



MOTORES DE INDUÇÃO II

Partida e Operação

1. Problemas associados à partida de motores trifásicos de indução
2. Conjugado desenvolvido pelo motor
3. Corrente absorvida pelo motor
4. Métodos de partida
5. Parte experimental



1. Problemas associados à partida de motores

- correntes elevadas durante a partida (5 a 10 vezes a corrente nominal)

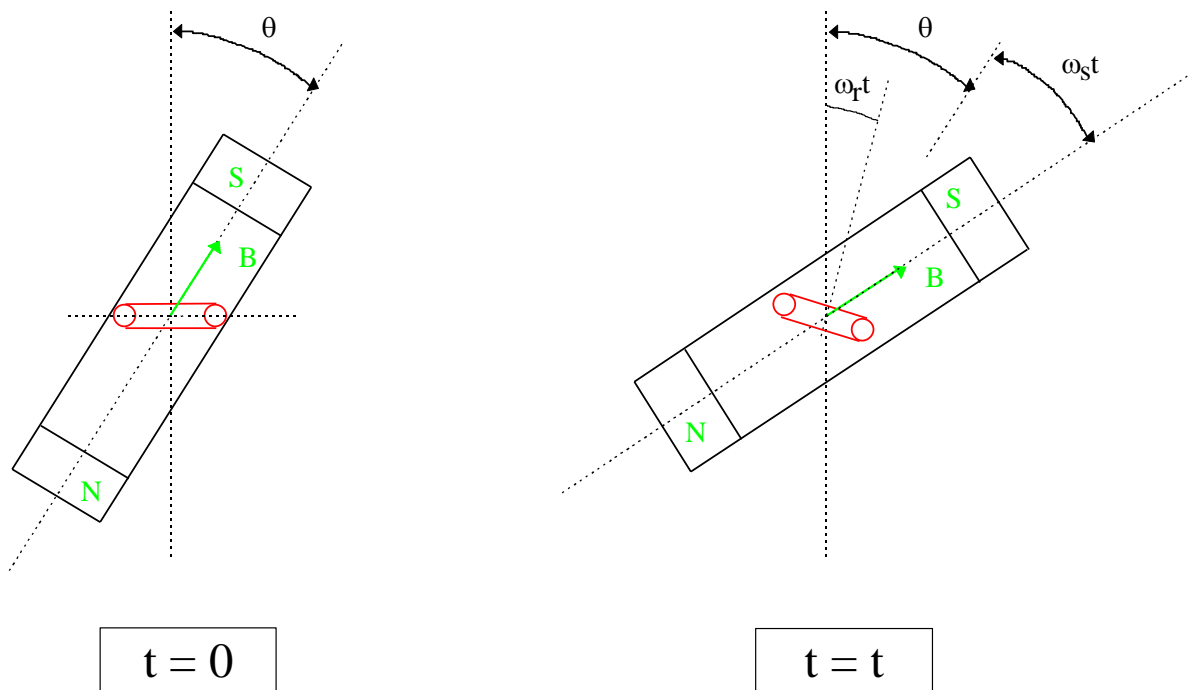
- rotor parado \Leftrightarrow motor em curto-circuito
(não há conversão de energia)
- interferência com o sistema de proteção

- o conjugado de partida pode não ser suficiente para acelerar a carga mecânica

- o motor não parte



2. Conjugado desenvolvido pelo motor



O fluxo concatenado com o rotor varia no tempo:

$$\phi = SB_{max} \cos[(\omega_s - \omega_r)t + \theta] = \phi_{max} \cos[(\omega_s - \omega_r)t + \theta]$$



Tensão induzida e corrente circulante na espira, devidos a ϕ variável no tempo:

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} = E_{max} \cos[(\omega_s - \omega_r)t + \theta - 90^\circ]$$

$$i = I_{max} \cos[(\omega_s - \omega_r)t + \theta - 90^\circ - \varphi]$$

Força atuante na espira, resultado da interação entre a indução B e a corrente i :

$$F = |\vec{F}| = |\vec{B}|il \quad (\text{ang. entre } \vec{B} \text{ e } i = 90^\circ)$$

$$F = B l I_{max} \cos[(\omega_s - \omega_r)t + \theta - 90^\circ - \varphi]$$

Demonstra-se que o conjugado **médio** é dado por:

$$C_{medio} = \frac{s \omega_s \phi_{max}^2}{Z} \cos \varphi$$

$$\text{com } Z = \sqrt{R^2 + s^2 X^2} \quad ; \quad X = \omega_s L$$



Expressão final do conjugado:

