

PARTE 6

MOTORES DE RELUTÂNCIA CHAVEADOS

(*“DE ALIMENTAÇÃO CHAVEADA”*)

PEA – 5728 - Parte 6: MOTORES DE RELUTÂNCIA CHAVEADOS

CLASSE DE ACIONAMENTOS DE VELOCIDADE VARIÁVEL DE “AMPLA UTILIZAÇÃO”

(CONCORRE DIRETAMENTE COM MOTOR BRUSHLESS E MOTOR DE INDUÇÃO ASSOCIADO A INVERSOR DE FREQUENCIA)

SISTEMA COM VANTAGENS INERENTES:

MOTOR → CONSTRUÇÃO SIMPLES E ROBUSTA - **ROTOR PASSIVO**

ALIMENTADOR → SIMPLES COM “POUCAS” CHAVES – **CORRENTE UNIDIRECIONAL**

PERMITE AJUSTE LIMITADO DE CARACTERÍSTICAS EXTERNAS $C - \omega$ (A PARTIR DO CONTROLE)

PERMITE ELEVADA ROTAÇÃO DE OPERAÇÃO

APRESENTA GRANDE DISPONIBILIDADE DE POTÊNCIA ESPECÍFICA (kW / m³)

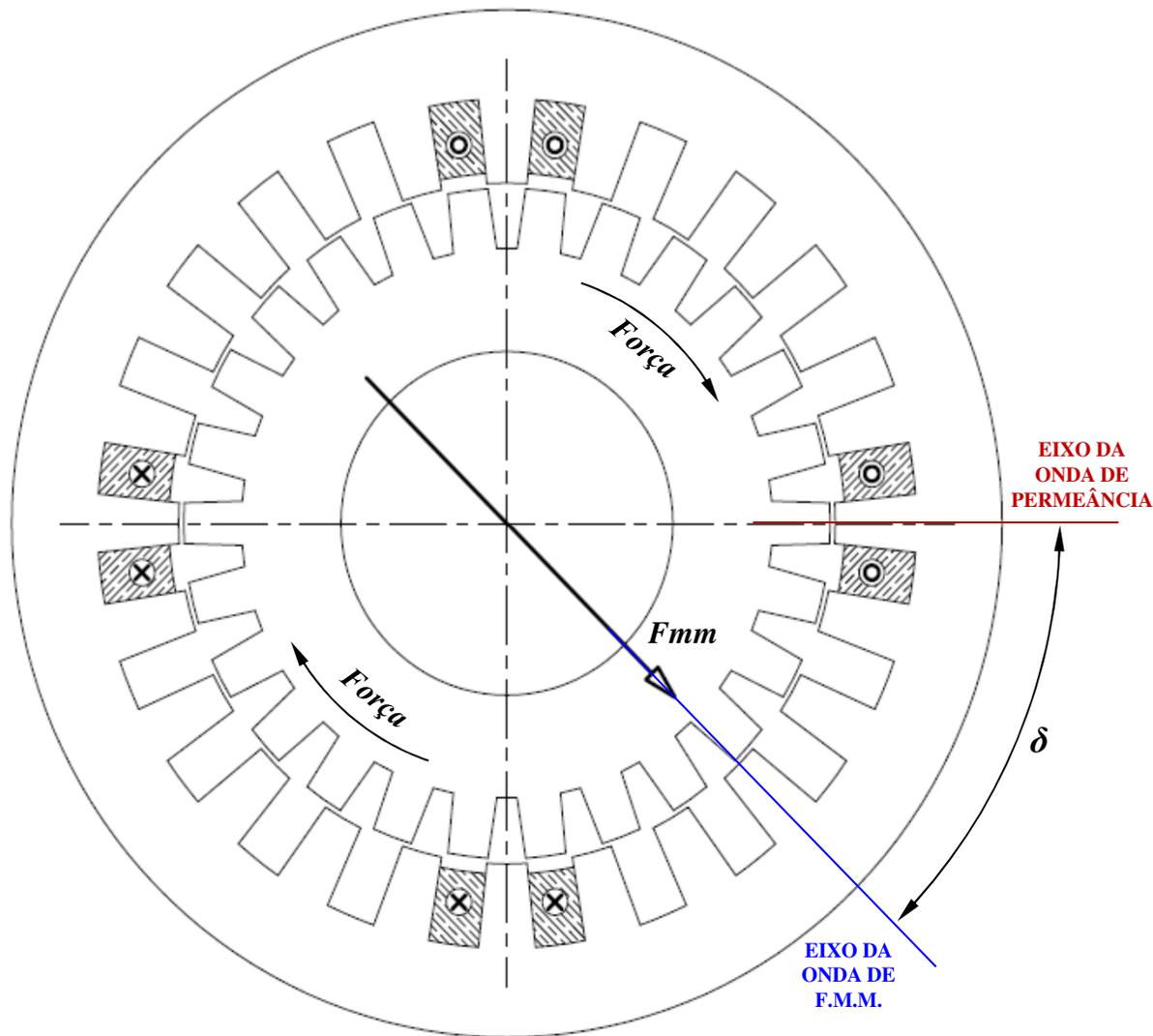
DESVANTAGENS:

PULSAÇÃO DE CONJUGADO ELEVADA

RUÍDO AUDÍVEL E VIBRAÇÃO ASSOCIADA

PEA – 5728 - Parte 6: MOTORES DE RELUTÂNCIA CHAVEADOS

BASE DO FUNCIONAMENTO → CONSTRUÇÃO “VERNIER”



