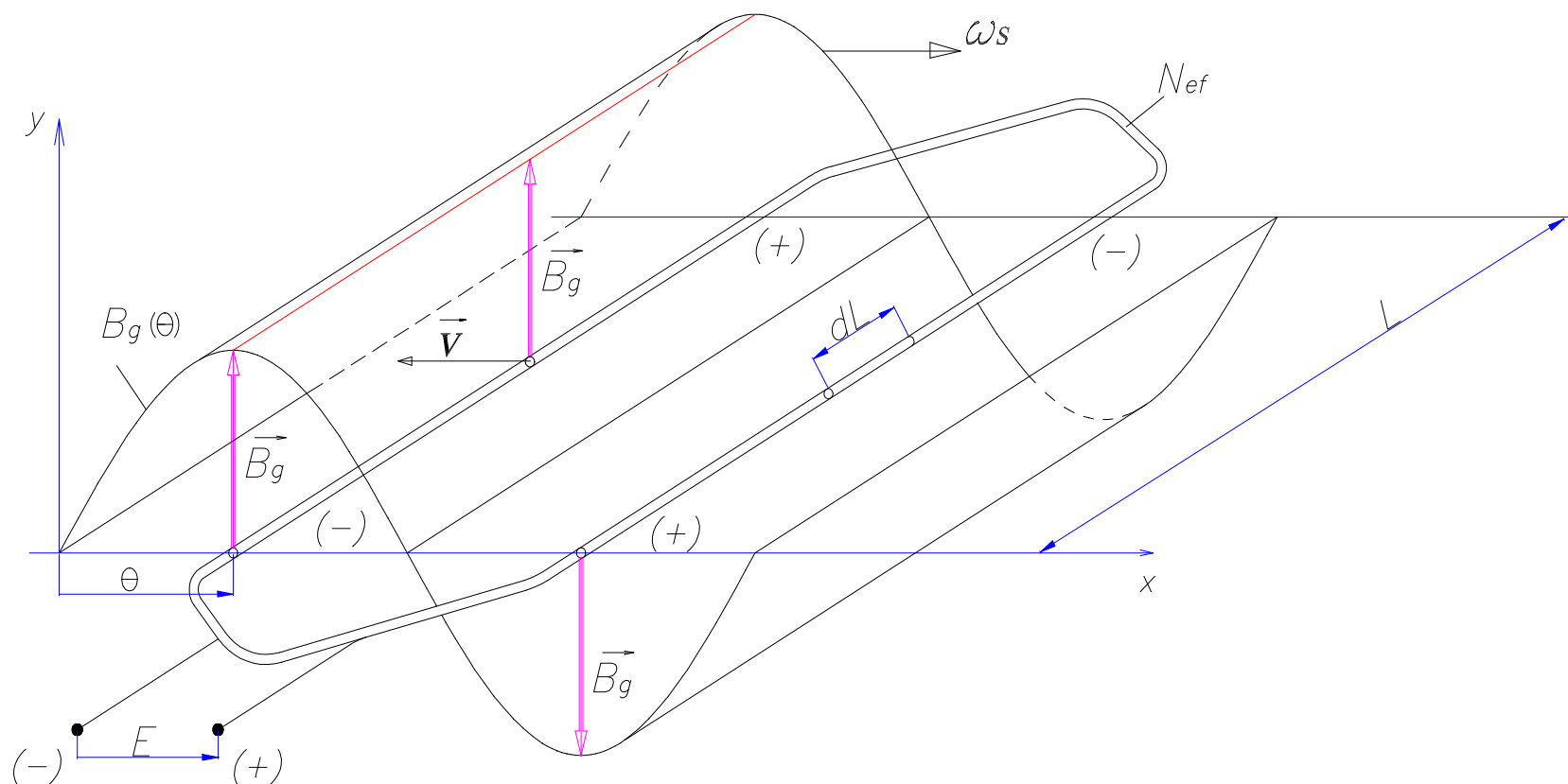


FUNCIONAMENTO DO MOTOR DE INDUÇÃO

INTERAÇÃO DO CAMPO ROTATIVO COM OS ENROLAMENTOS NAS ADJACÊNCIAS DO ENTREFERRO

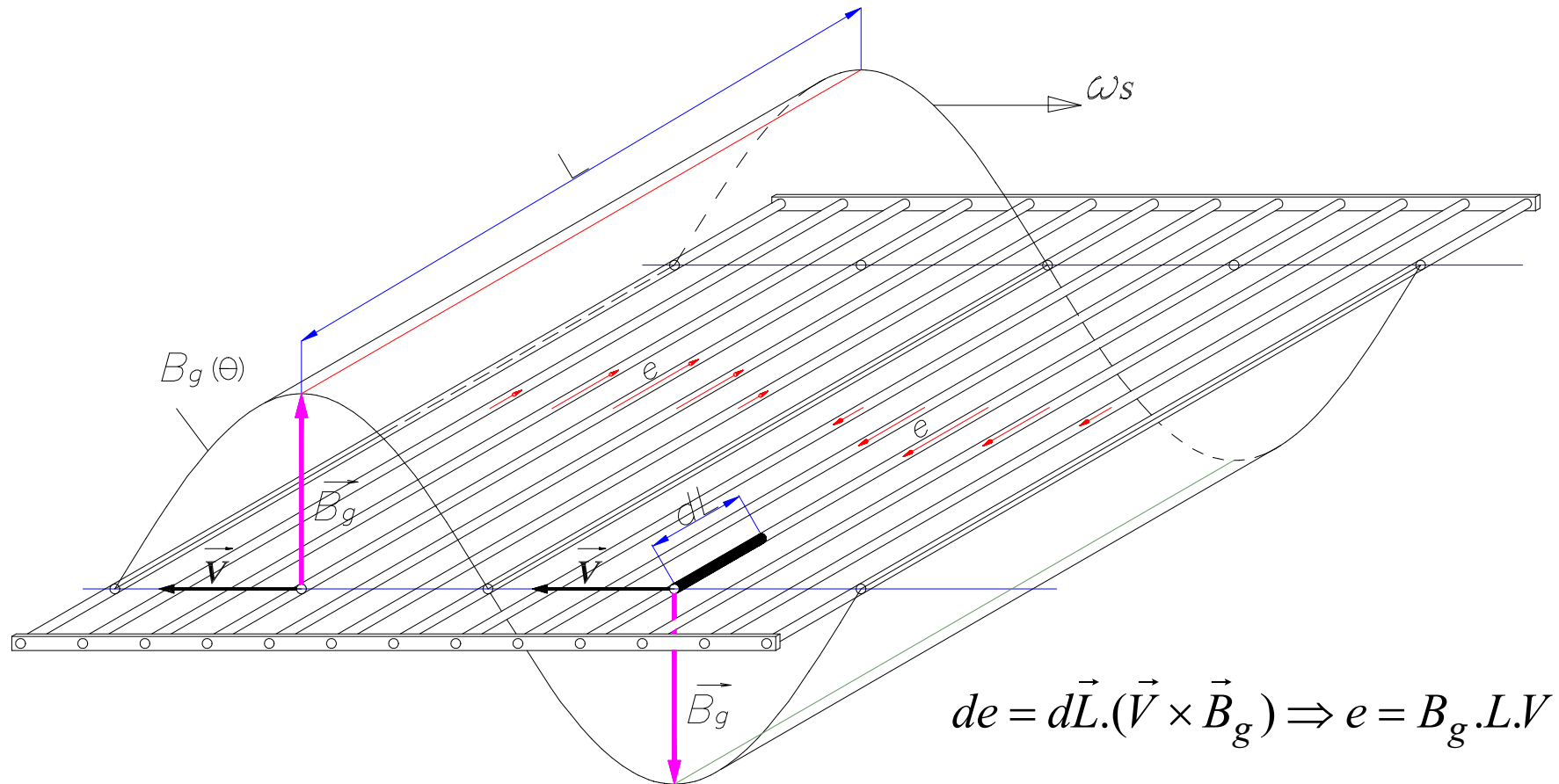
TENSÃO MOTOCIONAL INDUZIDA PELO CAMPO ROTATIVO NAS BOBINAS DO ESTATOR



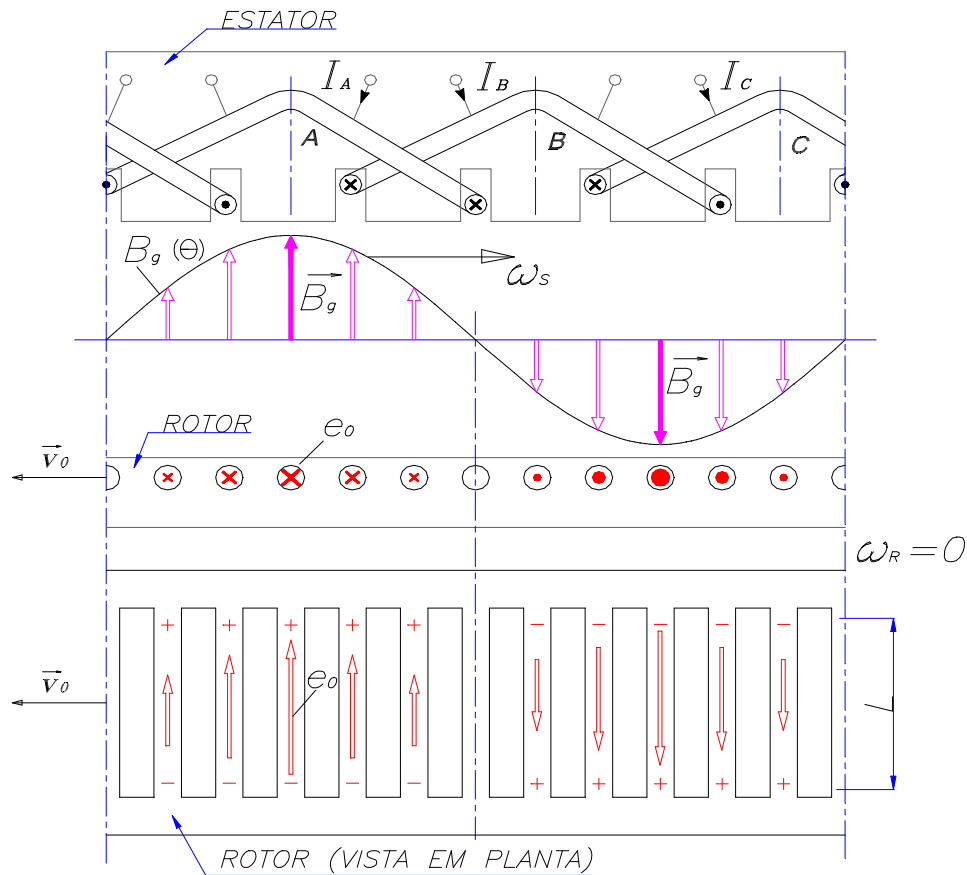
FUNCIONAMENTO DO MOTOR DE INDUÇÃO

INTERAÇÃO DO CAMPO ROTATIVO COM OS ENROLAMENTOS NAS ADJACÊNCIAS DO ENTREFERRO

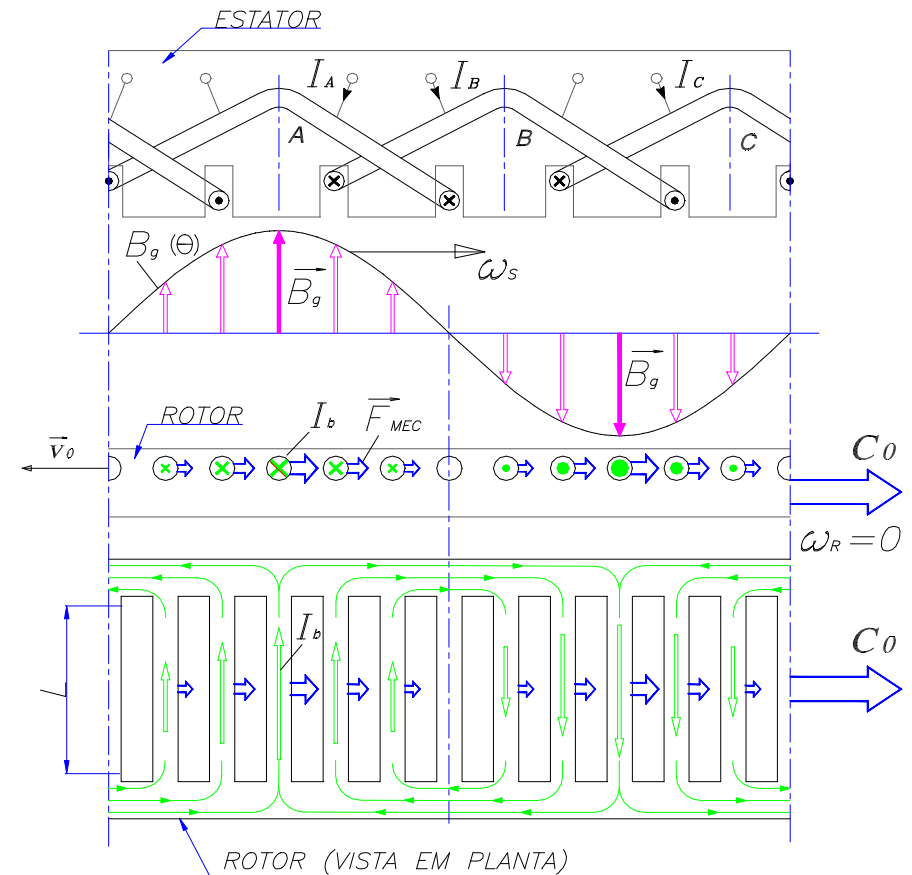
