونن ازدید شاخه موازی به صورت روبروست.



مدار معادل تونن از دید شاخه X_m

توان و گشتاور در موتور القایی

توان فاصله هوایی P_g : توانی که از استاتور عبور می‌کند و به فاصله هوایی می‌رسد

$$P_g = 3(\frac{R_2}{s} I_2^2)$$

توان مکانیکی همان توان فاصله هوایی است که تلفات اهمی روتور از آن کم شده :

$$P_m = P_g - 3R_2 I_2^2 = (1-s)P_g$$

w_r سرعت چرخش موتور است

$$w_r = (1-s)w_s$$

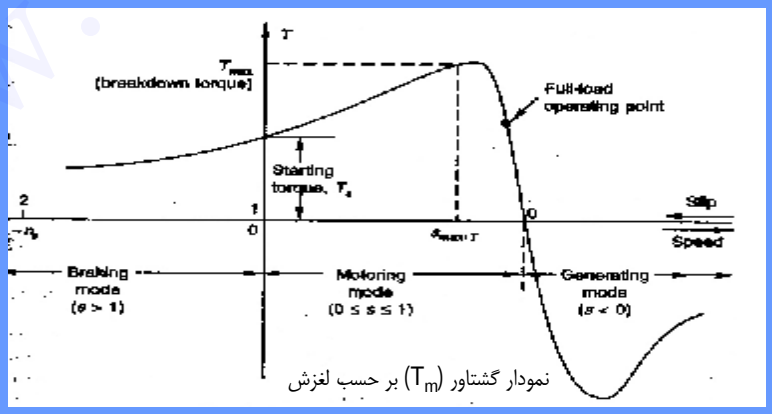
$$\begin{cases} T_m = \dfrac{P_m}{w_r} = \dfrac{(1-s)P_g}{(1-s)w_s} = \dfrac{P_g}{w_s} \\ T_m = \dfrac{P_g}{w_s} \end{cases} \longrightarrow P_g = 3\frac{R_2}{s}\frac{V_1^2}{(R_1+\frac{R_2}{s})^2+(X_1+X_2)^2}$$

در این رابطه اگر موتور مستقیماً به شبکه وصل شود، V_1 ثابت است و اگر از تاثیرات درجه حرارت روی مقاومت‌ها و راکتانسها صرفنظر کنیم این پارامترها مقادیر ثابتی هستند به عبارت دیگر توان فاصله هوایی تابعی از لغزش خواهد بود

و برای گشتاور نیز خواهیم داشت :

$$T_m = 3\frac{R_2}{s.w_s}\frac{V_1^2}{(R_1+\frac{R_2}{s})^2+(X_1+X_2)^2}$$

اگر فرکانس منبع و ولتاژ ثابت باشند، گشتاور تابعی از لغزش خواهد بود .



نمودار گشتاور (T_m) بر حسب لغزش

گشتاور ماکزیمم

نقطه‌ای که در آن گشتاور ماکزیمم است نقطه گشتاور ماکزیمم یا گشتاور شکست یا گشتاور برون کش گفته می‌شود .

در منحنی گشتاور ـ سرعت اگر شیب منحنی مثبت باشد سیستم ناپایدار است، ولی هر جا شیب منفی داریم سیستم پایدار است.

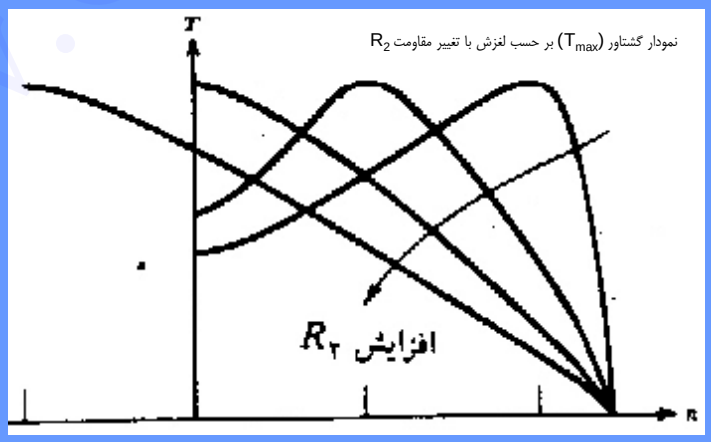
برای بدست آوردن T_{max} و S_{Tmax} از قضیه انتقال توان استفاده می‌کنیم.