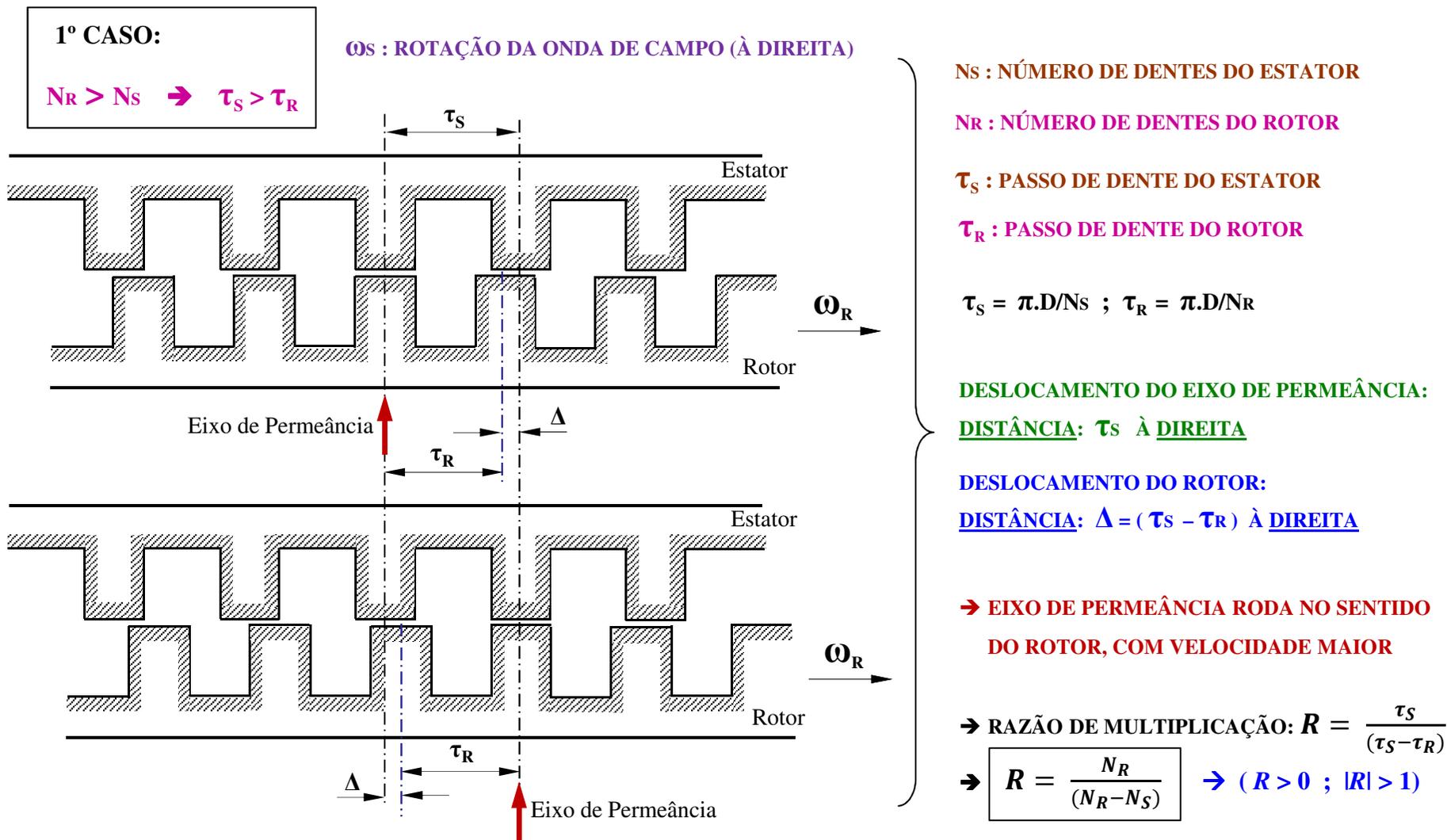
ESTRUTURA MAGNÉTICA DUPLAMENTE RANHURADA, COM NÚMEROS DE DENTES DIFERENTES ENTRE SI NO ESTATOR E NO ROTOR

ALINHAMENTO MAGNÉTICO OBTIDO PELO PRINCÍPIO DA MÍNIMA RELUTÂNCIA: TORQUE DESENVOLVIDO NO SENTIDO DO ALINHAMENTO ENTRE OS EIXOS DE FMM E DE PERMEÂNCIA

MOTOR É **SÍNCRONO** – ONDA DE PERMEÂNCIA FICA EM SINCRONISMO COM A ONDA DE FMM, COM VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DO ROTOR DIFERENTE DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DA ONDA DE CAMPO

PEA – 5728 - Parte 6: MOTORES DE RELUTÂNCIA CHAVEADOS

EFEITO VERNIER: RELAÇÃO ENTRE ROTAÇÃO DA ONDA DE FORÇA MAGNETOMOTRIZ E ROTAÇÃO DO ROTOR



ROTOR SEMPRE SE DESLOCA NO MESMO SENTIDO DA ONDA DE CAMPO COM ROTAÇÃO MENOR: $\omega_R = (1/R) \cdot \omega_s$

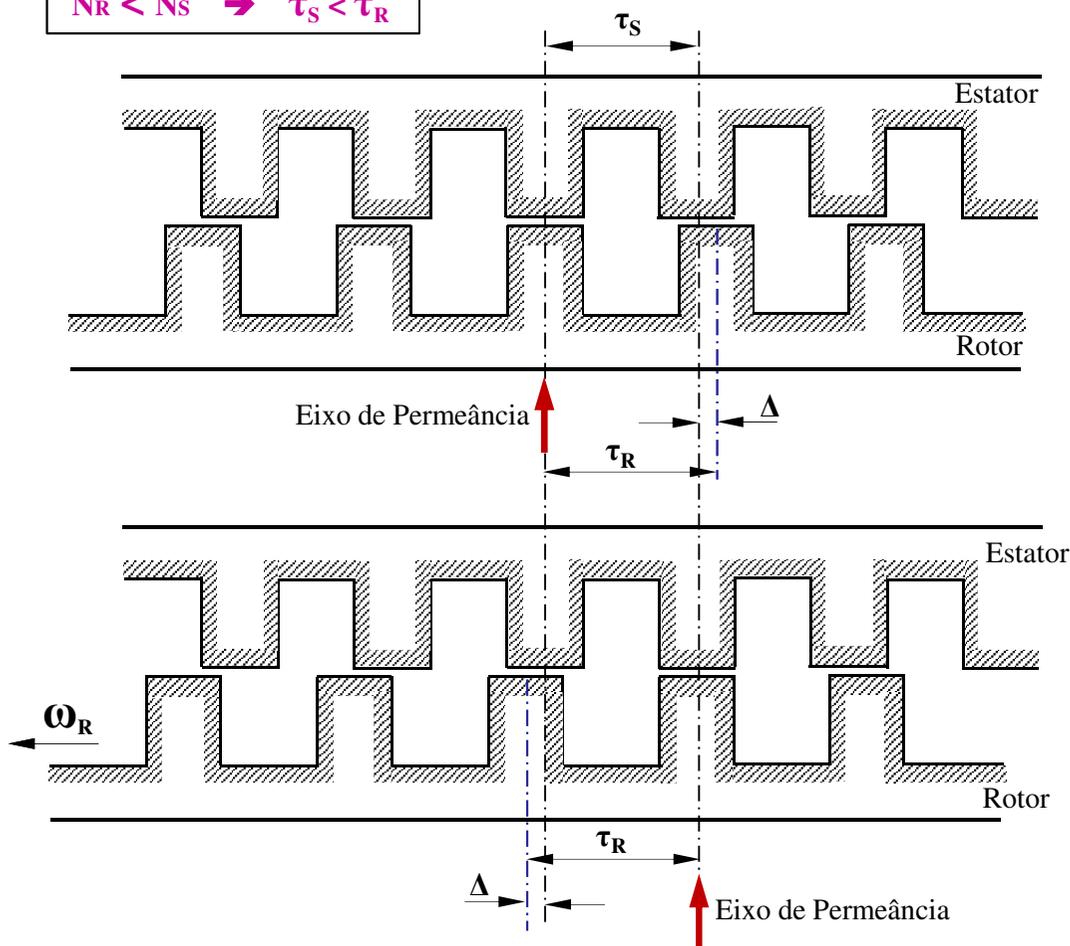
PEA – 5728 - Parte 6: MOTORES DE RELUTÂNCIA CHAVEADOS

