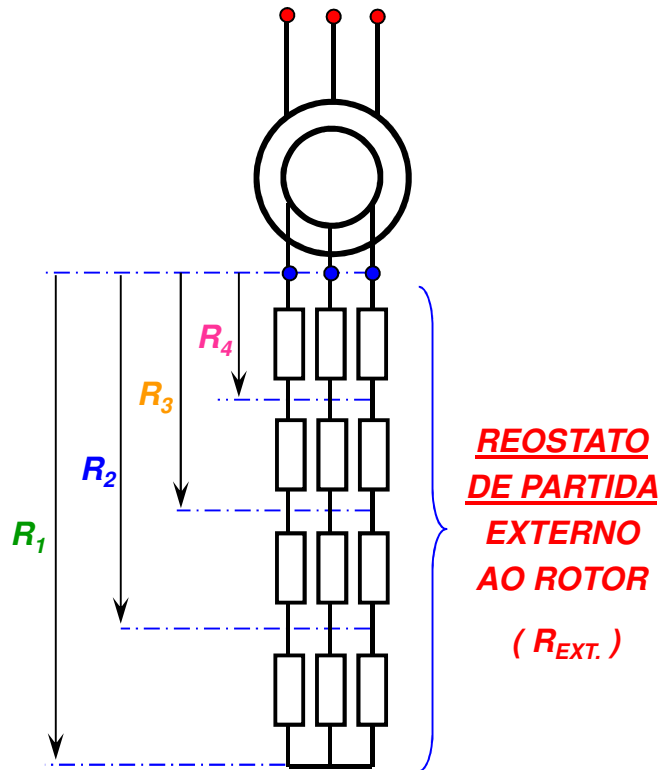


MÉTODOS DE PARTIDA DOS MOTORES ASSÍNCRONOS

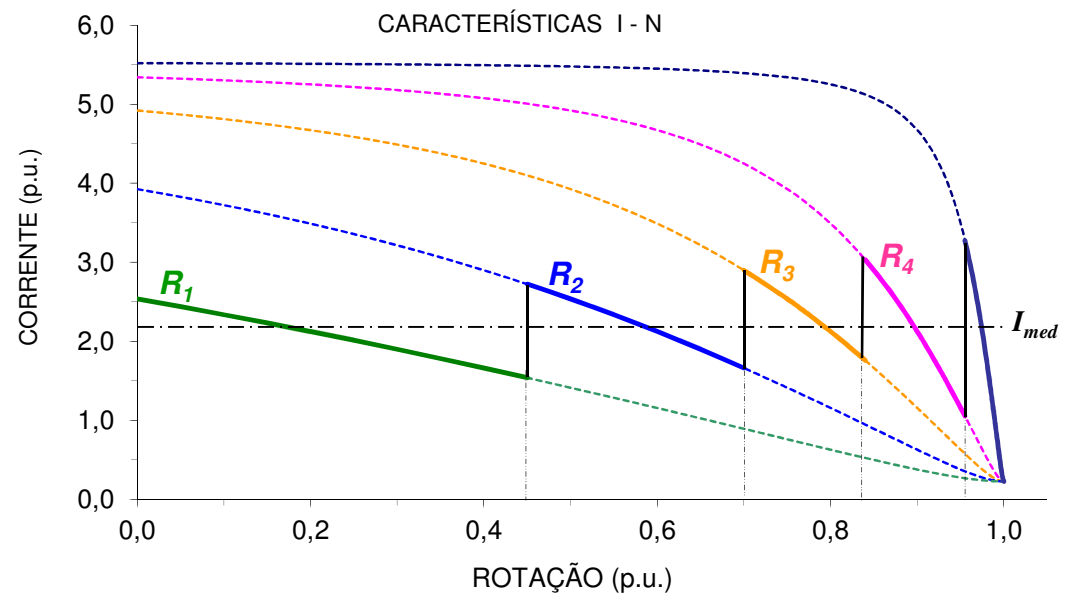
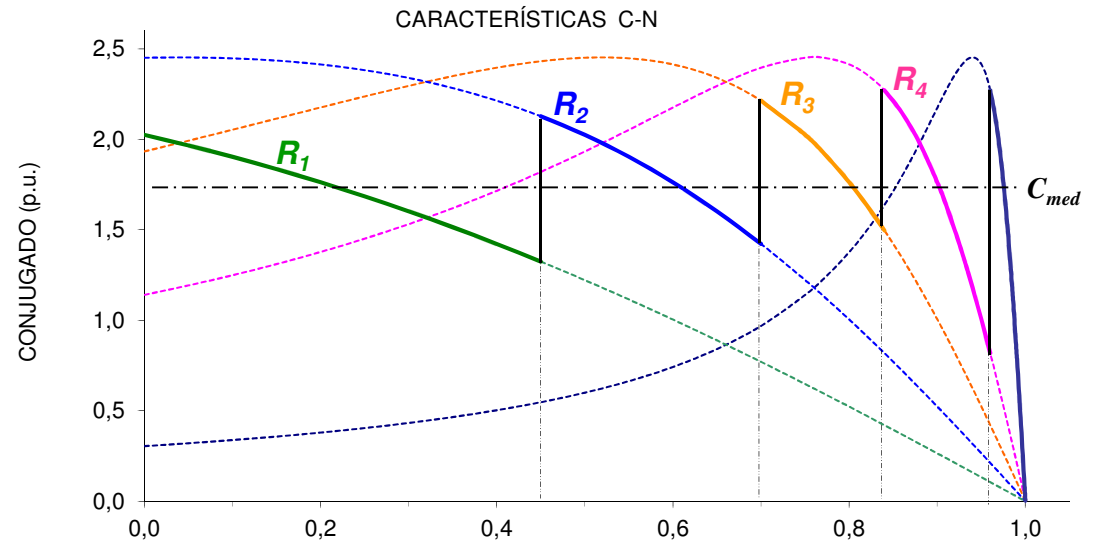
MÉTODOS DE PARTIDA DOS MOTORES ASSÍNCRONOS - MOTORES DE ANÉIS