$$\Longrightarrow \quad s_{T_{max}} = \frac{R_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2}}$$

$$T_{max} = \frac{3V_1^2}{w_s} \frac{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2}}{(R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2})^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

راه اندازی موتورالقایی با رتور سیم پیچی شده

اگر در موتور القایی R_2 را زیاد کنیم در این صورت T_{max} تغییری نمی‌کند ولی S_{Tmax} افزایش پیدا می‌کند.



در موتورهای با روتور سیم‌پیچی شده در هنگام راه‌اندازی مقاومت را زیاد می‌کنیم. به این ترتیب گشتاور راه‌اندازی زیاد می‌شود. ضمناً افزایش مقاومت باعث کاهش جریان راه‌اندازی می‌شود.

با زیاد شدن گشتاور و در نتیجه افزایش توان جریان کم می شود. چون با زیاد کردن مقاومت اصلاح ضریب توان انجام می‌دهیم و با اصلاح ضریب توان در عین حال که جریان را کم کرده‌ایم توان حقیقی را زیاد کرده‌ایم.

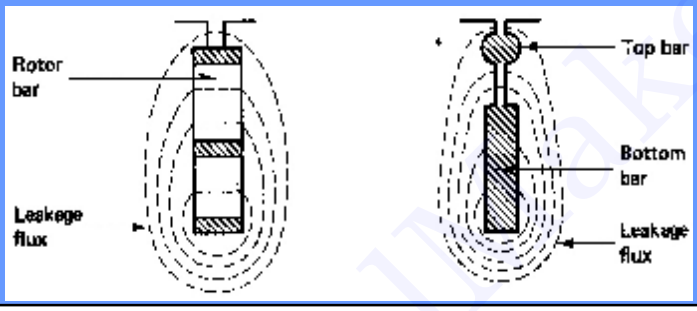
راه اندازی موتور القایی قفس سنجابی

- **افزایش مقاومت رتور**
- **استفاده از مداره ستاره–مثلث**(راه‌انداز ستاره-مثلث): علاوه براینکه I_{st} کم می‌شود، گشتاور هم کم می‌شود پس ستاره ـ مثلث روش مناسبی نیست.
- **راه انداز پله‌ای**

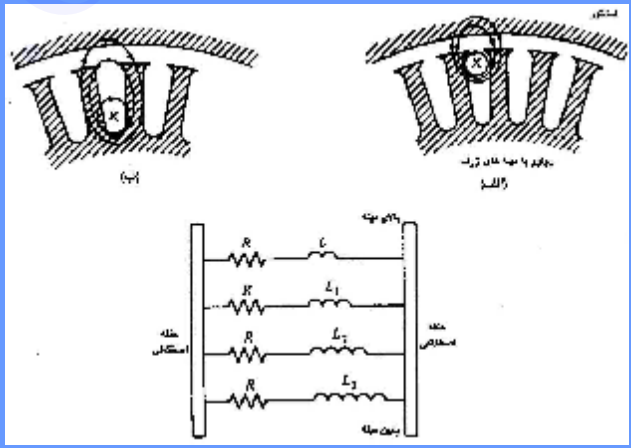
فرکانس ولتاژ القا شده در روتور در شرایط سکون و راه‌اندازی فرکانسی حدود فرکانس استاتور است، ولی فرکانس ولتاژ القا شده در روتور در کار نامی حدود صفر است. پس تغییر شدید فرکانس داریم. از این خاصیت در طراحی موتورهای القایی استفاده می شود.