TENSÃO MOCIONAL INDUZIDA PELO CAMPO ROTATIVO NAS BARRAS DO ROTOR



PRODUÇÃO DE CONJUGADO E POTÊNCIA MECÂNICA NA MÁQUINA ASSÍNCRONA

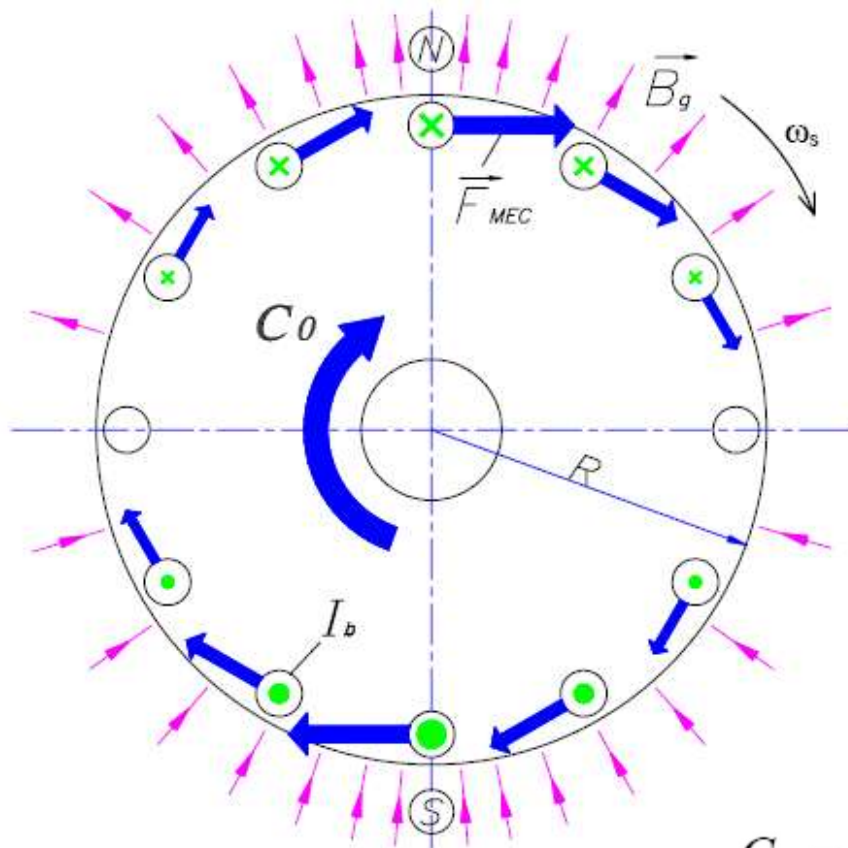
ROTOR EM REPOUSO


$$de = d\vec{L} \cdot (\vec{V} \times \vec{B}_g) \Rightarrow e = B_g \cdot L \cdot V$$



$$d\vec{f}_{mec} = I \cdot (d\vec{L} \times \vec{B}_g) \Rightarrow f_{mec} = B_g \cdot L \cdot I$$

COMPOSIÇÃO DO CONJUGADO NO EIXO DA MÁQUINA ASSÍNCRONA



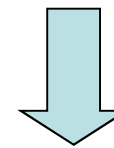