REOSTATO ELIMINADO GRADUALMENTE CONFORME A ACELERAÇÃO DO MOTOR

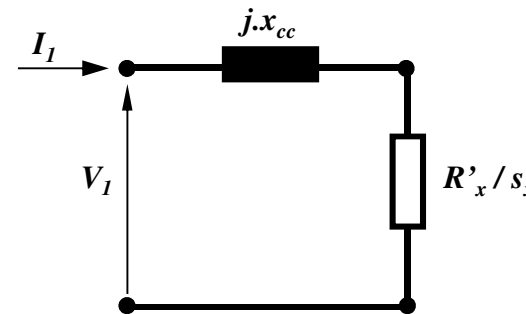
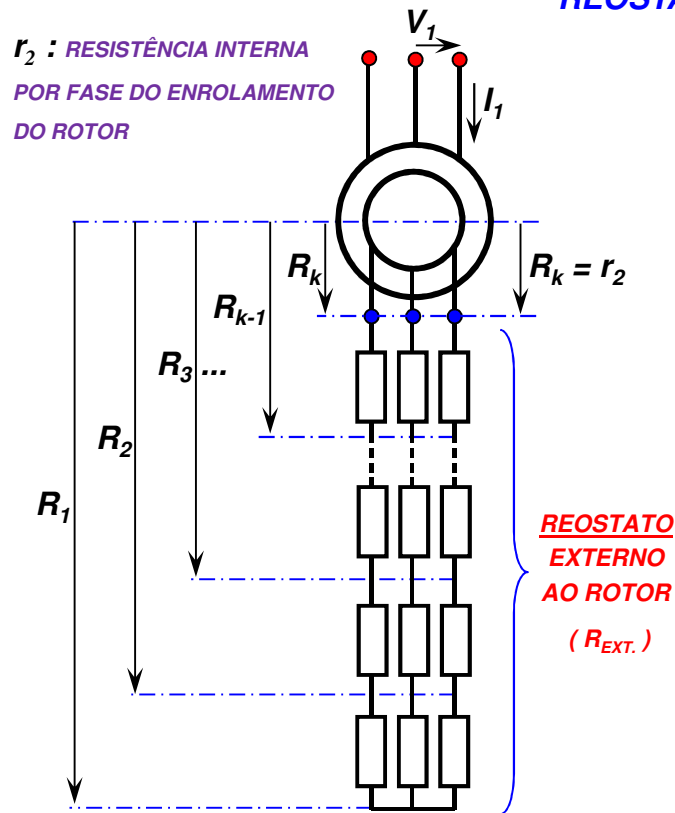
PARTIDA DISSIPATIVA → DISSIPAÇÃO DE POTÊNCIA EXTERNA AO ROTOR

OTIMIZAÇÃO DA CONDIÇÃO DE PARTIDA

ADEQUADO PARA PARTIDAS FREQUENTES E/OU COM CARGAS DE GRANDE INÉRCIA



REOSTATO DE PARTIDA : MOTORES DE ANÉIS



$$R'_x = a^2 \cdot R_x$$

$$x = 1 \rightarrow s_1 = 1 \rightarrow R'_1$$

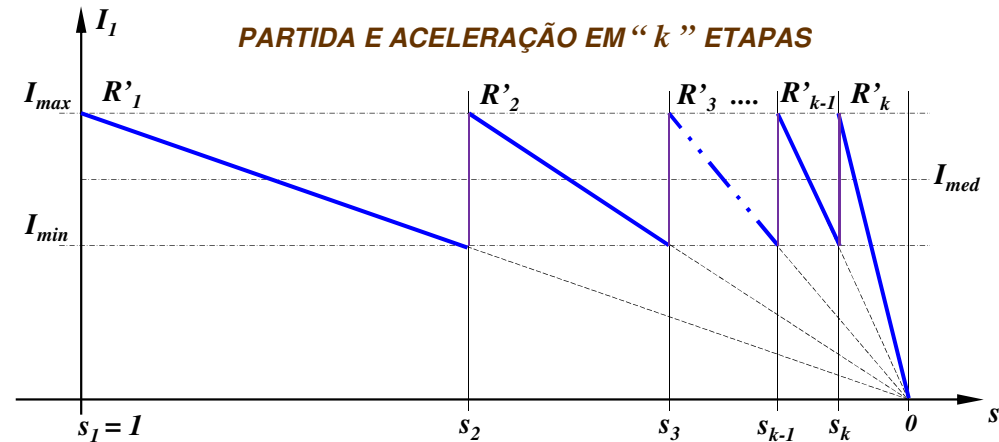
$$R'_1 = a^2 \cdot R_1$$

$$x = k \rightarrow s_k \rightarrow R'_k = r'_2$$

$$r'_2 = a^2 \cdot r_2$$

$$a = N_{lf} \cdot K_{e1} / N_{2f} \cdot K_{e2}$$

PARTIDA E ACELERAÇÃO EM “k” ETAPAS



$$I_{max} = \frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R'_1}{s_1}\right)^2 + x_{cc}^2}} = \frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R'_2}{s_2}\right)^2 + x_{cc}^2}} = \dots = \frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R'_{k-1}}{s_{k-1}}\right)^2 + x_{cc}^2}}$$

