

ادامه فصل پنجم: ماشینهای القای

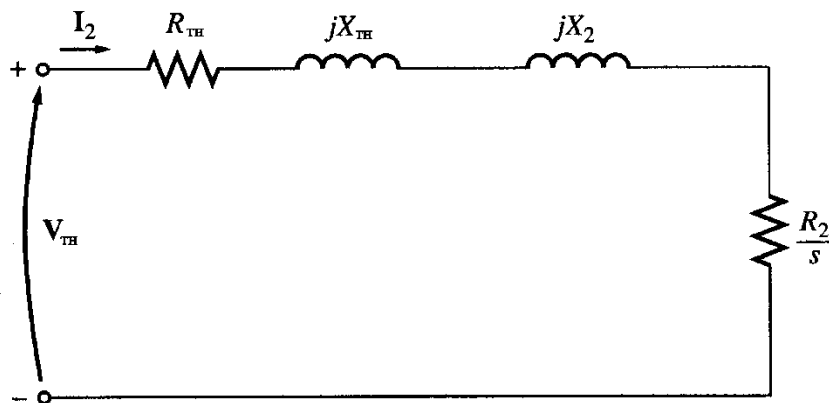
موتور القایی

❖ محاسبه گشتاور ماکزیمم

❖ حداکثر گشتاور وقتی رخ می دهد که حداکثر توان در مقاومت R_2/s مصرف شود:

$$\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_{sync}} = \frac{3V_{TH}^2 \frac{R_2}{s}}{\omega_{sync} [(R_{TH} + R_2/s)^2 + (X_{TH} + X_2)^2]}$$

❖ این شرط زمانی برقرار است که اندازه مقاومت بار R_2/s با اندازه امپدانس منبع برابر باشد:



$$\frac{R_2}{s} = \sqrt{(R_{TH})^2 + (X_{TH} + X_2)^2}$$

موتور القایی

❖ محاسبه گشتاور ماکزیمم

❖ با حل این رابطه برای لغزش:

$$s_{T_{\max}} = \frac{R_2}{\sqrt{(R_{TH})^2 + (X_{TH} + X_2)^2}}$$

❖ یعنی لغزشی که در آن گشتاور حداکثر رخ می دهد به صورت مستقیم متناسب با مقاومت رتور است.

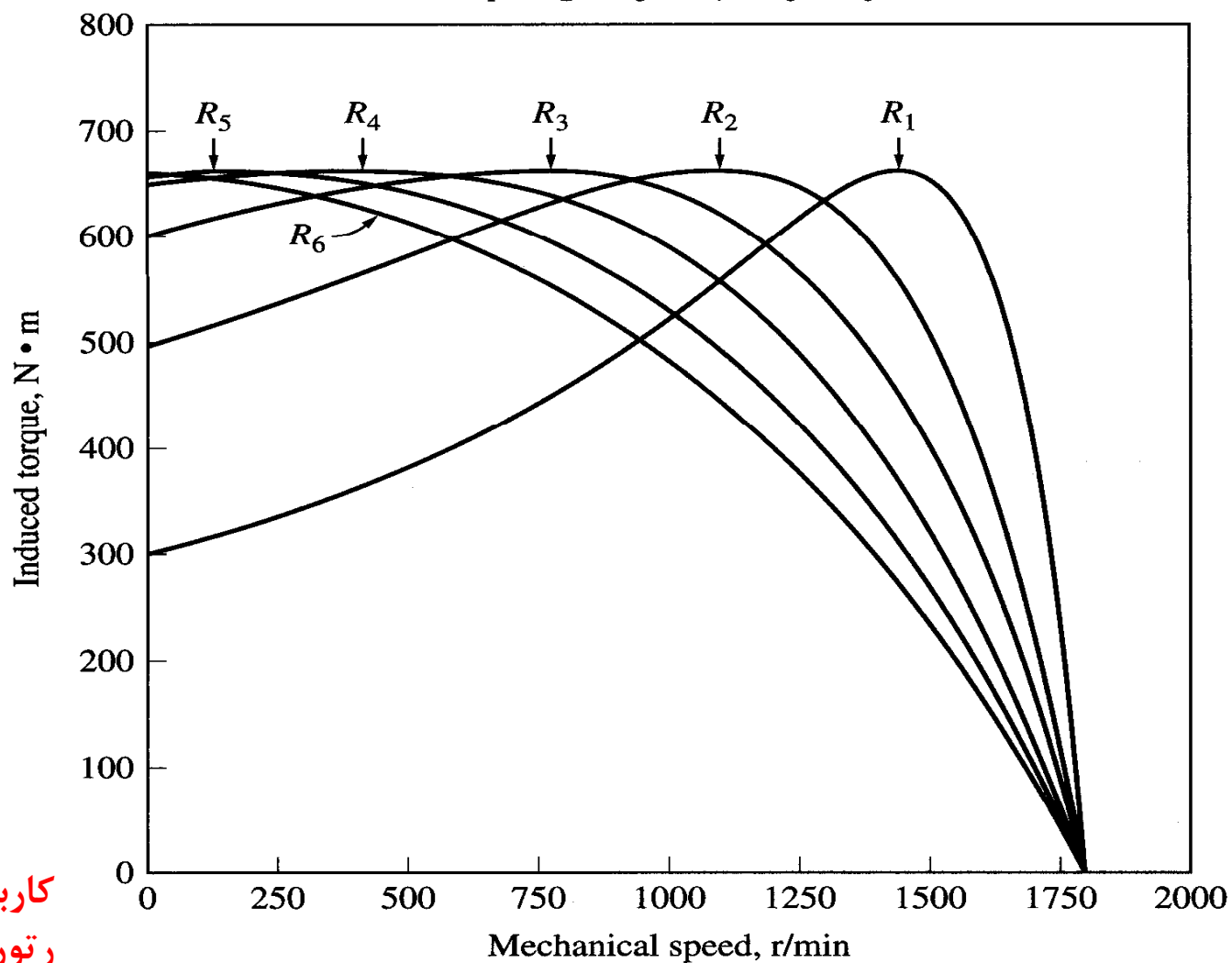
❖ مقدار گشتاور حداکثر که مستقل از مقدار مقاومت رتور است:

$$\tau_{\max} = \frac{3V_{TH}^2}{2\omega_{\text{sync}} [R_{TH} + \sqrt{(R_{TH})^2 + (X_{TH} + X_2)^2}]}$$

موتور القایی

❖ تاثیر مقاومت رتور در مشخصه گشتاور-سرعت موتور القایی

$$R_1 < R_2 < R_3 < R_4 < R_5 < R_6$$



کاربرد در موتور های
رتور سیم پیچی شده

Example

A 50-Hz, 2 Poles induction motor supplies 15kW to a load at a speed of 2950 rpm.

1. What is the motor's slip?
2. What is the induced torque in the motor in N.m under these conditions?
3. What will be the operating speed of the motor if its torque is doubled?
4. How much power will be supplied by the motor when the torque is doubled?

Solution

1.
$$n_{sync} = \frac{120 f_e}{P} = \frac{120 \times 50}{2} = 3000 \text{ rpm}$$

$$s = \frac{n_{sync} - n_m}{n_{sync}} = \frac{3000 - 2950}{3000} = 0.0167 \text{ or } 1.67\%$$

2.

\therefore no P_{f+W} given

\therefore assume $P_{conv} = P_{load}$ and $\tau_{ind} = \tau_{load}$

$$\tau_{ind} = \frac{P_{conv}}{\omega_m} = \frac{15 \times 10^3}{2950 \times \frac{2\pi}{60}} = 48.6 \text{ N.m}$$

Solution

3. In the low-slip region, the torque-speed curve is linear and the induced torque is direct proportional to slip. So, if the torque is doubled the new slip will be 3.33% and the motor speed will be

$$n_m = (1 - s)n_{sync} = (1 - 0.0333) \times 3000 = 2900 \text{ rpm}$$

4.

$$\begin{aligned} P_{conv} &= \tau_{ind} \omega_m \\ &= (2 \times 48.6) \times (2900 \times \frac{2\pi}{60}) = 29.5 \text{ kW} \end{aligned}$$

Example

A 460-V, 25-hp, 60-Hz, four-pole, Y-connected wound-rotor induction motor has the following impedances in ohms per phase referred to the stator circuit

$$R_1 = 0.641 \, \Omega \quad R_2 = 0.332 \, \Omega$$

$$X_1 = 1.106 \, \Omega \quad X_2 = 0.464 \, \Omega \quad X_M = 26.3 \, \Omega$$

1. What is the maximum torque of this motor? At what speed and slip does it occur?
2. What is the starting torque of this motor?
3. If the rotor resistance is doubled, what is the speed at which the maximum torque now occur? What is the new starting torque of the motor?

Solution

$$V_{TH} = V_{\phi} \frac{X_M}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_M)^2}}$$
$$= \frac{\frac{460}{\sqrt{3}} \times 26.3}{\sqrt{(0.641)^2 + (1.106 + 26.3)^2}} = 255.2 \text{ V}$$

$$R_{TH} \approx R_1 \left(\frac{X_M}{X_1 + X_M} \right)^2$$
$$\approx (0.641) \left(\frac{26.3}{1.106 + 26.3} \right)^2 = 0.590 \Omega$$

$$X_{TH} \approx X_1 = 1.106 \Omega$$

Solution

$$\begin{aligned} 1. \quad s_{T_{\max}} &= \frac{R_2}{\sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X_2)^2}} \\ &= \frac{0.332}{\sqrt{(0.590)^2 + (1.106 + 0.464)^2}} = 0.198 \end{aligned}$$

The corresponding speed is:

$$n_m = (1 - s)n_{sync} = (1 - 0.198) \times 1800 = 1444 \text{ rpm}$$

Solution

The torque at this speed is

$$\begin{aligned}
 \tau_{\max} &= \frac{1}{2\omega_s} \left(\frac{3V_{TH}^2}{R_{TH} + \sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X_2)^2}} \right) \\
 &= \frac{3 \times (255.2)^2}{2 \times (1800 \times \frac{2\pi}{60}) [0.590 + \sqrt{(0.590)^2 + (1.106 + 0.464)^2}] } \\
 &= 229 \text{ N.m}
 \end{aligned}$$

