

CONVERSÃO DE ENERGIA 2

Escorregamento

Prof. Dr. Cesar da Costa

E-mail: ccosta@ifsp.edu.br

Site: www.professorcesarcosta.com.br

Velocidade Síncrona

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

Onde:

N_s = Velocidade Síncrona em RPM

f = Frequência em Hz

p = Números de polos

- ❖ A velocidade síncrona de um motor é definida como a velocidade de rotação de um campo girante, e é dependente de dois fatores: **frequência da rede (f)**, dada em hertz e do **número de pares de polos (p)**.
- ❖ Construtivamente os enrolamentos podem possuir um ou mais pares de polos que se encontram sempre alternadamente dispostos no enrolamento. A cada ciclo o campo magnético girante percorre um par de polos, assim, a velocidade do campo é dada pela expressão.

Exercícios:

1) Determine a rotação de um motor de 4 polos que opera em uma frequência nominal de 60 Hz.

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

Onde:

N_s = Velocidade Síncrona em RPM

f = Frequência em Hz

p = Números de polos

$$N_s = 120 \cdot 60 / 4$$

$$N_s = 1800 \text{ RPM}$$

Velocidade Síncrona

- ❖ Para que exista a formação de pares de polos, o número de polos deverá ser sempre par. Para as “polaridades” e frequências mais usuais, temos as seguintes velocidades síncronas:

Nº de polos	Rotação síncrona por minuto	
	60 Hz	50Hz
2	3.600	3.000
4	1.800	1.500
6	1.200	1.000
8	900	750

Quadro 5 - Rotações síncronas

Escorregamento

- ❖ Considerando que o rotor esteja girando na velocidade constante de “n” rpm no mesmo sentido que o campo girante do estator, sendo n_s rpm a velocidade síncrona do campo de estator.
- ❖ A diferença entre a velocidade síncrona e a velocidade do rotor é citada usualmente como velocidade de **escorregamento** do rotor.

$$N_{esc} = N_s - N_R \quad (2)$$

Onde:

N_{esc} → Velocidade de escorregamento

N_s → Velocidade síncrona

N_R → Velocidade do rotor

Escorregamento

- ❖ O escorregamento (S) é geralmente definido como uma fração da velocidade síncrona.

$$S = \frac{N_{esc}}{N_s} = \frac{N_s - N_R}{N_s} \quad (3)$$

$$N_R = (1 - S) \cdot N_s \quad (4)$$

$$S_{(\%)} = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100\% \quad (5)$$

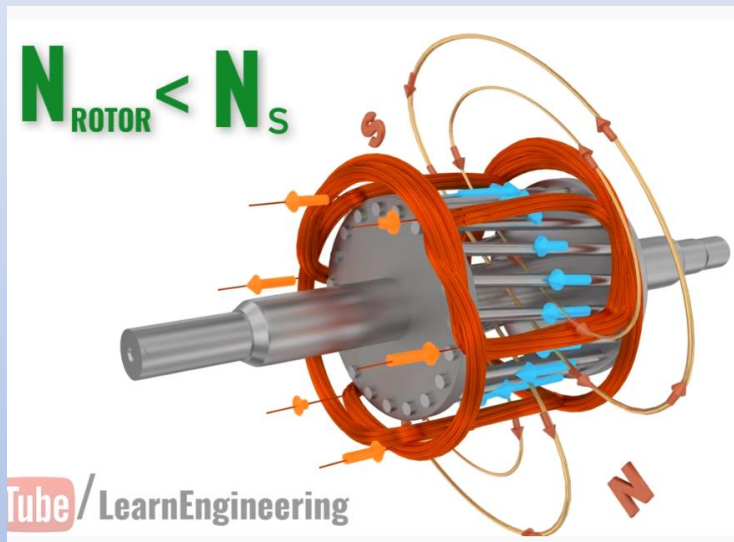
onde:

$S_{(\%)}$ → escorregamento percentual, %;

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

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

Escorregamento



- ❖ Um motor de indução não pode funcionar com a velocidade síncrona, pois neste caso o rotor estaria estacionário com relação ao campo girante e não seria induzida nenhuma *fem* – *Força Eletromotriz* no rotor.
- ❖ Por isso, os motores de indução também são classificados como motores *assíncronos* ou *não síncronos*.
- ❖ A *velocidade do rotor* deve ser ligeiramente menor do que a *velocidade síncrona*, a fim de que seja induzida uma corrente elétrica no rotor e, conseqüentemente, seja produzido um torque que fará o rotor girar.

