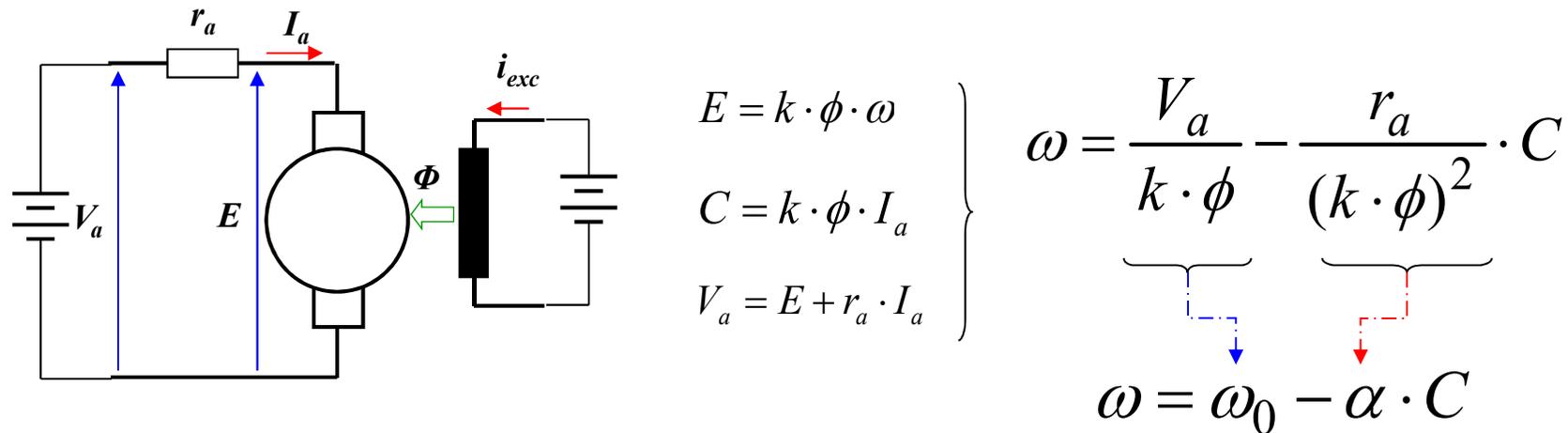


MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA: CARACTERÍSTICAS EXTERNAS

LIGAÇÃO DE CAMPO INDEPENDENTE → FONTES INDEPENDENTES P/ ALIMENTAÇÃO DE ARMADURA E CAMPO
 → FONTES INDIVIDUALMENTE CONTROLADAS / AJUSTADAS



CURVAS CARACTERÍSTICAS → RETAS COM CONSTANTE ω_0 E DECLIVIDADE α

ω_0 : VELOCIDADE EM VAZIO (SEM CARGA) - α : DEFINE A REGULAÇÃO DE VELOCIDADE COM O TORQUE

CONTROLE DE VELOCIDADE POR DUAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES → V_a E i_{exc}

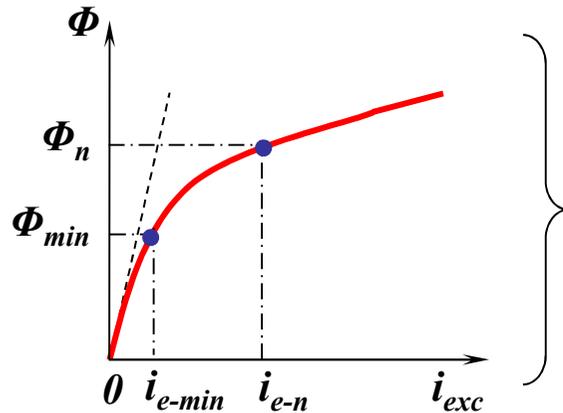
→ REVERSÃO DO SENTIDO DE ROTAÇÃO → INVERSÃO DE ALIMENTAÇÃO DO CAMPO OU DA ARMADURA

→ GRANDE CONTROLABILIDADE DO MOTOR

→ AMPLA FAIXA DE VELOCIDADE DE OPERAÇÃO

LIGAÇÃO DE CAMPO INDEPENDENTE → **VARIAÇÃO DE VELOCIDADE PELA ARMADURA** ($i_{exc} = cte.$)

→ **VARIAÇÃO DE VELOCIDADE PELO CAMPO** ($V_a = cte.$)



FLUXO IMPOSTO PELA EXCITAÇÃO → CARACTERÍSTICA DE MAGNETIZAÇÃO **NÃO LINEAR**

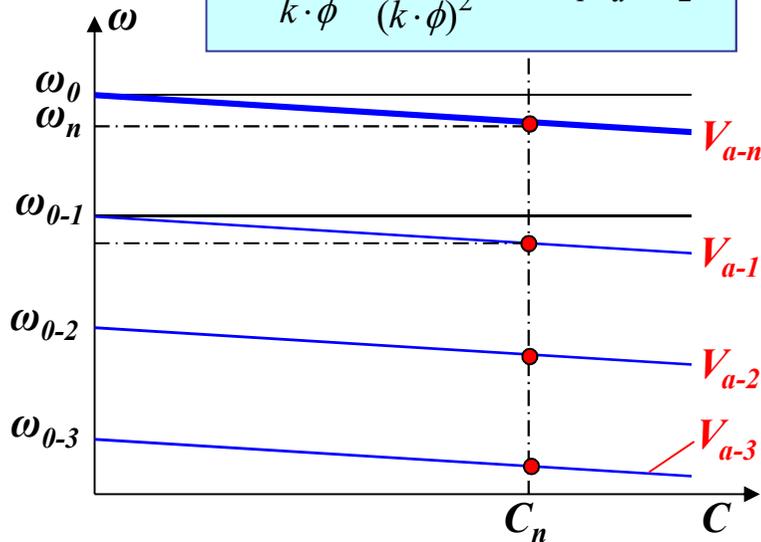
$i_{e-n} \rightarrow \Phi_n$ FLUXO NOMINAL DE TRABALHO → LIMITE DE SATURAÇÃO

$i_{e-min} \rightarrow \Phi_{min}$ FLUXO MÍNIMO → LIMITE DE DISPARO DA MÁQUINA C.C.