Solution

2. The starting torque can be found from the torque eqn. by substituting $s = 1$

$$\begin{aligned}
 \tau_{start} = \tau_{ind} \Big|_{s=1} &= \frac{1}{\omega_s} \frac{3V_{TH}^2 \left(\frac{R_2}{s} \right)}{\left(R_{TH} + \frac{R_2}{s} \right)^2 + (X_{TH} + X_2)^2} \Big|_{s=1} \\
 &= \frac{3V_{TH}^2 R_2}{\omega_s [(R_{TH} + R_2)^2 + (X_{TH} + X_2)^2]} \\
 &= \frac{3 \times (255.2)^2 \times (0.332)}{1800 \times \frac{2\pi}{60} \times [(0.590 + 0.332)^2 + (1.106 + 0.464)^2]} \\
 &= 104 \text{ N.m}
 \end{aligned}$$

Solution

3. If the rotor resistance is doubled, then the slip at maximum torque doubles too

$$s_{T_{\max}} = \frac{R_2}{\sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X_2)^2}} = 0.396$$

The corresponding speed is

$$n_m = (1 - s)n_{sync} = (1 - 0.396) \times 1800 = 1087 \text{ rpm}$$

The maximum torque is still

$$\tau_{max} = 229 \text{ N.m}$$

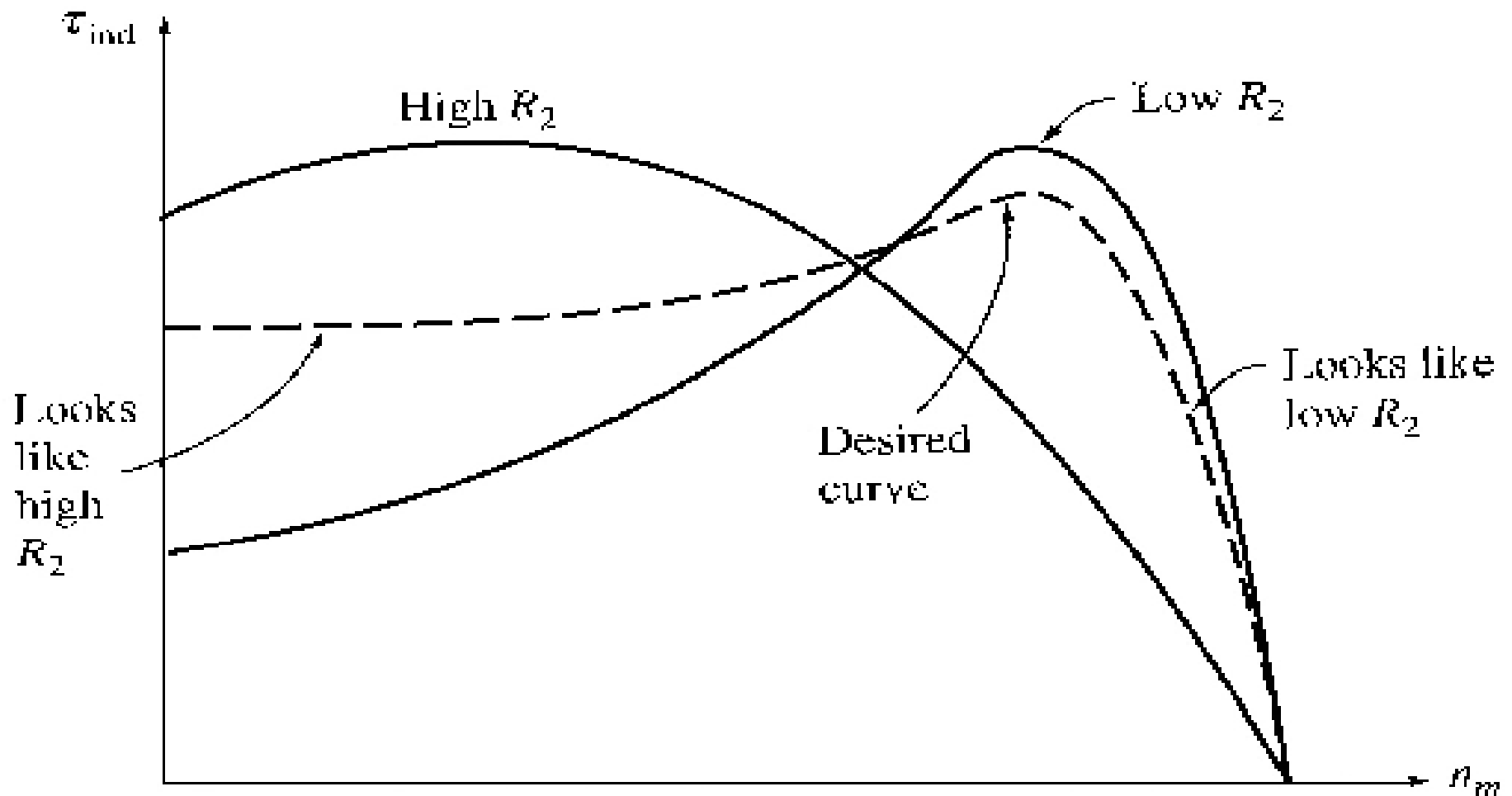
Solution

The starting torque is now

$$\begin{aligned}\tau_{start} &= \frac{3 \times (255.2)^2 \times (0.664)}{1800 \times \frac{2\pi}{60} \times [(0.590 + 0.664)^2 + (1.106 + 0.464)^2]} \\ &= 170 \text{ N.m}\end{aligned}$$

موتور القایی

❖ مشخصه گشتاور – سرعت مطلوب برای موتور القایی



مقاومت رتور کوچک

- ✓ گشتاور راه اندازی کوچک
- ✓ جریان راه اندازی بزرگ
- ✓ لغزش نامی کم
- ✓ بازده زیاد

مقاومت رتور بزرگ

- ✓ گشتاور راه اندازی بزرگ
- ✓ جریان راه اندازی کم
- ✓ لغزش نامی زیاد
- ✓ بازده کم

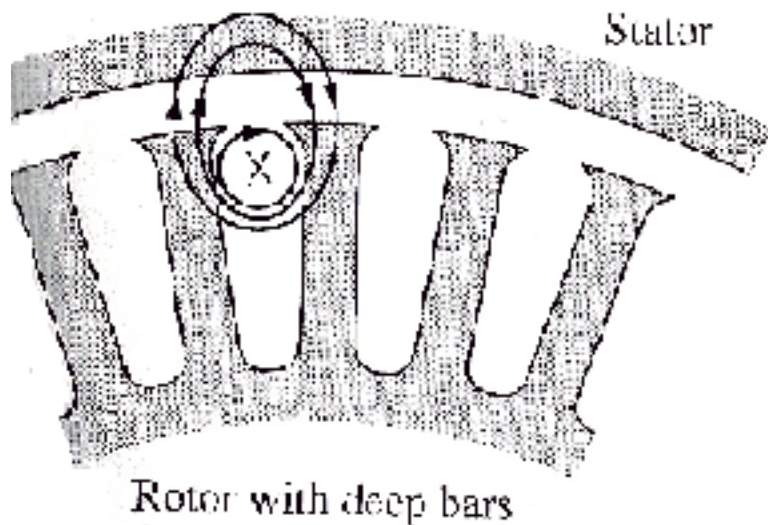
استفاده از موتور القایی رتور سیم پیچی شده و تغییر
مقاومت رتور در راه اندازی و بار نامی

گرانی و تعمیر و نگهداری زیاد موتور القایی رتور سیم پیچی

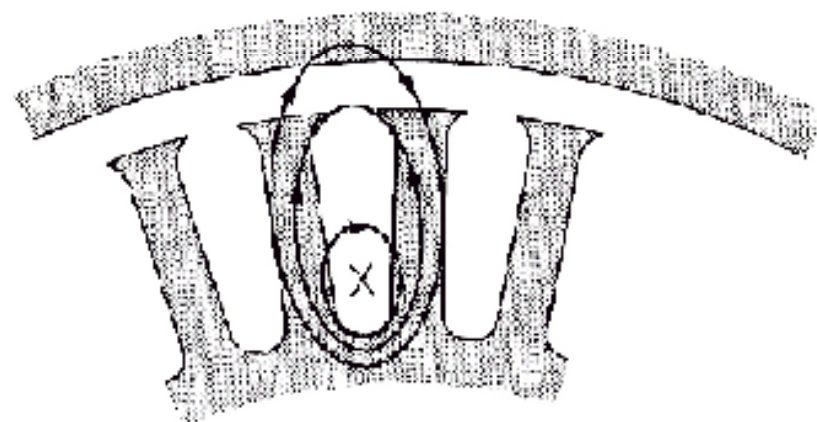
استفاده از تغییر امپدانس رتور موتور قفسی برای دستیابی
به مشخصه مطلوب

