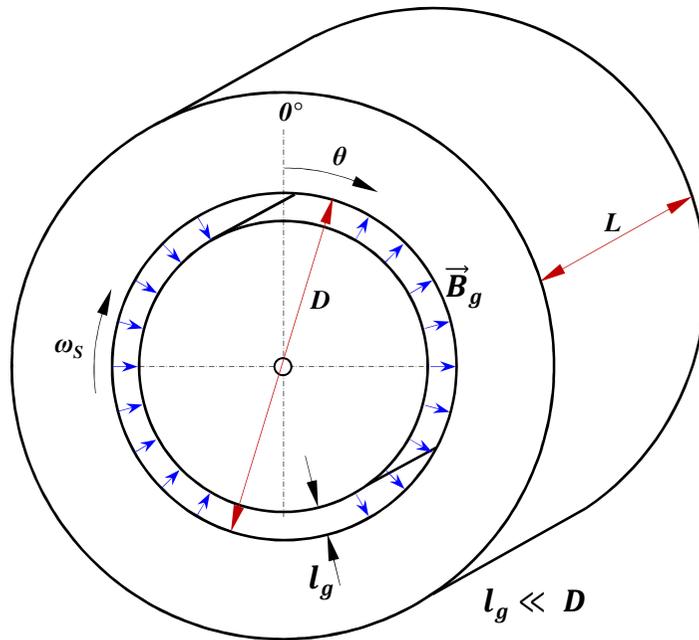


FLUXO POR POLO E F.E.M. INDUZIDA NOS ENROLAMENTOS DA MÁQUINA ASSÍNCRONA



ENROLAMENTO TRIFÁSICO DOTADO DE DISTRIBUIÇÃO E ENCURTAMENTO:

→ PRODUZ DISTRIBUIÇÃO ROTATIVA DE F.M.M. NO ENTREFERRO, COM CONFORMAÇÃO ESPACIAL SENOIDAL AO LONGO DA CIRCUNFERÊNCIA :

$$F(\theta) = F_M \cdot \text{sen}\theta$$

CONSIDERANDO APENAS A RELUTÂNCIA DO ENTREFERRO ($\mu_{\text{FERRO}} \rightarrow \infty$):

$$F = \oint H \cdot dl \rightarrow F(\theta) = H(\theta) \cdot l_g$$

DENSIDADE DE FLUXO NO ENTREFERRO: $B_g = \mu_0 \cdot H$

$$\rightarrow B_g(\theta) = \mu_0 \cdot H(\theta) = \mu_0 \cdot F(\theta) / l_g = \mu_0 \cdot F_M \cdot \text{sen}\theta / l_g = (\mu_0 \cdot F_M / l_g) \cdot \text{sen}\theta \rightarrow B_g(\theta) = B_M \cdot \text{sen}\theta$$

DEFINIÇÕES AUXILIARES:

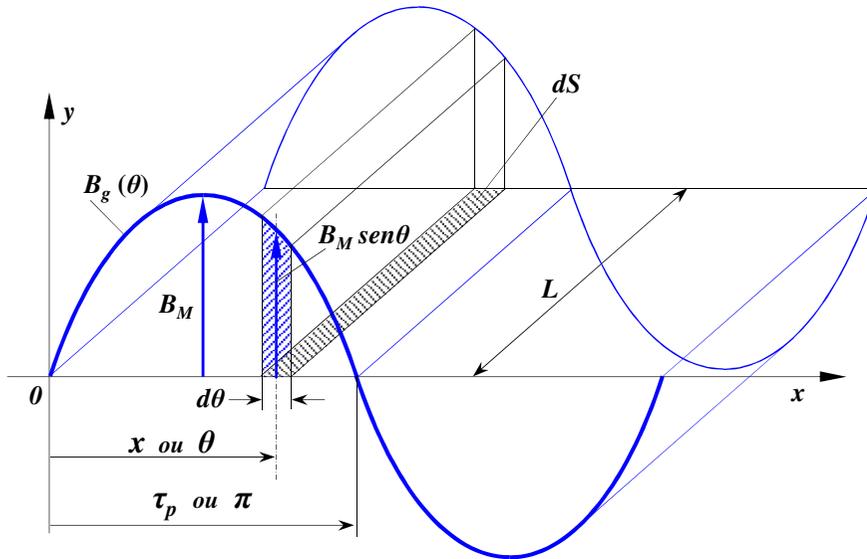
PASSO POLAR: COMPRIMENTO DO ARCO CIRCULAR QUE CONFINA O FLUXO DE UM

POLO MAGNÉTICO, MEDIDO NA LINHA MÉDIA DO ENTREFERRO $\rightarrow \tau_p = \frac{\pi \cdot D}{2p}$