Escorregamento

- A diferença de velocidade que existe entre a velocidade síncrona do campo magnético girante e a velocidade um pouco menor na qual gira o rotor é chamada de **escorregamento (s) ou SLIP**, e é normalmente expressa em porcentagem.

$$s = \frac{\text{velocidade de escorregamento}}{\text{velocidade síncrona}} = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

n_s : velocidade síncrona do campo girante (rpm)

n_r : velocidade do rotor (rpm)

Conceitos Básicos: Motor de Indução Trifásico

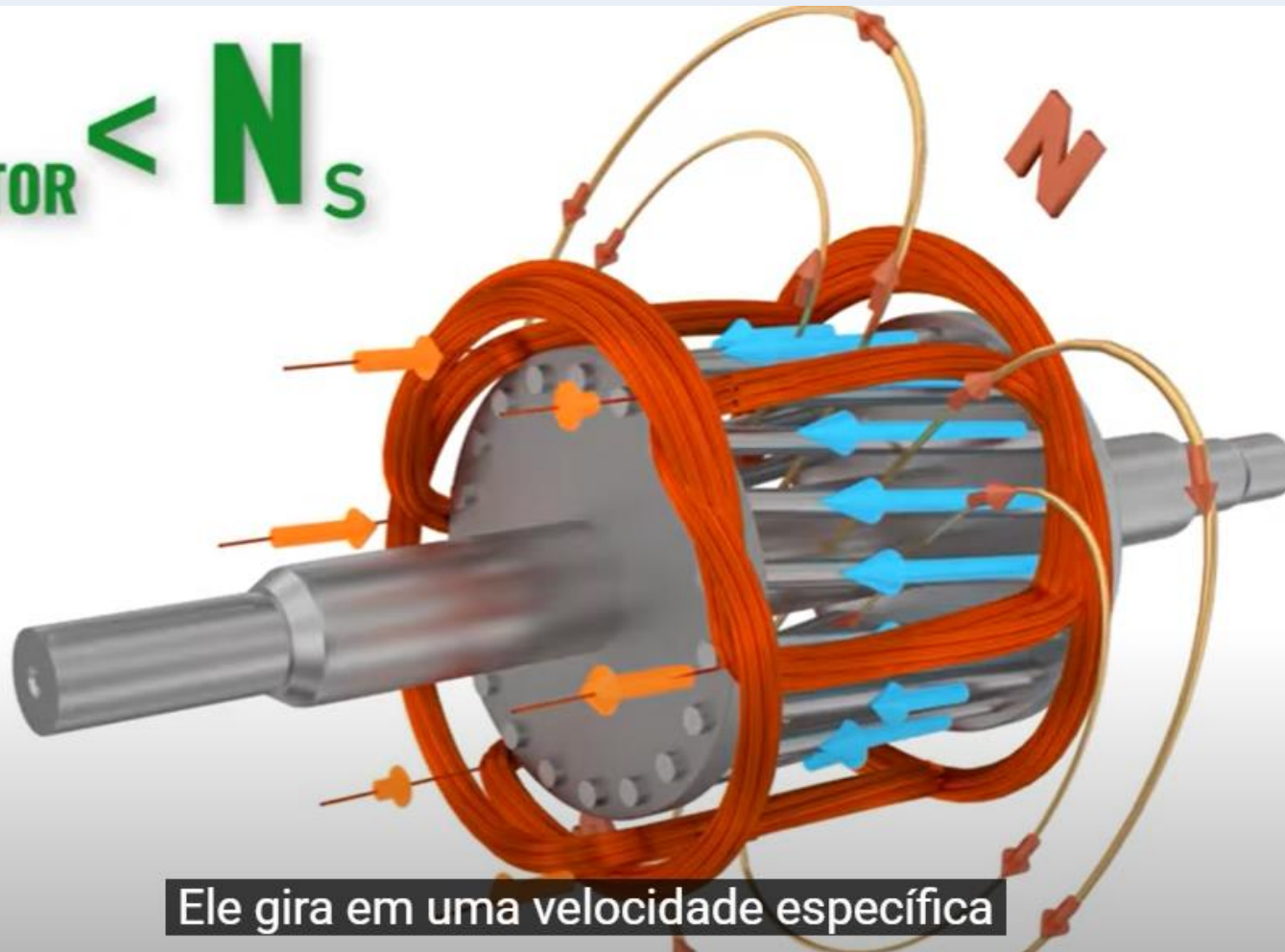
$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s}$$