موتور القای

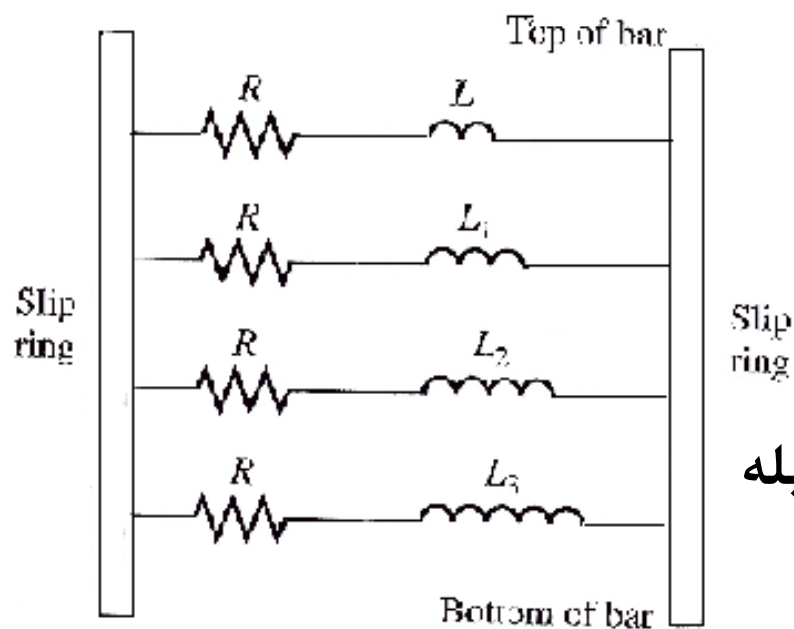
❖ شکل شیارهای رتور



L کوچک



L بزرگ

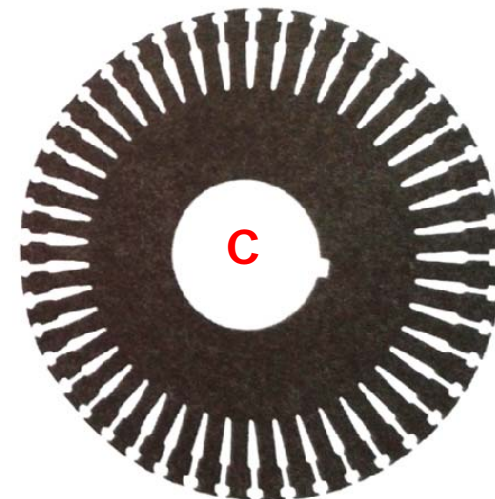
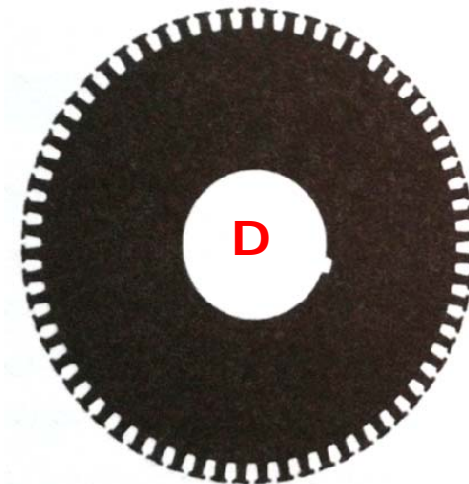
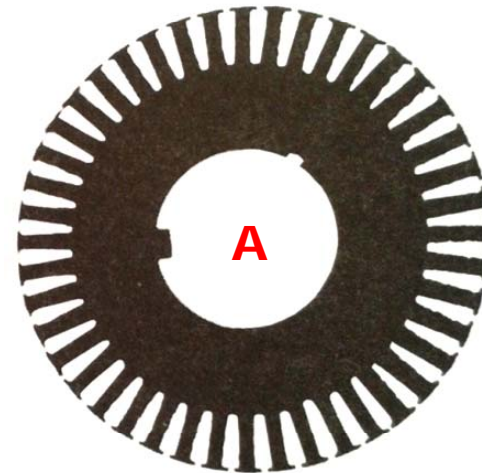
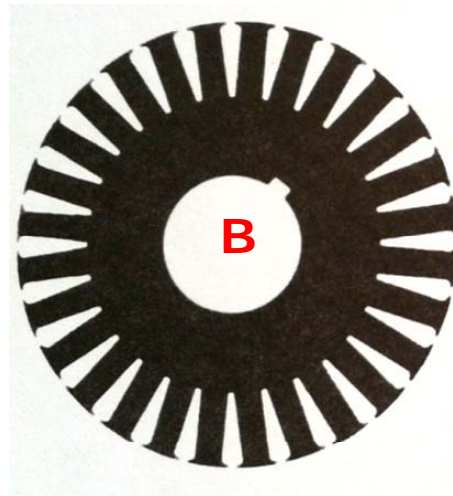


مدار معادل هر میله

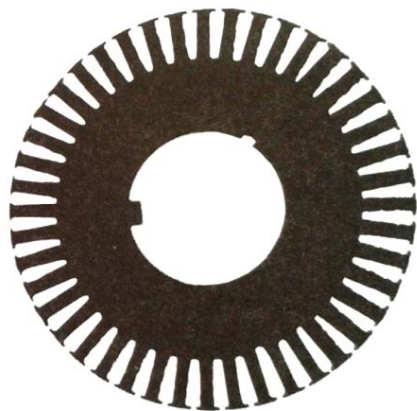
اثر پوستی رتور

موتور القای

❖ کلاسهای طراحی موتور القای



موتور القایی



❖ کلاسهای طراحی موتور القایی

❖ کلاس A:

❖ موتورهای استاندارد هستند که گشتاور راه اندازی عادی، جریان راه اندازی معمولی و لغزش کم (کمتر از ۵٪ در بار نامی) دارند.

❖ گشتاور شکست ۲۰۰ تا ۳۰۰ درصد گشتاور بار کامل دارند که در لغزش کمتر از ۲۰٪ اتفاق می افتد.

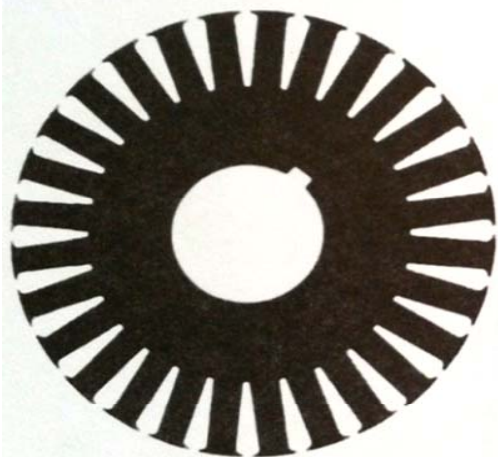
❖ گشتاور راه اندازی ۱۰۰ تا ۲۰۰٪ گشتاور بار کامل است.

❖ جریان راه اندازی ۵۰۰ تا ۸۰۰٪ جریان نامی است.

❖ در موتورهای بزرگتر از ۷/۵ اسب بخار باید در راه اندازی ولتاژ کاهش یابد تا برای سیستم قدرت تغذیه کننده موتور مساله افت ولتاژ پیش نیاید.

❖ کاربرد این موتورها در پنکه ها، دمنده ها، پمپ ها، ماشین های تراش و دیگر ماشین های ابزار است.

موتور القایی

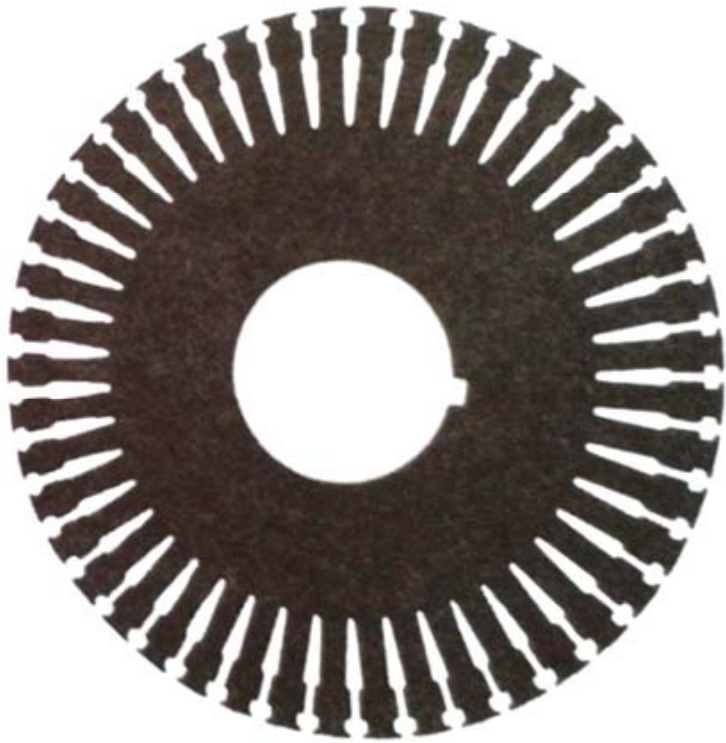


❖ کلاسهای طراحی موتور القایی

❖ کلاس B:

- ❖ موتور هایی با گشتاور راه اندازی عادی، جریان راه اندازی کم و لغزش کم (کمتر از ۵٪) هستند.
- ❖ گشتاور شکست بیش از ۲۰۰ درصد گشتاور بار کامل دارند که به علت افزایش راکتانس رتور، کمتر از گشتاور شکست کلاس A است
- ❖ گشتاور راه اندازی ۱۰۰ تا ۲۰۰٪ گشتاور بار کامل است (در حدود گشتاور موتورهای کلاس A).
- ❖ جریان راه اندازی حدود ۲۵٪ کمتر از کلاس A است.
- ❖ به علت جریان راه اندازی کمتر، این موتورها نسبت به موتورهای کلاس A ترجیح داده می شوند.

موتور القایی



❖ کلاسهای طراحی موتور القایی

❖ کلاس C:

❖ گشتاور راه اندازی بزرگ (۲۵۰٪ گشتاور بار کامل) دارند.

❖ جریان راه اندازی کوچک دارند

❖ لغزش بار کاملشان کمتر از ۵٪ است.

❖ گشتاور شکست آنها از گشتاور شکست موتورهای کلاس A کوچک تر است.

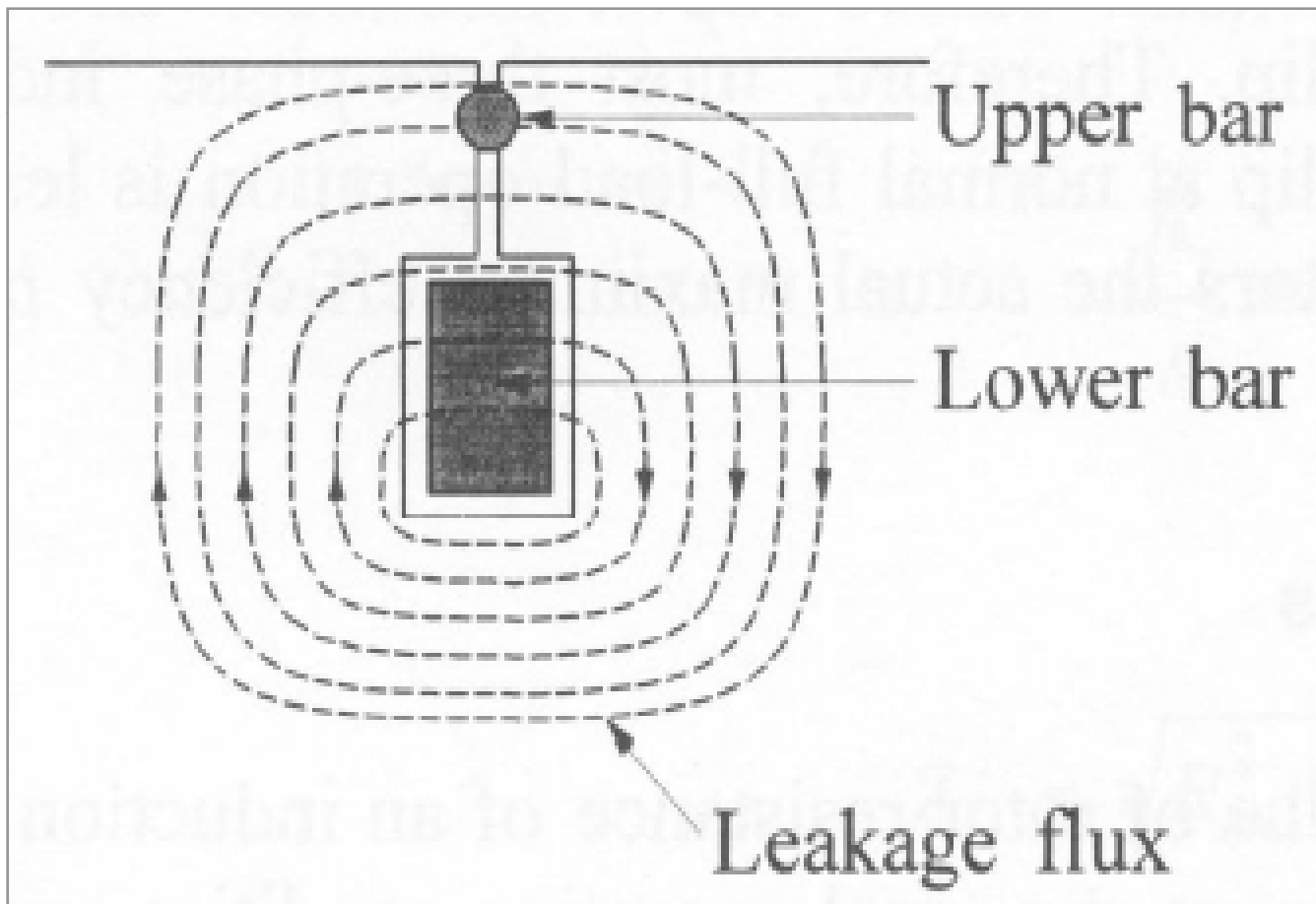
❖ رتورشان به صورت **دوقفسی** ساخته می شود. بنابراین از موتورهای کلاس A و B گرانتترند.