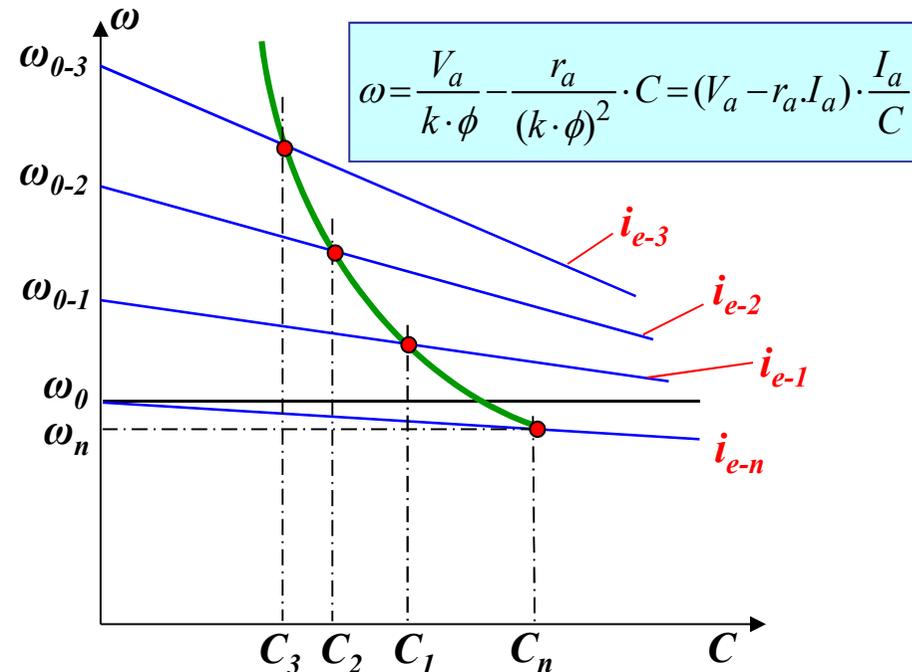
OPERAÇÃO A FLUXO CONSTANTE : $i_{exc} = cte. \rightarrow i_{exc} = i_{e-n}$

OPERAÇÃO A FLUXO VARIÁVEL : $i_{e-min} < i_{exc} < i_{e-n}$

$$\omega = \frac{V_a}{k \cdot \phi} - \frac{r_a}{(k \cdot \phi)^2} \cdot C = k_1 \cdot V_a - k_2 \cdot C$$



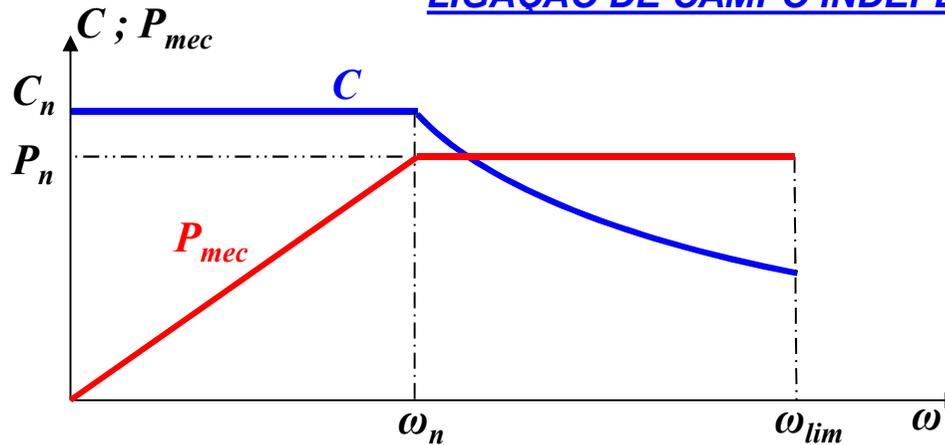
VARIAÇÃO PELA ARMADURA: $\Phi = cte.$



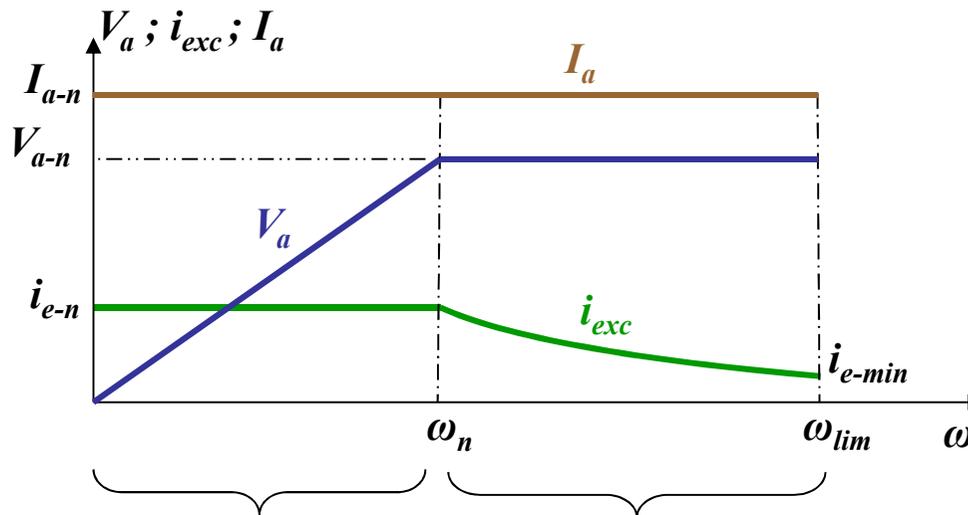
$$\omega = \frac{V_a}{k \cdot \phi} - \frac{r_a}{(k \cdot \phi)^2} \cdot C = (V_a - r_a \cdot I_a) \cdot \frac{I_a}{C}$$

