

Motores de Indução

ADRIELLE DE CARVALHO SANTANA



Motores CA

Os motores CA são classificados em:

-> Motores Síncronos;

-> Motores Assíncronos (Motor de Indução)

Motores de Indução

O motor de indução é o motor CA mais usado, por causa de sua simplicidade, construção robusta, baixo custo de fabricação e boas características de funcionamento.

Estas características do motor de indução resultam do fato de ser o rotor uma unidade auto-suficiente que não necessita de conexões externas. O nome do motor de indução é derivado do fato de serem *induzidas* correntes alternadas no circuito do rotor, pelo campo magnético girante produzido nas bobinas do estator.

Motores de Indução

Tanto motores síncronos quanto assíncronos têm um estator construído de maneira idêntica ao estator de um alternador de campo girante. No estator fica o enrolamento de campo que será alimentado pela rede. O enrolamento é alojado em ranhuras na periferia interna de um núcleo de ferro laminado.

O rotor será diferente para cada tipo de motor (indução ou síncrono).

Nos motores de indução o rotor pode ser dos tipos:

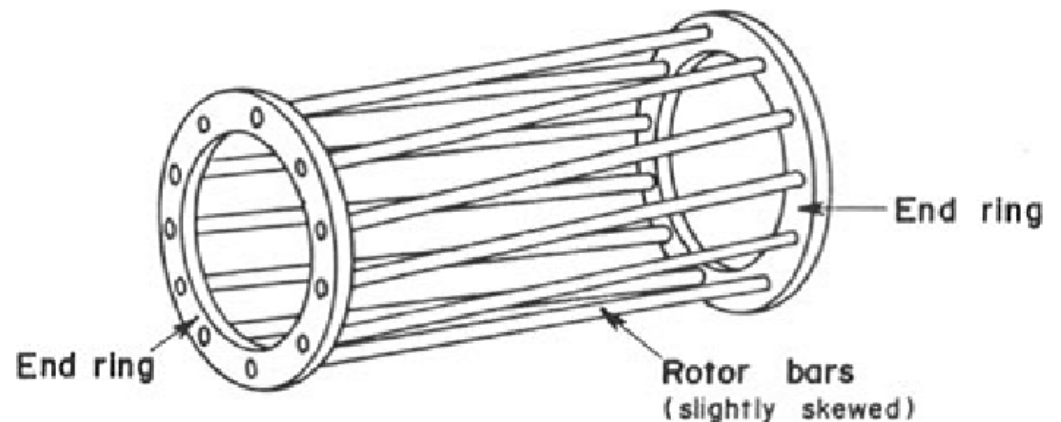
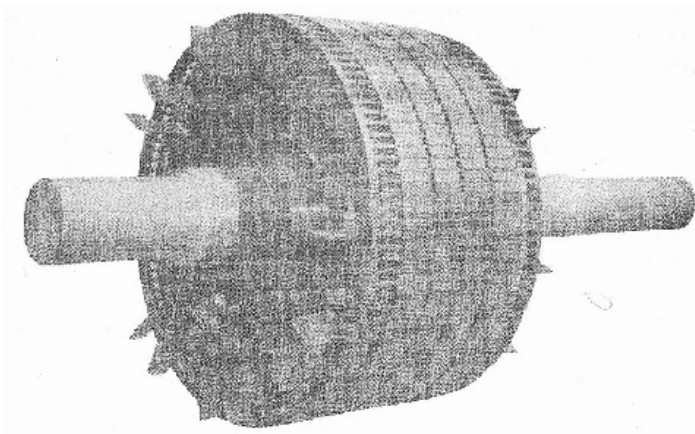
-> Gaiola de esquilo:

-> Bobinado (ou enrolado):

Motores de Indução

Rotor em Gaiola de Esquilo

Consiste de barras de cobre, de grande seção, unidas em cada extremidade por um anel de cobre ou de bronze. Não há necessidade de isolamento entre o núcleo do rotor e as barras, porque as tensões induzidas nas barras do rotor são muito baixas. O entreferro entre o rotor e o estator é muito pequeno, visando assim obter a máxima intensidade de campo.