$$I_{min} = \frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R'_1}{s_2}\right)^2 + x_{cc}^2}} = \frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R'_2}{s_3}\right)^2 + x_{cc}^2}} = \dots = \frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R'_{k-1}}{s_k}\right)^2 + x_{cc}^2}}$$

I_{max} : LIMITE SUPERIOR DA FAIXA DE CORRENTE

I_{min} : LIMITE INFERIOR DA FAIXA DE CORRENTE

CORRENTE MÉDIA DURANTE A PARTIDA:

$I_{med} = (I_{max} + I_{min}) / 2 \rightarrow$ ASSOCIADA AO TORQUE MÉDIO

FAIXA DE EXCURSÃO DA CORRENTE:

$\Delta I = (I_{max} - I_{min}) \rightarrow$ MAIS ESTREITA QUANTO > “k”

REOSTATO DE PARTIDA : MOTORES DE ANÉIS

$$I_{max} = \frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R'_1}{s_1}\right)^2 + x_{cc}^2}} = \frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R'_2}{s_2}\right)^2 + x_{cc}^2}} = \dots = \frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R'_{k-1}}{s_{k-1}}\right)^2 + x_{cc}^2}}$$

$$I_{min} = \frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R'_1}{s_2}\right)^2 + x_{cc}^2}} = \frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R'_2}{s_3}\right)^2 + x_{cc}^2}} = \dots = \frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R'_{k-1}}{s_k}\right)^2 + x_{cc}^2}}$$

$$\frac{R'_1}{s_1} = \frac{R'_2}{s_2} = \dots = \frac{R'_{k-1}}{s_{k-1}} \rightarrow \frac{R'_1}{R'_2} = \frac{s_1}{s_2} ; \frac{R'_2}{R'_3} = \frac{s_2}{s_3} ; \dots ; \frac{R'_{k-1}}{R'_k} = \frac{s_{k-1}}{s_k}$$

$$\frac{R'_1}{s_2} = \frac{R'_2}{s_3} = \dots = \frac{R'_{k-1}}{s_k} \rightarrow \frac{R'_1}{R'_2} = \frac{s_2}{s_3} ; \frac{R'_2}{R'_3} = \frac{s_3}{s_4} ; \dots ; \frac{R'_{k-2}}{R'_{k-1}} = \frac{s_{k-1}}{s_k}$$

$$\frac{R'_1}{R'_2} = \frac{R'_2}{R'_3} = \frac{R'_3}{R'_4} = \dots = \frac{R'_{k-1}}{R'_k} = \beta \rightarrow \frac{R'_1}{R'_2} \times \frac{R'_2}{R'_3} \times \frac{R'_3}{R'_4} \times \dots \times \frac{R'_{k-1}}{R'_k} = \beta^{(k-1)} \rightarrow \frac{R'_1}{R'_k} = \frac{R'_1}{R'_2} = \beta^{(k-1)} \Rightarrow$$

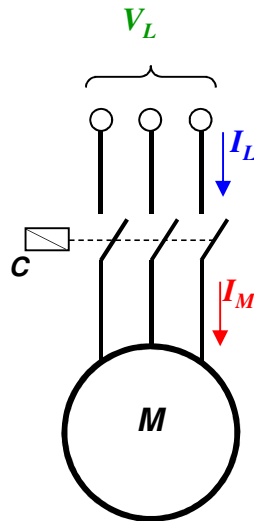
$$\beta = \sqrt[k-1]{\frac{R'_1}{R'_2}}$$

DETERMINAÇÃO DOS SEGMENTOS DO REOSTATO :

1 - DEFINIÇÃO DE I_{max} $\rightarrow$ ARBITRADA EM FUNÇÃO DA MÁXIMA CORRENTE SUPORTADA PELA REDE OU PELO CONJUGADO DE PARTIDA REQUERIDO $\Rightarrow I_{max} = \frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R'_1}{s_1}\right)^2 + x_{cc}^2}} \rightarrow s_1 = 1 \rightarrow I_{max} = \frac{V_1}{\sqrt{R'_1{}^2 + x_{cc}^2}}$