VARIAÇÃO PELO CAMPO : $V_a = cte.$

LIGAÇÃO DE CAMPO INDEPENDENTE



PLANO DE OPERAÇÃO DO MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA COM EXCITAÇÃO INDEPENDENTE



EXCURSÃO DAS VARIÁVEIS DE ALIMENTAÇÃO DO MOTOR C.C. COM EXCITAÇÃO INDEPENDENTE



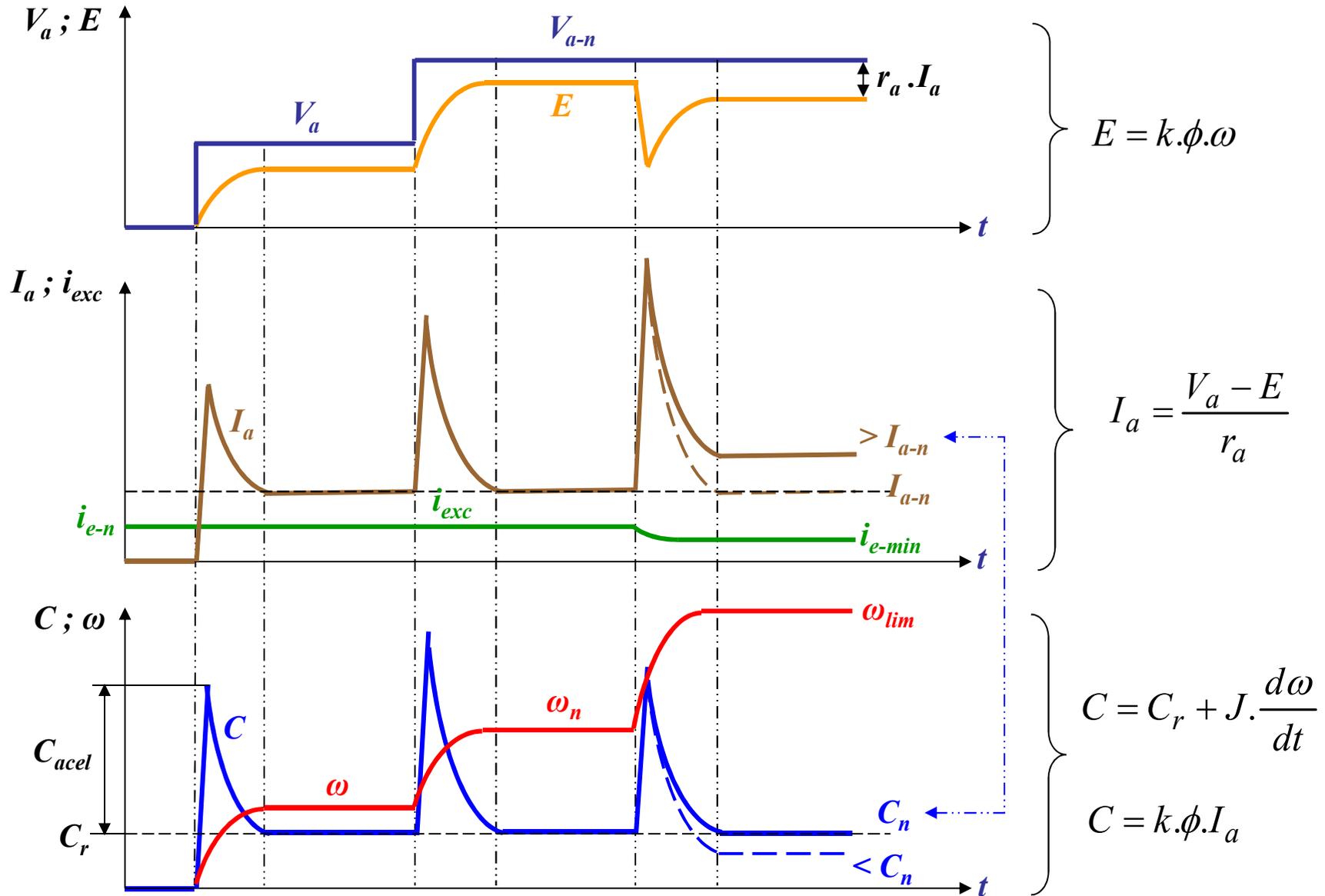
VARIAÇÃO PELA ARMADURA
A TORQUE CONSTANTE

$$C = cte. - P_{mec} = k. \omega$$

VARIAÇÃO PELO CAMPO
A POTÊNCIA CONSTANTE

$$C = k. 1/\omega - P_{mec} = cte.$$

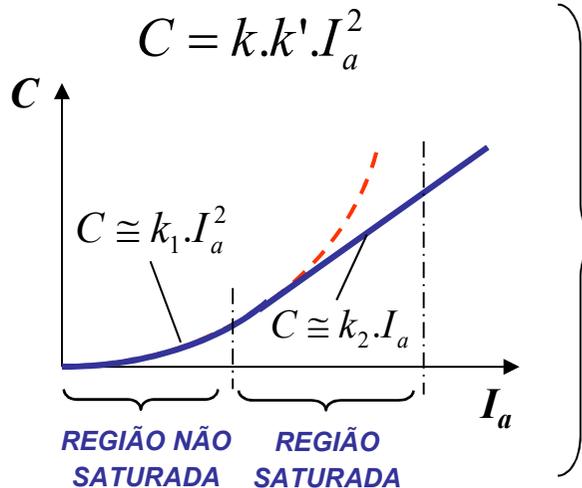
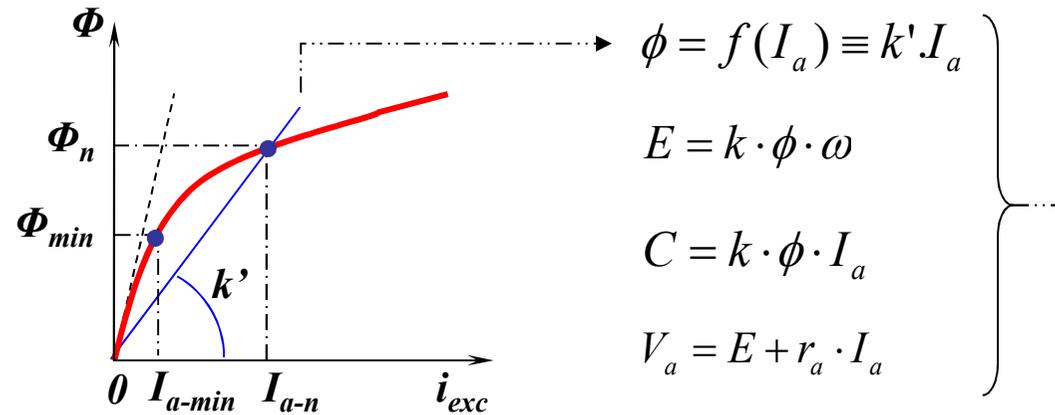
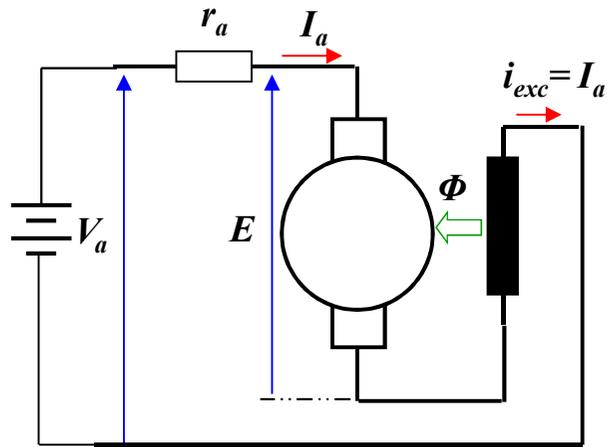
MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA COM CAMPO INDEPENDENTE → TRANSITÓRIOS DE ACELERAÇÃO



MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA: CARACTERÍSTICAS EXTERNAS

LIGAÇÃO DE CAMPO SÉRIE → FONTE ÚNICA P/ ALIMENTAÇÃO DE ARMADURA E CAMPO

→ EXCITAÇÃO PROVIDA PELA PRÓPRIA CORRENTE DE CARGA



$$\omega = \frac{V_a}{\sqrt{k \cdot k'}} \cdot \frac{1}{\sqrt{C}} - \frac{r_a}{k \cdot k'}$$

MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA: CARACTERÍSTICAS EXTERNAS**LIGAÇÃO DE CAMPO SÉRIE**

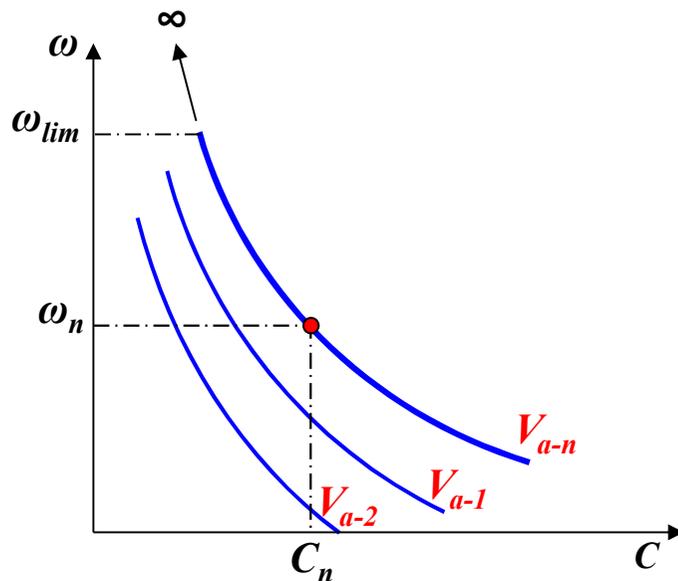
CURVAS CARACTERÍSTICAS → “HIPÉRBOLES” PARAMETRIZADAS PELA TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO

SEM CARGA : $C \rightarrow 0$ → VELOCIDADE EM VAZIO : $\omega_0 \rightarrow \infty$

