

فصل پنجم: ماشینهای القایی

تفاوت ماشین سنکرون با ماشین القایی

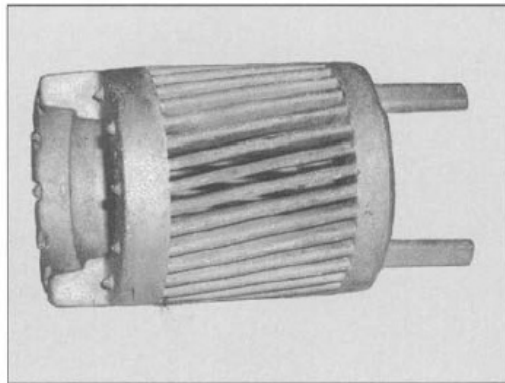
❖ استاتور دو ماشین مشابه است.

❖ روی رتور ماشین القایی سیم پیچی تحریک تغذیه شده (آهنربای دائم یا الکتریکی) وجود ندارد. بلکه رتور فقط سیم پیچی میرا کننده ای دارد که در آن ولتاژ القا می شود.

❖ مثل ماشین های سنکرون هم به صورت موتور و هم به صورت ژنراتور مورد استفاده قرار می گیرند. ولی استفاده به عنوان موتور کاربرد بیشتری دارد.

❖ موتور القایی با القای ولتاژ و جریان از استاتور (اولیه) در رتور (ثانویه) کار می کند به همین دلیل ترانسفورماتور گردان نامیده می شود. (فرق با ترانسفورماتور؟)

ساختمان موتور القایی



اجزای
ماشین القایی



رتور

- رتور قفسی یا قفس سنجابی
- رتور سیم پیچی شده



استاتور

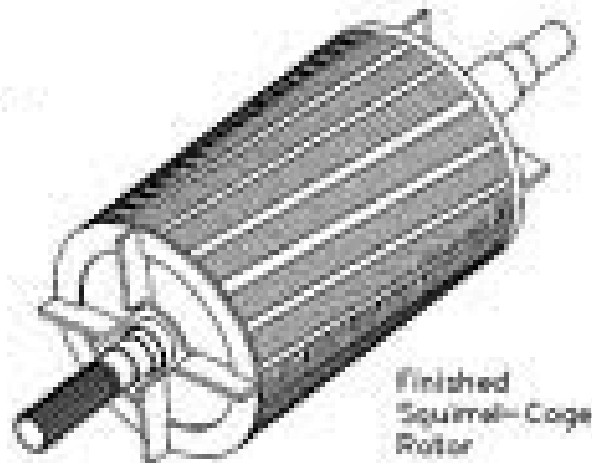
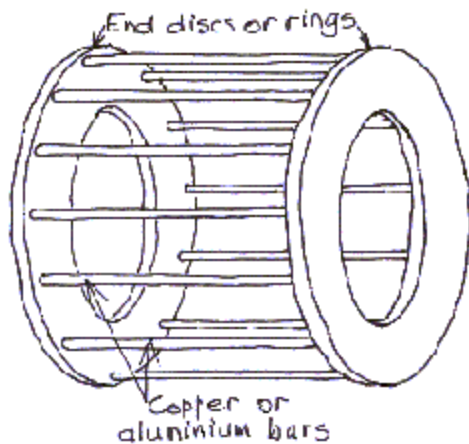
- هسته شیاردار از جنس فولاد مغناطیسی
- سیم پیچی (معمولا سه فاز)

ساختمان موتور القایی



❖ رتور قفس سنجابی

❖ یک سری میله هادی (آلومینیومی یا مسی) است که داخل شیارهای رتور قرار گرفته است و در دو طرف با حلقه های اتصال کوتاه کننده به هم متصل شده اند.