RELAÇÃO ENTRE ROTAÇÃO DA ONDA DE FORÇA MAGNETOMOTRIZ E ROTAÇÃO DO ROTOR

2º CASO:

$$N_R < N_S \rightarrow \tau_S < \tau_R$$

ω_s : ROTAÇÃO DA ONDA DE CAMPO (À DIREITA)



N_S : NÚMERO DE DENTES DO ESTATOR

N_R : NÚMERO DE DENTES DO ROTOR

τ_S : PASSO DE DENTE DO ESTATOR

τ_R : PASSO DE DENTE DO ROTOR

$$\tau_S = \pi \cdot D / N_S ; \tau_R = \pi \cdot D / N_R$$

DESLOCAMENTO DO EIXO DE PERMEÂNCIA:

DISTÂNCIA: τ_S À DIREITA

DESLOCAMENTO DO ROTOR:

DISTÂNCIA: $\Delta = (\tau_R - \tau_S)$ À ESQUERDA

→ EIXO DE PERMEÂNCIA RODA NO SENTIDO OPOSTO AO DO ROTOR, COM VELOCIDADE MAIOR

→ RAZÃO DE MULTIPLICAÇÃO: $R = \frac{\tau_S}{(\tau_R - \tau_S)}$

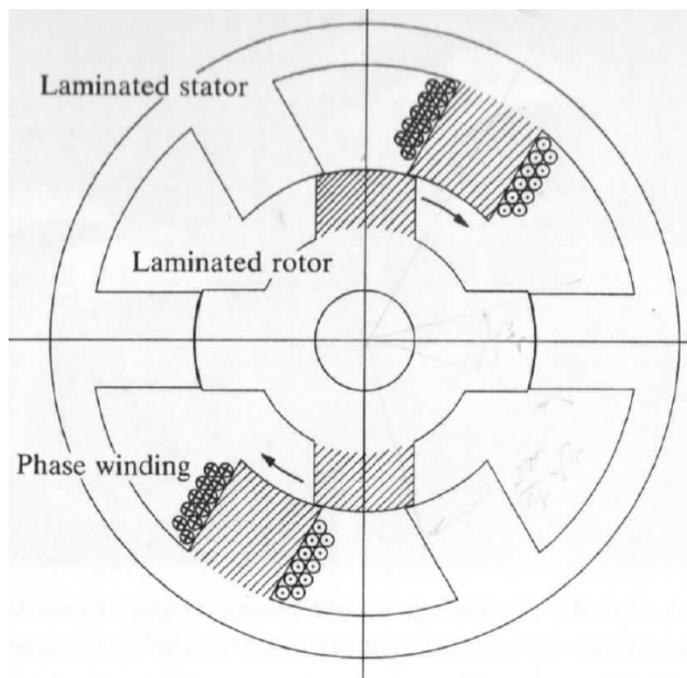
$$\rightarrow R = \frac{N_R}{(N_R - N_S)} \rightarrow (R < 0 ; |R| > 1)$$