CONTROLE DE VELOCIDADE POR UMA ÚNICA VARIÁVEL INDEPENDENTE → V_a

→ ELEVADA REGULAÇÃO INERENTE DE VELOCIDADE DO MOTOR

→ REVERSÃO DO SENTIDO DE ROTAÇÃO → INVERSÃO DA BOBINA DE CAMPO EM RELAÇÃO À ARMADURA



$$\omega = \frac{V_a}{\sqrt{k.k'}} \cdot \frac{1}{\sqrt{C}} - \frac{r_a}{k.k'}$$

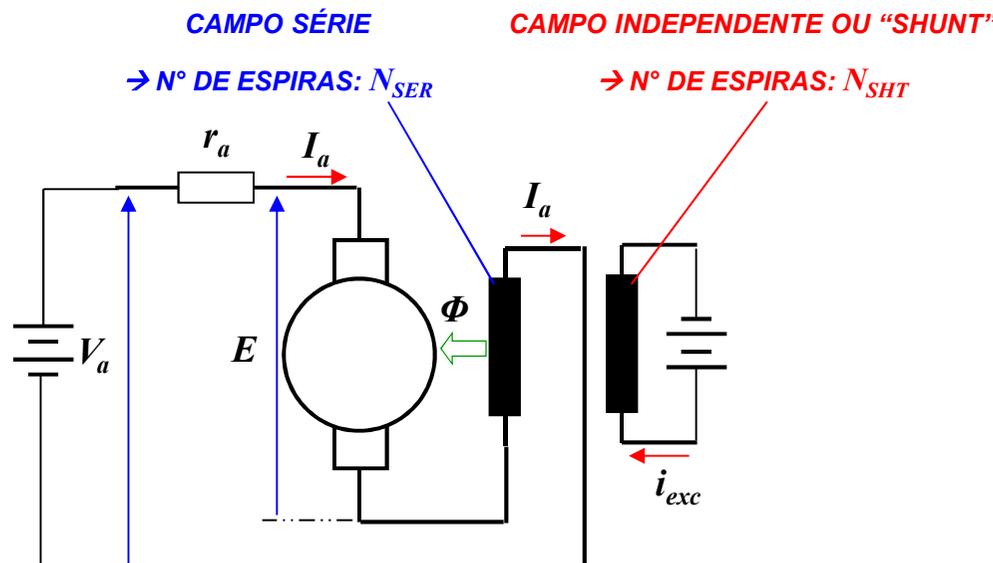
$$\omega = 0 \Rightarrow C = C_p = k.k' \cdot \left(\frac{V_a}{r_a} \right)^2 \left. \vphantom{\omega = 0} \right\} \begin{array}{l} \text{CONJUGADO} \\ \text{DE PARTIDA} \end{array}$$

MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA: CARACTERÍSTICAS EXTERNAS

LIGAÇÃO DE CAMPO COMPOSTA (“COMPOUND”)

→ FONTES INDEPENDENTES PARA ALIMENTAÇÃO DE ARMADURA E P/ ALIMENTAÇÃO DE PARCELA DO CAMPO

→ EXCITAÇÃO PROVIDA PARCIALMENTE PELA CORRENTE DE CARGA E PARCIALMENTE POR FONTE INDEPENDENTE



FLUXO NO ENTREFERRO ESTABELECIDO PELA EXCITAÇÃO TOTAL:

$$Fmm_{TOT} = Fmm_{SER} + Fmm_{SHT}$$

$$Fmm_{TOT} = N_{SER} \cdot I_a + N_{SHT} \cdot i_{exc}$$

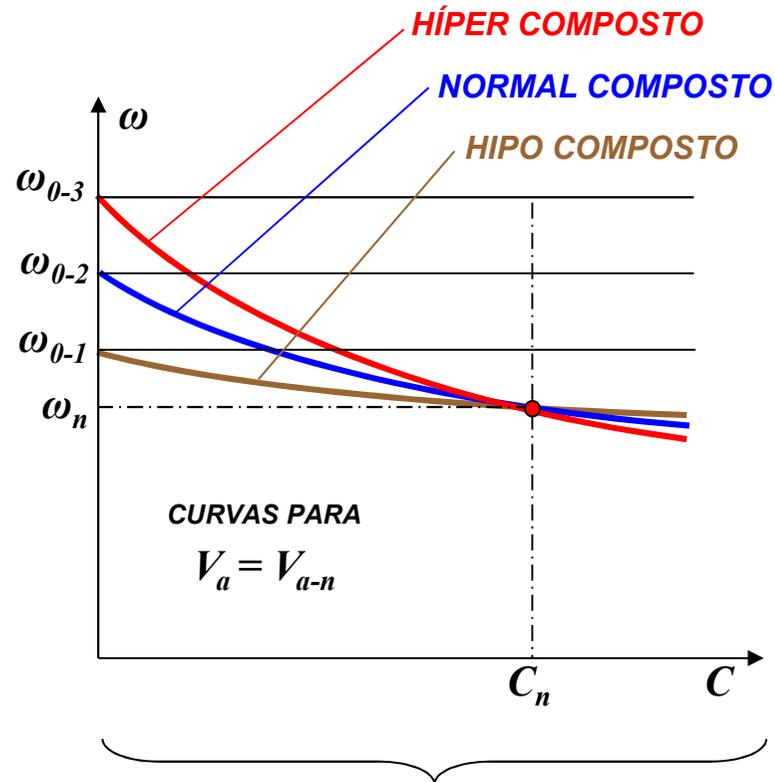
$$\frac{Fmm_{SER}}{Fmm_{TOT}} = k_{CPD}$$

k_{CPD} : GRAU DE COMPOSIÇÃO (“COMPOUNDAGEM”) DO CAMPO

$0,05 < k_{CPD} < 0,10 \rightarrow$ HIPO COMPOSTO

$0,10 < k_{CPD} < 0,20 \rightarrow$ NORMAL COMPOSTO

$0,20 < k_{CPD} < 0,50 \rightarrow$ HÍPER COMPOSTO

LIGAÇÃO DE CAMPO COMPOSTA (“COMPOUND”)