ساختمان موتور القایی

❖ رتور سیم پیچی شده

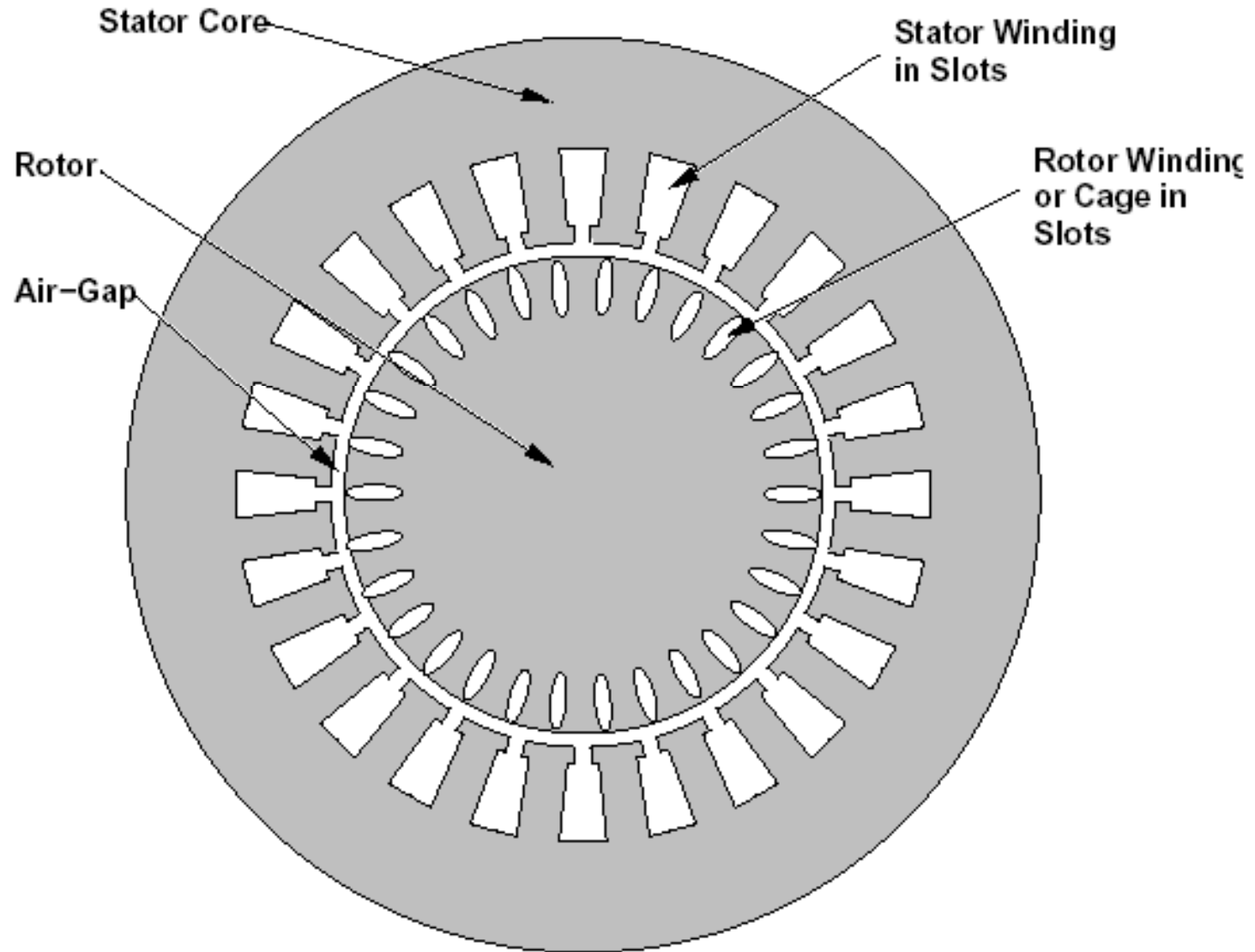
❖ یک مجموعه سیم پیچی سه فاز است که معمولا اتصال ستاره دارند.

❖ انتهای سه سیم پیچی رتور به حلقه های لغزان متصل است و توسط جاروبک های سوار بر حلقه های لغزان اتصال کوتاه می شوند.

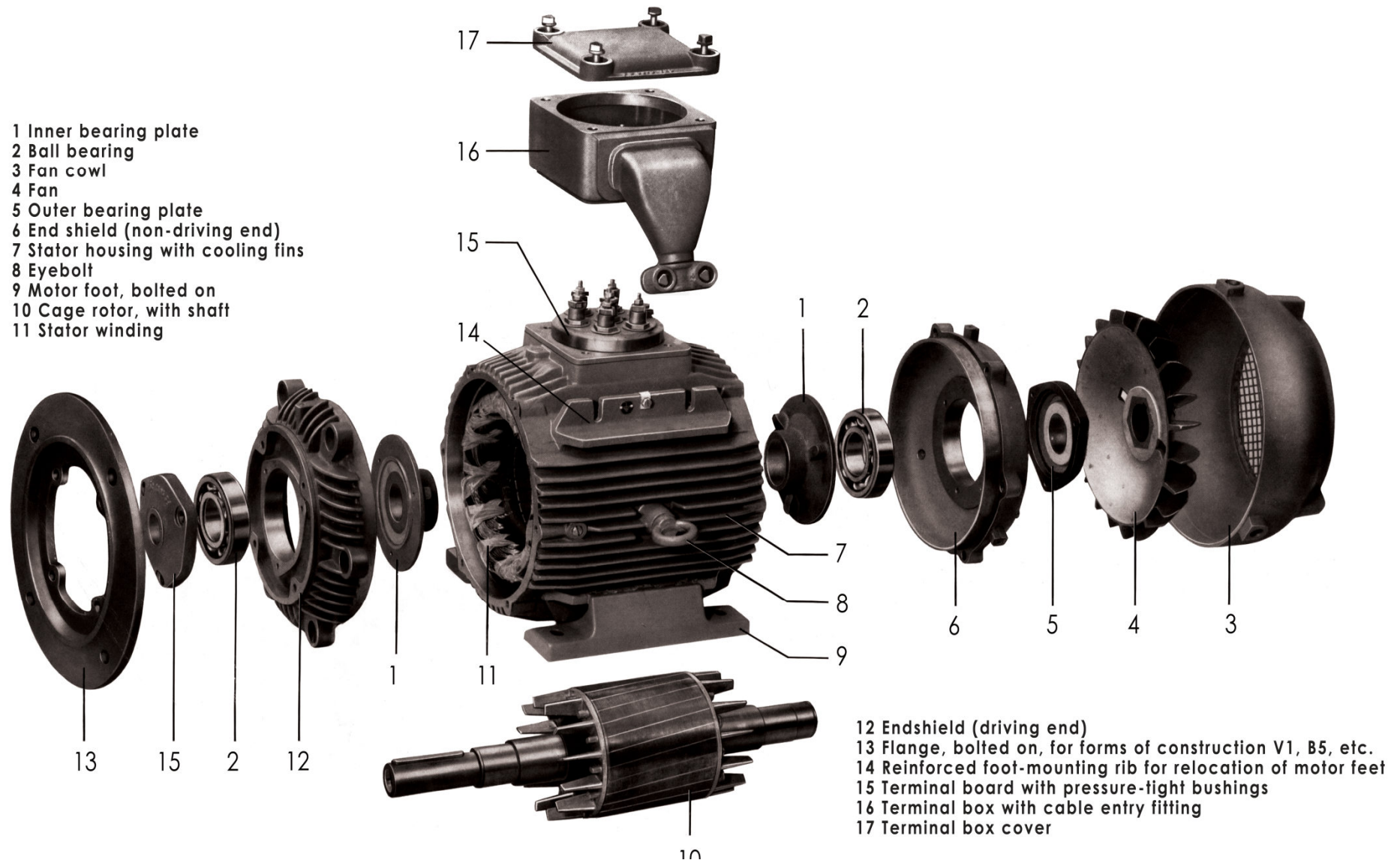
❖ جریانهای رتور از طریق حلقه های لغزان در دسترس و قابل اندازه گیری هستند.