❖ برای بارهایی که گشتاور راه اندازی بزرگی می خواهند، مثل پمپ های تحت بار، کمپرسورها و نقاله ها بکار می روند.

موتور القایی

❖ رتور دو قفسی

قفس بیرونی: سطح
مقطع کم، مقاومت
زیاد و اندوکتانس
نشتی کم



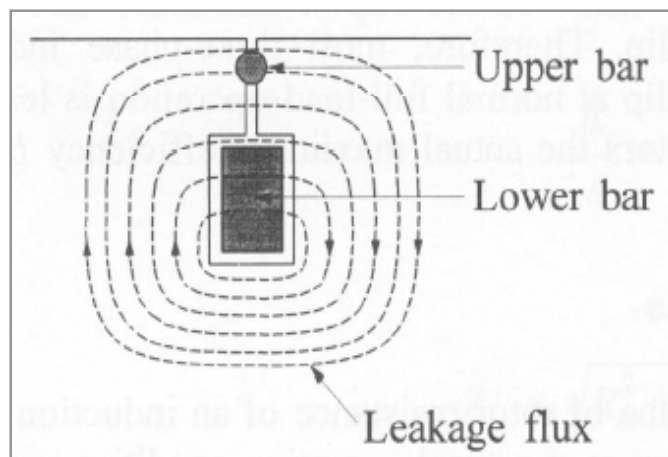
قفس درونی: سطح
مقطع زیاد، مقاومت
کم و اندوکتانس نشتی
زیاد

موتور القایی

❖ رتور دو قفسی

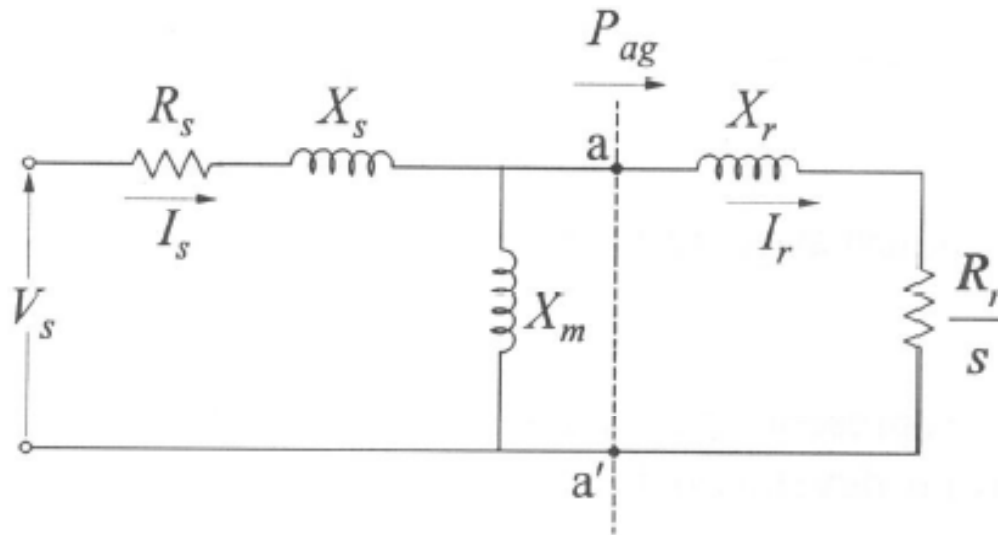
❖ در راه اندازی فرکانس رتور زیاد است و جریان خیلی کمی در میله های داخلی جاری می شود. مقاومت موثر رتور مقاومت زیاد قفس بیرونی خواهد بود.

❖ در عملکرد با لغزش کم، هر دو قفس موثرند و مقاومت معادل کمتر می شود.



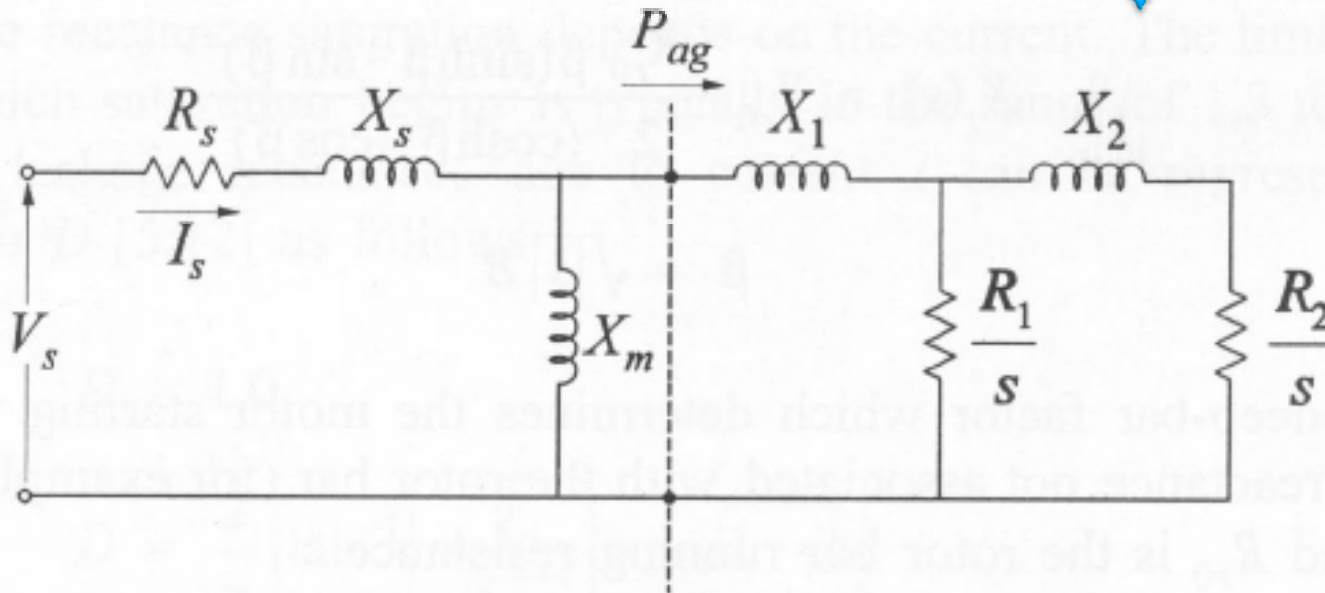
موتور القای

❖ رتور دو قفسی

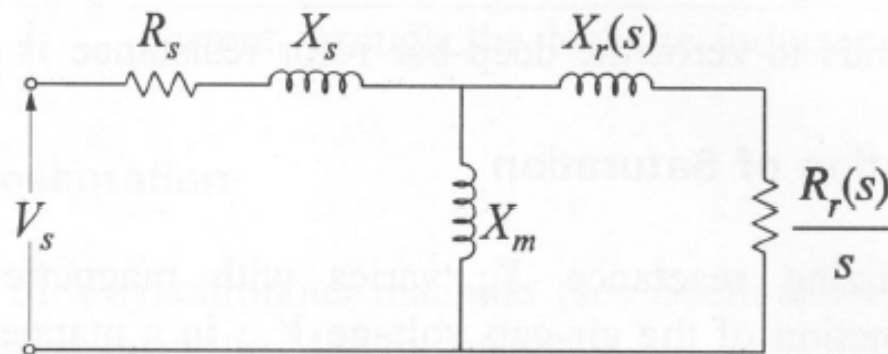
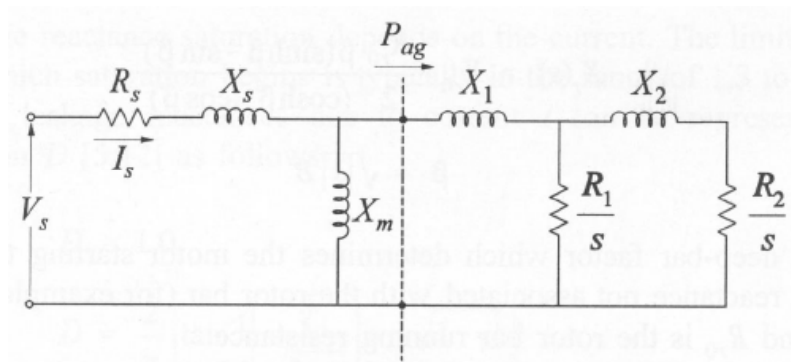


◀ مدار معادل رتور معمولی

▼ مدار معادل رتور دو قفسی



موتور القای



در مطالعات لازم است مدار معادل
به شکل تک قفسی رسم شود:

$$R_r(s) = R_{r0} \frac{m^2 + ms^2 \left(\frac{R_1}{R_{r0}} \right)}{m^2 + s^2}$$

$$X_r(s) = X_1 + \frac{R_{r0} \left(\frac{mR_1}{R_2} \right)}{m^2 + s^2}$$

where,

$$R_{r0} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$m = \frac{R_1 + R_2}{X_2}$$

موتور القایی

❖ کلاسهای طراحی موتور القایی

❖ کلاس D:

❖ گشتاور راه اندازی بسیار بزرگ (بیش از ۲۷۵٪ گشتاور بار کامل) دارند.