Motores de Indução

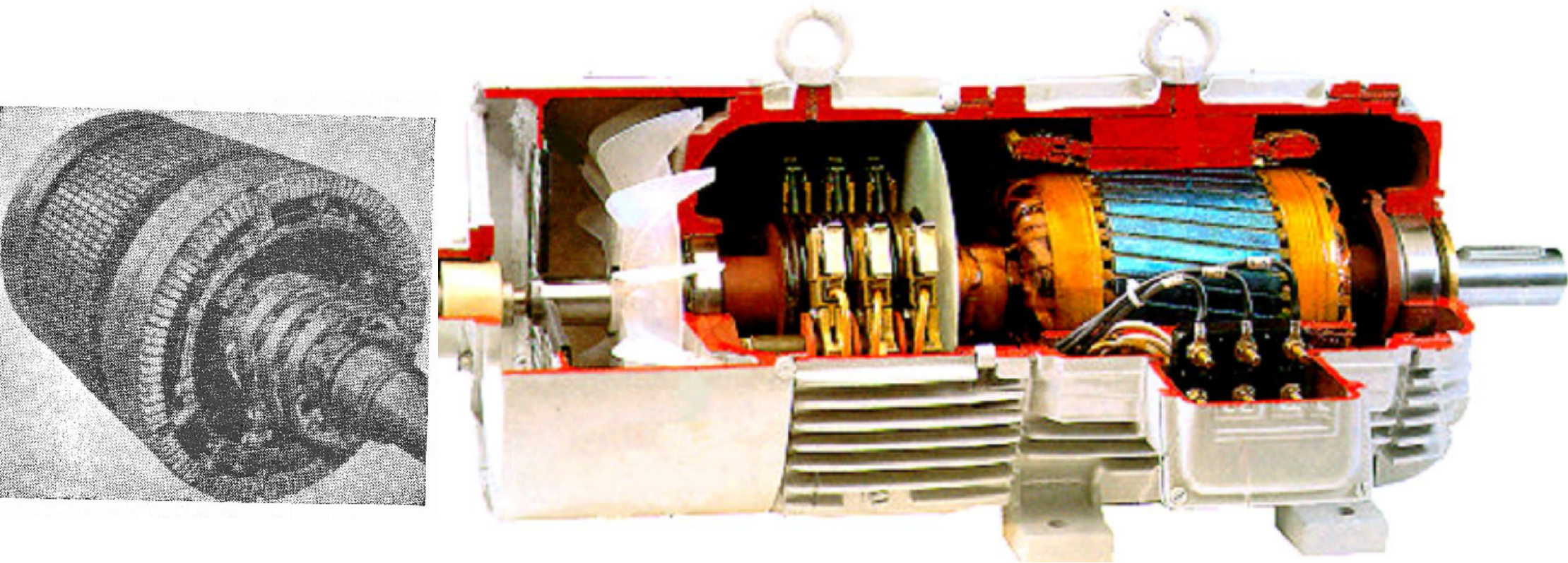
Rotor Bobinado

É envolvido por um enrolamento isolado semelhante ao enrolamento do estator. Os enrolamentos de fase do rotor (trifásico) são trazidos para o exterior através de três anéis coletores montados sobre o eixo do motor. O enrolamento do rotor não está ligado a nenhuma fonte de alimentação.

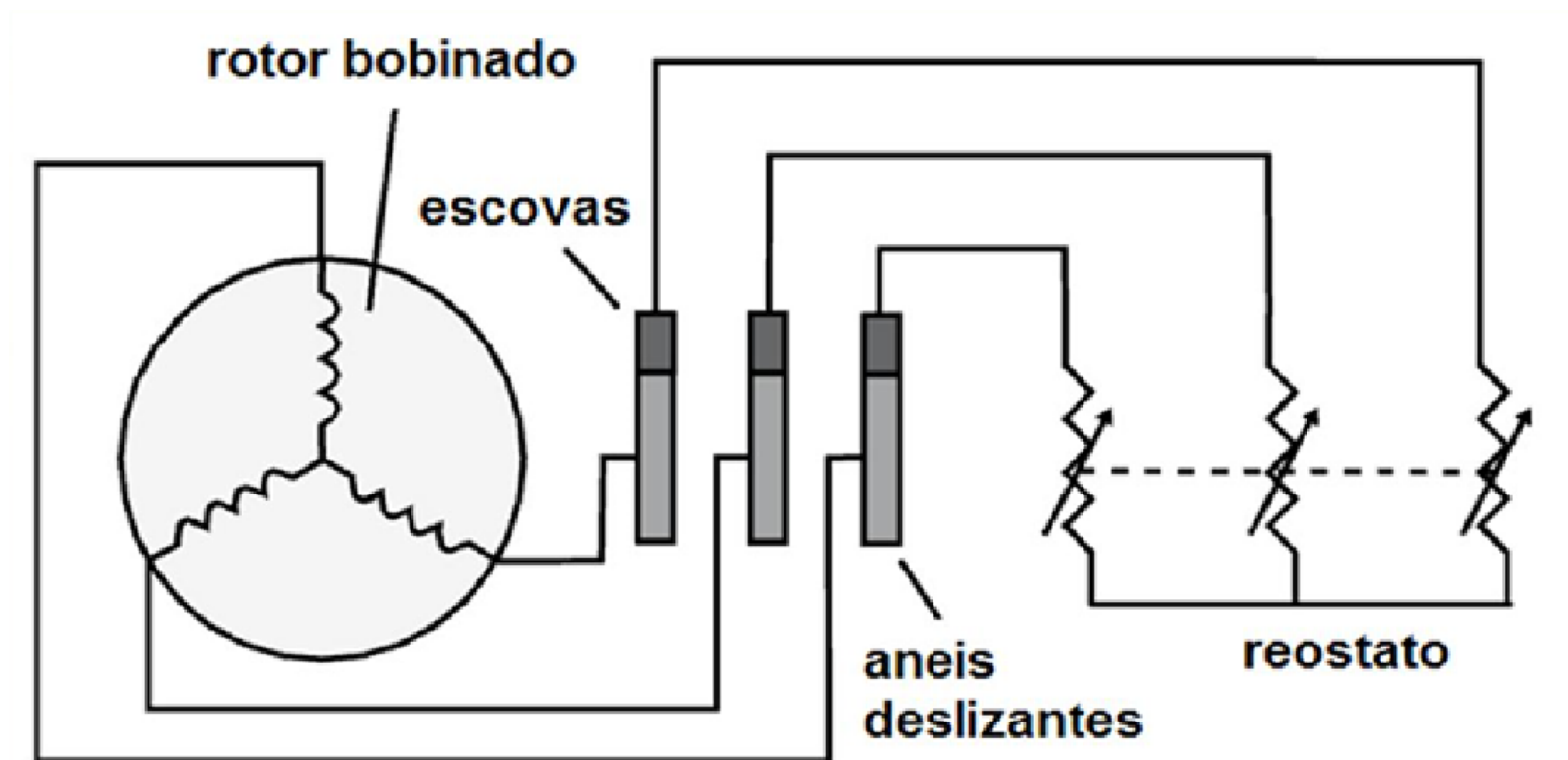
Os anéis coletores e as escovas constituem simplesmente uma forma de se ligar resistências variáveis externas, em série, com o circuito do rotor. As resistências variáveis (uma para cada anel coletor) proporcionam um meio para aumentar a resistência do rotor durante a partida, a fim de melhorar suas características de partida.