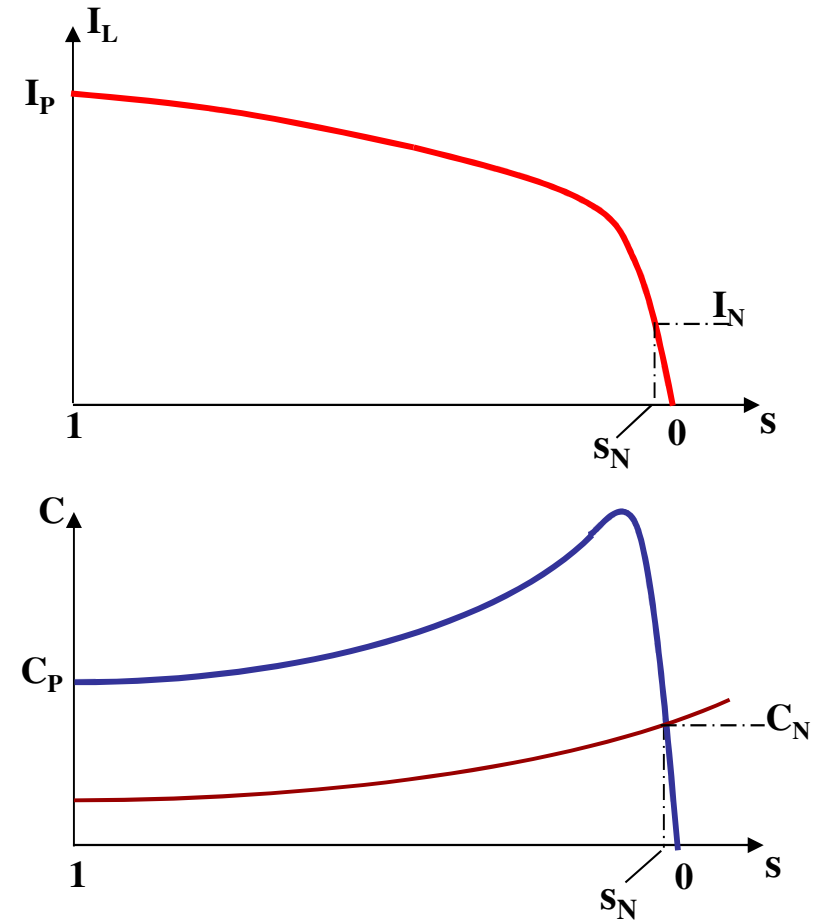
2 - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA TOTAL : R'_1 $\Rightarrow R'_1 = \sqrt{\left(\frac{V_1}{I_{max}}\right)^2 - x_{cc}^2}$ $\rightarrow$ COM R'_1 DETERMINA-SE β

3 - DETERMINAÇÃO DOS VÁRIOS TRECHOS : R'_x $\Rightarrow R'_2 = \frac{R'_1}{\beta} ; R'_3 = \frac{R'_2}{\beta} ; \dots ; R'_{k-1} = \frac{R'_{k-2}}{\beta} \rightarrow R_x = \frac{R'_x}{a^2}$

MÉTODOS DE PARTIDA DOS MOTORES ASSÍNCRONOS - MOTORES DE GAIOLA**PARTIDA DIRETA NA REDE**

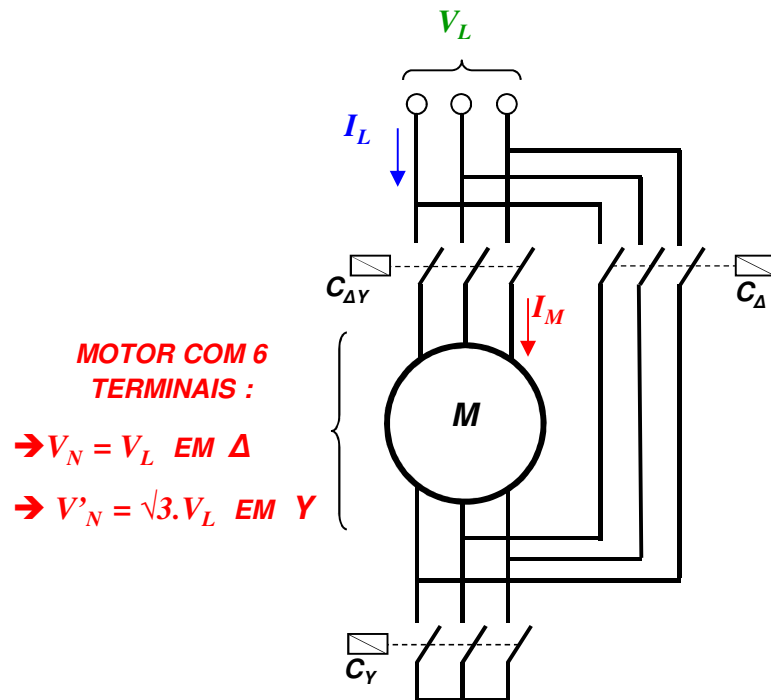
MÉTODO UTILIZADO PARA PEQUENOS MOTORES
EM BAIXA TENSÃO (220 – 380 – 440 V)

MÉTODO UTILIZADO PARA MOTORES MÉDIOS E
GRANDES EM MÉDIA TENSÃO (2,3 - 3,3 - 4,16 -
6,6 - 13,8 kV)