$$C(V, s, R) = KV^2 \frac{sR}{R^2 + s^2 X^2}$$

Análise da curva de conjugado

a) rotação síncrona: $s = 0$ e $C = 0$

b) partida: $s = 1$ e $C_p(V, R) = KV^2 \frac{R}{R^2 + X^2}$

c) conjugado máximo:

$$\frac{dC}{ds} = 0 \Rightarrow C_{max} = \frac{KV^2}{2X} \quad (\text{independe de } R)$$

$$s_{Cmax} = \frac{R}{X}$$



$$C(V, s, R) = KV^2 \frac{sR}{R^2 + s^2 X^2}$$

d) s próximo de 1:

$$R^2 \ll s^2 X^2$$

$$\therefore C_1 \cong KV^2 \frac{R}{sX^2}$$

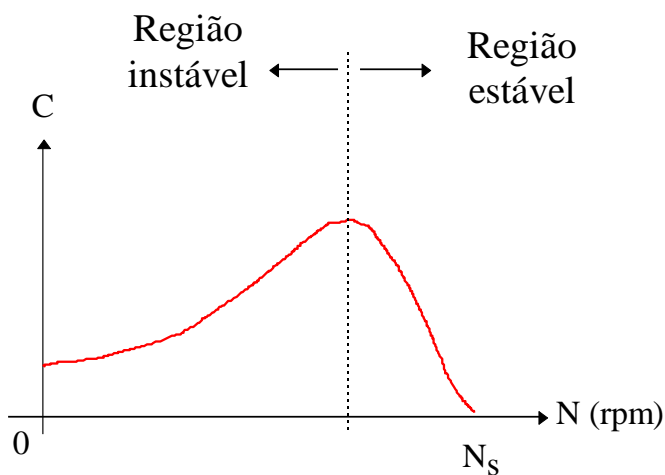
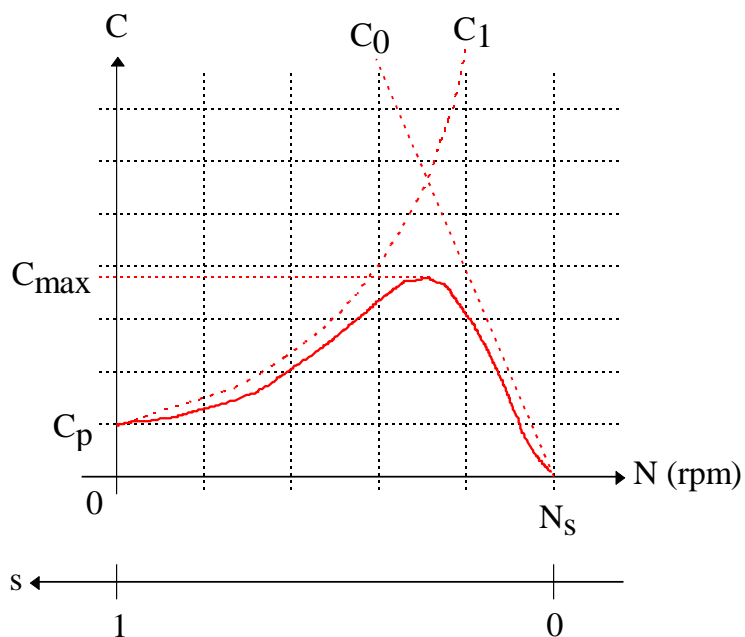
e) s próximo de 0:

$$R^2 \gg s^2 X^2$$

$$\therefore C_0 \cong KV^2 \frac{s}{R}$$



Curva do conjugado em função do escorregamento

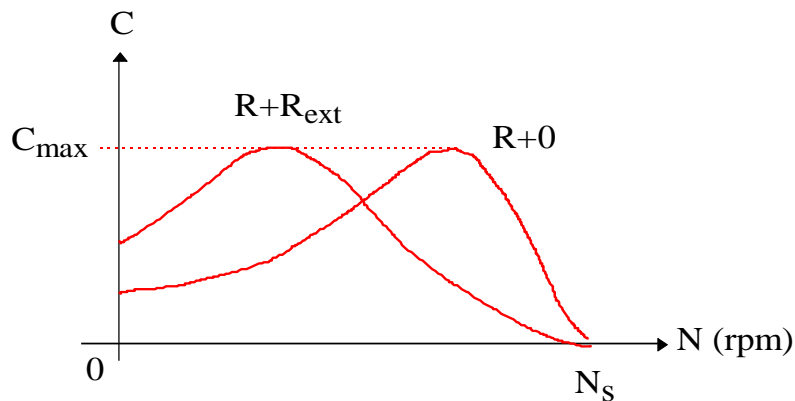




Variação de C com R

$$C_{max} = \frac{KV^2}{2X} \quad (\text{independe de } R)$$

$$C_p(V, R) = KV^2 \frac{R}{R^2 + X^2}$$



Inserindo-se resistência externa R_{ext} no rotor :