❖ کنترل این موتور ساده تر، تعمیر و نگهداری آن سخت تر و قیمت آن گرانتر است.

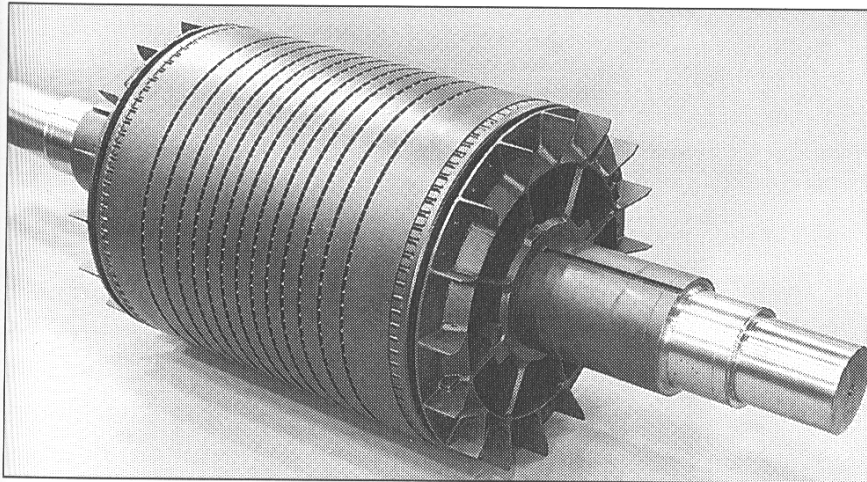
ساختمان موتور القایی



ساختمان موتور القای



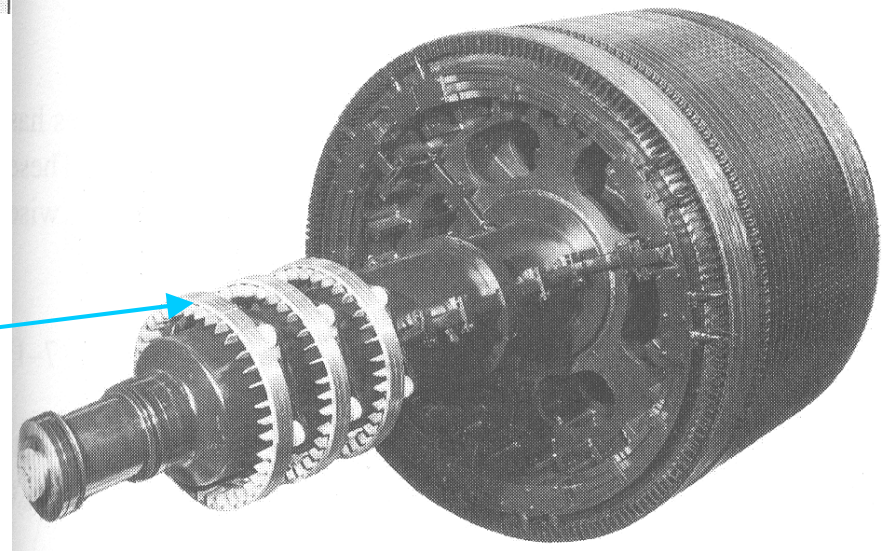
ساختمان موتور القايی