$$n_s = \frac{120 f_1}{p}$$

p = no. de pólos

- ⇒ O campo girante do estator induz tensão no enrolamento do rotor. É produzido por tensões alternadas com frequência f_1 .
- ⇒ O rotor atinge uma velocidade de equilíbrio em regime permanente (n) menor do que a velocidade síncrona (n_s) do campo girante do estator.
- ⇒ Se $n = n_s$, não há corrente induzida no rotor, e o torque é nulo.
- ⇒ A diferença entre a velocidade do campo girante produzido pelo estator e do giro mecânico do rotor é denominada **escorregamento (slip)**.

$$N_{\text{ROTOR}} < N_s$$



Ele gira em uma velocidade específica

https://www.youtube.com/watch?v=AQqyGNOP_3o

Escorregamento

Exemplo 1: Um motor de indução trifásico tem no estator 3 ranhuras por polo e por fase. Sendo 60 Hz a frequência da rede, pede-se:

- a) o número de polos produzidos e o número total de ranhuras do estator.
- b) a velocidade do campo magnético girante.
- c) a velocidade do rotor para um escorregamento de 3 %.

Escorregamento

Solução:

a) $p = 2 \times \text{n}^\circ \text{ de ranhuras por polo} = 6 \text{ pólos}$

Total de ranhuras = (3 ranhuras por polo e por fase) \times (6 pólos) \times (3 fases) = 54 ranhuras