MOTOR COMPOSTO → OPERA SEM DIFICULDADE EM VAZIO OU BAIXA CARGA
→ REGULAÇÃO ELEVADA DE VELOCIDADE

CAMPO SÉRIE E SHUNT SEMPRE ADITIVOS

CAMPO SÉRIE PROMOVE REFORÇO DE EXCITAÇÃO COM A CARGA

MOTOR COMPOSTO → CONTROLADO DE FORMA SIMILAR AO INDEPENDENTE

APLICAÇÕES SIMILARES AO INDEPENDENTE, SUJEITAS A SOBRECARGAS MAIS SEVERAS

REVERSÃO DO SENTIDO DE ROTAÇÃO:

INVERSÃO DA ARMADURA EM RELAÇÃO À BOBINA DE CAMPO SÉRIE – POLARIDADE DA BOBINA SHUNT INALTERADA

MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA – ASPECTOS OPERACIONAIS ESPECÍFICOS**COMUTAÇÃO :**

→ **CENTELHAMENTO INERENTE NO SISTEMA ESCOVAS + COMUTADOR NA REVERSÃO DE CORRENTE DAS BOBINAS DE ARMADURA**

→ **PROVOCA EROÇÃO E DESGASTE ACENTUADO DA SUPERFÍCIE DO COMUTADOR**

EFEITO DOS PÓLOS AUXILIARES → POSSIBILITA REDUÇÃO / ELIMINAÇÃO DO CENTELHAMENTO → VIABILIZA A OPERAÇÃO DO MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA E PERMITE LONGA VIDA ÚTIL

REAÇÃO DE ARMADURA : (CAMPO MAGNÉTICO CRIADO PELA CIRCULAÇÃO DE CORRENTE NA ARMADURA)

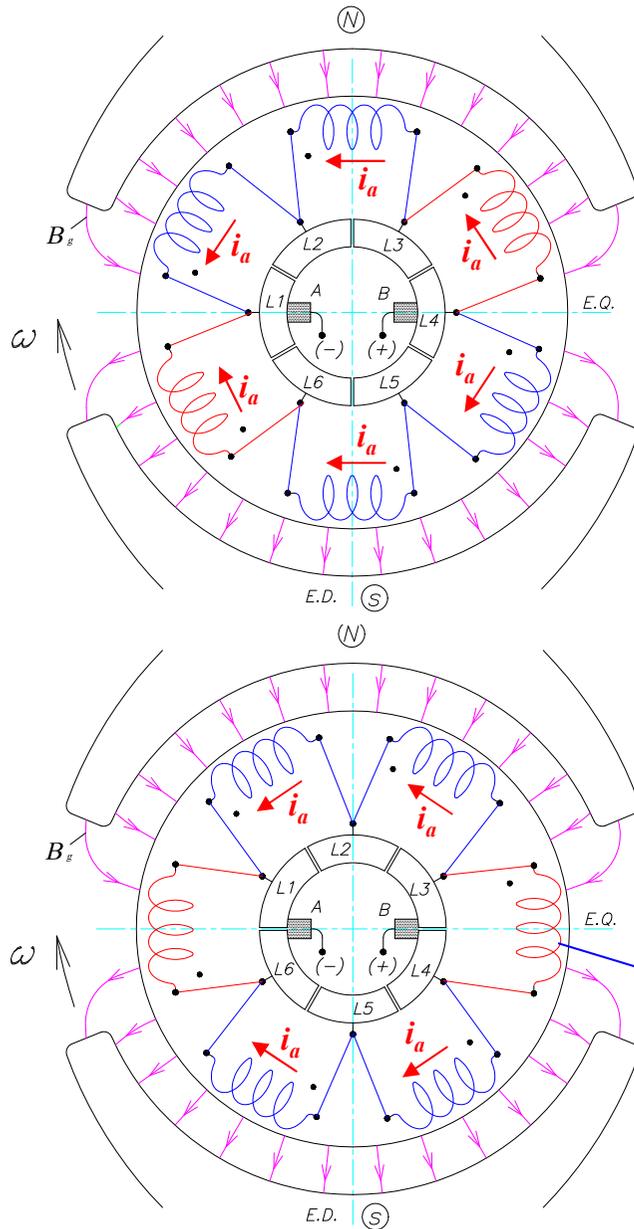
→ **DISTORÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CAMPO NO ENTREFERRO DA MÁQUINA, QUANDO EM CARGA**