→ **DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE INDUÇÕES NO**

ENTREFERRO: $B_g(\theta) = B_M \cdot \cos(\theta)$

→ **DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CORRENTES**

NAS BARRAS DO ROTOR: $I_\theta(\theta) = I_{0M} \cdot \cos(\theta)$

INTERAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

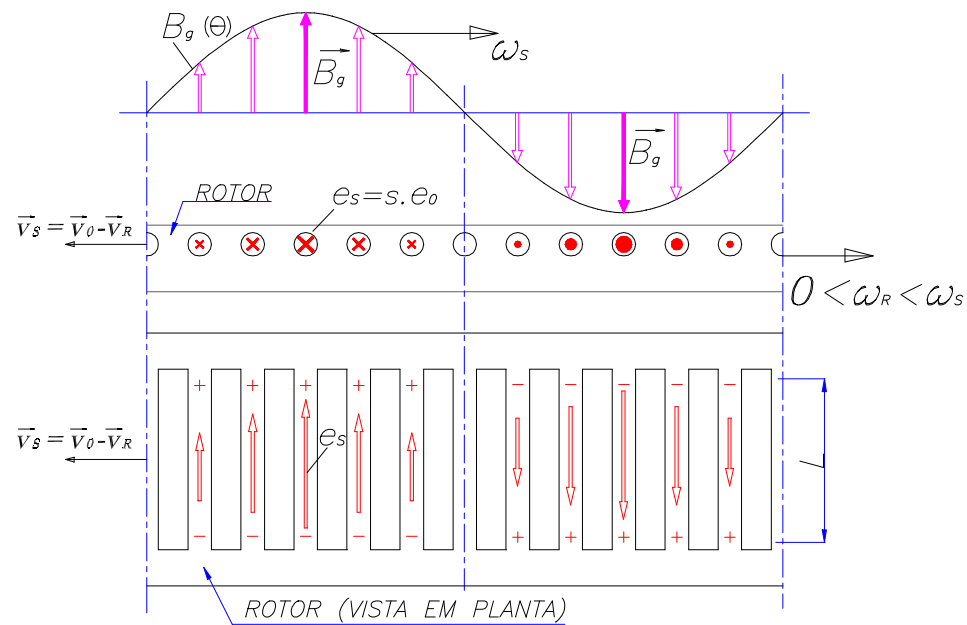


$$C_0 = \sum_{i=1}^{Q_b} F_{MEC_i} \cdot R = \sum_{i=1}^{Q_b} B_g(\theta_i) \cdot L \cdot I_b(\theta_i) \cdot R$$