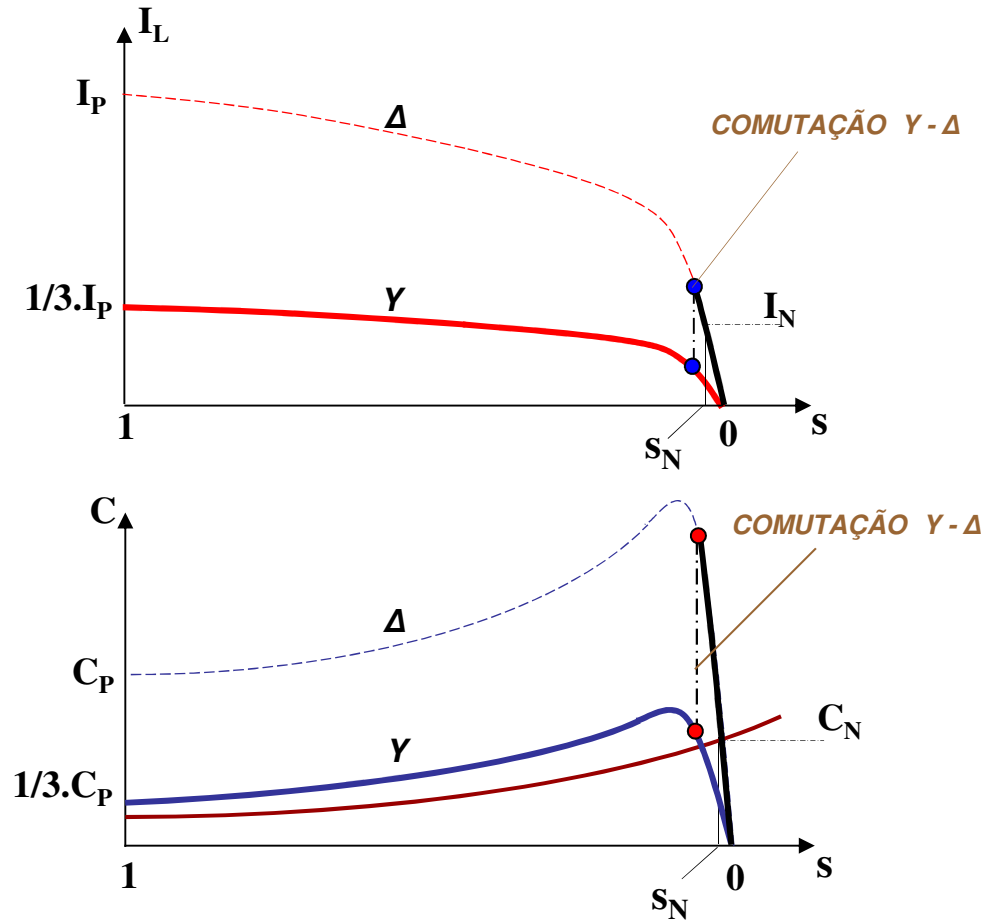
CORRENTE NA LINHA IGUAL À CORRENTE DE
CURTO CIRCUITO DO MOTOR NA PARTIDA

CURVA DE TORQUE PRESERVADA NOS SEUS
VALORES PLENOS EM QUALQUER “s”

MÉTODOS DE PARTIDA DOS MOTORES ASSÍNCRONOS - MOTORES DE GAIOLA**PARTIDA ESTRELA – TRIÂNGULO → Y-Δ**

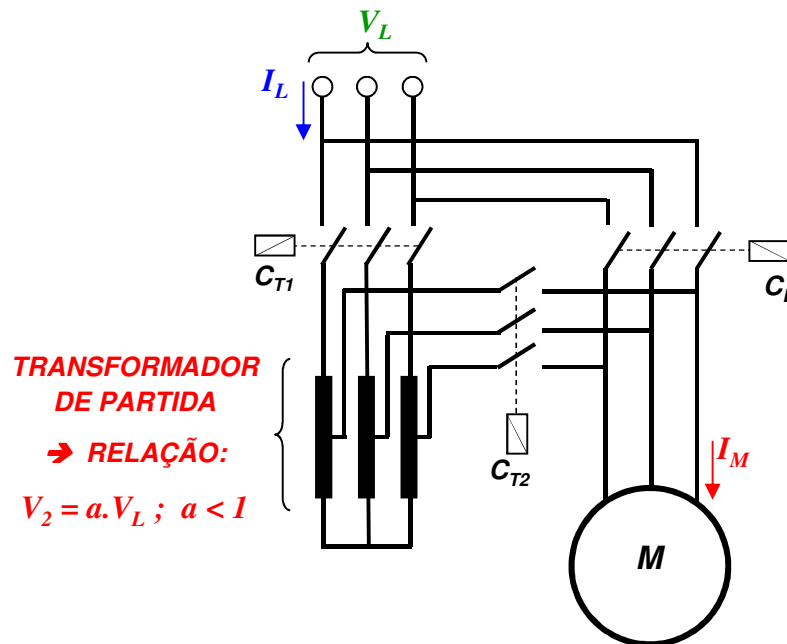
MÉTODO UTILIZADO PARA MOTORES MÉDIOS EM BAIXA TENSÃO (220 – 380 – 440 V)