موتورهای القایی از نوع شیار عمیق

در نوع شیار عمیق، شیار مربوط به میله‌های روتور را عمیق می‌گیرند و به سمت مرکز روتور می‌برند. وقتی شیار را عمیق بگیریم در f_r=50Hz راکتانس پراکندگی زیاد می‌شود، چون شار پراکندگی زیاد می‌شود. در حالت سکون راکتانس پراکندگی خصوصاً در قسمت مرکز زیاد می‌شود و جریان را به سمت بالا هل می‌دهد چون X پراکندگی در قسمت بالا کم است. همچنین چون سطح موثر میله کوچک می‌شود مقاومت افزایش می‌یابد.



در شرایط کار نامی با فرض S=4% و f_r=2Hz راکتانس پراکندگی کوچک می‌شود و جریان به صورت یکنواخت در سطح پخش می‌شود، سطح موثر میله زیاد شده و مقاومت کم می‌شود



شکل استاتور و رتور در موتورهای با میله های ژرف

www.ControlMakers.ir

موتورهای القایی از نوع دو قفسه‌ای

اگر بخواهیم گشتاور راه انداز زیاد و جریان راه اندازی کم باشد، می توان از رتورهای قفس سنجابی مضاعف استفاده کرد. رتورهای قفس سنجابی مضاعف (دوبل) از دو قفس تشکیل شده اند :

- قفس بیرونی یا قفس فوقانی
- قفس درونی یا قفس تحتانی

میله های هر دو قفس از دو انتها بوسیله حلقه های انتهایی اتصال کوتاه شده‌اند.

لازم به تذکر است که :

سطح مقطع قفس بیرونی از سطح مقطع قفس درونی کمتر است.

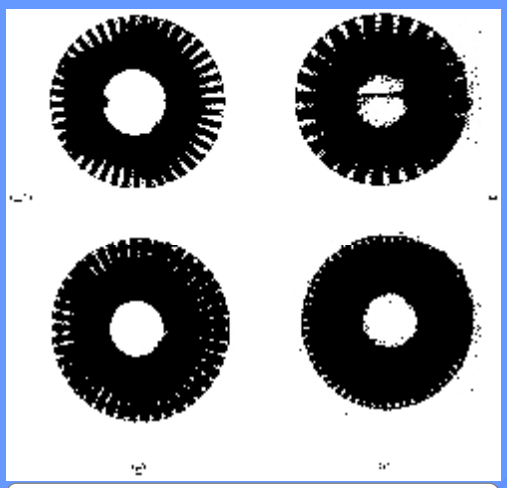
مقاومت ویژه ماده قفس بیرونی از مقاومت ویژه ماده قفس درونی بیشتر است.

با توجه به بندهای فوق مقاومت قفس بیرونی از مقاومت قفس درونی بیشتر است.

با باریک کردن شیار بین دو قفس، راکتانس نشتی قفس درونی نسبت به قفس بیرونی بیشتر می شود.