SUPERFÍCIE POLAR:

$$\rightarrow S_p = \tau_p \cdot L$$

FLUXO POR POLO E F.E.M. INDUZIDA NOS ENROLAMENTOS DA MÁQUINA ASSÍNCRONA



FLUXO POR POLO NO ENTREFERRO:

$$\phi_p = \int_{S_p} B_g \cdot dS \quad \rightarrow \quad \phi_p = \int_0^{\tau_p} B_g(x) \cdot L \cdot dx$$

TRANSFORMANDO AS VARIÁVEIS DE DISTÂNCIA PARA ANGULARES:

$$x \rightarrow \theta$$

$$\tau_p \rightarrow \pi$$

$$\rightarrow x = (\tau_p / \pi) \cdot \theta$$

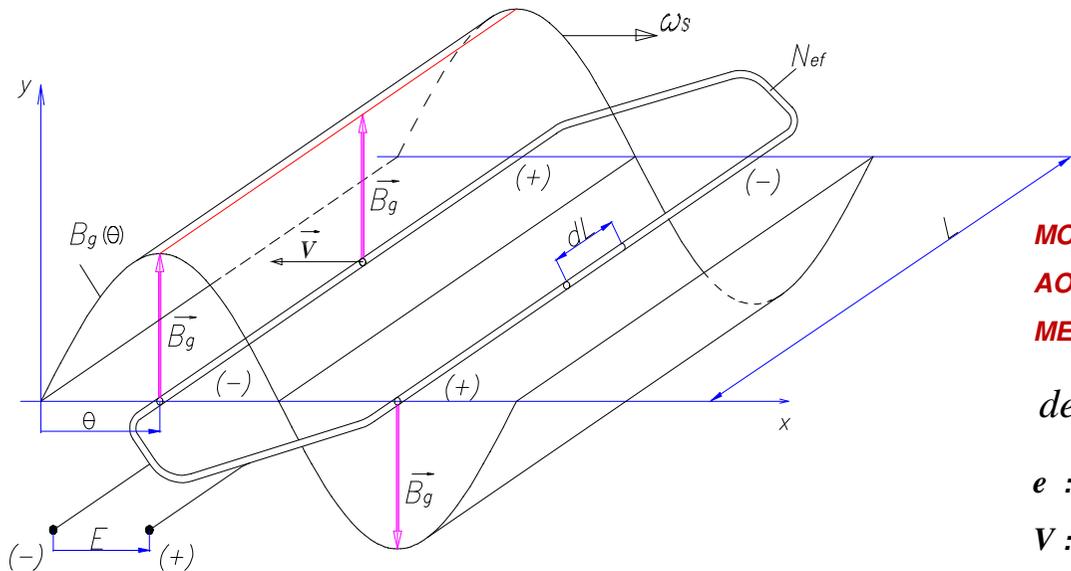
$$\rightarrow B_g(x) = B_g(\theta)$$

$$\rightarrow dS = L \cdot dx = L \cdot (\tau_p / \pi) \cdot d\theta$$

$$\phi_p = \int_0^{\pi} B_g(\theta) \cdot L \cdot \frac{\tau_p}{\pi} \cdot d\theta \quad ; \quad B_g(\theta) = B_M \cdot \text{sen}\theta \quad \rightarrow \quad \phi_p = L \cdot \frac{\tau_p}{\pi} \cdot B_M \cdot \int_0^{\pi} \text{sen}\theta \cdot d\theta = L \cdot \frac{\tau_p}{\pi} \cdot B_M \cdot \underbrace{[-\cos\theta]_0^{\pi}}_2$$

$$\boxed{\phi_p = \frac{2}{\pi} \cdot B_M \cdot \tau_p \cdot L} \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{2}{\pi} \cdot B_M = B_{\text{medio}} \quad \rightarrow \text{VALOR MÉDIO DE UMA DISTRIBUIÇÃO SENOIDAL DE VALOR MÁXIMO } B_M \\ \tau_p \cdot L = S_p \quad \rightarrow \text{SUPERFÍCIE POLAR} \quad \rightarrow \quad \boxed{\phi_p = B_{\text{medio}} \cdot S_p} \end{array} \right.$$

FORÇA ELETROMOTRIZ INDUZIDA NOS ENROLAMENTOS DA MÁQUINA ASSÍNCRONA



CAMPO ROTATIVO EM DESLOCAMENTO CONCATENA COM QUAISQUER ENROLAMENTOS ALOJADOS NAS ADJACÊNCIAS DO ENTREFERRO, TANTO NO ESTATOR QUANTO NO ROTOR.