TENSÃO NOMINAL DO MOTOR NA LIGAÇÃO “Δ” IGUAL À TENSÃO DA LINHA



CORRENTE NA LINHA REDUZIDA A 1/3 DA CORRENTE DE CURTO CIRCUITO DO MOTOR NA PARTIDA

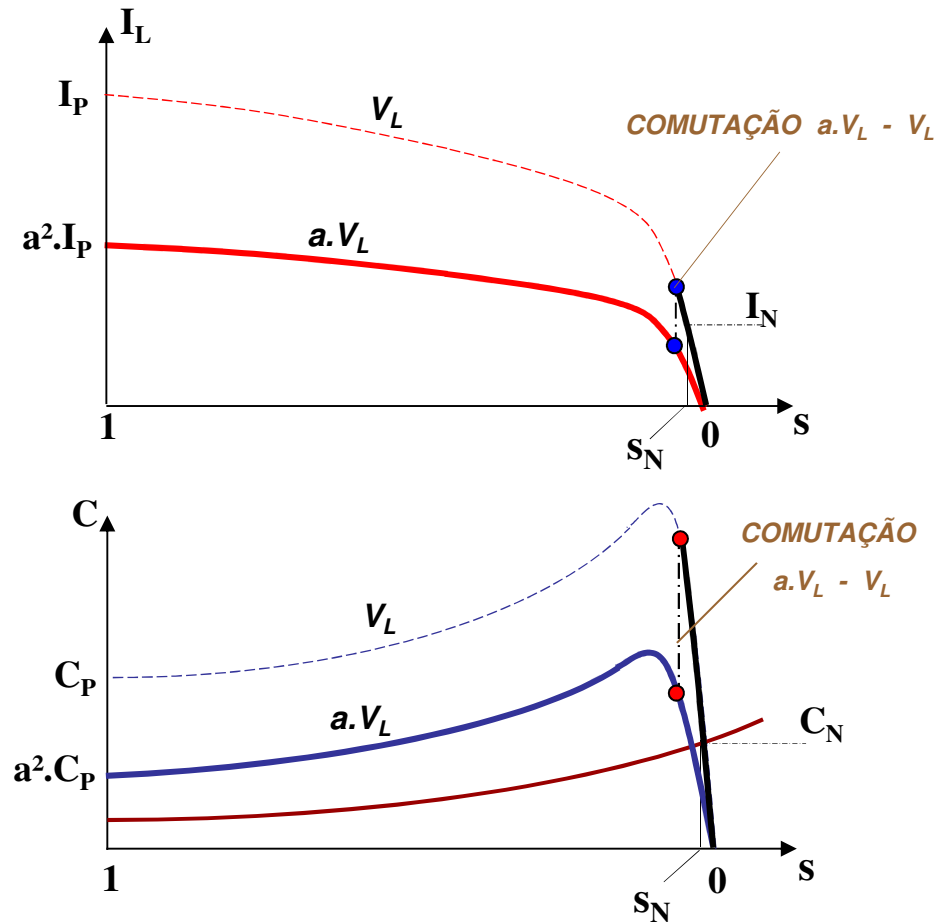
CURVA DE TORQUE ATENUADA PARA 1/3 DOS SEUS VALORES PLENOS EM QUALQUER “s”

MÉTODOS DE PARTIDA DOS MOTORES ASSÍNCRONOS - MOTORES DE GAIOLA**PARTIDA COM CHAVE COMPENSADORA**

MÉTODO UTILIZADO PARA MOTORES MÉDIOS EM BAIXA TENSÃO (220 – 380 – 440 V)

MÉTODO UTILIZADO PARA MOTORES GRANDES EM MÉDIA TENSÃO (2,3 - 3,3 - 4,16 - 6,6 - 13,8 kV)

AUTOTRANSFORMADOR COMPENSADOR COM RELAÇÕES TÍPICAS: $a = 0,5$; $a = 0,65$; $a = 0,8$



CORRENTE NA LINHA REDUZIDA POR FATOR a^2 EM RELAÇÃO À CORRENTE DE CURTO CIRCUITO NA PARTIDA

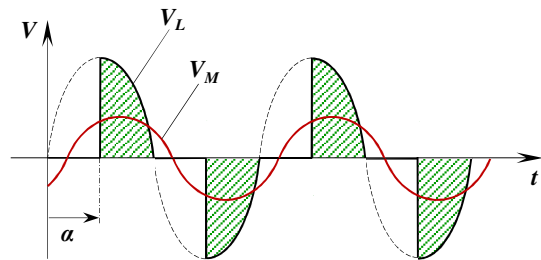
CURVA DE TORQUE ATENUADA POR FATOR a^2 EM RELAÇÃO AOS VALORES PLENOS EM QUALQUER “s”