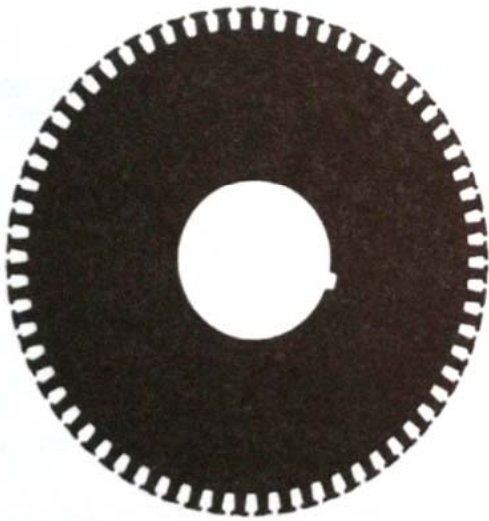
❖ جریان راه اندازی کوچک دارند

❖ لغزش بار کاملشان بزرگ است. معمولاً ۷ تا ۱۱٪ است ولی می تواند به ۱۷٪ یا بیشتر نیز برسد.

❖ همان موتورهای کلاس A هستند که میله های رتورشان کوچک تر و از ماده ای با مقاومت رتور بزرگتر ساخته شده اند.

❖ گشتاور حداکثر در سرعت های بسیار پایین رخ می دهد. حتی می توان کاری کرد که در سرعت صفر رخ دهد.

❖ در کاربردهایی استفاده می شود که بارهای با لختی بسیار زیاد باید شتاب پیدا کنند. مثل چرخ طیارهای بزرگی که در ماشینهای منگنه و برش بکار می روند.



موتور القایی

❖ کلاسهای طراحی موتور القایی

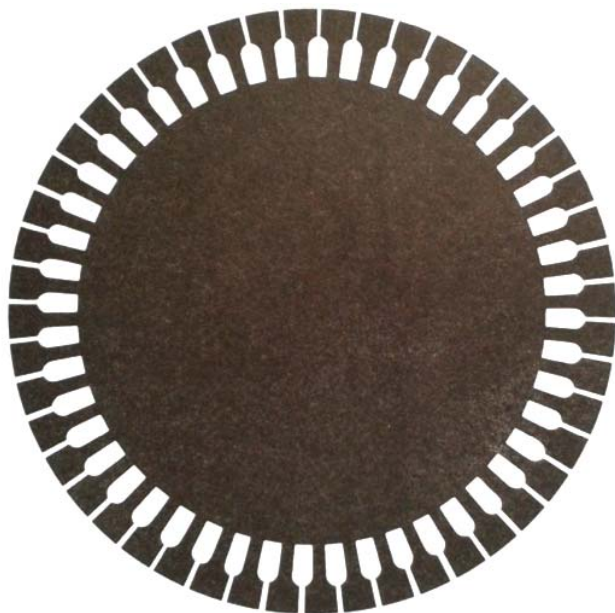
❖ کلاسهای E و F:

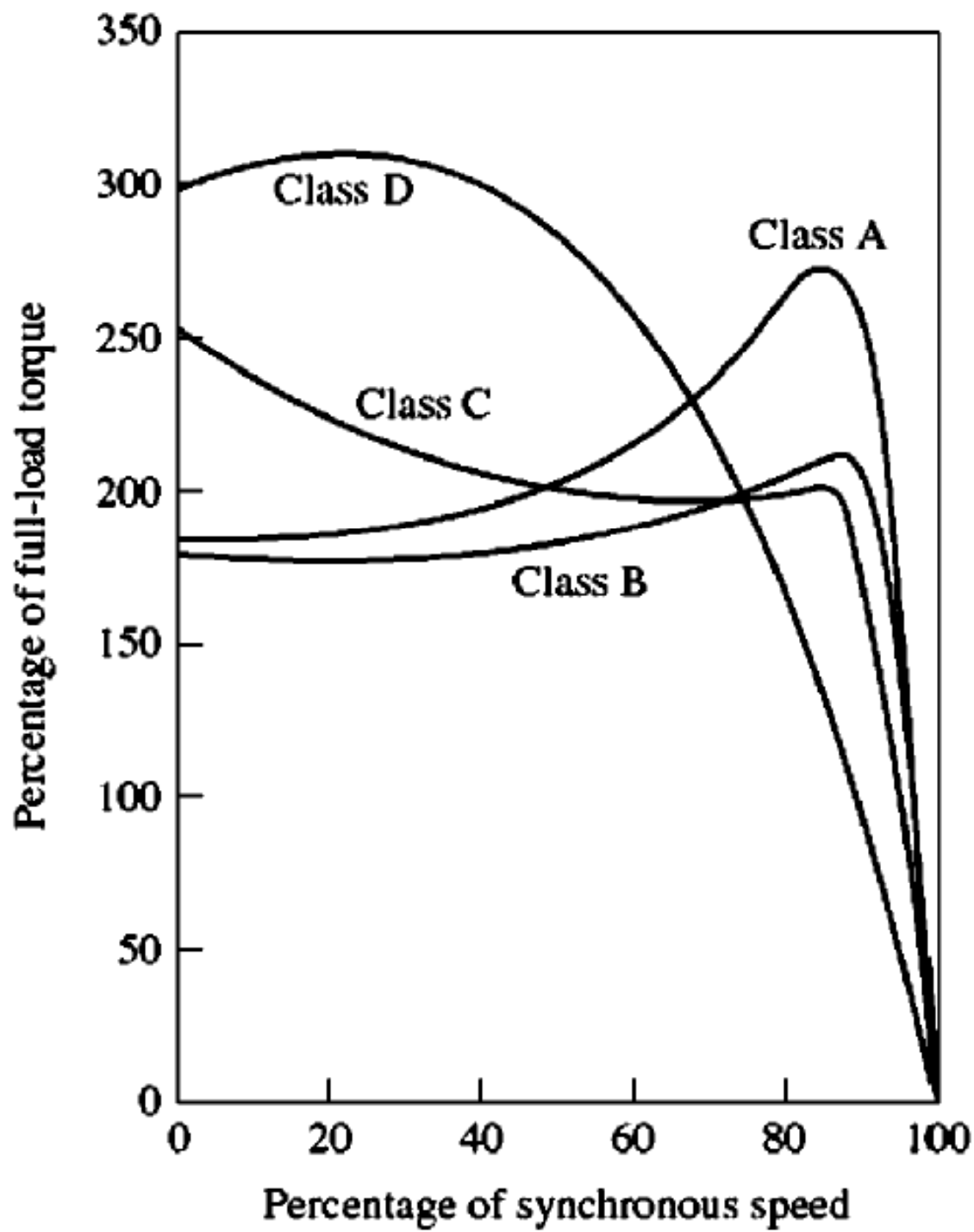
❖ به این موتورها، موتورهای القایی با راه اندازی نرم گفته می شود.

❖ وجه ممیزه این طرح ها داشتن جریان راه اندازی بسیار کم بود.

❖ در جاهایی بکار می رفتند که گشتاور راه اندازی کوچک لازم بود و جریان راه اندازی بزرگ مشکل می آفرید.

❖ این طرح ها در حال حاضر منسوخ شده اند.





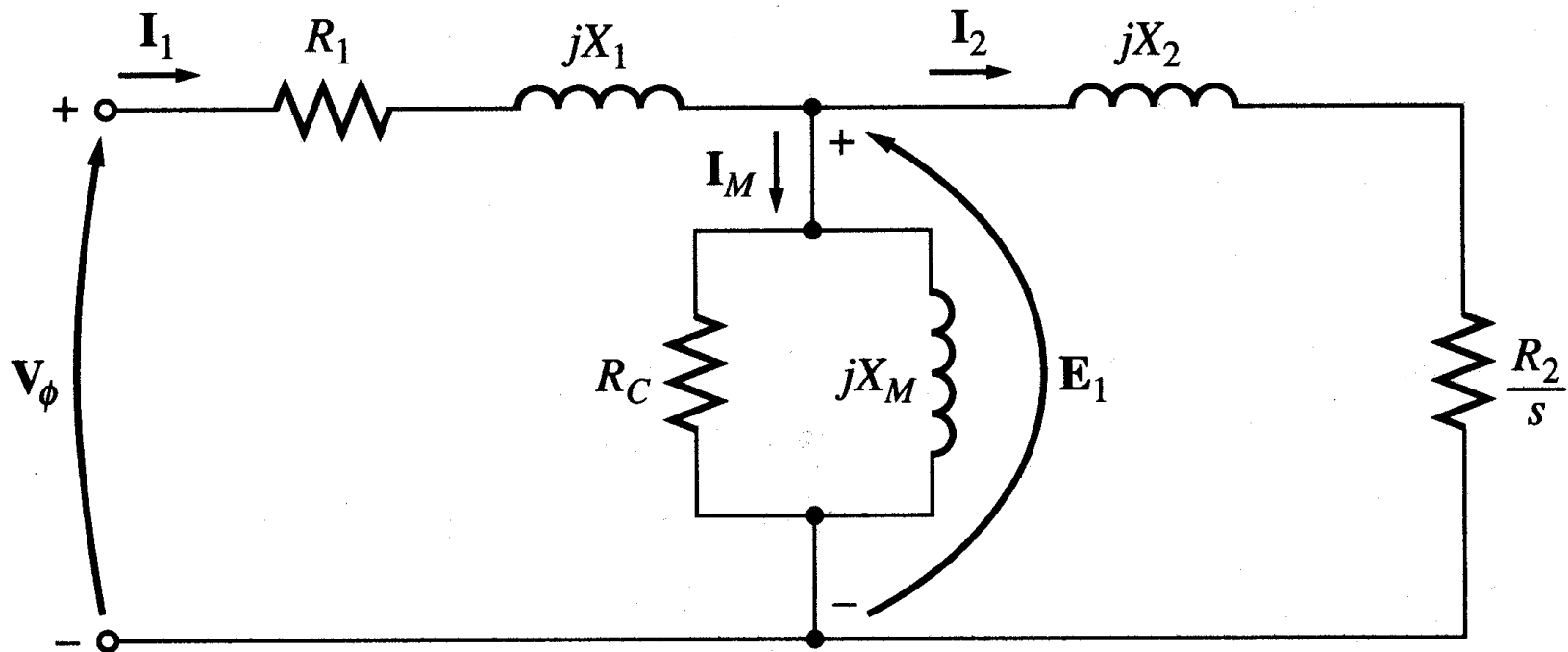
❖ کلاسهای طراحی موتور القایی

موتور القایی

❖ محاسبه پارامترهای مدار معادل

❖ آزمایشهای لازم برای استخراج پارامترهای مدار معادل، بر اساس تجهیزات مورد استفاده و سهولت انجام به روشهای کلاسیک و نوین تقسیم می شوند.