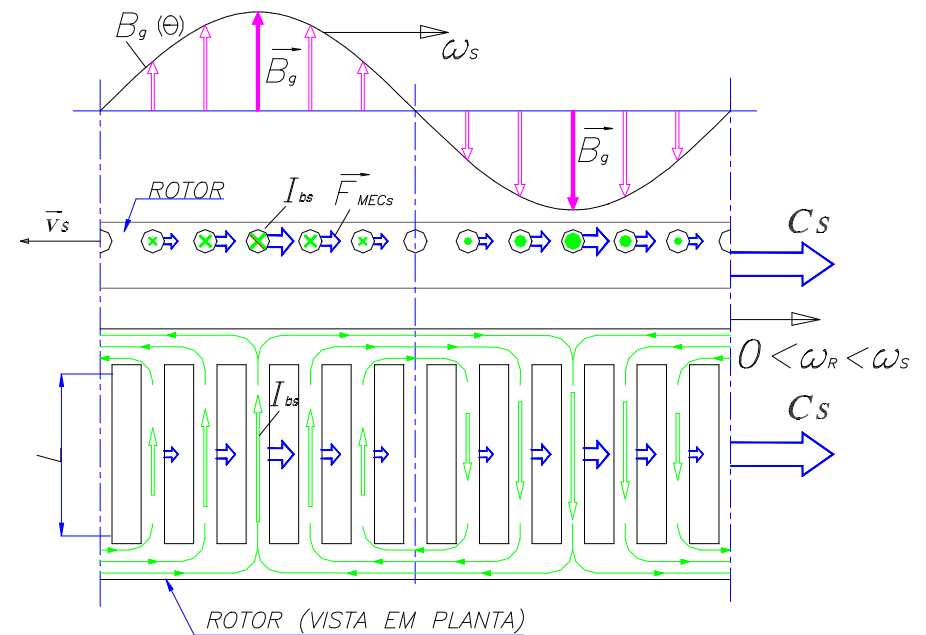
$$C_0 = \frac{Q_b \cdot R \cdot L}{2 \cdot \pi} \cdot B_M \cdot I_{0M} \cdot \int_0^{2\pi} \cos^2(\theta) \cdot d\theta = \frac{1}{2} \cdot B_M \cdot I_{0M} \cdot L \cdot R \cdot Q_b$$

PRODUÇÃO DE CONJUGADO E POTÊNCIA MECÂNICA NA MÁQUINA ASSÍNCRONA

ROTOR EM MOVIMENTO



TENSÕES INDUZIDAS NAS BARRAS DO ROTOR



CORRENTES CIRCULANTES NO ROTOR

CONCEITUAÇÃO DO ESCORREGAMENTO $\rightarrow$

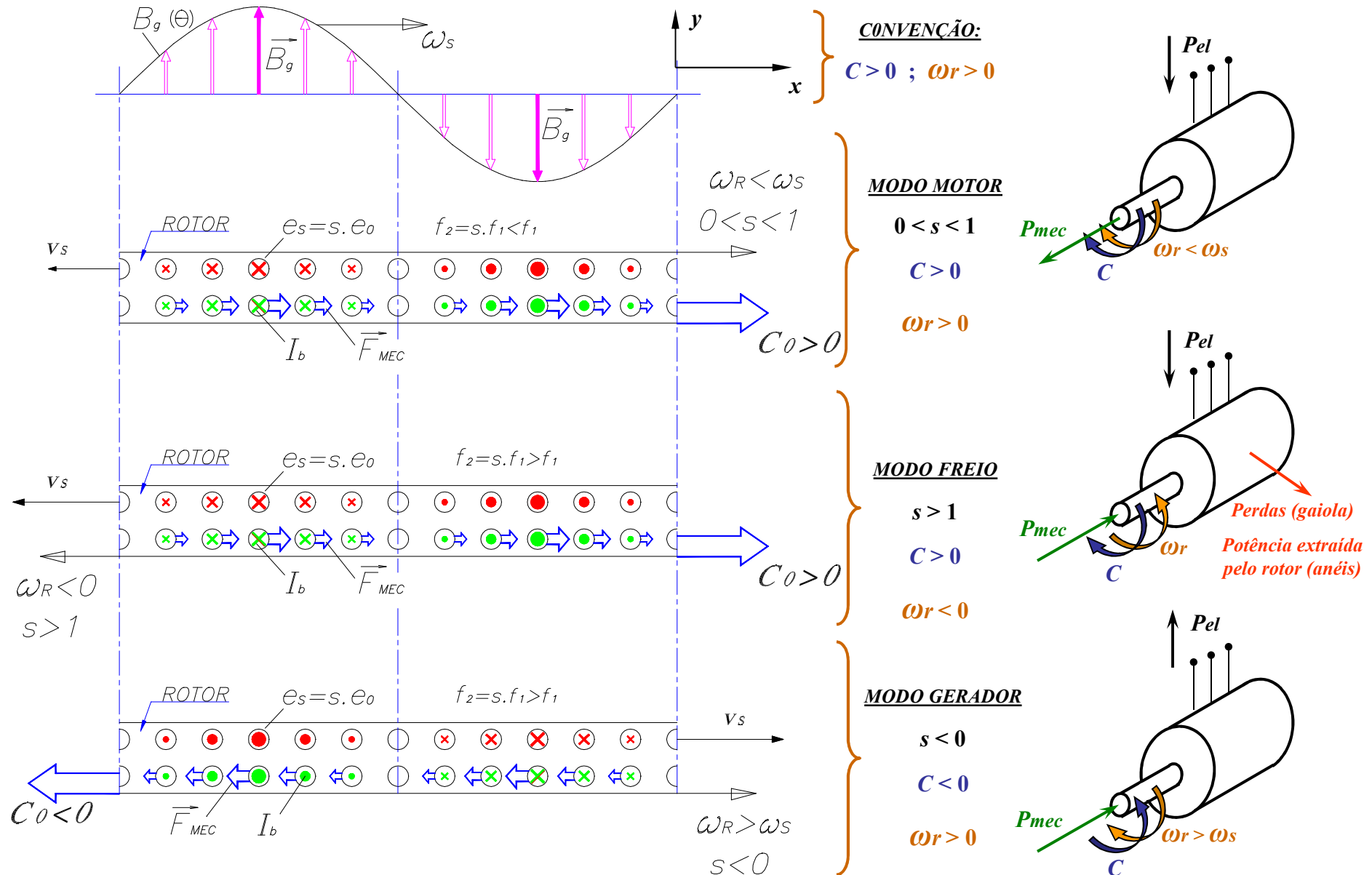
$$s = \frac{\omega_s - \omega_R}{\omega_s}$$