MÉTODOS DE PARTIDA DOS MOTORES ASSÍNCRONOS - MOTORES DE GAIOLA**PARTIDA COM "SOFT-STARTER"**

**CONVERSOR CA-CA
TIRISTORIZADO CONTROLÁVEL**

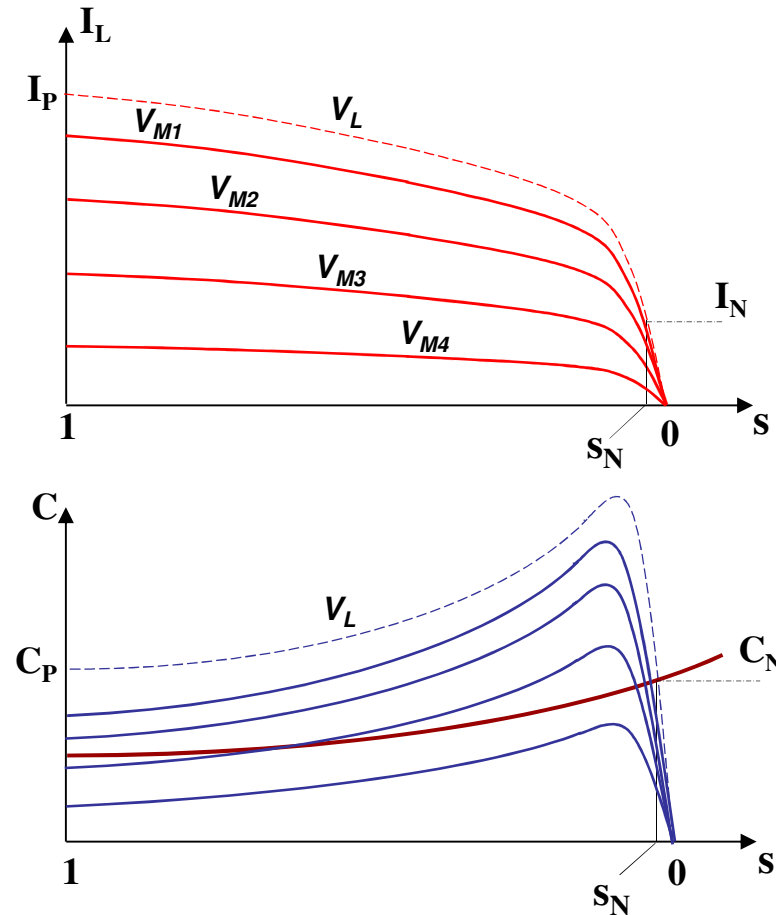
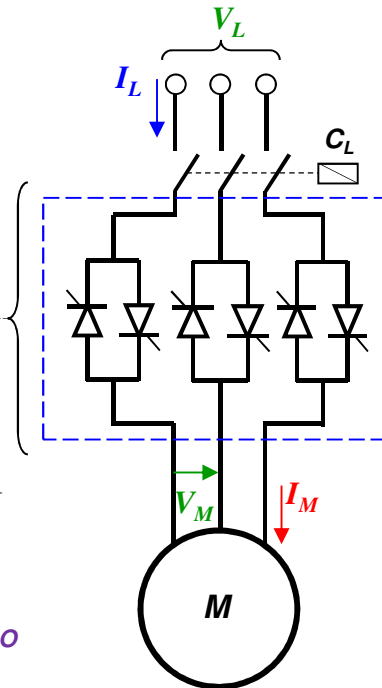
$$V_M = \cos \alpha \cdot V_L$$

α : ÂNGULO DE DISPARO DAS CHAVES



CONDUÇÃO DAS CHAVES COMANDADA PELO
ÂNGULO DE DISPARO

→ V_M : FUNDAMENTAL DA TENSÃO RECORTADA

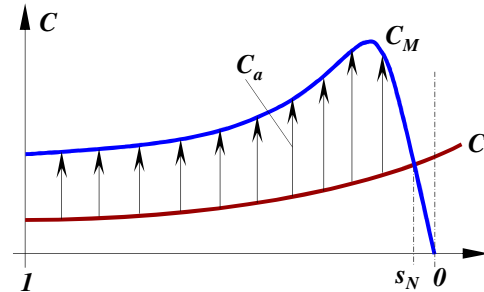
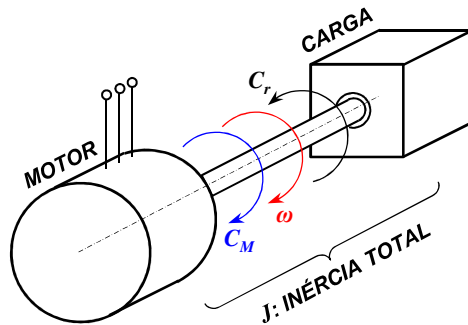


**MÉTODO UTILIZADO PARA MOTORES PEQUENOS E
MÉDIOS EM BAIXA TENSÃO (220 – 380 – 440 V)**

**AJUSTE FINO DA TENSÃO DE SAÍDA, POR CONTROLE
ELETRÔNICO → CARACTERÍSTICAS DO MOTOR
AJUSTADAS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DA CARGA**

**CORRENTE NA LINHA REDUZIDA PROPORCIONALMENTE
À ATENUAÇÃO DA TENSÃO APLICADA AO MOTOR**

**CURVA DE TORQUE ATENUADA QUADRATICAMENTE COM
A REDUÇÃO DA TENSÃO NOS TERMINAIS DO MOTOR**

TRANSITÓRIO DE PARTIDA - ENERGIA DESENVOLVIDA NO ROTOR DURANTE A ACELERAÇÃO**CONJUGADO DE ACELERAÇÃO :**

$$C_a = C_M - C_r$$

$$C_a = J \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

$$\omega = (1 - s) \cdot \omega_s \rightarrow d\omega = -\omega_s \cdot ds$$

$$C_a = -J \cdot \omega_s \cdot \frac{ds}{dt}$$

CONJUGADO MOTOR:

$$C_M = \frac{P_{tr}}{\omega_s} = \frac{m \cdot r'_2 \cdot I'^2_2}{s \cdot \omega_s} = C_a + C_r$$

$$\frac{m \cdot r'_2 \cdot I'^2_2}{s \cdot \omega_s} = -J \cdot \omega_s \cdot \frac{ds}{dt} + C_r \quad ; \quad \text{MULTIPLICANDO AMBOS OS MEMBROS POR } s \cdot \omega_s \Rightarrow \underbrace{m \cdot r'_2 \cdot I'^2_2}_{\text{PERDA JOULE NO ROTOR}} = -J \cdot \omega_s^2 \cdot s \cdot \frac{ds}{dt} + C_r \cdot s \cdot \omega_s$$