www.ControlMakers.ir

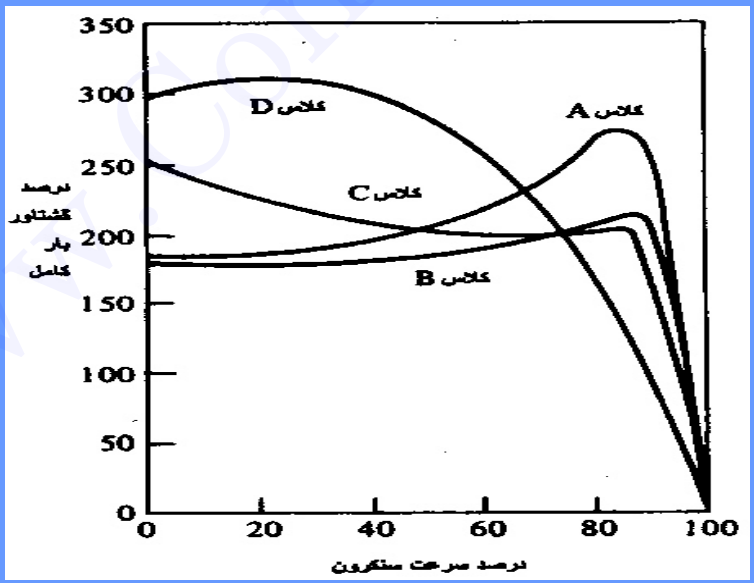
کلاسهای مختلف موتورهای القایی



روتور در کلاس های مختلف موتور القایی

طراحان موتورهای القایی طبق استاندارد NEMA کلاس‌های مختلفی را تعریف کرده‌اند که بر طبق این تقسیم بندی ۴ کلاس داریم که گشتاور نامی یکسانی دارند ولی تفاوتشان در T_{max} و T_{st} و نحوه تغییر مقاومت مدار رتور است.

نمودار گشتاور – سرعت کلاس های مختلف موتور القایی



مساله

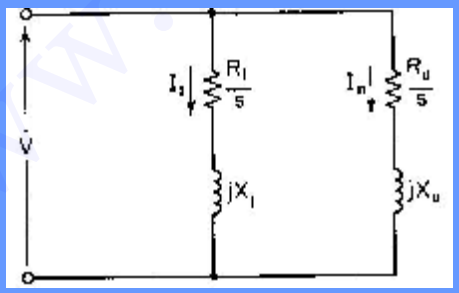
یک موتور القایی سه فاز، ٤ قطب،230V ،60Hz دو قفسه‌ای دارای پارامترهای معادل زیر می‌باشد.

$R_u = 2.4\Omega \quad X_u = 1\Omega \quad R_L = .24\Omega \quad X_L = 4.2\Omega$

از امپدانس استاتور و اثر متقابل قفسه‌ها صرفنظر می‌کنیم. مطلوبست محاسبه گشتاور و جریان ایجاد شده در قفسه بالائی و پائینی در زمان راه‌اندازی و در بار کامل با لغزش 4%.

حل مساله

موتور دو قفسه‌ای دو قفس دارد و در مدار معادل دو قسمت بالا و پائین با یکدیگر موازی شده‌اند .



شکل مدار مساله

$$V_{ph} = \frac{230}{\sqrt{3}} = 132.8v$$

$$z_L = \frac{0.24}{s} + j4.2 \qquad z_u = \frac{2.4}{s} + j$$

در شرایط راه‌اندازی S=1

$$z_u = 2.4 + j \quad z_L = 0.24 + j4.2 \leftarrow$$

$$\rightarrow I_u = \frac{u_p}{z_u} = 51.08\angle -22.62 \qquad I_L = \frac{u_p}{z_L} = 31.58\angle -86.73$$

چون افت توان روی امپدانس استاتور را نداریم درنتیجه توان فاصله هوایی همان توان ورودی است.

$$n_s = \frac{120*60}{4} \Rightarrow w_s = 60p$$

در لحظه راه‌اندازی

$$T_u = \frac{3I_u^2 R}{s.w_s} = 99.66(N.m) \qquad T_L = 3.81(N.m)$$

$$\rightarrow T_{total} = T_u + T_L = 103.47(N.m)$$

در شرایط کار S=0.04

$$I_u = \frac{132.8}{\frac{2.4}{0.04} + j} = 2.21\angle -0.95 \qquad I_L = \frac{132.8}{\frac{0.24}{0.04} + j4.2} = 18.13\angle -34.99$$

$$T_u = 4.66(N.m) \qquad T_L = 31.39(N.m)$$

$$\rightarrow T_{total} = 36.05(N.m)$$

www.ControlMakers.ir