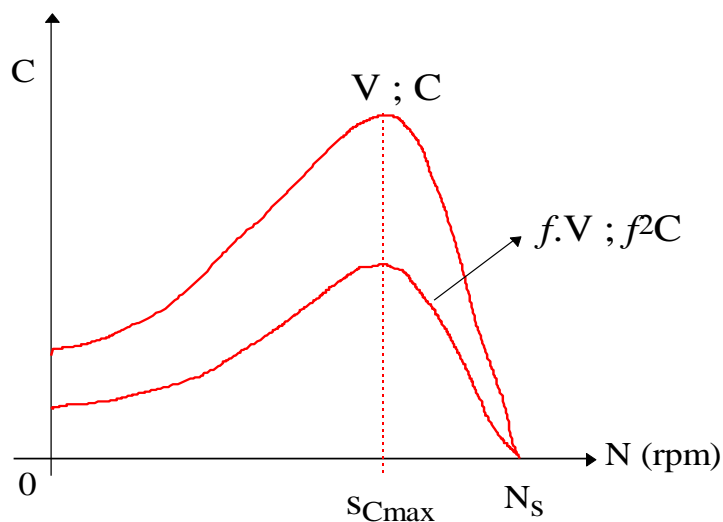
- C_{max} se mantém constante
- s_{Cmax} aumenta
- C_p aumenta



Variação de C com V

$$C_{max} = \frac{KV^2}{2X} ; s_{Cmax} = \frac{R}{X}$$

$$C_p(V, R) = KV^2 \frac{R}{R^2 + X^2}$$



Multiplicando-se a tensão de alimentação por um fator f :

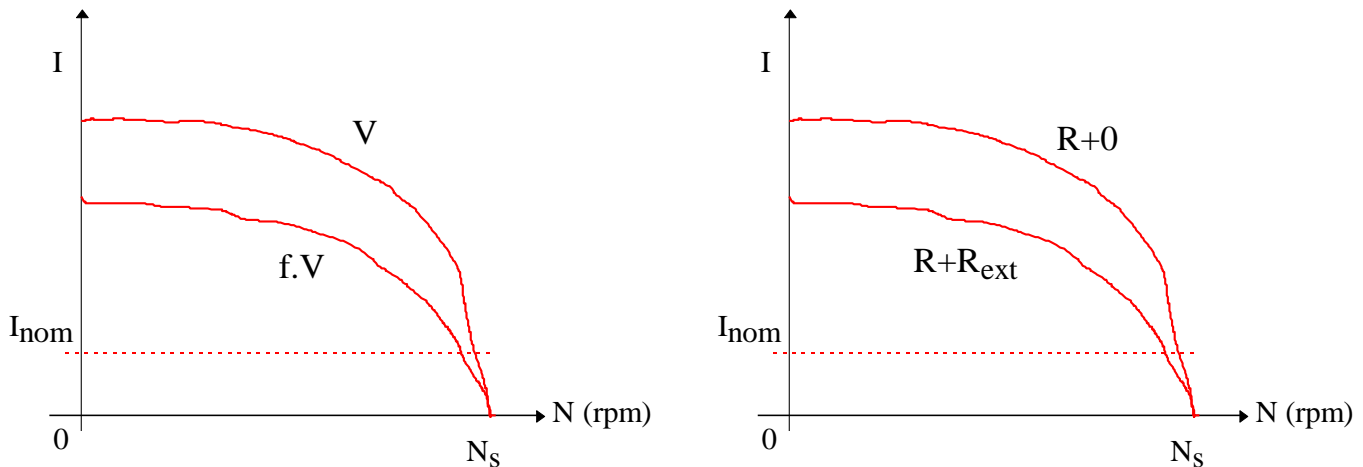
- o conjugado é multiplicado pelo fator f^2 em toda a faixa (inclusive C_{max} e C_p)
- s_{Cmax} permanece constante