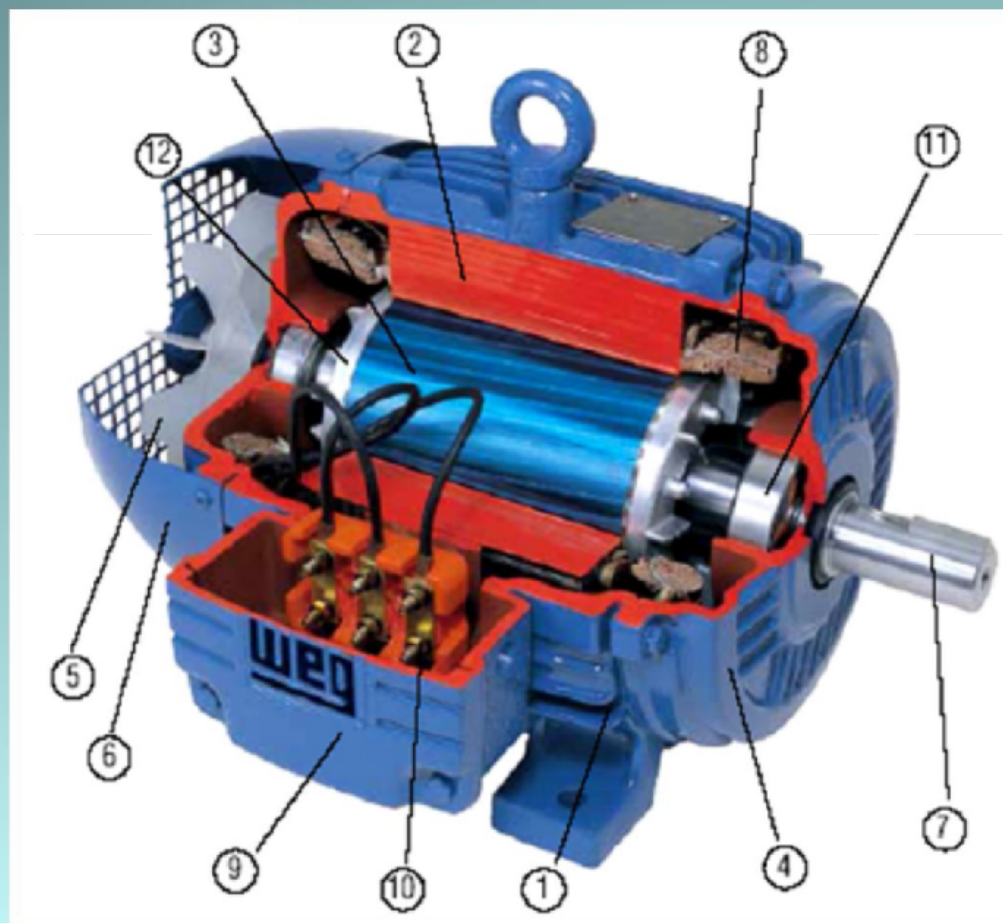
Quando o motor atinge sua velocidade normal, os enrolamentos são curto-circuitados (tirando as resistências) e o funcionamento passa a ser semelhante ao de um rotor de gaiola. As resistências variáveis, também permitem controlar a corrente no rotor e a velocidade do motor.

Motores de Indução



Motores de Indução





Vista em corte de um motor de indução trifásico em rotor de gaiola

• Estator:

- (1) Carcaça;
- (2) Núcleo magnético;
- (8) Enrolamento trifásico.

• Rotor:

- (7) Eixo;
- (3) Núcleo magnético;
- (12) Barras e anéis de curto-circuito.

• Outras partes do motor:

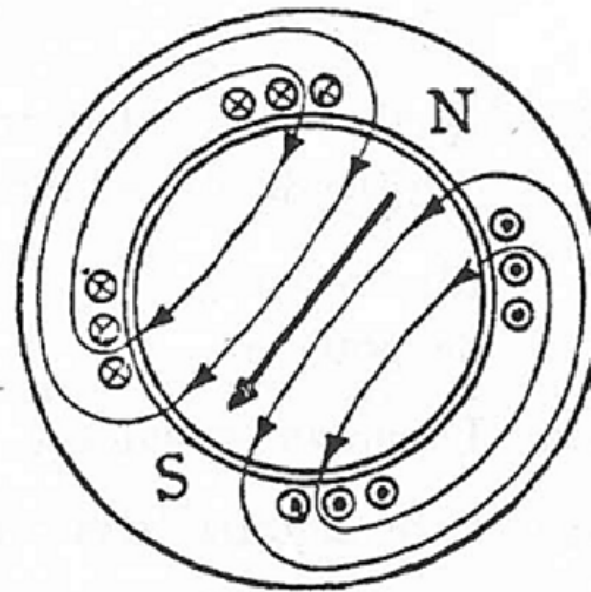
- (4) Tampa dianteira;
- (5) Ventilador;
- (6) Tampa defletora;
- (9) Caixa de ligação;
- (10) Terminais de ligação;
- (11) Rolamentos (mancais).

Motores de Indução

Consideremos o enrolamento de um estator de um motor **monofásico**.

A corrente monofásica que o percorre gera um campo magnético que varia entre um máximo, um mínimo e se inverte, porém permanece *fixo o eixo de simetria do campo*.

Este campo é dito **campo alternativo**.