ROTOR SEMPRE SE DESLOCA EM SENTIDO OPOSTO AO DA ONDA DE CAMPO COM ROTAÇÃO MENOR: $\omega_r = (1/R) \cdot \omega_s$

DIVERSAS TOPOLOGIAS POSSÍVEIS

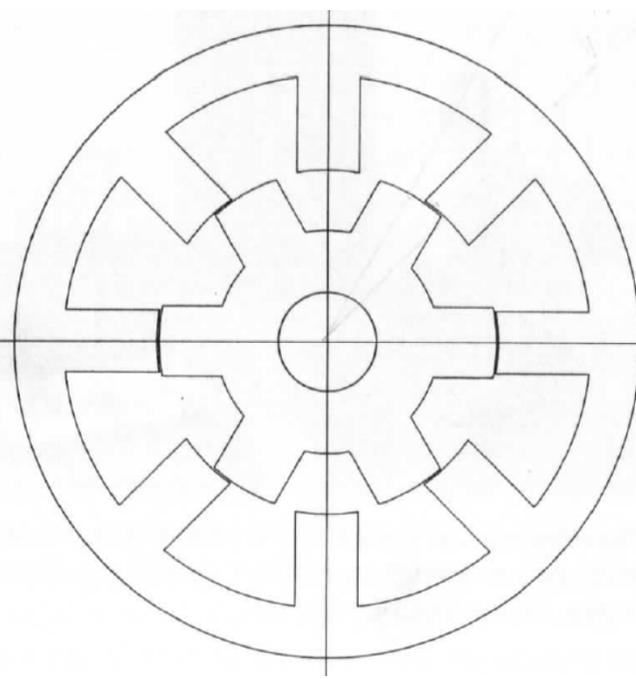
MRC - 6/4 POLOS

3 FASES



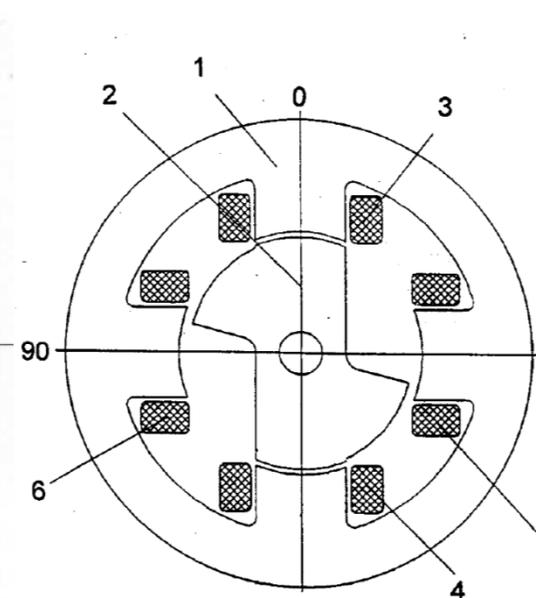
MRC - 8/6 POLOS

4 FASES



MRC - 4/2 POLOS

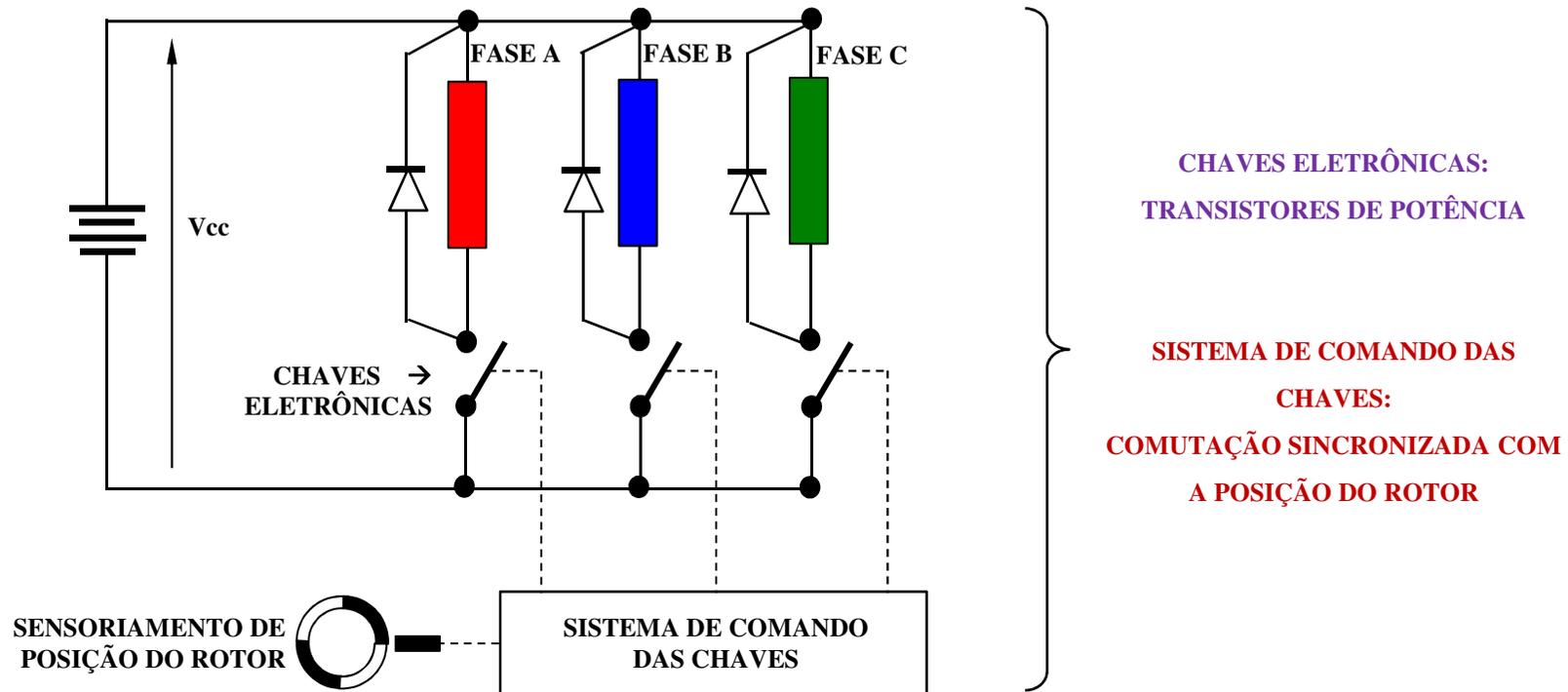
2 FASES



CONFIGURAÇÃO 6/4

É A MAIS COMUM

CONFIGURAÇÃO ELEMENTAR DO CHAVEAMENTO DAS FASES

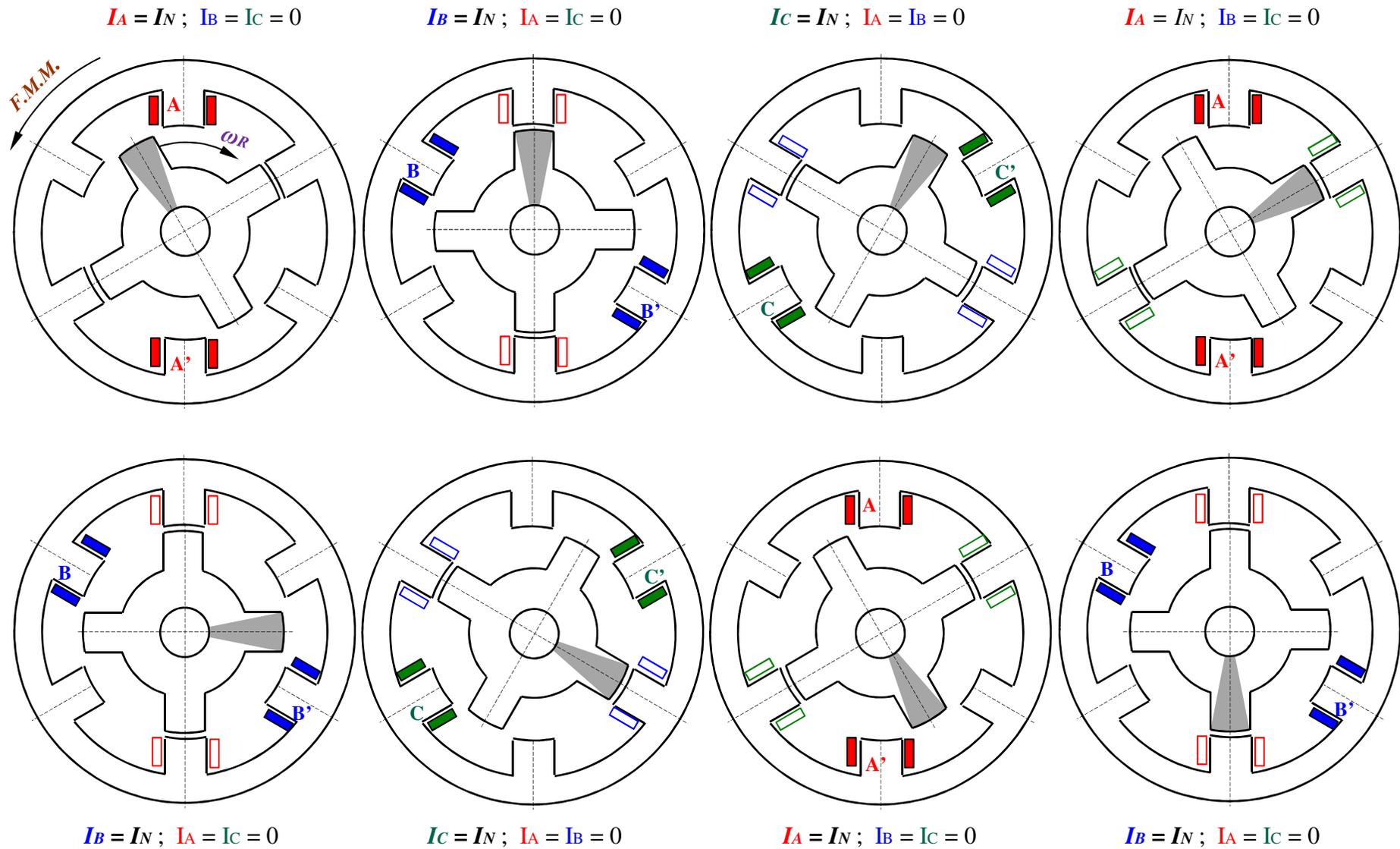


QUANTIDADE DE CHAVES E COMPLEXIDADE DO CIRCUITO DE COMUTAÇÃO

→ FUNÇÃO DO DESEMPENHO ESPERADO E DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO

PEA – 5728 - Parte 6: MOTORES DE RELUTÂNCIA CHAVEADOS

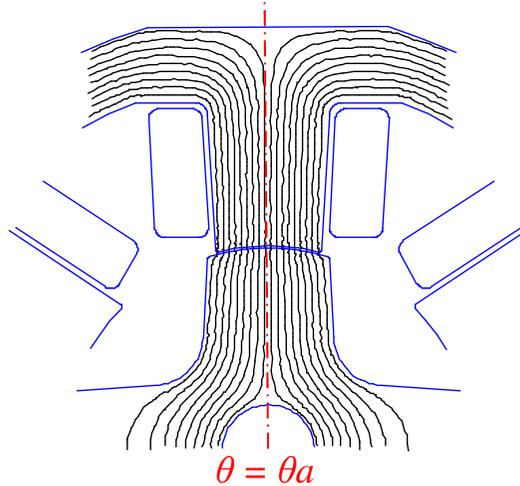