b) $n_s = \frac{120 f}{p} = \frac{120 \cdot 60}{6} = 1200 \text{ rpm}$

c) $n_r = n_s \cdot (1 - s) = 1200 \cdot (1 - 0,03) = 1164 \text{ rpm}$

Escorregamento

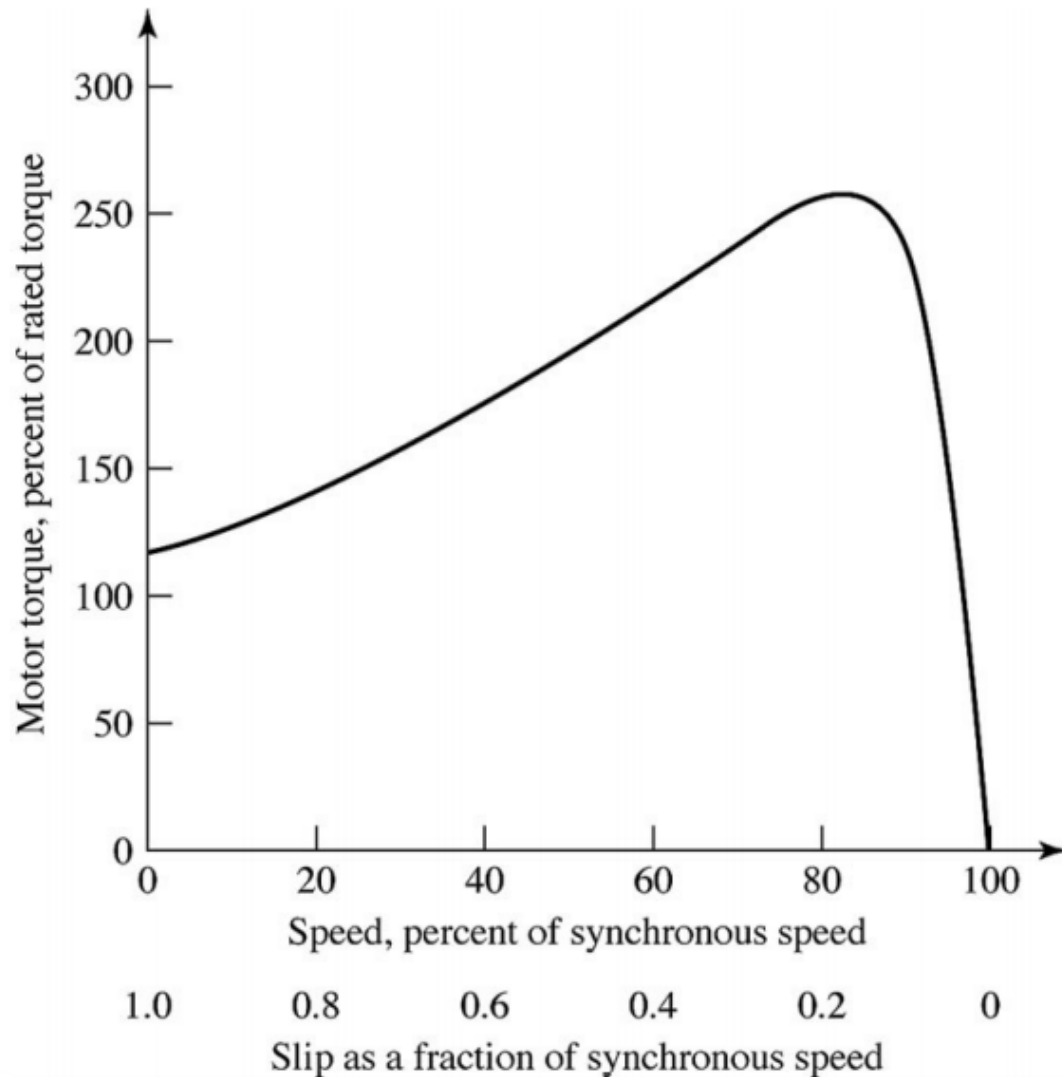
- ❖ Quando um motor gira com uma velocidade diferente da velocidade do campo girante (velocidade síncrona), circularão correntes induzidas no rotor, quanto maior a carga maior será o **conjugado** necessário para acioná-la.
- ❖ A obtenção de um maior **conjugado** pode ser conseguida aumentando a diferença entre as velocidades do rotor e do campo girante no estator para que os campos gerados e as correntes induzidas sejam maiores.
- ❖ Na condição do motor trabalhando a vazio (sem carga), o mesmo apresentará uma rotação muito próxima à rotação síncrona.

Escorregamento

- ❖ Com a aplicação de uma carga ao rotor, ocorre a redução da velocidade com o conseqüente aumento do **escorregamento**, da frequência da corrente no rotor e da sua força eletromotriz induzida.
- ❖ Com o aumento da corrente induzida no rotor, tem-se um aumento na corrente primária no estator com melhor fator de potência produzindo maior potência mecânica e exigindo maior potência da rede.