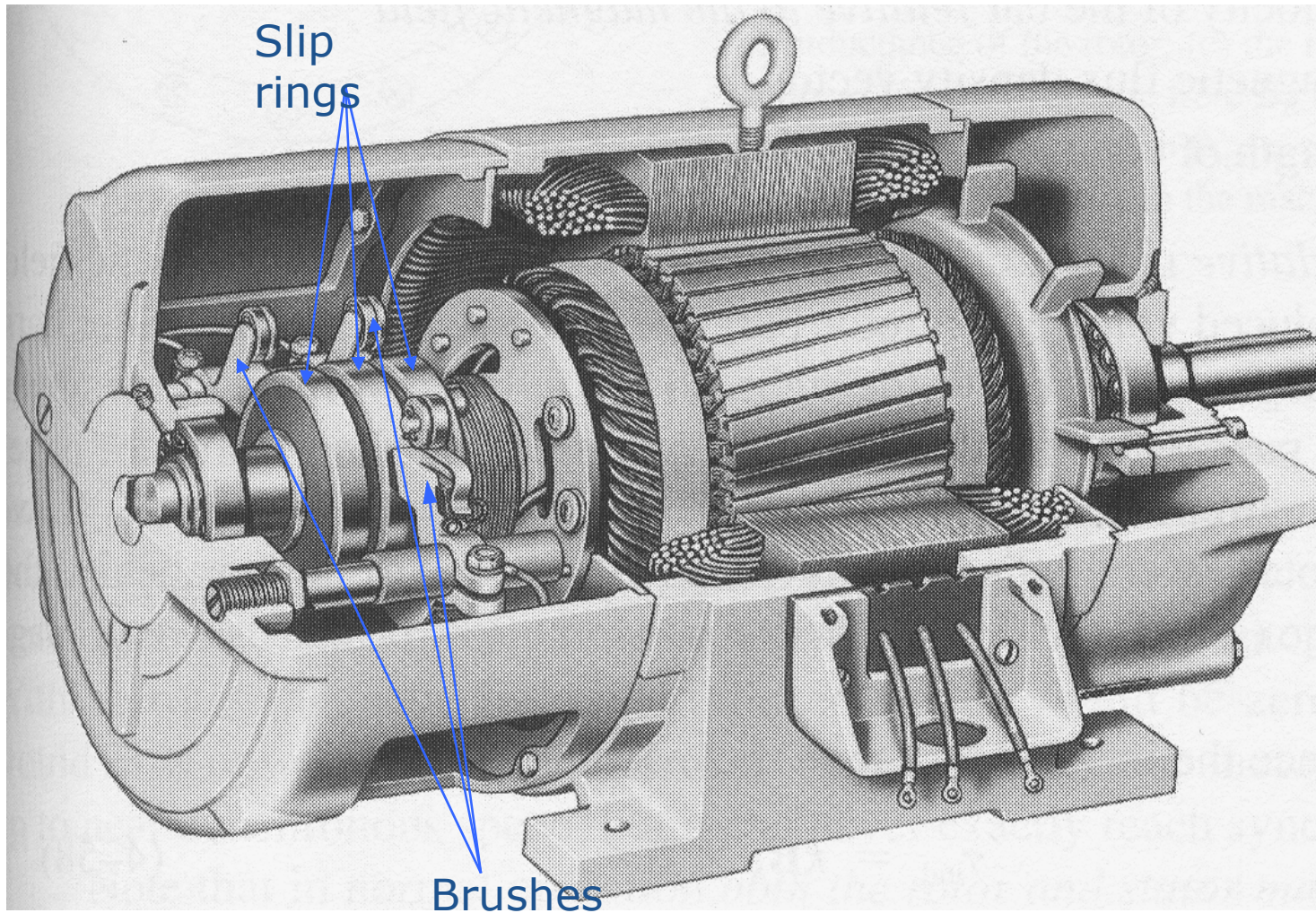
Squirrel cage rotor

Wound rotor

Notice
the slip
rings



ساختمان موتور القای



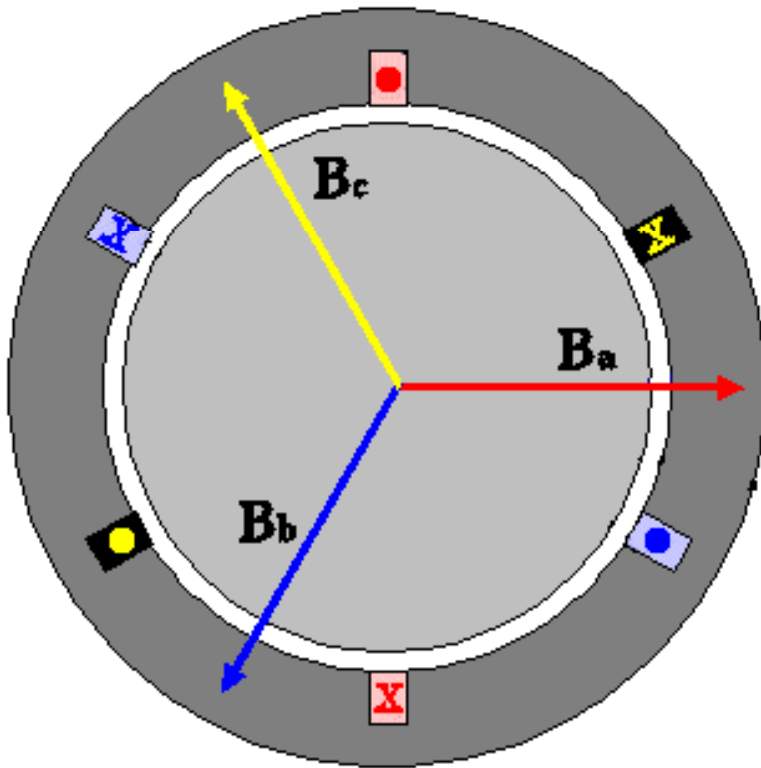
Cutaway in a typical wound-rotor IM. Notice the brushes and the slip rings