SEQUÊNCIA DE ALIMENTAÇÃO DAS FASES NO MRC 6 / 4



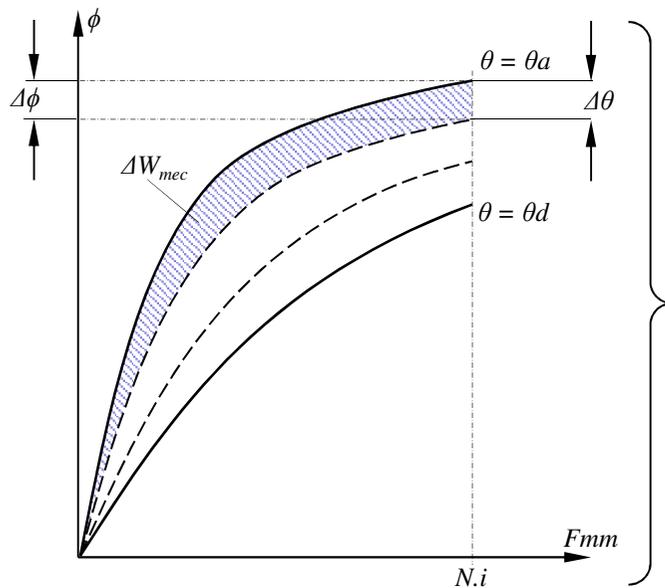
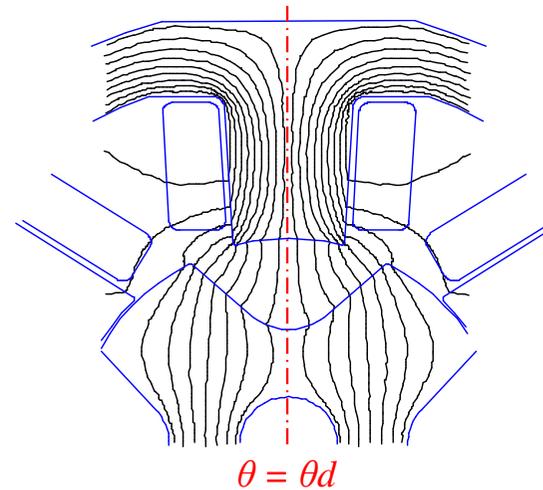
NECESSÁRIOS 4 CICLOS DE ALIMENTAÇÃO EM CADA FASE POR REVOLUÇÃO DO ROTOR $\rightarrow f[\text{Hz}] = N_R \cdot n_R [\text{RPS}]$

NATUREZA DO TORQUE DESENVOLVIDO

ALINHAMENTO TOTAL ENTRE DENTES



DESALINHAMENTO TOTAL ENTRE DENTES



CURVAS CARACTERÍSTICAS DO CIRCUITO MAGNÉTICO DO MOTOR DE RELUTÂNCIA:
 PARA CADA POSIÇÃO ANGULAR DO ROTOR, CORRESPONDE UMA CURVA DE MAGNETIZAÇÃO

ÁREA SOB CADA CURVA DE MAGNETIZAÇÃO:

$$\int \phi(\theta, i) \cdot d(N \cdot i) = W'_{mag}(\theta, i)$$

W'_{mag} : CO-ENERGIA MAGNÉTICA ASSOCIADA AO CIRCUITO MAGNÉTICO

TORQUE ELETROMAGNÉTICO DESENVOLVIDO:

$$C = C(\theta, i) = \frac{\partial W'_{mag}(\theta, i)}{\partial \theta}$$

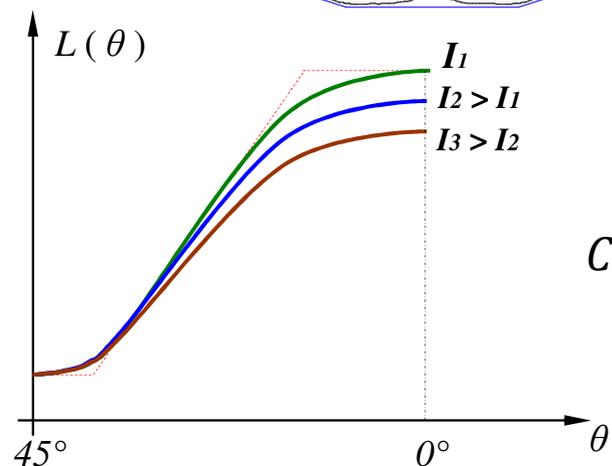
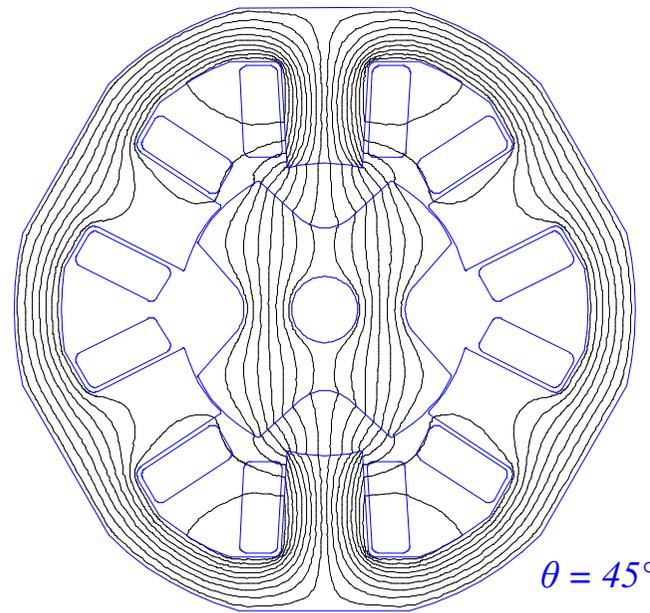
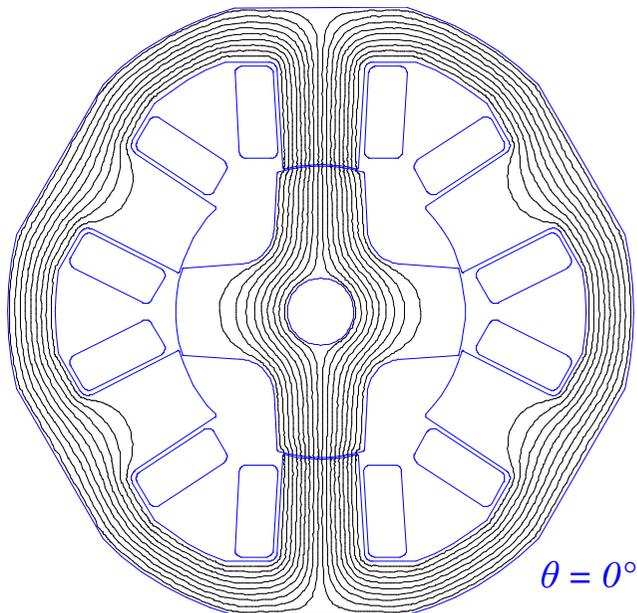
→ ΔW_{mec} : ENERGIA MECÂNICA CONVERTIDA NO INTERVALO $\Delta \theta$

PEA – 5728 - Parte 6: MOTORES DE RELUTÂNCIA CHAVEADOS

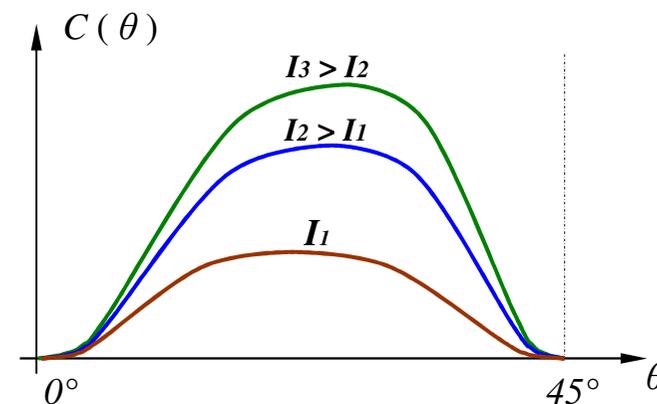
NATUREZA DO TORQUE DESENVOLVIDO

ALINHAMENTO TOTAL ENTRE DENTES

DESALINHAMENTO TOTAL ENTRE DENTES



$$C(\theta; i) = \frac{1}{2} \cdot i^2 \cdot \frac{dL(\theta; i)}{d\theta}$$



COMPORTAMENTO DA INDUTÂNCIA

COMPORTAMENTO DO TORQUE

PEA – 5728 - Parte 6: MOTORES DE RELUTÂNCIA CHAVEADOS

CIRCUITO ELÉTRICO POR FASE DO MOTOR DE RELUTÂNCIA

CIRCUITO R-L $\rightarrow v = r \cdot i + \frac{d(N\Phi)}{dt} \quad N \cdot \Phi = L \cdot i \quad L = L(\theta, i)$

DESCONSIDERANDO A RESISTÊNCIA: $v = \frac{d(Li)}{dt} = L \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL}{dt} = L \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = L \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL}{d\theta} \cdot \omega$

POTÊNCIA ELEMENTAR DESENVOLVIDA NA FASE: $dp = v \cdot di = L \cdot \frac{di}{dt} \cdot di + i \cdot \frac{dL}{d\theta} \cdot \omega \cdot di$

POTÊNCIA ELÉTRICA TOTAL NA FASE $\rightarrow p = \int v \cdot di = \int \left(L \cdot \frac{di}{dt} \right) \cdot di + \int \left(i \cdot \frac{dL}{d\theta} \cdot \omega \right) \cdot di$

$$p = \frac{d}{dt} \int L \cdot i \cdot di + \omega \cdot \frac{dL}{d\theta} \int i \cdot di \quad \rightarrow \quad p = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2 \right) + \frac{1}{2} \cdot i^2 \cdot \frac{dL}{d\theta} \cdot \omega$$