Escorregamento

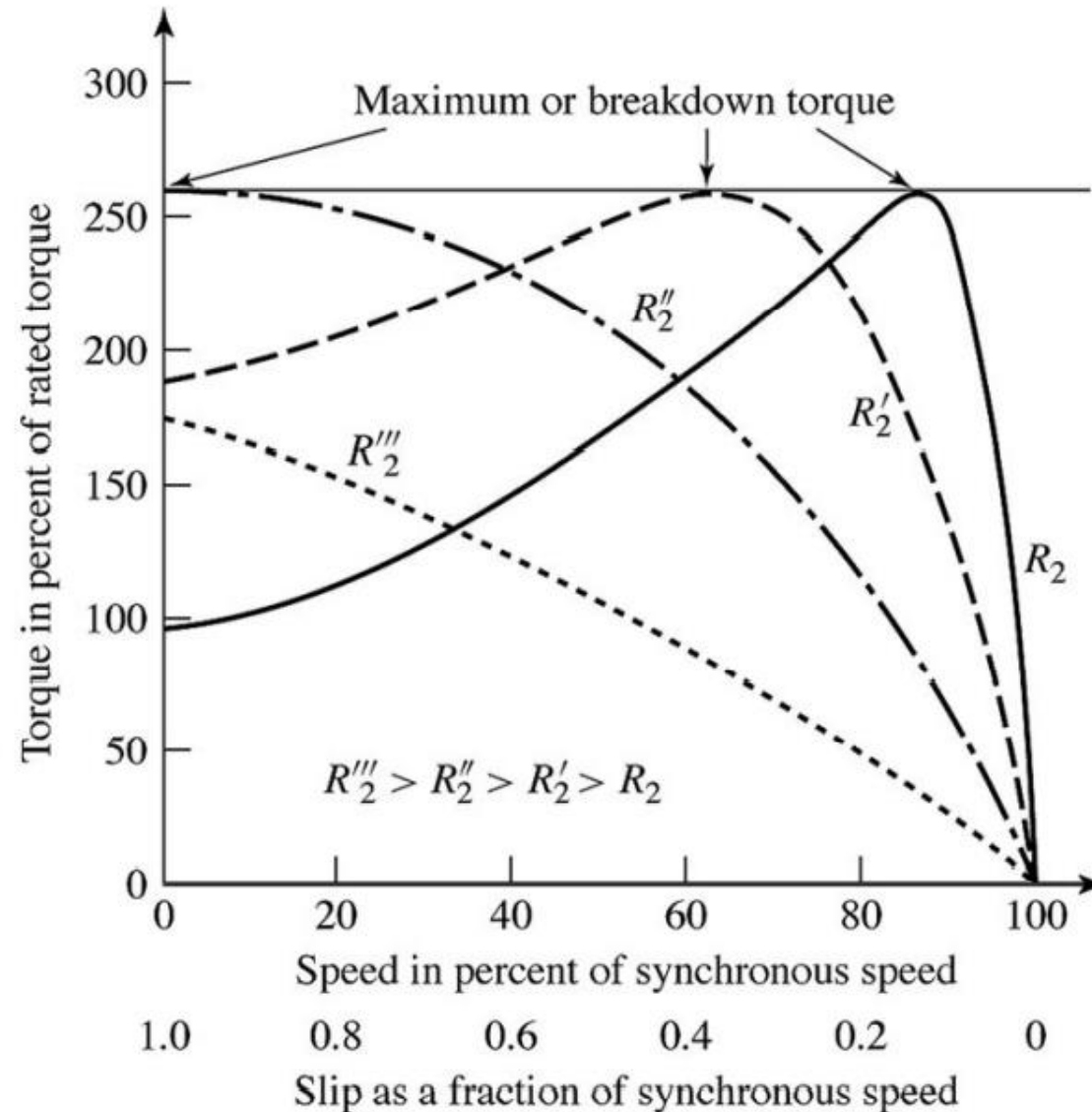
⇒ Curva **Torque x Velocidade** do motor de indução:



$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s}$$

Escorregamento

⇒ A curva **Torque x Velocidade** varia em função da resistência do rotor:



Escorregamento

- ❖ A condição de equilíbrio entre o torque gerado pelo motor e o torque resistente da carga ocorre quando o motor está à plena carga.
- ❖ O fator de potência varia de 0,8 em motores de baixas potências, próximas a 1 cv, para cerca de 0,95 para motores de maiores potências, acima de 150 cv. Com cargas acima da plena carga, o fator de potência se aproxima de um máximo e então decresce rapidamente.

□ Para o MIT: $0 \leq s \leq 1$, o que resulta em:

$N_R = 0$, para $S=1$, na partida. \longrightarrow Rotor bloqueado

$N_R = N_S$, para $S=0$, em sincronismo.