MOVIMENTO RELATIVO DO CAMPO GIRANTE EM RELAÇÃO AOS CONDUTORES DESSES ENROLAMENTOS INDUZ NOS MESMOS TENSÕES POR EFEITO MOCIONAL:

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

e : TENSÃO INSTANTÂNEA INDUZIDA EM UM CODUTOR

V : VELOCIDADE RELATIVA DO CONDUTOR EM RELAÇÃO AO CAMPO

L : COMPRIMENTO ATIVO DO CONDUTOR IMERSO NO CAMPO

TENSÃO INDUZIDA DEPENDE DA MAGNITUDE DO CAMPO QUE ATUA SOBRE O CONDUTOR:

→ DEPENDE, PORTANTO, DA POSIÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE CAMPO EM RELAÇÃO AO CONDUTOR → $e = e(\theta) = B_g(\theta) \cdot L \cdot V$

TENSÃO INDUZIDA NA BOBINA DE NÚMERO DE ESPIRAS EFETIVAS : $N_{ef} = N_b \cdot K_e$ → $E(\theta) = 2 \cdot N_{ef} \cdot B_M \cdot \text{sen}\theta \cdot L \cdot V$

VELOCIDADE RELATIVA DO CONDUTOR É A VELOCIDADE TANGENCIAL DO CAMPO NA LINHA DO ENTREFERRO: $V = \pi \cdot D \cdot n_s = \pi \cdot D \cdot f / p$

$$E(\theta) = 2 \cdot N_{ef} \cdot \frac{\pi \cdot D}{p} \cdot L \cdot f \cdot B_M \cdot \text{sen}\theta = 2 \cdot N_{ef} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot D}{2 \cdot p} \cdot L \cdot f \cdot B_M \cdot \text{sen}\theta \rightarrow E(\theta) = 4 \cdot N_{ef} \cdot \tau_p \cdot L \cdot f \cdot B_M \cdot \text{sen}\theta$$

FORÇA ELETROMOTRIZ INDUZIDA NOS ENROLAMENTOS DA MÁQUINA ASSÍNCRONA

TENSÃO INDUZIDA NA BOBINA, OBSERVADA NOS SEUS TERMINAIS, EVOLUI AO LONGO DO TEMPO CONFORME A

DISTRIBUIÇÃO DE CAMPO EVOLUI NO ESPAÇO SOBRE A BOBINA : $E(\theta) \rightarrow E(\omega t)$; $\theta = \omega t$

OBSERVA-SE AINDA QUE A MÁXIMA TENSÃO INSTANTÂNEA INDUZIDA NA BOBINA OCORRE QUANDO O EIXO DA DISTRIBUIÇÃO DE CAMPO ESTÁ ATRASADO DE 90° e.l. EM RELAÇÃO AO EIXO DA BOBINA

→ ENTENDENDO A TENSÃO INDUZIDA NA BOBINA COMO UM VETOR ASSOCIADO AO SEU EIXO:

$$E(\theta) = 4 \cdot N_{ef} \cdot \tau_p \cdot L \cdot f \cdot B_M \cdot \sin\theta \quad \rightarrow \quad E(\omega t) = 4 \cdot N_{ef} \cdot \tau_p \cdot L \cdot f \cdot B_M \cdot \cos\omega t = 2 \cdot N_{ef} \cdot f \cdot \tau_p \cdot L \cdot 2 \cdot B_M \cdot \cos\omega t$$

$$\text{FLUXO POR POLO: } \phi_p = \frac{2}{\pi} \cdot B_M \cdot \tau_p \cdot L \quad \rightarrow \quad \underbrace{2 \cdot B_M \cdot \tau_p \cdot L}_{= \pi \cdot \phi_p}$$

$$E(\omega t) = 2 \cdot \pi \cdot N_{ef} \cdot f \cdot \phi_p \cdot \cos\omega t = E_M \cdot \cos\omega t \quad \rightarrow \quad \text{TENSÃO INDUZIDA É COSSENOIDAL NO TEMPO, COM VALOR MÁXIMO } E_M$$

$$\text{VALOR EFICAZ DA TENSÃO INDUZIDA : } E_f = \frac{E_M}{\sqrt{2}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N_{ef} \cdot \phi_p}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot N_b \cdot K_e \cdot \phi_p = \boxed{4,44 \cdot f \cdot N_b \cdot K_e \cdot \phi_p}$$

A TENSÃO INDUZIDA PELO CAMPO ROTATIVO FORMADO A PARTIR DO ESTATOR MANIFESTA-SE EM TODO E QUALQUER ENROLAMENTO ALOJADO EM RANHURAS EXISTENTES AO LONGO DO ENTREFERRO, TANTO NO ROTOR COMO NO ESTATOR.