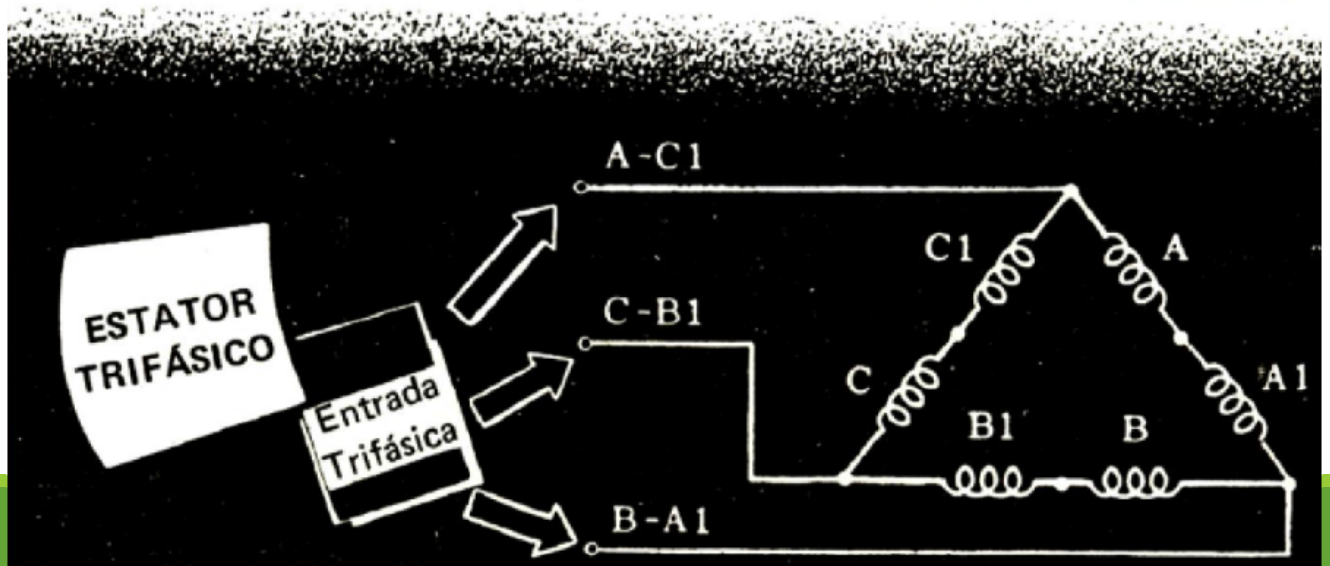
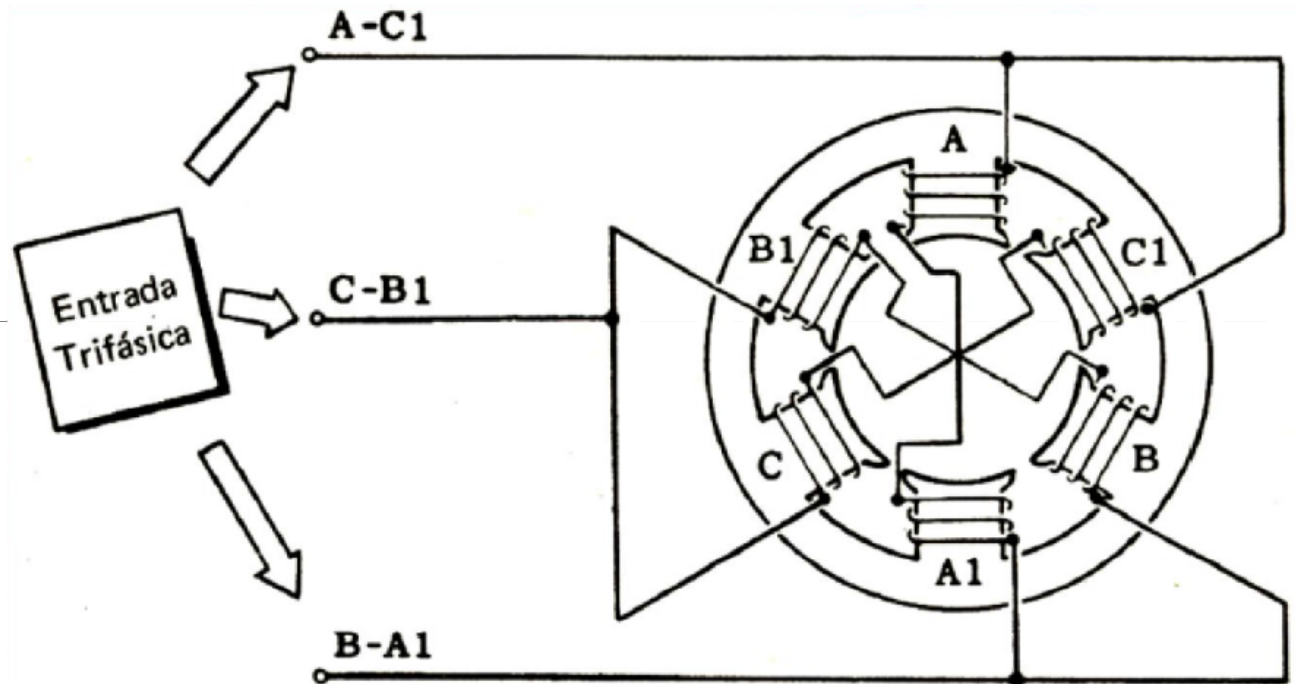
Campo magnético no estator de um motor monofásico

Motores de Indução

Campo Girante em um motor trifásico

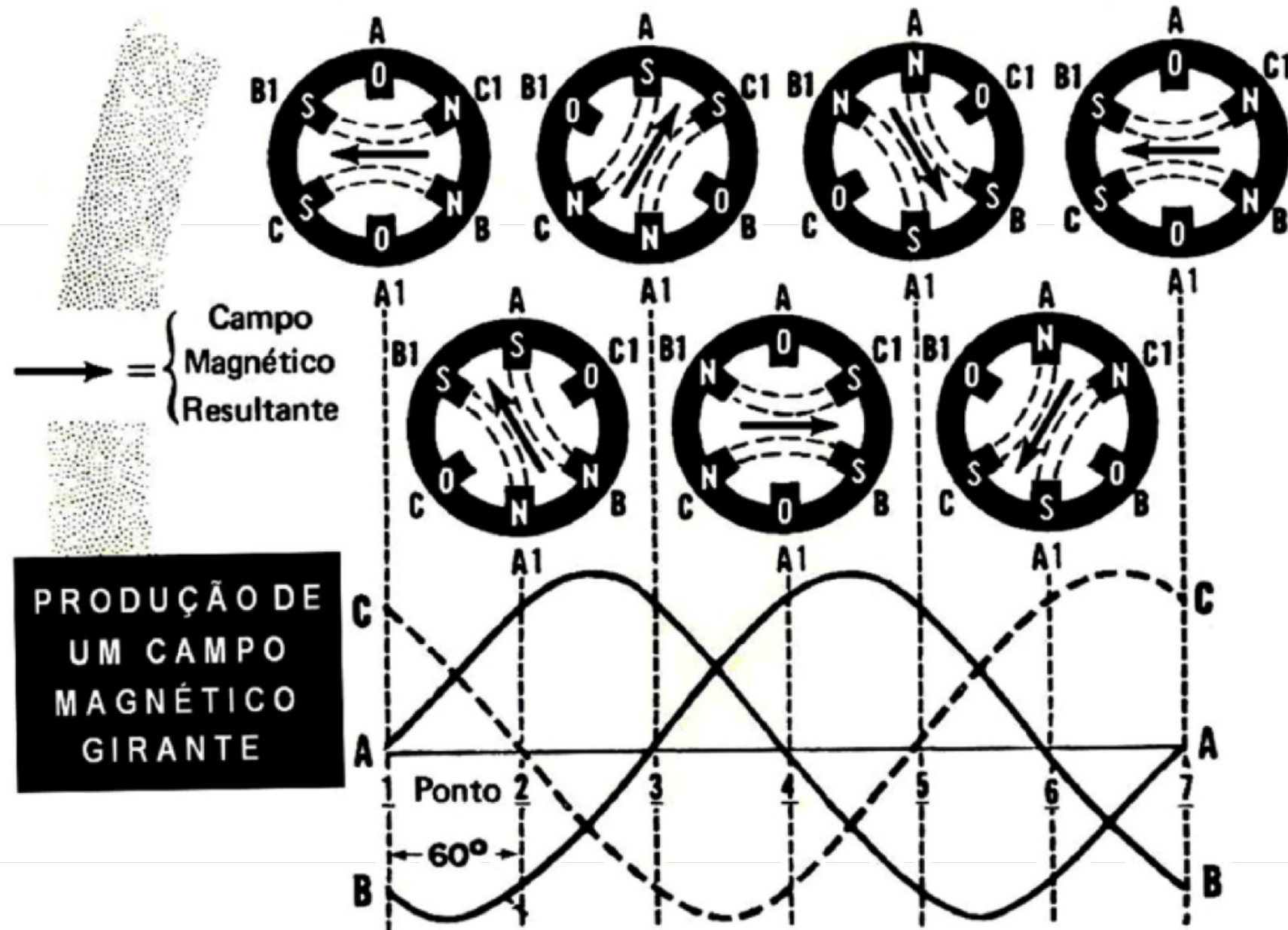
- > Os três enrolamentos do estator são ligados à rede trifásica em estrela ou triângulo.
- > Se se inverte quaisquer 2 fases de alimentação, o campo girante inverte o sentido de rotação.