❖ A f.e.m. induzida na gaiola é proporcional à velocidade relativa entre a gaiola e o campo girante (Lei de Lenz). Assim, para o rotor bloqueado ($N_R = 0$) a f.e.m. induzida no rotor vale:

$$E_{Rb} = k \cdot N_{esc}$$

$$E_{Rb} = k \cdot (N_S - N_R)$$

$$E_{Rb} = k \cdot N_S$$

❖ Para uma velocidade N_R qualquer:

$$E_R = k \cdot N_{esc}$$

$$E_R = k \cdot (N_S - N_R) \quad \longrightarrow \quad \frac{E_R}{E_{Rb}} = \frac{k \cdot (N_S - N_R)}{k \cdot N_S} = \frac{N_S - N_R}{N_S} \quad \longrightarrow \quad E_R = S \cdot E_{Rb}$$

Escorregamento

❖ A frequência da corrente induzida no rotor é dada pelo produto da frequência da corrente no estator pelo escorregamento, ou seja:

$$f_2 = s \times f_1$$

Sendo:

- f_1 = frequência da corrente estatórica (Hz);
- f_2 = frequência da corrente rotórica (Hz).

Escorregamento

⇒ A frequência f_2 da tensão e corrente induzidas no rotor é determinada pela diferença de velocidade entre o campo girante e o rotor (escorregamento):

$$f_2 = \frac{p}{120} (n_s - n) = \frac{p}{120} s n_s = s f_1$$

⇒ Estator e rotor têm frequências diferentes!

- A corrente trifásica do estator induz na gaiola corrente trifásica, que da mesma forma que no estator, produz um campo girante de velocidade (N_s), produzira no rotor um campo girante denominado N_{sR} :

$$N_{sR} = \frac{120 \cdot f_R}{p}$$

Onde:

N_{sR} → Velocidade do campo girante no rotor

f_R → Frequencia do rotor

p → N.o de polos do motor

- *A velocidade do campo do rotor em relação a estrutura física do rotor é a velocidade de escorregamento N_{esc} .*

$$N_{esc} = N_s - N_R \quad \longrightarrow \quad N_{esc} = S \cdot N_s$$

Onde:

N_R \longrightarrow Velocidade do rotor

N_{esc} \longrightarrow Velocidade de escorregamento

N_s \longrightarrow Velocidade do campo girante no estator

□ Em relação ao estator, tem-se:

$$N_R + N_{SR} = N_S$$

Onde:

N_R → Velocidade do rotor

N_{SR} → Velocidade do campo girante no rotor

N_S → Velocidade do campo girante no estator

Atividade 4

Exercício 1

Um motor de indução trifásico de 230 V, 50 Hp, 60 Hz, 6 pólos, entrega a potência nominal com um escorregamento de 5%. Calcular:

- a) A velocidade do campo magnético girante, ns.
- b) A frequência da corrente do rotor.
- c) A velocidade do rotor.
- d) A tensão induzida na bobina do rotor supondo que a relação de transformação seja 3:1.

Exercício 2:

❖ Um estator trifásico de uma máquina de indução de seis polos é alimentado por tensões elétricas trifásicas equilibradas, cuja frequência é 60 Hz. O rotor gira com velocidade igual a 1.020 rpm, no mesmo sentido da velocidade do campo do estator. Pergunta-se:

1. Qual a velocidade síncrona da máquina em rpm?
2. Qual o escorregamento?
3. Qual a frequência elétrica das tensões induzidas no rotor?
4. Qual a velocidade do campo do estator em relação a estrutura física do estator ?
5. Qual a velocidade do campo do rotor em relação a estrutura física do rotor ?
6. Qual a velocidade do campo do rotor em relação a estrutura física do estator ?

Conclusões



Referência

https://www.youtube.com/watch?v=AQqyGNOP_3o

<http://professorcesarcosta.com.br/disciplinas/t6cv2n6cv2conv2>

http://professorcesarcosta.com.br/upload/imagens_upload/Apostila_Maquinas%20Eletricas_UNESP.pdf

http://professorcesarcosta.com.br/upload/imagens_upload/maquinas%20eletricas%20senai.pdf