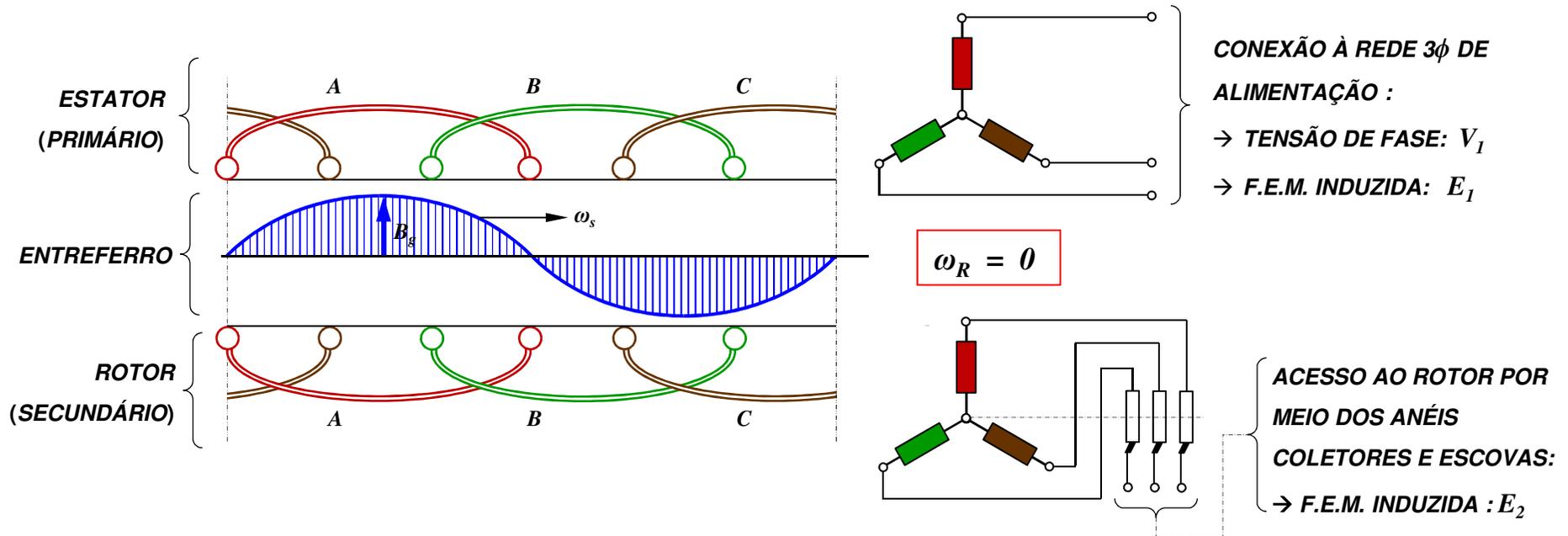
A TENSÃO É INDUZIDA INCLUSIVE NAS PRÓPRIAS BOBINAS DAS FASES DO ESTATOR QUE CRIARAM O CAMPO GIRANTE

→ **COMPORTAMENTO IDÊNTICO AO DE UM TRANSFORMADOR, ONDE O CAMPO MAGNÉTICO INDUZ F.E.M. NA PRÓPRIA BOBINA QUE FORMOU O CAMPO, EQUILIBRANDO A TENSÃO IMPOSTA PELA FONTE DE ALIMENTAÇÃO.**

INTERAÇÃO DO CAMPO ROTATIVO NO ENTREFERRO COM O ROTOR DA MÁQUINA ASSÍNCRONA

INICIALMENTE CONSIDERANDO A MÁQUINA DE ROTOR BOBINADO → ENROLAMENTO 3φ CONVENCIONAL NO ROTOR ACESSÍVEL

→ ROTOR EM REPOUSO, COM OS TERMINAIS DAS ESCOVAS EM CIRCUITO ABERTO



CAMPO ROTATIVO INDUZ TENSÕES EM TODOS OS ENROLAMENTOS COM ELE CONCATENADO:

NO ESTATOR: $E_1 = 4,44 \cdot f \cdot N_{f1} \cdot K_{e1} \cdot \phi_p$ → EQUILIBRA A TENSÃO IMPOSTA PELA FONTE ($E_1 \approx V_1$) PERMITINDO A ABSORÇÃO DAS CORRENTES MAGNETIZANTES QUE IRÃO FORMAR O CAMPO ROTATIVO DO ESTATOR

NO ROTOR: $E_2 = 4,44 \cdot f \cdot N_{f2} \cdot K_{e2} \cdot \phi_p$ → **RELAÇÃO ENTRE TENSÕES DE ESTATOR E ROTOR:** $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_{f1} \cdot K_{e1}}{N_{f2} \cdot K_{e2}} = a$

MÁQUINA ASSÍNCRONA DE ANÉIS COM ROTOR ESTACIONÁRIO → **COMPORTAMENTO IDÊNTICO AO DO TRANSFORMADOR 3φ**