❖ روش کلاسیک بر اساس آزمایشهای بی باری، رتور قفل و تست DC بر اساس استاندارد IEEE 112 انجام می شوند.



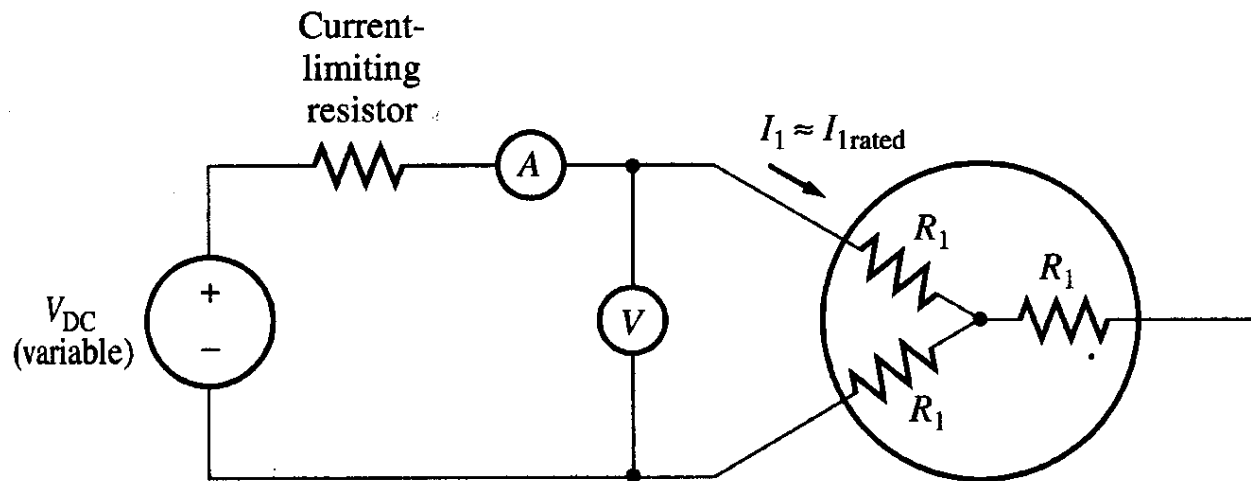
موتور القایی

❖ محاسبه پارامترهای مدار معادل: آزمایش DC

❖ برای تعیین مقاومت استاتور از این آزمایش استفاده می شود.

❖ مقدار ولتاژ منبع به نحوی تنظیم می شود که جریان سیم پیچ ها برابر جریان نامی آنها شود تا به دمای واقعی هنگام کار معمولی برسند.

❖ در مقدار مقاومت محاسبه شده از اثر پوستی صرف نظر شده است. برای تعیین مقدار دقیق مقاومت لازم است مقدار محاسبه شده، تصحیح شود.



$$R_{DC} = \frac{V_{DC}}{I_{DC}}$$

$$R_1 = \frac{R_{DC}}{2}$$

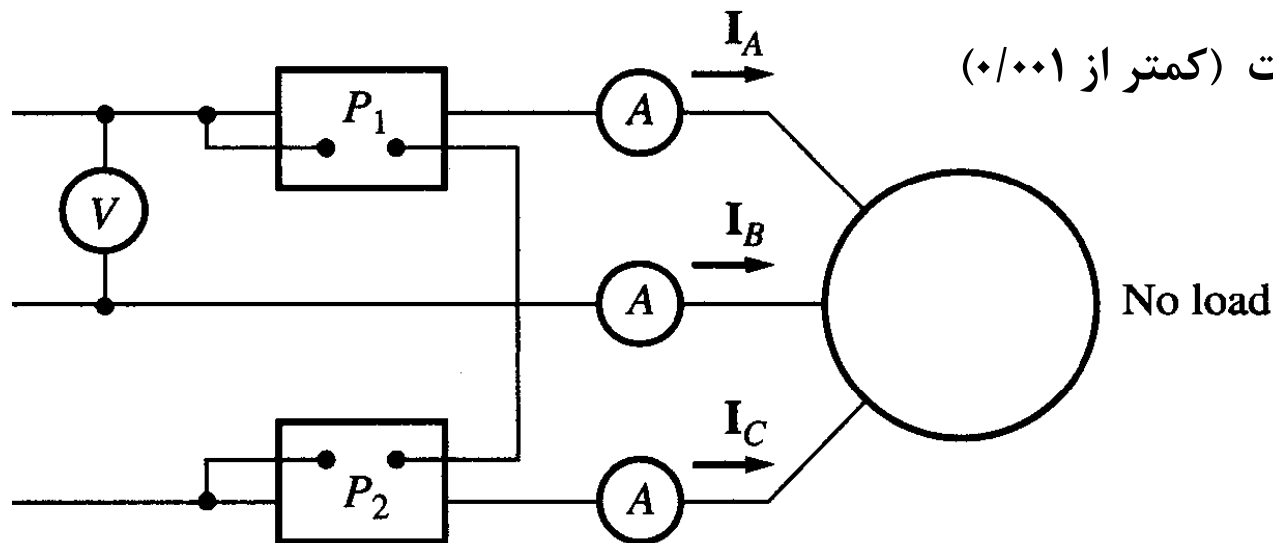
موتور القایی

❖ محاسبه پارامترهای مدار معادل: آزمایش بی باری

❖ این آزمایش تلفات چرخشی موتور را اندازه گیری می کند و اطلاعاتی درباره جریان مغناطیس کننده می دهد

❖ رتور رهاست تا در سرعت نامی بچرخد.

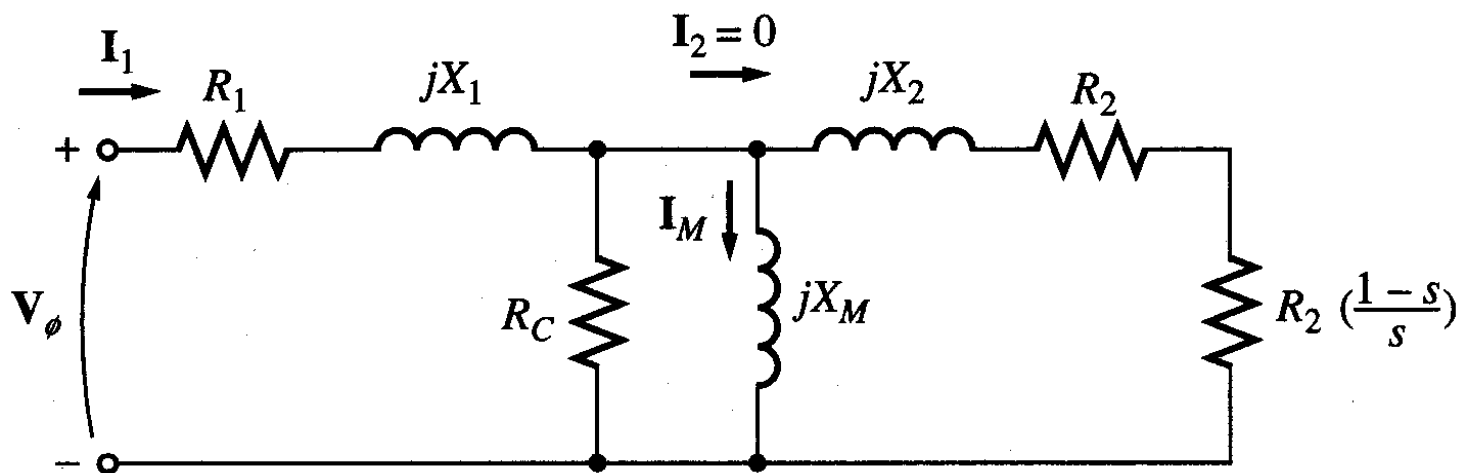
❖ تنها بار روی موتور تلفات اصطکاک و بادخوری است. بنابراین همه P_{conv} در این موتور تلفات مکانیکی است.



❖ لغزش موتور خیلی کم است (کمتر از ۰/۰۰۱)

موتور القایی

❖ محاسبه پارامترهای مدار معادل: آزمایش بی باری



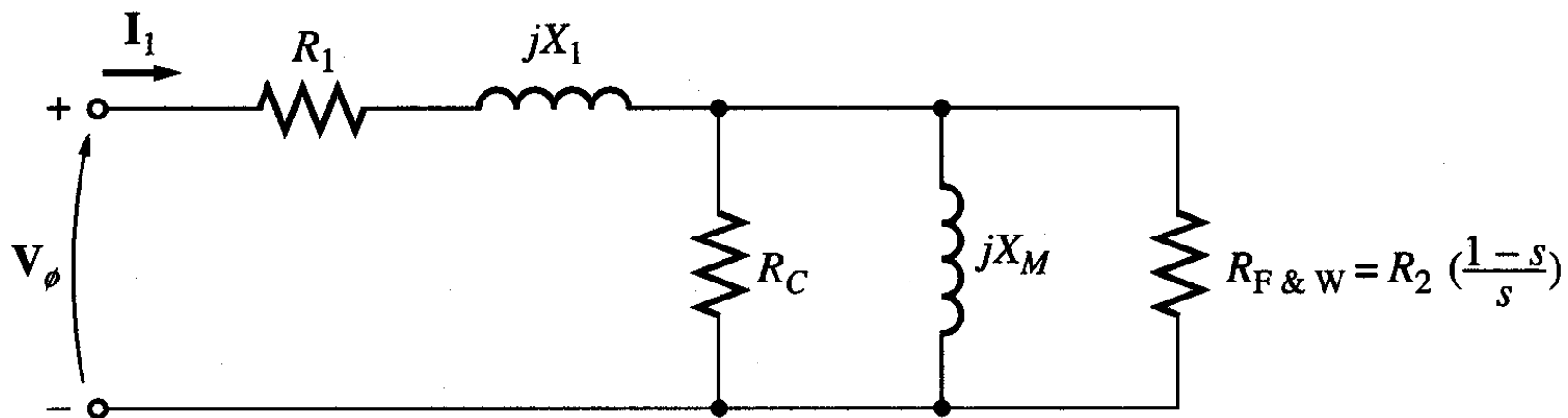
❖ در این لغزش کوچک:

$$\frac{R_2(1-s)}{s} \gg R_2$$

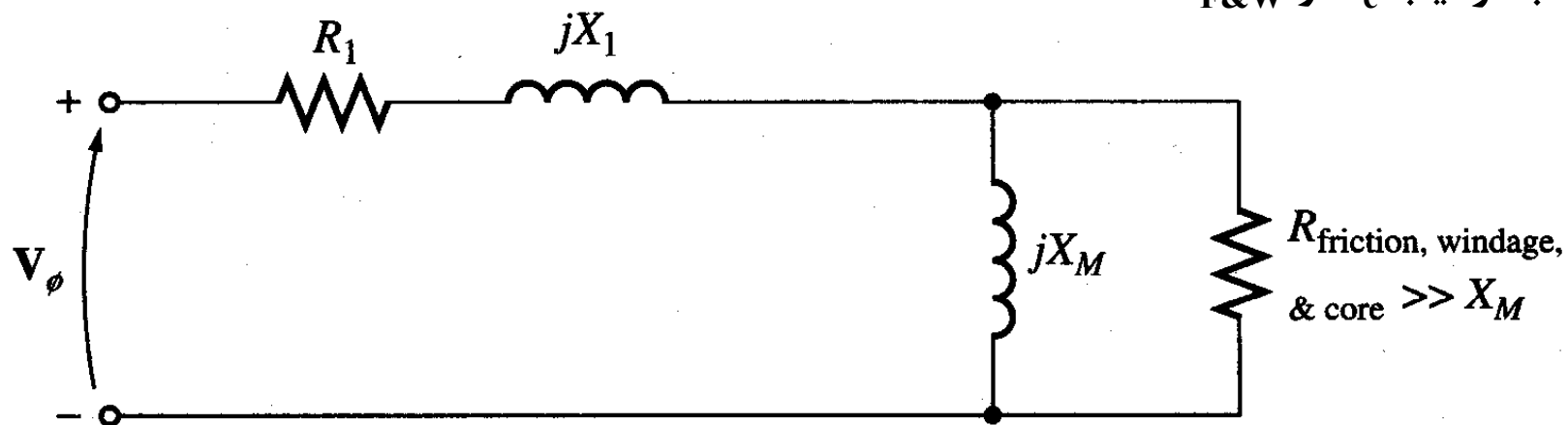
$$\frac{R_2(1-s)}{s} \gg X_2$$

موتور القایی

❖ محاسبه پارامترهای مدار معادل: آزمایش بی باری



❖ با ترکیب $R_{F \& W}$ و R_C



موتور القایی

❖ محاسبه پارامترهای مدار معادل: آزمایش بی باری

❖ توان اندازه گیری شده در حالت بی باری برابر تلفات است.

❖ تلفات مسی رتور بسیار ناچیز است زیرا جریان رتور ناچیز است (زیرا مقاومت $R_2(1-s)/s$ بسیار بزرگ است)

$$P_{SCL} = 3I_1^2 R_1$$

❖ تلفات مس استاتور:

❖ بنابراین توان اندازه گیری شده در حالت بی باری:

$$P_{in} = P_{SCL} + P_{core} + P_{F\&W} + P_{misc}$$

$$P_{in} = 3I_1^2 R_1 + P_{rot}$$

موتور القایی

❖ محاسبه پارامترهای مدار معادل: آزمایش بی باری

❖ جریان لازم برای ایجاد میدان مغناطیسی در یک موتور القایی بسیار بزرگ است و دلیل آن رلاکتانس فاصله هوایی است. بنابراین X_M خیلی کوچک تر از مقاومت موازی با آن بوده و ضریب توان ورودی کل خیلی کوچک خواهد بود.

❖ بنابراین بخش عمده افت ولتاژ در مدار، دو سر عناصر القایی است و امپدانس ورودی:

$$|Z_{eq}| = \frac{V_{\phi}}{I_{1,NL}} \approx X_1 + X_M$$

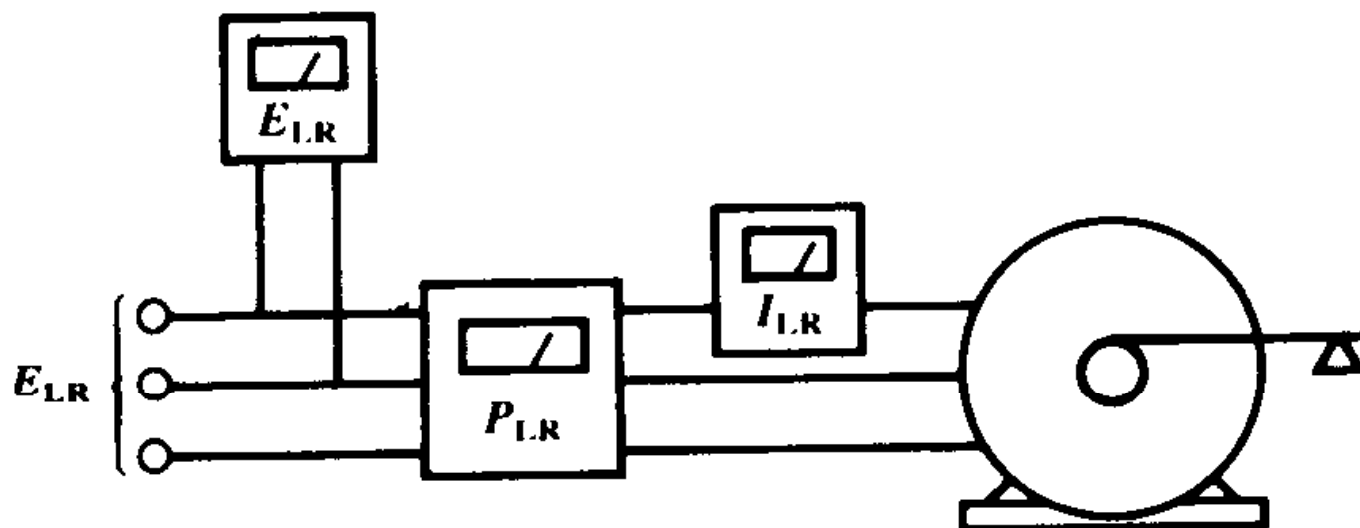
❖ اگر X_1 به نحوی تعیین شود، X_M معلوم خواهد بود.

موتور القایی

❖ محاسبه پارامترهای مدار معادل: آزمایش رتور قفل شده

❖ متناظر با آزمایش اتصال کوتاه در ترانسفورماتور است.

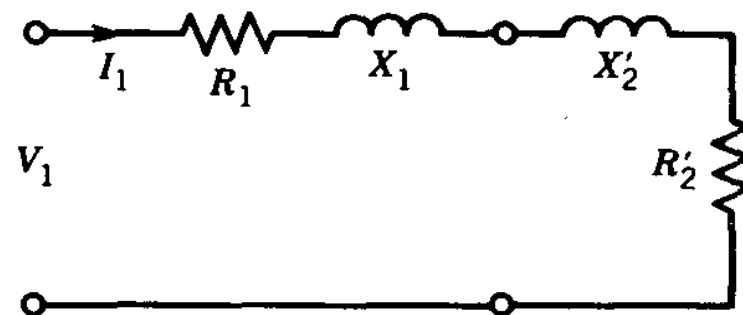
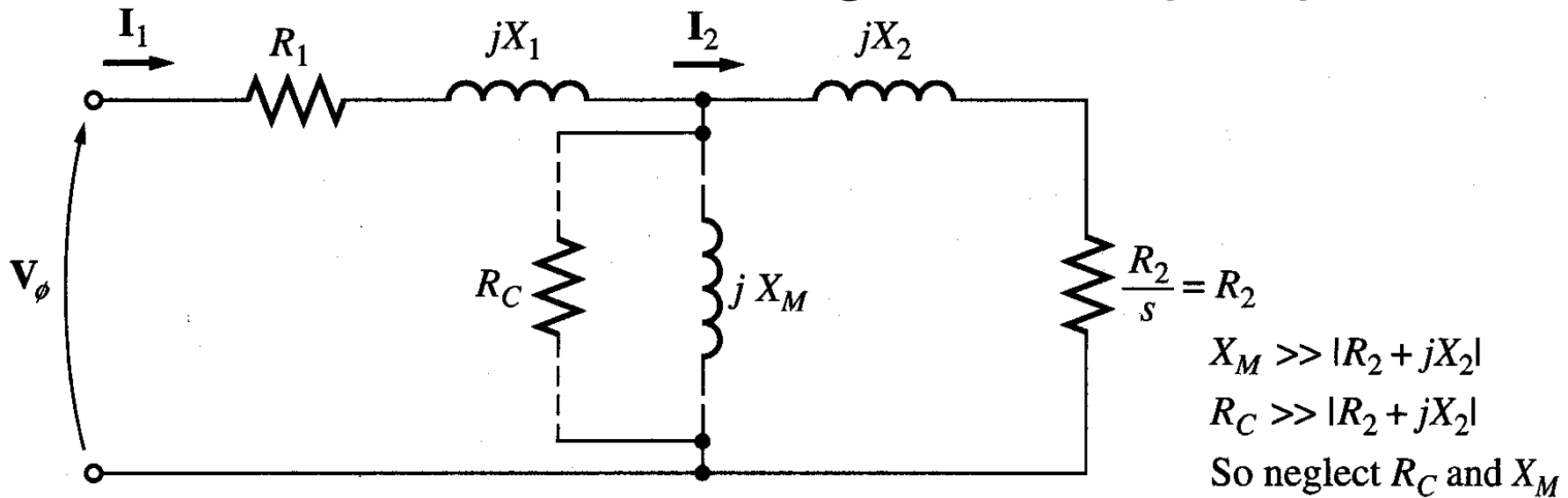
❖ رتور قفل می شود تا نتواند بچرخد و سپس ولتاژ ورودی تا جایی افزایش می یابد که جریان نامی در سیم پیچ ها جاری شود.