❖ نحوه ایجاد میدان گردان

❖ سیم پیچی سه فاز با اختلاف فاز مکانی ۱۲۰ درجه الکتریکی که توسط منبع سه فاز متعادل تغذیه می شود میدان مغناطیسی گردانی تولید می کند که با سرعت مکانیکی n_{sync} می چرخد:

$$n_{sync} = \frac{120f_{se}}{P}$$

f_{se} فرکانس منبع تغذیه
 P تعداد قطب

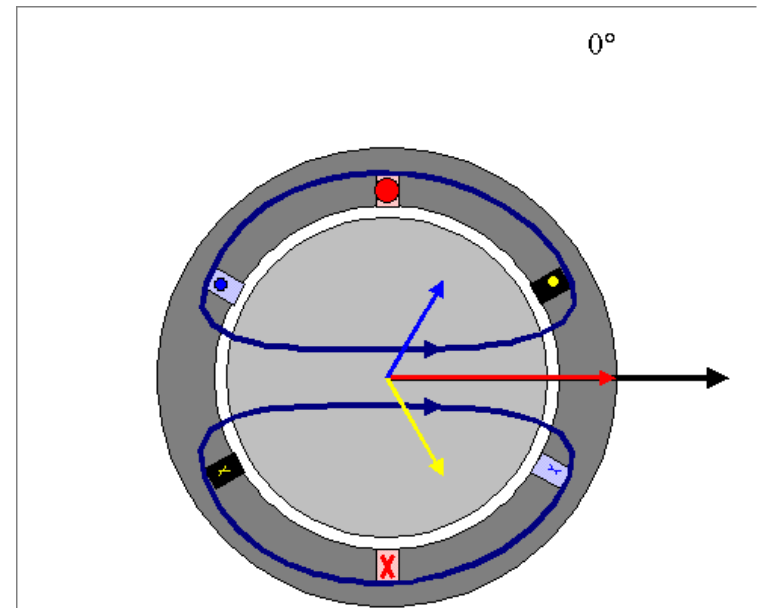
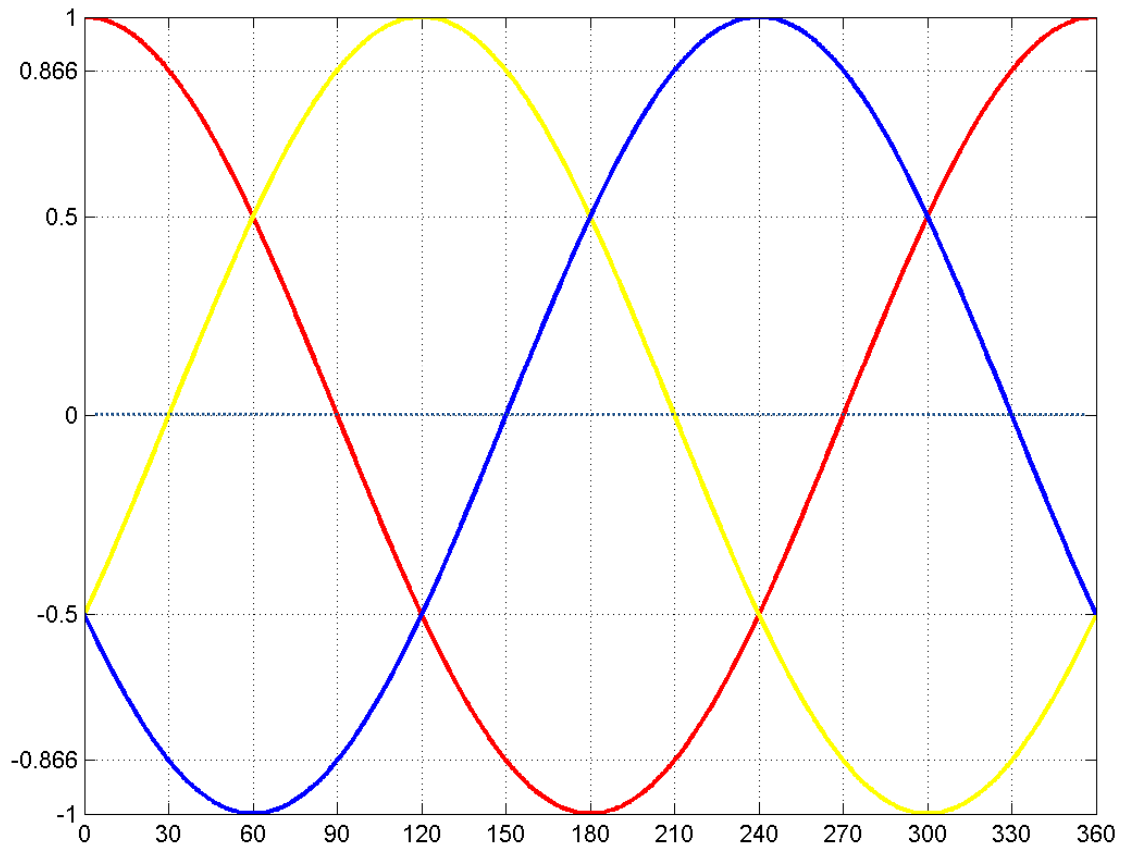