Motores de Indução



Motores de Indução

O campo em cada instante, depende da intensidade da corrente elétrica no enrolamento.



Motores de Indução

Cria-se assim um campo magnético girante.

À medida que o campo varre os condutores do rotor, é induzida uma *fem* nesses condutores ocasionando o aparecimento de uma corrente elétrica nos condutores. Os condutores do rotor, percorridos por corrente elétrica, interagem com o campo magnético girante do estator para produzir um torque eletromagnético que atua sobre os condutores do rotor tendendo a fazendo-lo girar.

No entanto, como o campo do estator gira continuamente, o rotor não consegue se alinhar com ele devido a sua própria inércia e carga em seu eixo. ***A velocidade do rotor é sempre menor que a velocidade síncrona*** (velocidade do campo girante).

Motores de Indução

O motor de indução tem corrente no rotor por *indução*. Pela lei de Lenz, essa corrente cria um campo girante no ROTOR que tende a cancelar o campo do ESTATOR que o produziu. Por isso o rotor tenta acompanhar de perto a velocidade do campo girante.

Lei de Lenz-Faraday:

“Sempre que uma bobine é atravessada por um fluxo magnético variável, gera-se uma f.e.m. induzida, que cria uma corrente induzida, que tende a opor-se à causa que lhe deu origem”

Mas, é impossível para o rotor de um motor de indução girar com a mesma velocidade do campo magnético girante. Se as velocidades fossem iguais, não haveria movimento relativo entre eles e, em consequência, não haveria corte de linhas de indução pelo rotor impossibilitando a geração de *fem* induzida no rotor. Sem tensão induzida não há conjugado (torque) agindo sobre o rotor.