PERDA JOULE NO ROTOR

$$m \cdot r'_2 \cdot I'^2_2 \cdot dt = -J \cdot \omega_s^2 \cdot s \cdot ds + C_r \cdot s \cdot \omega_s \cdot dt \quad \Rightarrow \quad \underbrace{\int_0^{ta} m \cdot r'_2 \cdot I'^2_2 \cdot dt}_{\text{ENERGIA "DISSIPADA" NO ROTOR : } E_d} = \int_1^0 -J \cdot \omega_s^2 \cdot s \cdot ds + \int_0^{ta} C_r \cdot s \cdot \omega_s \cdot dt$$

ENERGIA "DISSIPADA" NO ROTOR : E_d

$$E_d = -J \cdot \omega_s^2 \cdot \int_1^0 s \cdot ds + C_r \cdot \int_0^{ta} (\omega_s - \omega) \cdot dt$$

 E_d : ENERGIA DESENVOLVIDA NO ROTOR QUE SE CONVERTE EM CALOR **t_a : TEMPO DE ACELERAÇÃO ($\omega = 0$ ATÉ $\omega = \omega_n \approx \omega_s$)** **C_r : FUNÇÃO EM GERAL NÃO CONHECIDA**

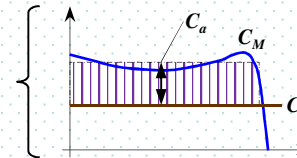
TRANSITÓRIO DE PARTIDA - ENERGIA DESENVOLVIDA NO ROTOR DURANTE A ACELERAÇÃO

$$E_d = -J \cdot \omega_s^2 \cdot \int_1^0 s \cdot ds + C_r \cdot \int_0^{ta} (\omega_s - \omega) \cdot dt = -J \cdot \omega_s^2 \cdot \left[\frac{s^2}{2} \right]_1^0 + C_r \cdot \int_0^{ta} (\omega_s - \omega) \cdot dt$$

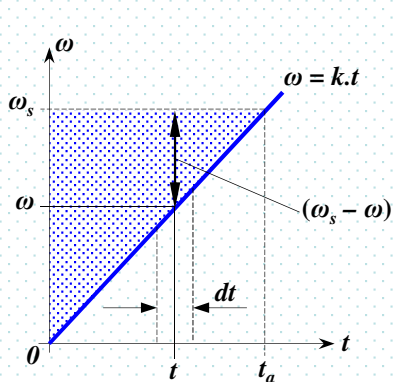
$$E_d = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega_s^2 + C_r \cdot \int_0^{ta} (\omega_s - \omega) \cdot dt \rightarrow \text{QUANDO } C_r = 0 \text{ (PARTIDA REATIVA MECÂNICA)} \rightarrow E_d = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega_s^2 = E_{cin}$$

E_{cin} : ENERGIA CINÉTICA ARMAZENADA
NO SISTEMA ROTATIVO

QUANDO $C_r \neq 0 \rightarrow$ CASO PARTICULAR DE $C_r = cte.$ E $C_a \approx cte.$
PARTE DA ENERGIA É UTILIZADA PARA SUPRIR A CARGA MECÂNICA ATIVA



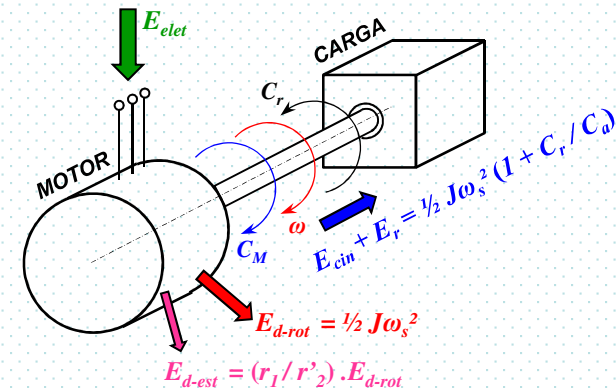
$$C_a = cte. \rightarrow C_a = J \cdot \frac{d\omega}{dt} = cte. \rightarrow \frac{d\omega}{dt} = cte. = \frac{\omega_s}{t_a} \rightarrow C_a = J \cdot \frac{\omega_s}{t_a} \rightarrow t_a = J \cdot \frac{\omega_s}{C_a} \rightarrow \omega = k \cdot t$$



$$\int_0^{ta} (\omega_s - \omega) \cdot dt = \frac{\omega_s \cdot t_a}{2} = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega_s^2 \cdot \frac{1}{C_a}$$

$$E_d = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega_s^2 + C_r \cdot \frac{1}{C_a} \cdot \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega_s^2$$

$$E_d = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega_s^2 \cdot \left(1 + \frac{C_r}{C_a} \right)$$



ENERGIA DESENVOLVIDA NO ROTOR (SISTEMA ADIABÁTICO) $\rightarrow$ CALOR ACUMULADO QUE ELEVA A TEMPERATURA DO MESMO