موتور القای

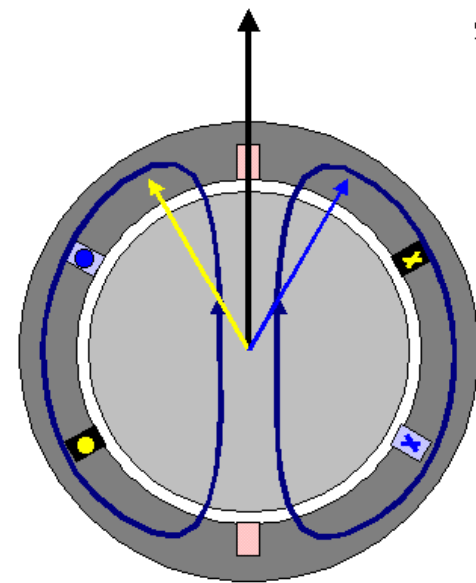
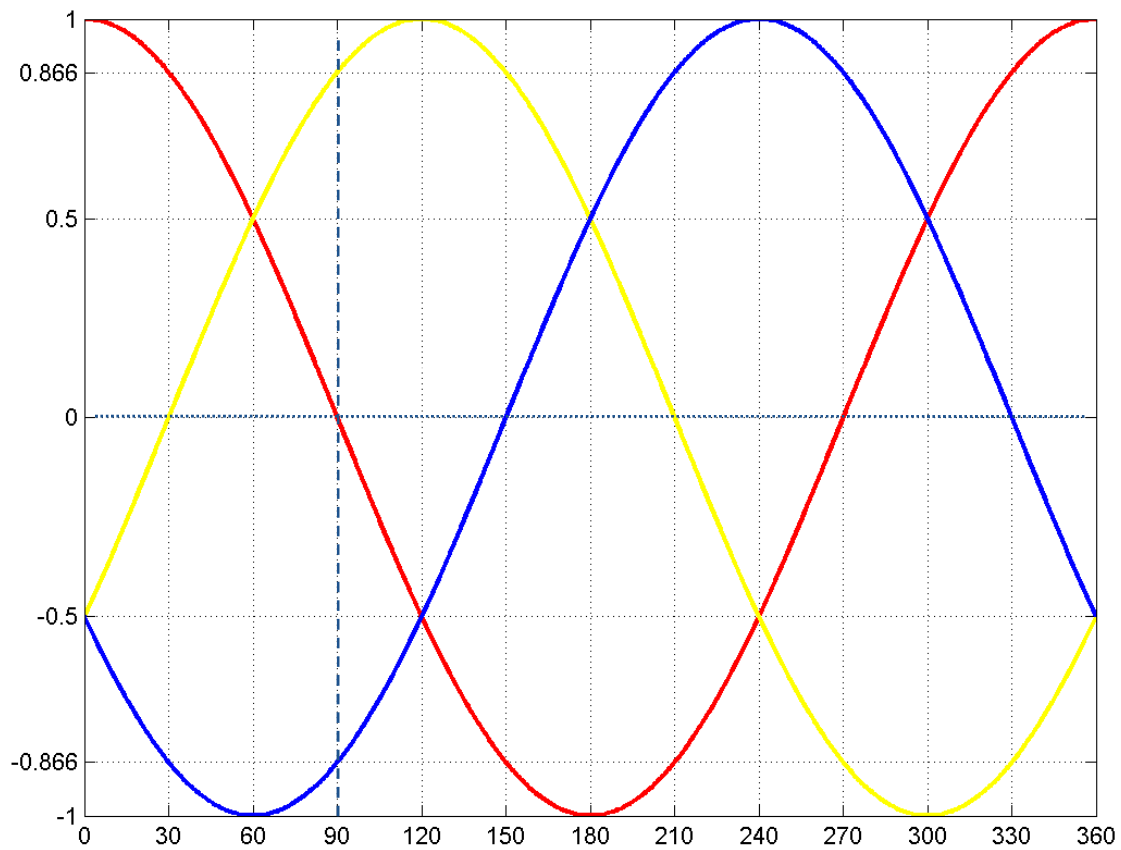
سرعت میدان گردان استاتور

P	50 Hz	60 Hz
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600

میدان مغناطیسی گردان



میدان مغناطیسی گردان



میدان مغناطیسی گردان

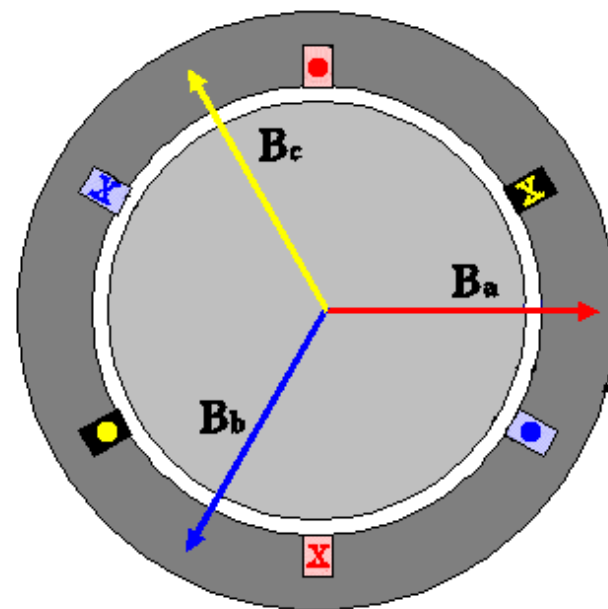
$$B_{net}(t) = B_a(t) + B_b(t) + B_c(t)$$

$$= B_M \sin(\omega t) \angle 0^\circ + B_M \sin(\omega t - 120^\circ) \angle 120^\circ + B_M \sin(\omega t - 240^\circ) \angle 240^\circ$$

$$= B_M \sin(\omega t) \hat{x}$$

$$- [0.5 B_M \sin(\omega t - 120^\circ)] \hat{x} - \left[\frac{\sqrt{3}}{2} B_M \sin(\omega t - 120^\circ) \right] \hat{y}$$