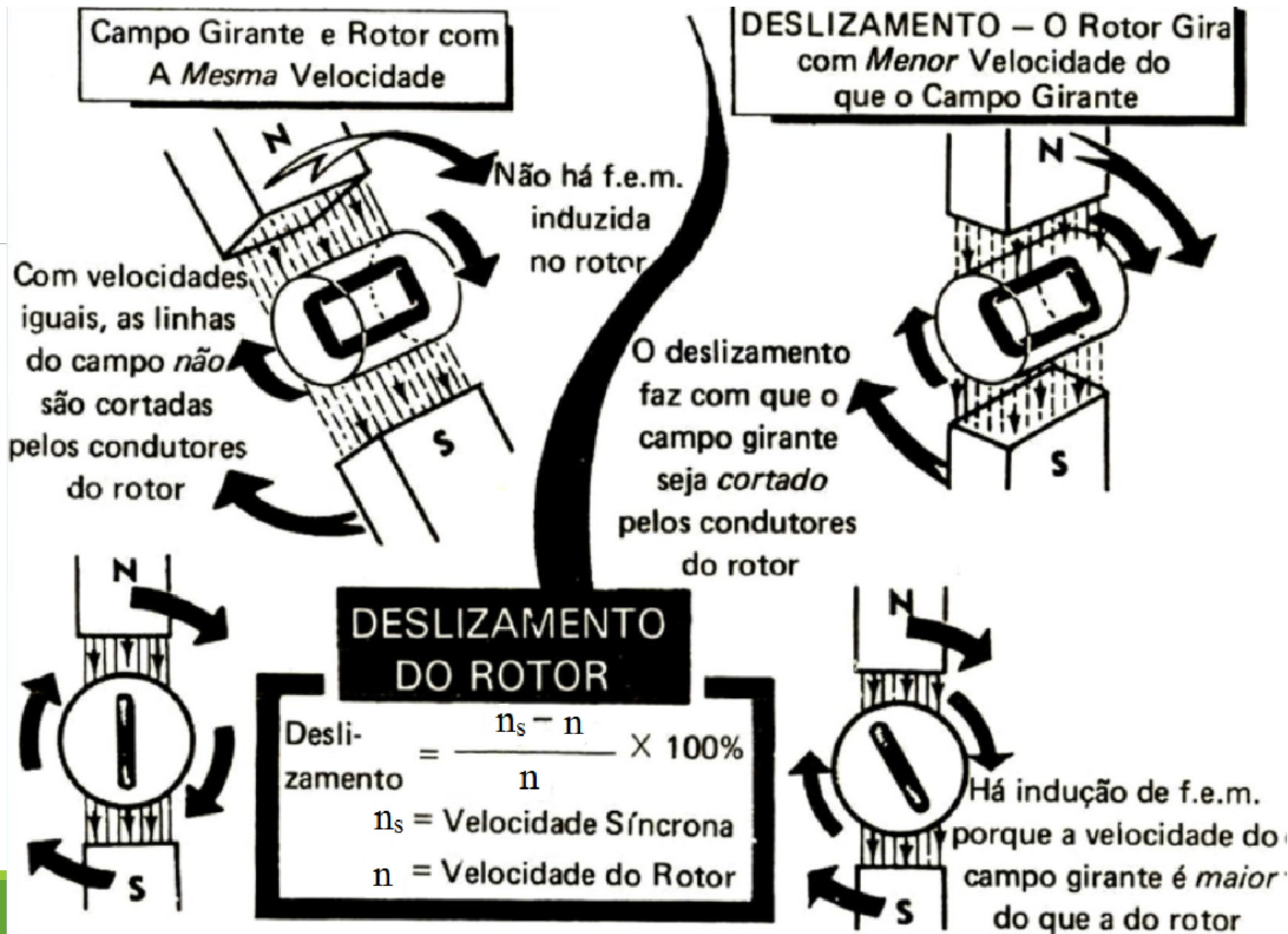
Motores de Indução

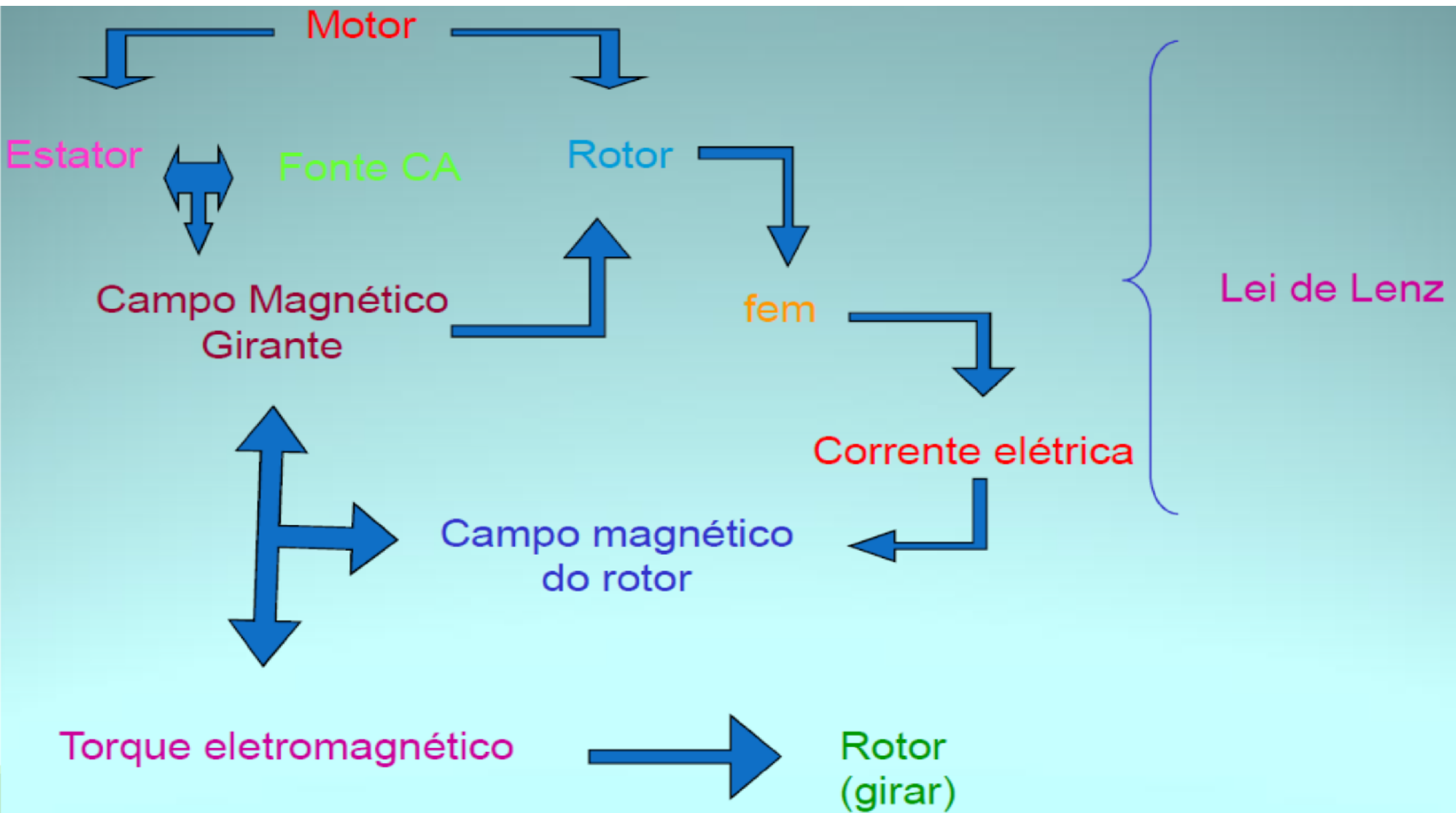
O motor de indução também é conhecido por motor assíncrono, exatamente por não poder funcionar na velocidade síncrona. A diferença percentual entre as velocidades do campo girante e do rotor é chamada de **deslizamento** (*S* de “slip”). O deslizamento também é comumente chamado de **escorregamento**.

Quanto menor for o escorregamento, mais se aproximarão as velocidades do rotor e do campo girante (velocidade síncrona).



Motores de Indução





Motores de Indução

A velocidade do campo magnético girante é chamada de velocidade síncrona do motor.

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p}$$

onde:

$n_s \rightarrow$ velocidade síncrona ou velocidade do campo magnético girante, (rpm);

$f \rightarrow$ frequência da corrente do estator ou frequência da rede (alimentação), Hz;

$p \rightarrow$ número total de pólos.