OPERAÇÃO DA MÁQUINA DE INDUÇÃO NA REGIÃO DE MOTOR ASSÍNCRONO

Velocidade angular do rotor	Escorregamento	Tensão induzida nos condutores	Frequência nas barras da gaiola	Conjugado
0	1	e_0	f_1	C_0
$\omega_R = (1-s) \cdot \omega_S$	s	$e_S = s \cdot e_0$	$f_2 = s \cdot f_1$	C_S
ω_S	0	0	0	0

$$s = \frac{\omega_S - \omega_R}{\omega_S}$$

MODOS DE OPERAÇÃO DA MÁQUINA ASSÍNCRONA



CARACTERÍSTICAS EXTERNAS DA MÁQUINA ASSÍNCRONA - CURVAS $C_x s$ E $I_x s$

COMPORTAMENTO DA CORRENTE NO ROTOR E DO CONJUGADO DESENVOLVIDO COM O ESCORREGAMENTO :

→ **CORRENTE NA BARRA DO ROTOR** : $I_{bs} = e_s / r_b = s.e_0 / r_b = s \cdot B_g \cdot L \cdot V_0 / r_b = k \cdot B_g \cdot \omega_s \cdot l / r_b \cdot s \rightarrow I_{bs} = k_i \cdot s$

→ **FORÇA MECÂNICA E TORQUE** : $F_{MECs} = B_g \cdot L \cdot I_{bs} \rightarrow C_s = k \cdot B_g \cdot L \cdot s \cdot e_0 / r_b = k \cdot (B_g)^2 \cdot \omega_s \cdot l / r_b \cdot s \rightarrow C_s = k_c \cdot s$

SE $r_b = \text{cte.}$ → CORRENTE E CONJUGADO PROPORCIONAIS AO ESCORREGAMENTO

NAS MÁQUINAS REAIS → BARRAS ROTÓRICAS NÃO TEM APENAS RESISTÊNCIA, MAS TAMBÉM INDUTÂNCIA :

INDUTÂNCIA DO ROTOR MANIFESTA-SE COMO UMA REATÂNCIA INDUTIVA, NA FREQUÊNCIA DO ROTOR

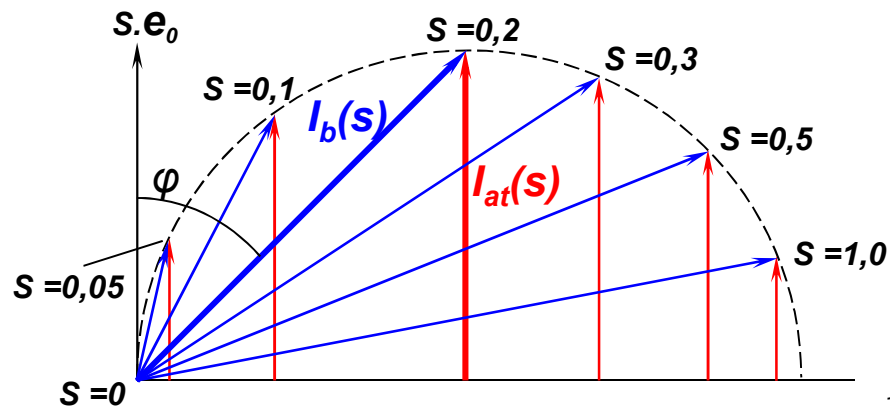
CIRCUITO ELÉTRICO DO ROTOR → **RESISTIVO + INDUTIVO** → IMPEDÂNCIA COMPLEXA NO ROTOR

FREQUÊNCIA DO ROTOR VARIA COM O ESCORREGAMENTO → IMPEDÂNCIA : FUNÇÃO DO ESCORREGAMENTO

INDUTÂNCIA DA BARRA = $L_b \rightarrow$ **REATÂNCIA DA BARRA** = $x_s = 2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot L_b = 2 \cdot \pi \cdot s \cdot f_1 \cdot L_b = s \cdot x$