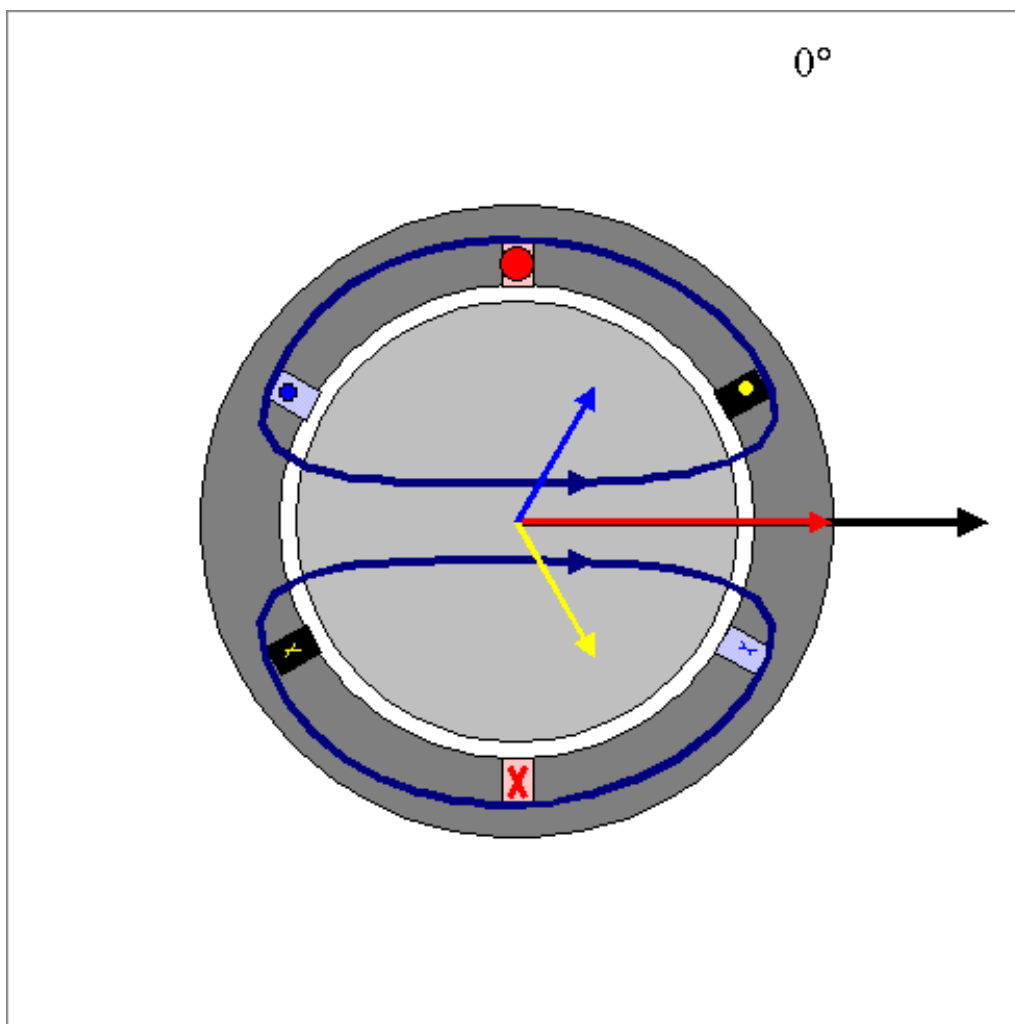
$$- [0.5 B_M \sin(\omega t - 240^\circ)] \hat{x} + \left[\frac{\sqrt{3}}{2} B_M \sin(\omega t - 240^\circ) \right] \hat{y}$$



میدان مغناطیسی گردان

$$\begin{aligned} B_{net}(t) &= [B_M \sin(\omega t) + \frac{1}{4} B_M \sin(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{4} B_M \cos(\omega t) + \frac{1}{4} B_M \sin(\omega t) - \frac{\sqrt{3}}{4} B_M \cos(\omega t)] \hat{x} \\ &\quad + [-\frac{\sqrt{3}}{4} B_M \sin(\omega t) - \frac{3}{4} B_M \cos(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{4} B_M \sin(\omega t) - \frac{3}{4} B_M \cos(\omega t)] \hat{y} \\ &= [1.5 B_M \sin(\omega t)] \hat{x} - [1.5 B_M \cos(\omega t)] \hat{y} \end{aligned}$$

میدان مغناطیسی گردان



موتور القایی

❖ نحوه ایجاد گشتاور

❖ ولتاژ سه فاز به استاتور اعمال می شود و جریان های سه فاز از استاتور می گذرند و این جریان ها میدان مغناطیسی B_s را ایجاد می کنند.

$$n_{\text{sync}} = \frac{120f_{\text{se}}}{P}$$

❖ میدان استاتور در میله های رتور ولتاژی القا می کند:

$$e_{\text{ind}} = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{l}$$

❖ رتور اتصال کوتاه است؛ بنابراین جریان پسفازی در آن ایجاد می شود.

موتور القایی

❖ نحوه ایجاد گشتاور

❖ جریان رتور میدان مغناطیسی B_R را به وجود می آورد

$$\tau_{ind} = k\vec{B}_R \times \vec{B}_S$$

❖ در اثر این گشتاور رتور سرعت می گیرد.