Motores de Indução

$$S_{(\%) } = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100\%$$

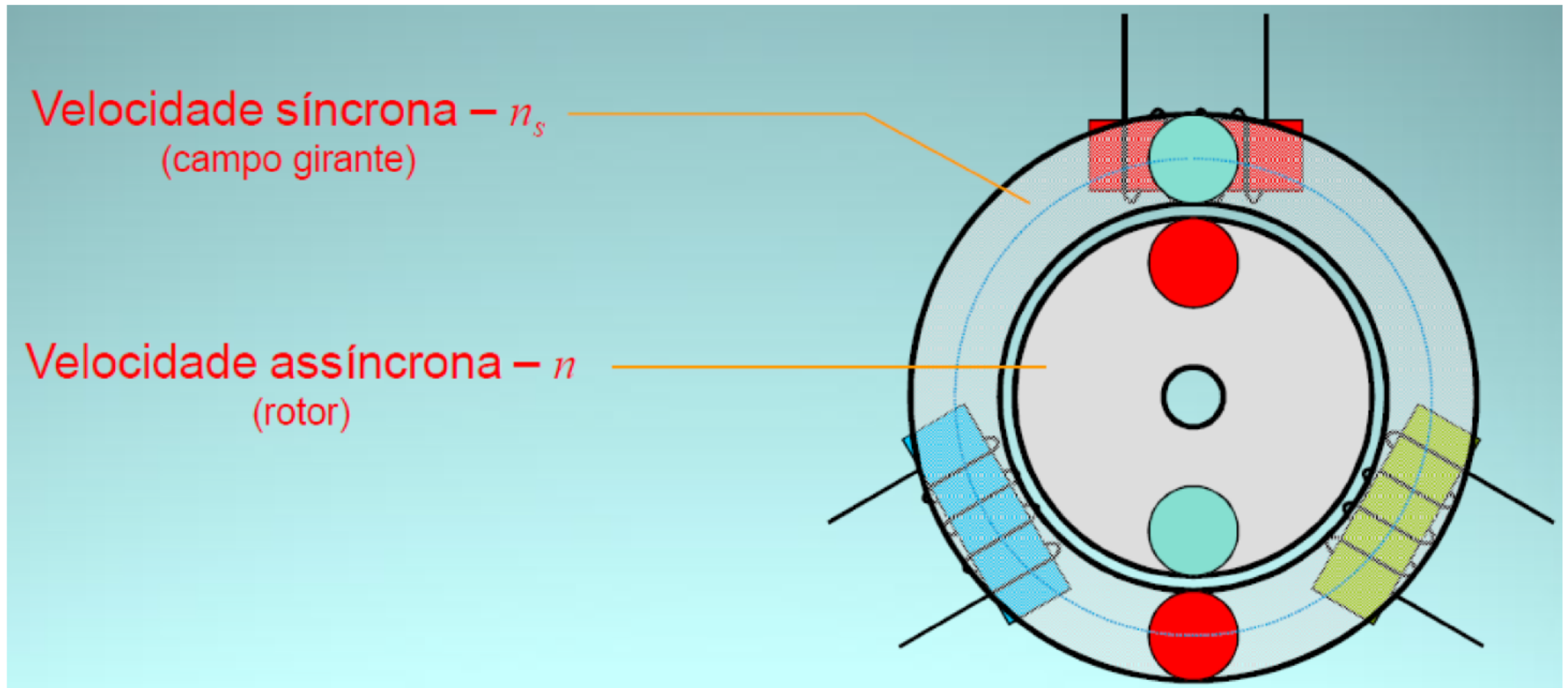
onde:

$S(\%)$ → escorregamento percentual, %;

n_s → velocidade síncrona (ou velocidade do campo girante), rpm;

n → velocidade de funcionamento do motor (ou velocidade do rotor), rpm.

Motores de Indução



Máquinas de Indução

Exemplo: Um motor de indução trifásico de 60Hz e 6 pólos opera com deslizamento de 5%. Qual é a velocidade da máquina?

$$p = \frac{120 \cdot f}{n_s} \rightarrow 6 = \frac{120 \cdot 60}{n_s} \rightarrow n_s = 1200 \text{ RPM}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \rightarrow 0,05 = \frac{1200 - n}{1200} \rightarrow n = 1140 \text{ RPM}$$

Motores de Indução

Frequência da corrente induzida

$$f_R = S \cdot f$$

onde:

$f_r \rightarrow$ frequência do rotor (ou da corrente induzida), Hz;

$f \rightarrow$ frequência do estator (ou da tensão da rede de alimentação), Hz;

$S \rightarrow$ escorregamento percentual (escrito na forma decimal).

Motores de Indução

Conjugado (Torque) Eletromagnético

O torque de um motor de indução (motor assíncrono) depende, basicamente, da intensidade da interação entre os campos do rotor e do estator.

$$T = k \cdot \phi \cdot I_R \cdot \cos\theta_R$$

onde:

- $T \rightarrow$ torque do rotor, N·m;
- $k \rightarrow$ constante que depende dos aspectos construtivos da máquina;
- $\phi \rightarrow$ fluxo do campo girante do estator, linhas de fluxo, Wb;
- $I_R \rightarrow$ corrente do rotor, A;
- $\cos\theta_R \rightarrow$ fator de potência do rotor.

Potência Mecânica em Motor Monofásico

$$P_m = V_f \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot \eta$$

Note que agora não é necessário utilizar o $\sqrt{3}$ e que se utiliza a tensão de fase V_f .

Motores de Indução

Potência mecânica do motor

PARA MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

É a energia elétrica que o motor absorve da rede de alimentação, transformando-a em energia mecânica na ponta do eixo. No caso de motores de indução, por ser uma carga indutiva e resistiva, este absorverá uma potência "aparente", isto é, uma parcela de corrente fornecerá potência útil (kW) e a outra parcela serve para magnetização, chamada potência reativa (kvar).

$$P_m = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \eta$$

onde:

$P_m \rightarrow$ potência fornecida na ponta do eixo (ou potência útil), W;

$V_L \rightarrow$ tensão de linha da rede de alimentação (estator), V;

$I \rightarrow$ corrente solicitada da rede de alimentação (estator), A;

$\cos \varphi \rightarrow$ fator de potência do motor;

$\eta \rightarrow$ rendimento do motor.

Dividir por 735 para obter resposta em cv
Dividir por 745 para obter resposta em HP

Motores de Indução

Conjugado Mecânico

É o torque fornecido no eixo do rotor.

$$T = \frac{P_m}{\omega}$$

Onde P_m é a potência mecânica do motor e ω é sua velocidade em rad/s.

Motores de Indução

Partida de motores de indução

Rotor em gaiola

Ao se partir um motor do tipo gaiola ligando-o diretamente da rede, este pode absorver uma corrente elevada da linha produzindo flutuações na voltagem da mesma.

Por isto, só se parte diretamente motores do tipo gaiola pequenos, de até 7,5 CV.