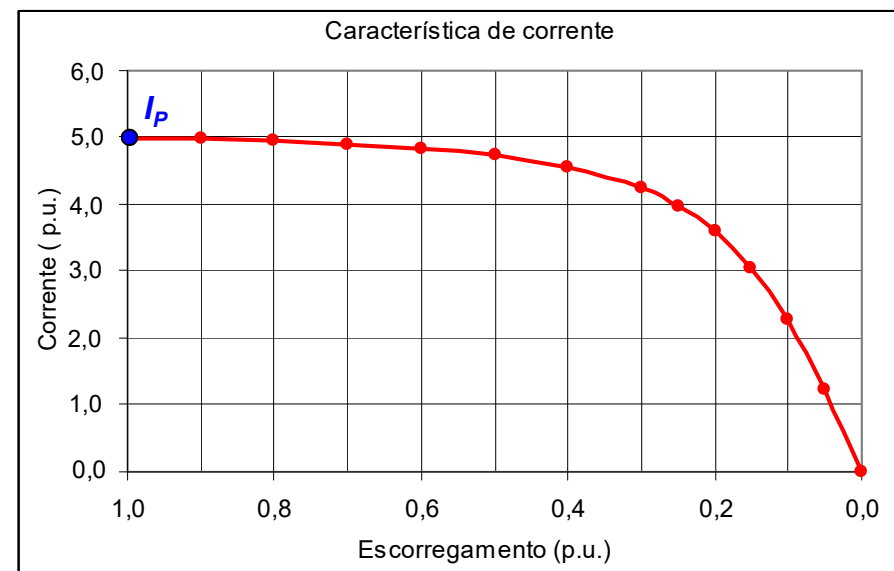
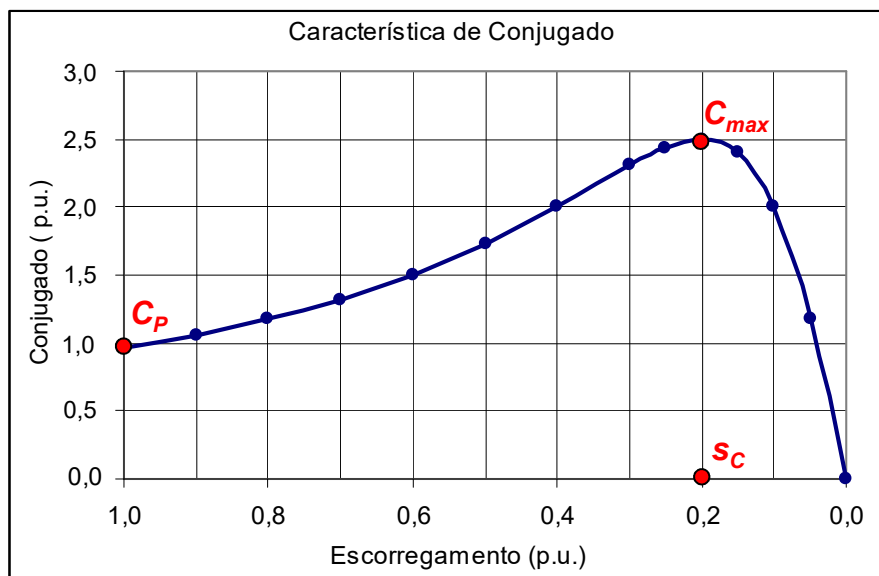
IMPEDÂNCIA DA BARRA

$$\dot{z}_b = r_b + j \cdot s \cdot x \quad \left\{ \begin{array}{l} |\dot{z}_b| = \sqrt{r_b^2 + s^2 \cdot x^2} \rightarrow \text{MÓDULO DA IMPEDÂNCIA} \\ \varphi = \arccos\left(\frac{r_b}{z_b}\right) = \arccos\left(\frac{r_b}{\sqrt{r_b^2 + s^2 \cdot x^2}}\right) \rightarrow \text{FASE DA IMPEDÂNCIA} \end{array} \right.$$

CARACTERÍSTICAS EXTERNAS DA MÁQUINA ASSÍNCRONA - CURVAS $C \times s$ E $I \times s$


COMPORTAMENTO DA COMPONENTE ATIVA DA CORRENTE COM O ESCORREGAMENTO NO ROTOR DO MOTOR DE INDUÇÃO : $I_{at}(s) = I_b(s) \cdot \cos \varphi$

- CORRENTE TOTAL SEMPRE CRESCENTE COM “s”
- CORRENTE ATIVA TEM UM MÁXIMO PARA $0 < s < 1$
- CONJUGADO DESENVOLVIDO PASSA POR UM MÁXIMO PARA $0 < s < 1$

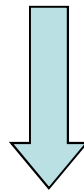


CARACTERÍSTICAS EXTERNAS DA MÁQUINA ASSÍNCRONA - MODELO DE CIRCUITO EQUIVALENTE

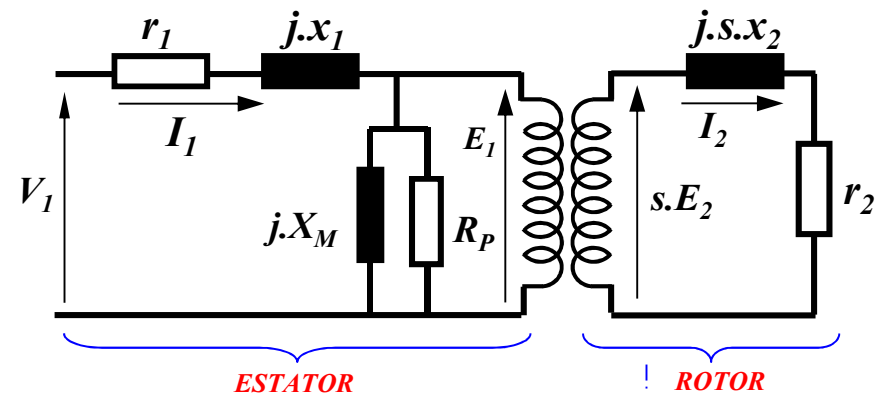
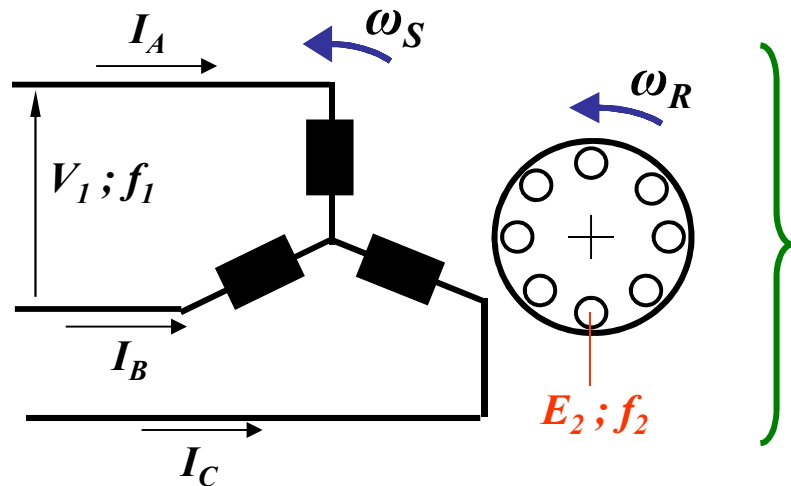
MOTOR ASSÍNCRONO REAL → APRESENTA AINDA RESISTÊNCIA E REATÂNCIA DE DISPERSÃO NOS ENROLAMENTOS DAS FASES DO ESTATOR

CONSEQÜÊNCIAS:

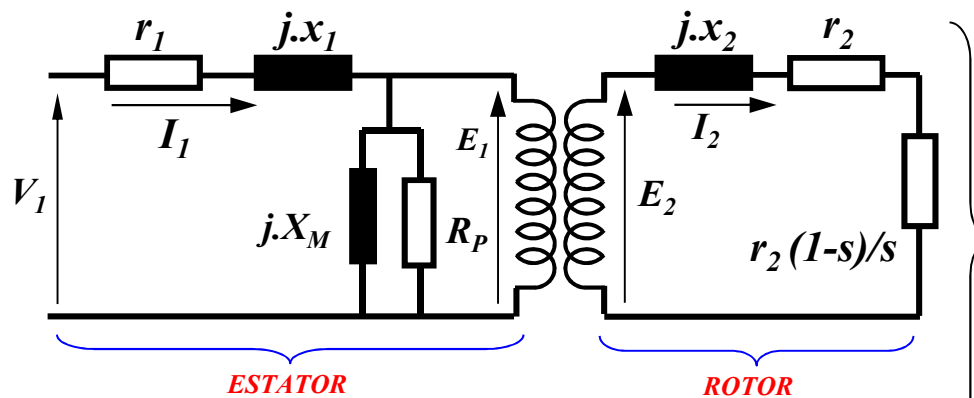
MAGNITUDE DO CAMPO MAGNÉTICO ROTATIVO NÃO É RIGOROSAMENTE CONSTANTE → ATENUA-SE SENSIVELMENTE COM A CARGA (CIRCULAÇÃO DE CORRENTE NAS FASES DO ESTATOR) DEVIDO À QUEDA DE TENSÃO NA IMPEDÂNCIA PRIMÁRIA → INFLUÊNCIA SOBRE A TENSÃO E CORRENTE INDUZIDAS NO ROTOR E CONSEQÜENTEMENTE NO TORQUE DESENVOLVIDO.



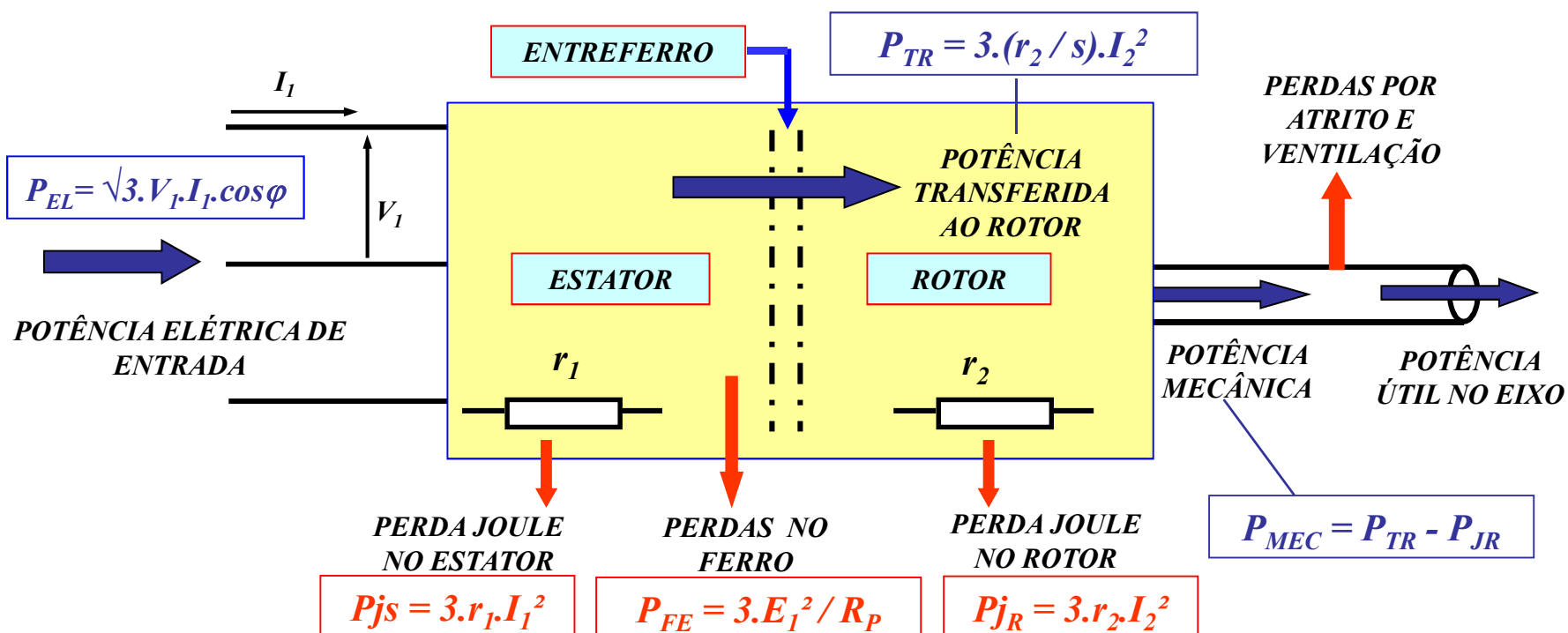
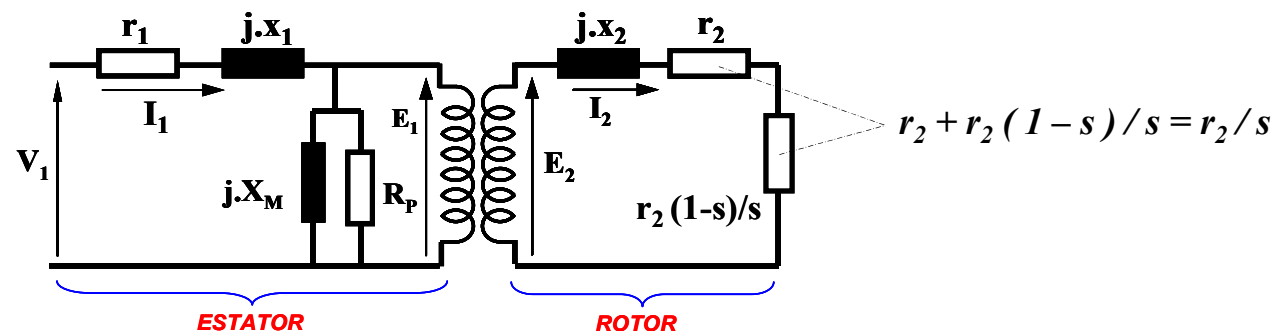
COMPORTAMENTO DO MOTOR DE INDUÇÃO DO PONTO DE VISTA ELÉTRICO → SIMILAR AO COMPORTAMENTO DO TRANSFORMADOR → MODELO QUANTITATIVO QUE REPRESENTA O MOTOR PODE SER O MESMO MODELO QUE REPRESENTA O TRANSFORMADOR → CIRCUITO EQUIVALENTE POR FASE