❖ سرعت موتور القایی نزدیک سرعت سنکرون است ولی همیشه از آن کمتر است.

اگر رتور موتور القایی با سرعت سنکرون بچرخد، میله های رتور نسبت به میدان ساکن خواهند بود و هیچ ولتاژی در آنها القا نمی شود. اگر ولتاژ القایی صفر باشد؛ جریان رتور صفر خواهد بود لذا میدان ناشی از آن صفر است و نهایتاً گشتاور القایی صفر است. سرعت رتور در اثر اصطکاک کند می شود.

موتور القایی

❖ مفهوم لغزش رتور

❖ بنابراین سرعت موتور القایی نزدیک سرعت سنکرون است ولی همیشه از آن کمتر است.

❖ تفاوت سرعت سنکرون و سرعت رتور **سرعت لغزش** نام دارد.

$$n_{\text{slip}} = n_{\text{sync}} - n_m$$

سرعت مکانیکی محور رتور

سرعت سنکرون یا سرعت میدان مغناطیسی

❖ مفهوم لغزش رتور

❖ لغزش سرعت نسبی بیان شده بر مبنای پریونیت یا درصد است:

$$s = \frac{n_{\text{slip}}}{n_{\text{sync}}} \times 100\%$$

$$s = \frac{n_{\text{sync}} - n_m}{n_{\text{sync}}} \times 100\%$$

$$s = \frac{\omega_{\text{sync}} - \omega_m}{\omega_{\text{sync}}} \times 100\%$$

بر حسب سرعت زاویه ای (رادیان بر ثانیه)

موتور القای

❖ مفهوم لغزش رتور

❖ اگر رتور با سرعت سنکرون بچرخد:

$$s = \frac{\omega_{\text{sync}} - \omega_m}{\omega_{\text{sync}}} = 0$$

❖ اگر رتور ساکن باشد:

$$s = \frac{\omega_{\text{sync}} - \omega_m}{\omega_{\text{sync}}} = 1$$

$$0 < s \leq 1$$

موتور القایی

❖ سرعت رتور بر حسب سرعت سنکرون و لغزش

$$n_m = (1 - s)n_{sync}$$

$$\omega_m = (1 - s)\omega_{sync}$$

موتور القای

❖ فرکانس الکتریکی رتور

$$f_{re} = \frac{P \times n}{120}$$

سرعت میدان گردان رتور

$$f_{re} = \frac{P \times (n_s - n_m)}{120} = \frac{P \times (sn_s)}{120}$$

$$f_{re} = sf_{se}$$

موتور القای

❖ فرکانس الکتریکی رتور

$$f_{re} = sf_{se}$$

❖ با جاگذاری رابطه لغزش:

$$f_{re} = \frac{n_{sync} - n_m}{n_{sync}} f_{se} , \quad n_{sync} = \frac{120f_{se}}{P}$$

$$f_{re} = \frac{n_{sync} - n_m}{\frac{120f_{se}}{P}} f_{se} \Rightarrow f_{re} = \frac{P}{120} (n_{sync} - n_m)$$

Example:

A 3-phase, 460 V, 100 hp, 60 Hz, four-pole induction machine delivers rated output power at a slip of 0.05. Determine the:

- (a) Synchronous speed and motor speed.**
- (b) Speed of the rotating air gap field.**
- (c) Frequency of the rotor circuit.**
- (d) Slip rpm.**
- (e) Speed of the rotor field relative to the**
 - (i) rotor structure.**
 - (ii) Stator structure.**
 - (iii) Stator rotating field.**

Solution:

$$n_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 * 60}{4} = 1800 \text{ rpm}$$

$$n = (1 - s)n_s = (1 - 0.05) * 1800 = 1710 \text{ rpm}$$

(b) 1800 (same as synchronous speed)

$$(c) f_2 = sf_1 = 0.05 \times 60 = 3 \text{ Hz.}$$

$$(d) \text{ slip rpm} = s n_s = 0.05 * 1800 = 90 \text{ rpm}$$

$$(e) \text{ (i) } 90 \text{ rpm} \quad \text{(ii) } 1800 \text{ rpm} \quad \text{(iii) } 0 \text{ rpm}$$

Example

A 208-V, 10hp, four pole, 60 Hz, Y-connected induction motor has a full-load slip of 5 percent

- 1. What is the synchronous speed of this motor?**
- 2. What is the rotor speed of this motor at rated load?**
- 3. What is the rotor frequency of this motor at rated load?**
- 4. What is the shaft torque of this motor at rated load?**

Solution

$$1. \quad n_{sync} = \frac{120 f_e}{P} = \frac{120(60)}{4} = 1800 \text{ rpm}$$

$$2. \quad \begin{aligned} n_m &= (1 - s)n_s \\ &= (1 - 0.05) \times 1800 = 1710 \text{ rpm} \end{aligned}$$

$$3. \quad f_r = s f_e = 0.05 \times 60 = 3 \text{ Hz}$$

$$4. \quad \begin{aligned} \tau_{load} &= \frac{P_{out}}{\omega_m} = \frac{P_{out}}{2\pi \frac{n_m}{60}} \\ &= \frac{10 \text{ hp} \times 746 \text{ watt / hp}}{1710 \times 2\pi \times (1/60)} = 41.7 \text{ N.m} \end{aligned}$$