→ **PROVOCA INSTABILIDADE DE ROTAÇÃO (DESMAGNETIZAÇÃO SOB CARGA – E.D.R.A.)**

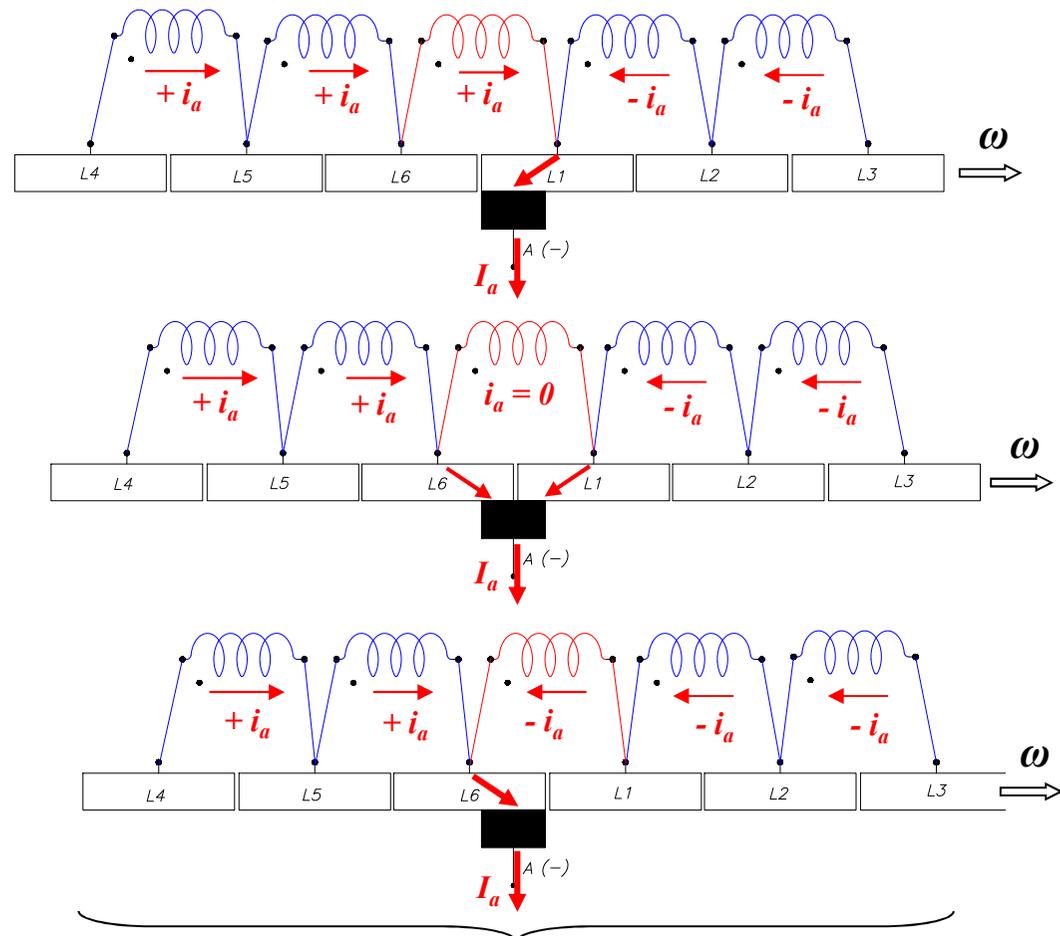
→ **PROVOCA DESEQUILÍBRIO NA DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES AO LONGO DO COMUTADOR, EM CARGA → PODE LEVAR AO ARCO ELÉTRICO ENTRE ESCOVAS (“FLASH-OVER”)**

EFEITO DO ENROLAMENTO DE COMPENSAÇÃO → INIBE A DISTORÇÃO DE CAMPO → PERMITE OPERAÇÃO COM REGIME DE ELEVADA DINÂMICA E VARIAÇÃO PELO CAMPO EM AMPLA FAIXA

MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA - PRINCÍPIOS BÁSICOS DA COMUTAÇÃO