MODELO DO MOTOR ASSÍNCRONO TRIFÁSICO

$$I_2 = \frac{s.E_2}{r_2 + j.s.x_2} = \frac{E_2}{\frac{r_2}{s} + j.x_2} = \frac{E_2}{\left(r_2 + \frac{(1-s)}{s} \cdot r_2\right) + j.x_2}$$

**MODELO EQUIVALENTE DO MOTOR DE INDUÇÃO (POR FASE)****CONDIÇÕES EQUIVALENTES DE OPERAÇÃO:****MOTOR COM EIXO LIVRE (EM VAZIO) - $s = 0$** **→ TRANSFORMADOR COM SECUNDÁRIO EM ABERTO****MOTOR COM EIXO BLOQUEADO (PARTIDA) - $s = 1$** **→ TRANSFORMADOR COM SECUNDÁRIO EM CURTO****MOTOR EM CARGA COM ESCORREGAMENTO “s”****→ TRANSFORMADOR COM CARGA RESISTIVA** **$r_2 \cdot (1-s) / s$ NO SECUNDÁRIO**

FLUXO DE POTÊNCIAS ATIVAS NA MÁQUINA ASSÍNCRONA TRIFÁSICA



RELAÇÕES IMPORTANTES NA MÁQUINA ASSÍNCRONA

MODELO EQUIVALENTE DO MOTOR DE INDUÇÃO
(POR FASE, REFERIDO AO ESTATOR)

$$\rightarrow x'_2 = a^2 \cdot x_2$$

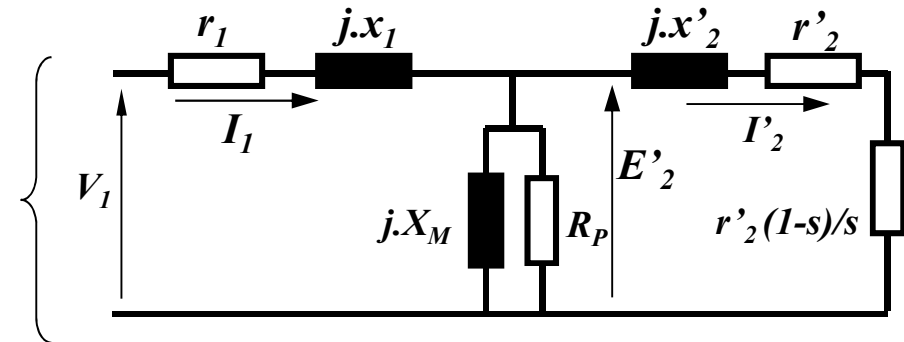
$$\rightarrow r'_2 = a^2 \cdot r_2$$

$\rightarrow a^2$: RELAÇÃO DE REFLEXÃO ROTOR/ESTATOR



PARA MOTOR DE GAIOLA COM S_2 BARRAS NO ROTOR:

$$N_{2f} = 1/2 \quad - \quad k_{e2} = 1 \quad - \quad m_2 = S_2/p$$



$$a^2 = \frac{m_1 \cdot N_{1f}^2 \cdot k_{e1}^2}{m_2 \cdot N_{2f}^2 \cdot k_{e2}^2} = \frac{4 \cdot m_1 N_{1f}^2 \cdot k_{e1}^2 \cdot p}{S_2}$$

POTÊNCIA TRANSFERIDA AO ROTOR: $P_{TR} = m_1 \cdot (r'_2/s) \cdot I'^2_2$

PERDA JOULE NO ROTOR: $p_{J2} = m_1 \cdot r'_2 \cdot I'^2_2$

POTÊNCIA MECÂNICA NO EIXO: $P_{MEC} = P_{TR} - p_{J2} = m_1 \cdot r'_2 \cdot [(1-s)/s] \cdot I'^2_2$

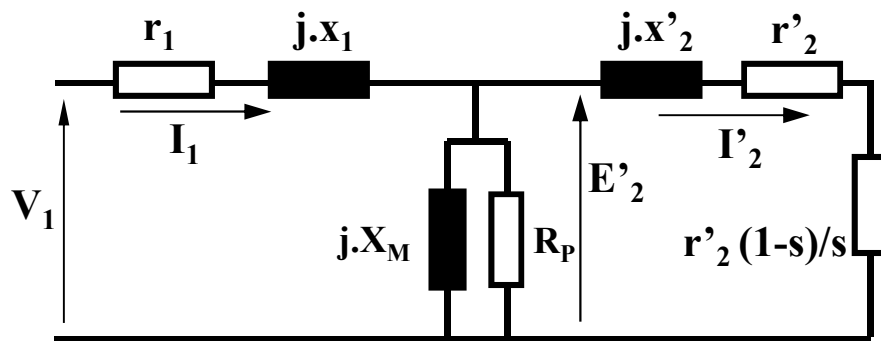
$$\rightarrow P_{j2} = s \cdot P_{TR}$$

$$\rightarrow P_{MEC} = (1-s) \cdot P_{TR}$$

CONJUGADO NO EIXO DO MOTOR DE INDUÇÃO $\rightarrow$

$$C = \frac{P_{MEC}}{\omega_r} = \frac{(1-s) \cdot P_{TR}}{(1-s) \cdot \omega_s} = \frac{P_{TR}}{\omega_s}$$

CARACTERÍSTICAS EXTERNAS DA MÁQUINA ASSÍNCRONA - MODELO DE CIRCUITO EQUIVALENTE



$$I_1 = \frac{V_1}{\sqrt{\left(\alpha.r_1 + \frac{r'_2}{s}\right)^2 + (x_1 + x'_2)^2}}$$

$$C = \frac{3.V_1^2 \cdot \left(\frac{r'_2}{s}\right)}{\omega_s \cdot \left[\left(\alpha.r_1 + \frac{r'_2}{s}\right)^2 + (x_1 + x'_2)^2\right]}$$

$$s = \frac{\omega_s - \omega_R}{\omega_s}$$

$$s_c = \frac{r'_2}{(x_1 + x'_2)}$$