3. Corrente absorvida pelo motor

Demonstra-se que a corrente absorvida pelo estator é dada por:

$$I_{abs} = K' \frac{sV}{\sqrt{R^2 + s^2 X^2}}$$



- a corrente varia proporcionalmente com a tensão de alimentação

- aumentando-se R_{ext} , a corrente absorvida diminui



4. Métodos de partida

a) Chave Y- Δ

o motor parte com o estator ligado em Y e após aceleração é ligado em Δ

b) Compensador de partida

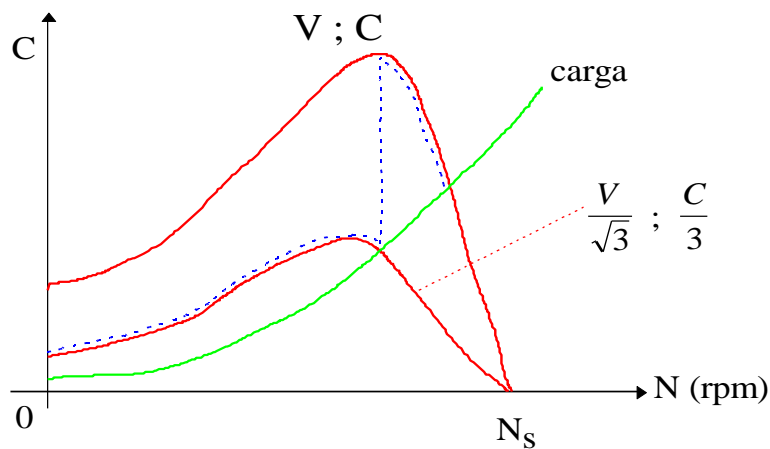
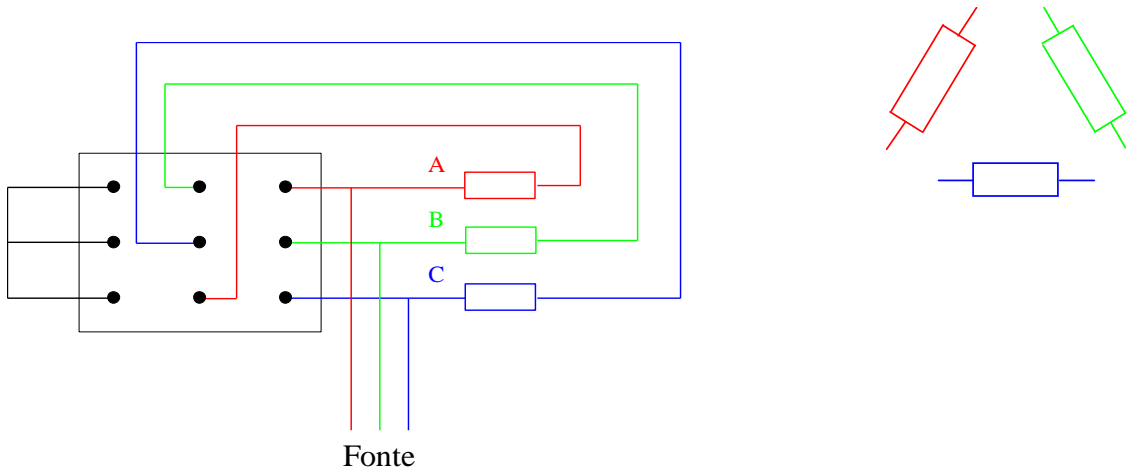
o motor parte com tensão reduzida ($0,6$ a $0,7 V_{nom}$) e depois a tensão é aumentada até $1,0 V_{nom}$

c) Reostato de partida

o motor parte com um elevado valor de R_{ext} , o qual é diminuído até o valor 0



Chave Y-Δ



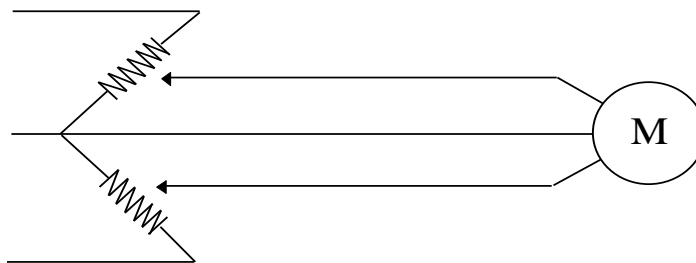
- Lig. em Y: tensão multiplicada por $1/\sqrt{3}$ e corrente de linha e conjugado multiplicados por $1/3$

- método aplicável a todos os motores (rotor em gaiola ou bobinado). A carga deve ter baixo conjugado de partida



Compensador de partida

Autotransformador com relação de transformação variável entre 0,6 e 1,0



- o autotransformador reduz a tensão de entrada no motor
- aplicável a qualquer tipo de motor (rotor em gaiola ou bobinado)



Reostato de partida

- aplicável somente a motores com rotor bobinado

5. Parte Experimental

Medição de correntes e conjugados

5.1 - Chave Y- Δ : ligação em YY/ $\Delta \Delta$

5.2 - Reostato de partida

5.3 - Corrente e conjugado de partida com tensão reduzida (demonstração)

5.4 - Ensaio em carga (demonstração)