POTÊNCIA
ELÉTRICA
SUPRIDA À FASE

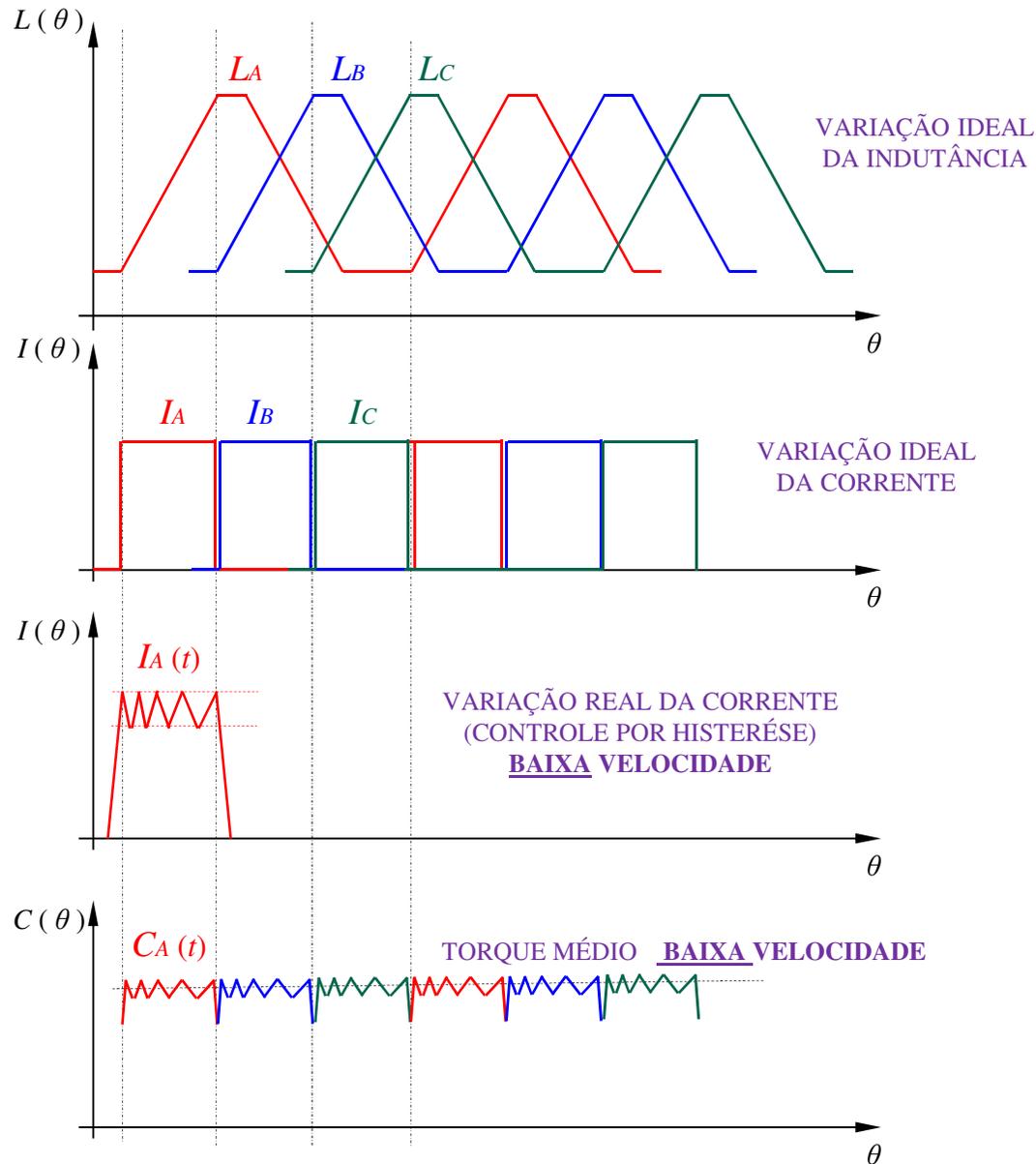
VARIÇÃO NO TEMPO DA
ENERGIA MAGNÉTICA
ARMAZENADA

POTÊNCIA
MECÂNICA
CONVERTIDA

$P_{mec} = C \cdot \omega$

$C = \frac{1}{2} \cdot i^2 \cdot \frac{dL}{d\theta}$

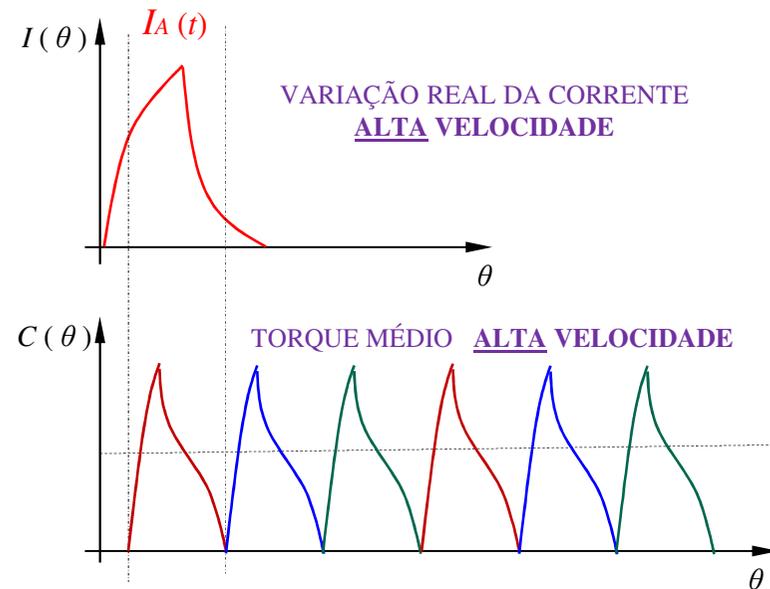
PEA – 5728 - Parte 6: MOTORES DE RELUTÂNCIA CHAVEADOS



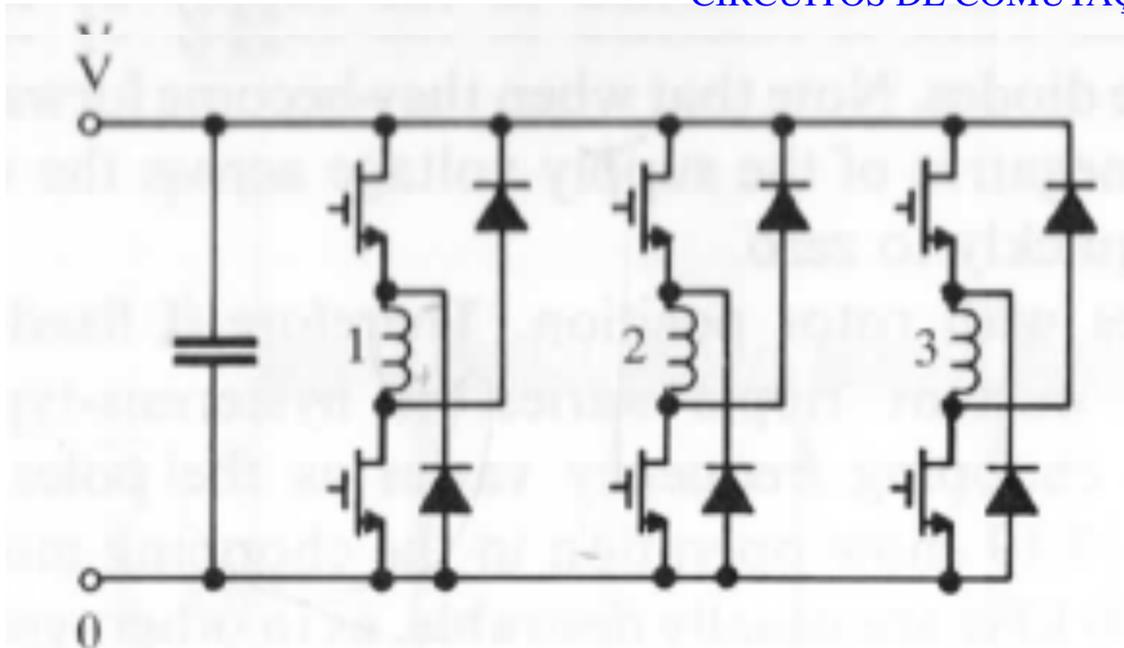
TOQUE TOTAL DESENVOLVIDO:

ALIMENTAÇÃO DAS 3 FASES DE
FORMA SEQUENCIAL

CARACTERÍSTICAS EM BAIXA E ALTA
VELOCIDADE DIFEREM PELO
COMPORTAMENTO DA CORRENTE



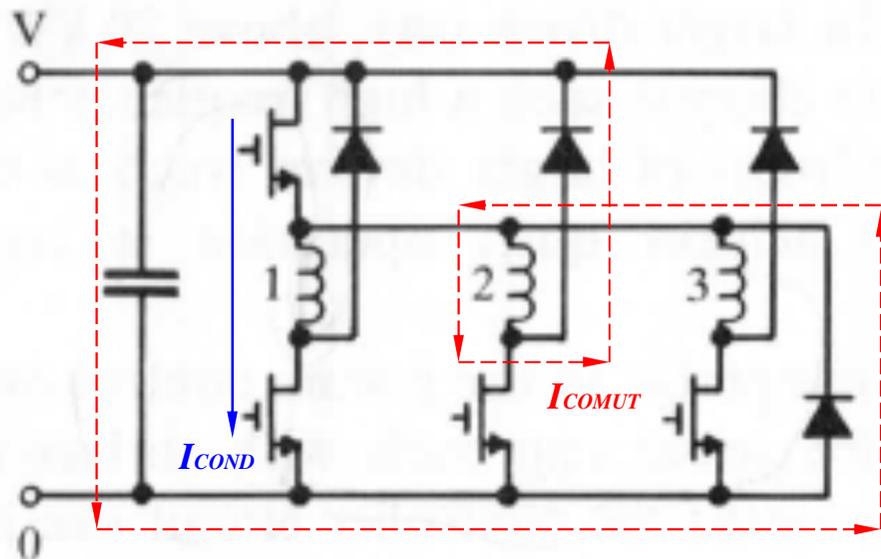
CIRCUITOS DE COMUTAÇÃO



CIRCUITO COM 6 CHAVES PARA O RÁPIDO DESCARREGAMENTO DE CORRENTE DE CADA FASE

CHAVES INFERIORES → COMUTAÇÃO

CHAVES SUPERIORES → CONTROLE DA CORRENTE

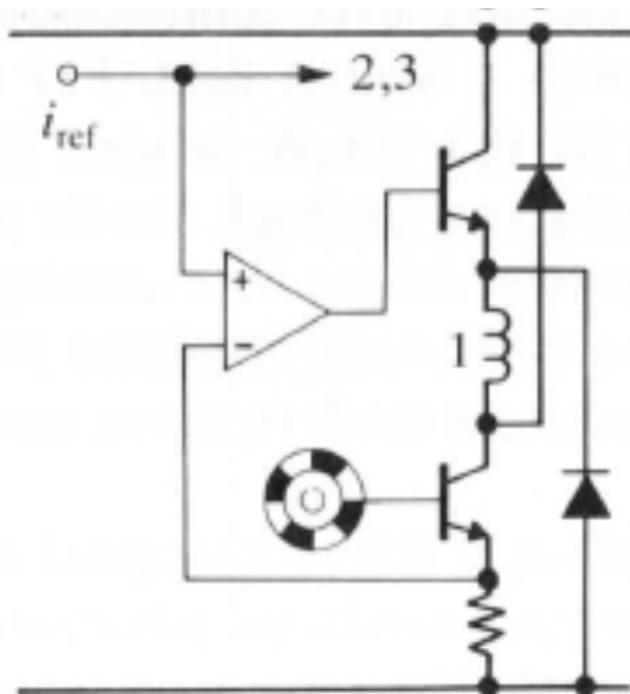


CIRCUITO COM 4 CHAVES MAIS SIMPLES E MAIS ECONÔMICO

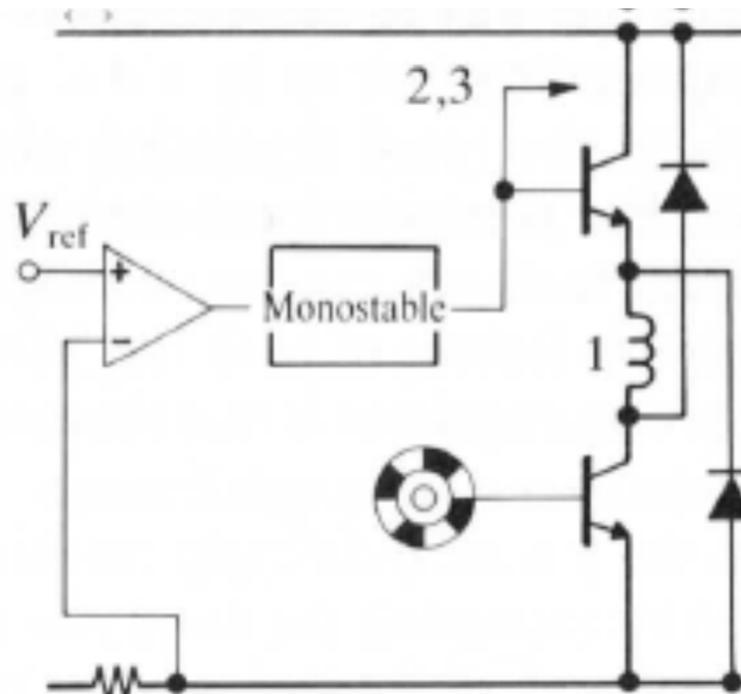
CHAVES INFERIORES → COMUTAÇÃO

CHAVE SUPERIOR → CONTROLE DA CORRENTE

CIRCUITOS DE CONTROLE DA CORRENTE



CONTROLE POR HISTERESE



CONTROLE POR MODULAÇÃO DE LARGURA DE PUSO - PWM

PEA – 5728 - Parte 6: MOTORES DE RELUTÂNCIA CHAVEADOS

CARACTERÍSTICA EXTERNA - CAMPO DE VARIAÇÃO DE VELOCIDADE EM FUNÇÃO DO TIPO DE CONTROLE DA CORRENTE