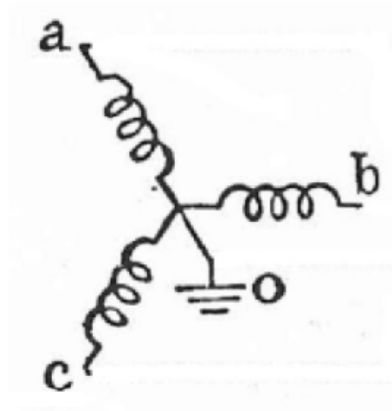
Para motores maiores, métodos de partida especiais deverão ser utilizados.

Um método empregado é dar a partida do motor com seu enrolamento do estator ligado em estrela, quando este atinge uma velocidade adequada, muda-se a ligação para uma ligação em triângulo.

Deste modo, cada enrolamento recebe primeiramente uma d.d.p. de $1/\sqrt{3}$ vezes a d.d.p. normal e depois passa a receber toda a voltagem da linha.

Motores de Indução

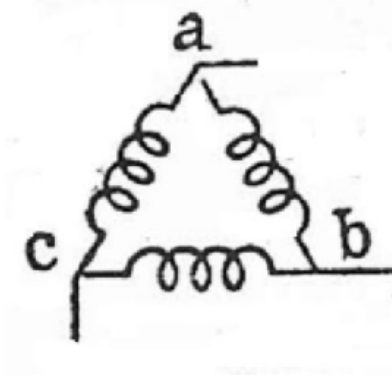
▶ Ligação em estrela (Y):



$$E_{linha} = \sqrt{3} \times E_{fase}$$

$$I_{linha} = I_{fase}$$

▶ Ligação em Triângulo (Δ)



$$E_{linha} = E_{fase}$$

$$I_{linha} = \sqrt{3} \times I_{fase}$$

Placa de motor 3~

W22 Premium

MADE IN BRAZIL

11 6

3 kW(HP-cv) 0.75(1.0) 80 MOTOR INDUÇÃO - CAGIOLA
INDUCT. MOTOR-SQUIRREL CAGE

220/380 13→ A 2.87/1.66

1725 10→ Hz 60 16→ FS 1.15 28→ U/P/H 7.3 14→ F.P. 0.83

82.6 15→ AMB. 40°C 8→ ISOL. INSUL. F 9→ ΔT 80 K L.F.S. S.F.A. -28

N 7→ IP55 REG. DUTY S1→ 4 17→ Alt. 1000

22 V→ W2 U2 V2 23 V→ W2 U2 V2 18→ Kg
220 V→ U1 V1 W1 380 V→ U1 V1 W1
Δ L1 L2 L3 Y L1 L2 L3

-6204-ZZ-19
-6203-ZZ-20

POLYREX EM-ESSO

21

CE RENDIMENTO E FATOR DE POTÊNCIA APROVADOS PELO INMETRO

PROCEL

NBR - 17094-1:2008

INMETRO

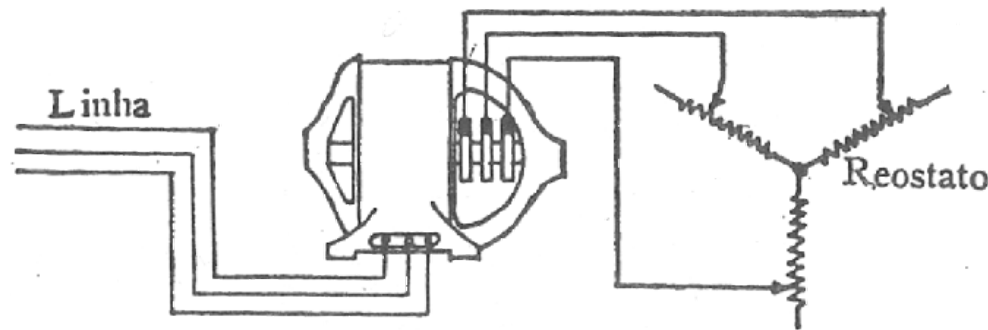
11310148

Motores de Indução

Rotor Bobinado

Na partida de motores de rotor bobinados, intercalam-se resistências nos circuitos dos enrolamentos do rotor.

As escovas do motor são ligadas a um reostato tríplice ligado em estrela, onde as resistências são máximas na partida e depois são totalmente excluídas na velocidade máxima:



Ligações para a partida de um motor de indução com rotor bobinado

Motores de Indução

Outros métodos de partida para motores de indução são obtidos através de equipamentos destinados a este fim, como por exemplo os soft-starters e os inversores de frequência.



Motores de Indução

Exemplo: Seja um motor de indução trifásico com os seguintes dados de placa

- Tensão nominal: 220 - Potência Nominal: 10 HP - Fator de Potência: 0,88

- Rendimento: 0,85 - Rotação Nominal: 1780 RPM - Frequência: 60 Hz

Calcule sua corrente nominal, potência ativa, reativa e aparente e o seu torque mecânico.

1 – Converter 10HP para Watts

2 – Usar a fórmula da potência nominal para achar a corrente I:

$$P_m = \sqrt{3}V_L I \cos\phi \cdot \eta \quad I = 26,17 \text{ A}$$

3 – Usar a fórmula do rendimento para achar P.

$$\eta = \frac{P_m}{P} \quad P = 8776,47 \text{ W}$$

Motores de Indução

4 – Usar a fórmula do fator de potência para achar S:

$$\cos\phi = \frac{P}{S} \quad S = 9973,26 \text{ VA}$$

5 – Usar qualquer relação trigonométrica com P, S e $\cos\phi$ para calcular Q:

$$S^2 - P^2 = Q^2 \quad Q = 4737,5 \text{ VAR}$$

6 - Usar a fórmula do torque mecânico

$$T = \frac{P_m}{\omega} \quad T = \frac{7460}{1780 \cdot \frac{2\pi}{60}} \quad T = 40,02 \text{ Nm}$$

Bibliografia

GRAY, A.; WALLACE, A. **Eletrotécnica: Princípios e Aplicações**. Livros Técnicos e Científicos S.A., 1982.

MAGALDI, M. **Noções de Eletrotécnica**. Guanabara Dois, 1981.

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. **Introdução à Análise de Circuitos** . 1. ed., Pearson, 2011.