موتور القایی

❖ محاسبه پارامترهای مدار معادل: آزمایش رتور قفل شده

❖ مدار معادل در این آزمایش به صورت زیر در می آید:



موتور القایی

❖ محاسبه پارامترهای مدار معادل: آزمایش رتور قفل شده

❖ توان ورودی موتور:

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta$$

❖ ضریب توان در حالت رتور قفل:

$$\cos \theta = \frac{P}{\sqrt{3} V_L I_L}$$

❖ اندازه امپدانس کل در مدار موتور:

$$|Z_{LR}| = \frac{V_\phi}{I_1} = \frac{V_L}{\sqrt{3} I_1}$$

❖ امپدانس حالت رتور قفل:

$$Z_{LR} = R_{LR} + jX'_{LR} = |Z_{LR}| \cos \theta + j|Z_{LR}| \sin \theta$$

موتور القایی

❖ محاسبه پارامترهای مدار معادل: آزمایش رتور قفل شده

❖ مقاومت رتور قفل:

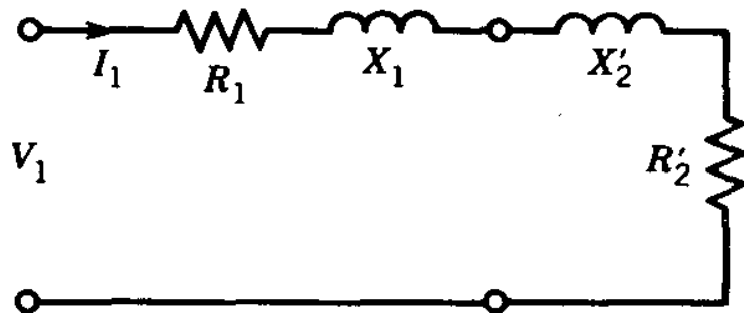
$$R_{LR} = |Z_{LR}| \cos \theta = R_1 + R_2$$

❖ راکتانس رتور قفل:

$$X'_{LR} = |Z_{LR}| \sin \theta = X'_1 + X'_2$$

راکتانس استاتور و رتور در فرکانس آزمایش

❖ مقاومت رتور:



$$R_2 = R_{LR} - R_1$$

از تست DC

موتور القایی

❖ محاسبه پارامترهای مدار معادل: آزمایش رتور قفل شده

❖ مقاومت رتور قفل:

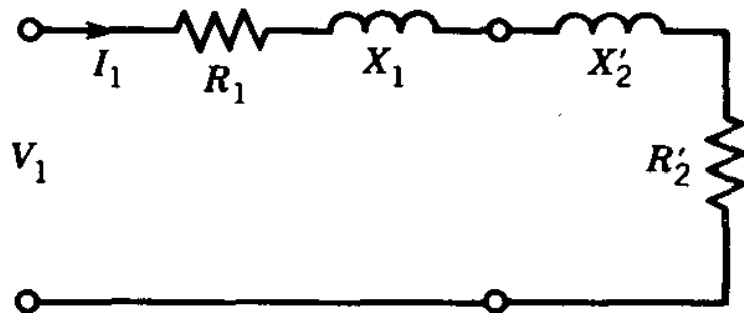
$$R_{LR} = |Z_{LR}| \cos \theta = R_1 + R_2$$

❖ راکتانس رتور قفل:

$$X'_{LR} = |Z_{LR}| \sin \theta = X'_1 + X'_2$$

راکتانس استاتور و رتور در فرکانس آزمایش

❖ مقاومت رتور:



$$R_2 = R_{LR} - R_1$$

از تست DC

موتور القایی

❖ محاسبه پارامترهای مدار معادل: مشکل آزمایش رتور قفل شده

❖ فرکانس خط در آزمایش رتور قفل، شرایط کار عادی رتور را نشان نمی دهد.

❖ در شرایط کار عادی، فرکانس استاتور برابر فرکانس سیستم تغذیه (۵۰ یا ۶۰ هرتز) است و فرکانس رتور در حدود ۱ تا ۳ هرتز است (زیرا لغزش تنها ۲ تا ۴٪ است).

❖ در شرایط رتور قفل، فرکانس استاتور و رتور برابر فرکانس سیستم تغذیه است.

❖ در موتورهای کلاس B و C که مقاومت موثر رتور به شدت تابع فرکانس است، فرکانس رتور نادرست می تواند سبب نتایج نادرست شود.

❖ در موتورهای کلاس A و D که مقاومت رتور تقریباً ثابت است؛ برای کاهش خطا می توان فرکانس تغذیه مورد استفاده را در محدوده ۲۵٪ فرکانس نامی یا کمتر تنظیم کرد.

❖ مقدار راکتانس معادل کل در فرکانس کار عادی:

$$X_{LR} = \frac{f_n}{f_{test}} X'_{LR} = X_1 + X_2$$

❖ جدا کردن X_1 و X_2 بستگی به نوع رتور دارد:

موتور القایی

❖ محاسبه پارامترهای مدار معادل: آزمایش رتور قفل شده

	X_1 and X_2 as function of X_{LR}	
Rotor Design	X_1	X_2
Wound rotor	$0.5 X_{LR}$	$0.5 X_{LR}$
Design A	$0.5 X_{LR}$	$0.5 X_{LR}$
Design B	$0.4 X_{LR}$	$0.6 X_{LR}$
Design C	$0.3 X_{LR}$	$0.7 X_{LR}$
Design D	$0.5 X_{LR}$	$0.5 X_{LR}$

Example

The following test data were taken on a 7.5-hp, four-pole, 208-V, 60-Hz, design A, Y-connected IM having a rated current of 28 A.

DC Test:

$$V_{DC} = 13.6 \text{ V}$$

$$I_{DC} = 28.0 \text{ A}$$

No-load Test:

$$V_1 = 208 \text{ V}$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$I = 8.17 \text{ A}$$

$$P_{in} = 420 \text{ W}$$

Locked-rotor Test:

$$V_1 = 25 \text{ V}$$

$$f = 15 \text{ Hz}$$

$$I = 27.9 \text{ A}$$

$$P_{in} = 920 \text{ W}$$

- 1: Sketch the per-phase equivalent circuit of this motor.
- 2: Find the slip at pull-out torque, and find the value of the pull-out torque.

Example

A no load test conducted on a 30 hp, 835 r/min, 440 V, 3-phase, 60 Hz squirrel cage induction motor yielded the following results:

- ❖ No-load voltage (line-to-line): 440 V
- ❖ No-load current: 14 A
- ❖ No-load power: 1470 W
- ❖ Resistance measured between two terminals (Y connection): 0.5Ω

The locked rotor test, conducted at reduced voltage, gave the following results:

- ❖ Locked rotor voltage (line-to-line): 163 V
- ❖ Locked rotor power: 7200 W
- ❖ Locked rotor current: 60 A

Determine the equivalent circuit of the motor.

Solution

the stator windings are connected in way, the resistance per phase is:

$$R_1 = 0.5 / 2 = 0.25 \Omega$$

From the no-load test:

$$V_1 = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} = \frac{440}{\sqrt{3}} = 254 \text{ V / Phase}$$

$$Z_{NL} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{254}{14} = 18.143 \Omega$$

$$R_{NL} = \frac{P_{NL}}{3I_1^2} = \frac{1470}{3 \times 14^2} = 2.5 \Omega$$

$$X_{NL} = \sqrt{Z_{NL}^2 - R_{NL}^2} = \sqrt{18.143^2 - 2.5^2} = 17.97$$

$$X_1 + X_m = X_{NL} = 17.97 \Omega$$

Solution

From the blocked-rotor test

$$R_{BL} = \frac{P_{BL}}{3I_1^2|_{BL}} = \frac{7200}{3 \times 60^2} = 0.6667 \Omega$$

The blocked-rotor reactance is:

$$X_{BL} = \sqrt{(Z_{BL}^2 - R_{BL}^2)} = \sqrt{1.5685^2 - 0.6667^2} = 1.42 \Omega$$

$$X_{BL} \cong X_1 + X'_2 = 1.42 \Omega$$

Assume, $X_1 = X'_2$ (at rated frequency)

Solution

$$\therefore X_1 = X'_2 = 0.71 \, \Omega$$

From no load test we know that $X_1 + X_m = X_{NL}$ and

$X_1 = 0.71 \, \Omega$, then the magnetizing reactance is :

$$X_m = X_{NL} - X_1 = 17.97 - 0.71 = 17.26 \, \Omega$$

$$R = R_{BL} - R_1 = 0.6667 - 0.25 = 0.4167 \, \Omega$$

Example

A no load test conducted on a 30 hp, 835 r/min, 440 V, 3-phase, 60 Hz squirrel cage induction motor yielded the following results:

- ❖ No-load voltage (line-to-line): 440 V
- ❖ No-load current: 14 A
- ❖ No-load power: 1470 W
- ❖ Resistance measured between two terminals (Y connection): 0.5Ω

The locked rotor test, conducted at reduced volt-age, gave the following results:

- ❖ Locked rotor voltage (line-to-line): 163 V
- ❖ Locked rotor power: 7200 W
- ❖ Locked rotor current: 60 A

Determine the equivalent circuit of the motor.

موتور القایی

مثال:

یک موتور القایی سه فاز ۱۰ اسب بخار، ۲۰۸ ولت، ۶ قطب، ۶۰ هرتز با رتور سیم پیچی شده مفروض است. نسبت تبدیل استاتور به رتور ۱ به ۵/۰ می باشد و سیم پیچی های رتور و استاتور به صورت ستاره بسته شده است.

الف) موتور را به منبع سه فاز ۲۰۸ ولتی ۶۰ هرتز متصل می کنیم و تحت سرعت ۱۱۴۰ دور در دقیقه در حالت پایدار می چرخد.
۱: لغزش را حساب کنید.

۲: ولتاژ القا شده در هر فاز رتور را حساب کنید و فرکانس ولتاژ را محاسبه نمایید.

۳: سرعت میدان گردان نسبت به رتور و استاتور حساب کنید.

ب) اگر پایانه های استاتور اتصال کوتاه و رتور به منبع ۲۰۸ ولتی ۶۰ هرتز وصل شود موتور با سرعت ۱۱۶۴ دور در دقیقه می چرخد.

۱: جهت چرخش موتور نسبت به میدان گردان را تعیین نمایید.

۲: ولتاژ القا شده در هر فاز استاتور و فرکانس این ولتاژ حساب کنید.

حل:

$$n_{\text{sync}} = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 60}{4} = 1200 \text{rpm}$$

(١- الف)

$$s = \frac{n_{\text{sync}} - n}{n_{\text{sync}}} = \frac{1200 - 1140}{1200} = 0.05$$

$$E_s = \frac{208}{\sqrt{3}} = 120 \text{V}$$

(٢- الف)

$$E_r = s \frac{N_r}{N_s} E_s = 0.05 \times 0.5 \times 1 = 3 \text{V}$$

$$f_r = 0.05 \times 60 = 3 \text{Hz}$$

موتور القای

حل:

۳- الف)

سرعت میدان گردان نسبت به روتور = $1200 - 1140 = 60\text{rpm}$

سرعت میدان گردان نسبت به استاتور = $1200 - 0 = 1200\text{rpm}$

موتور القایی

حل:

۱- ب

چون تغذیه از جانب روتور صورت گرفته است پس در جهت خلاف میدان گردان خواهد چرخید.

$$E_2' = \frac{208}{\sqrt{3}} = 120 \text{ V},$$

۲- ب

$$s = \frac{n_{\text{sync}} - n}{n_{\text{sync}}} = \frac{1200 - 1164}{1200} = 0.03$$

$$E_s' = s \frac{N_s}{N_r} E_r' = 0.03 \times \frac{1}{0.5} \times 120 = 7.2 \text{ V}$$

$$f_s = s f_r = 0.03 \times 60 = 1.8 \text{ Hz}$$