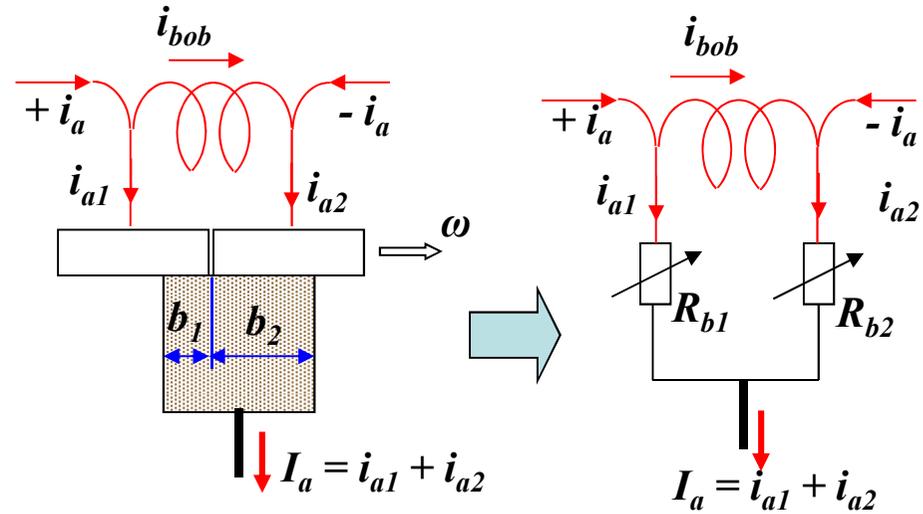
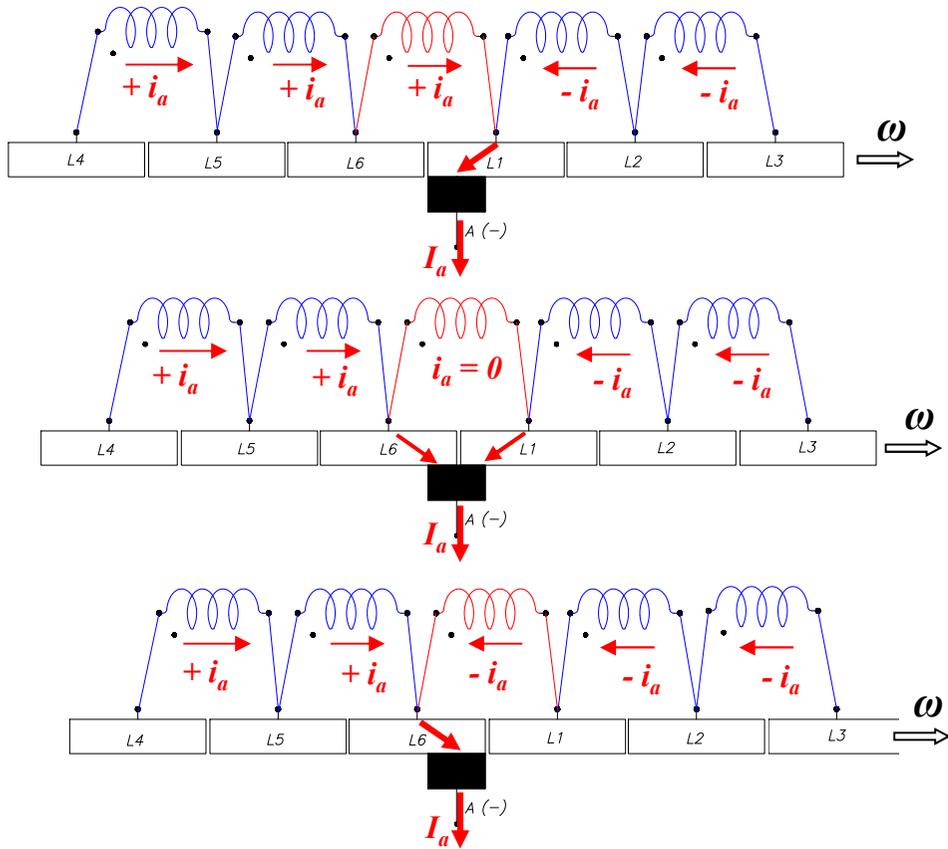
**BOBINA EM
COMUTAÇÃO
CURTO-CIRCUITO
PELA ESCOVA**



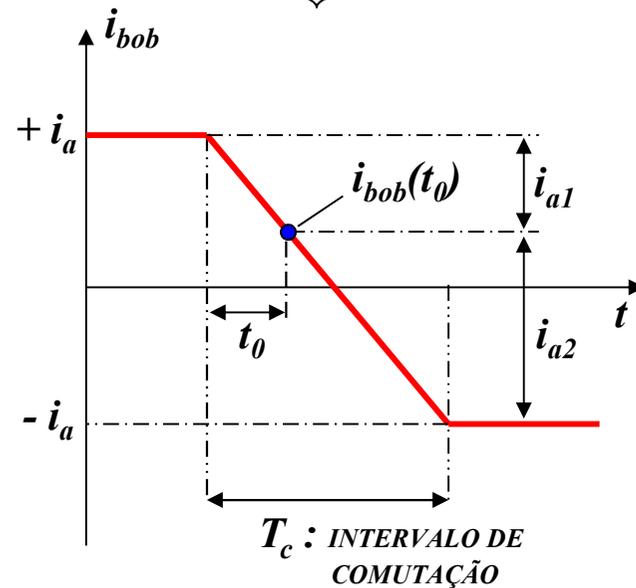
**CORRENTE NAS BOBINAS É INVERTIDA NA
PASSAGEM PELO E.Q.**

**→ VARIAÇÃO DA CORRENTE NO TEMPO DURANTE
O PROCESSO DE COMUTAÇÃO**

VARIAÇÃO DA CORRENTE NA BOBINA DE ARMADURA DURANTE A COMUTAÇÃO



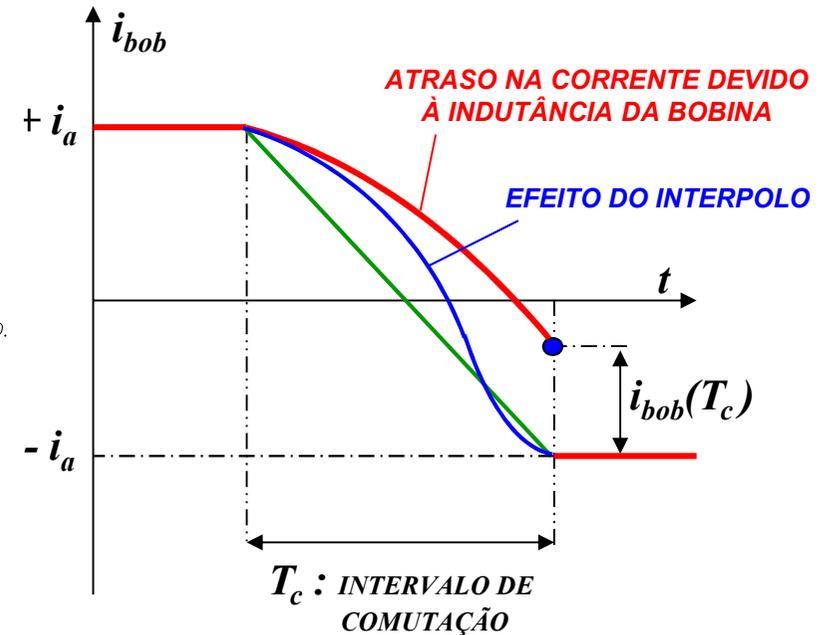
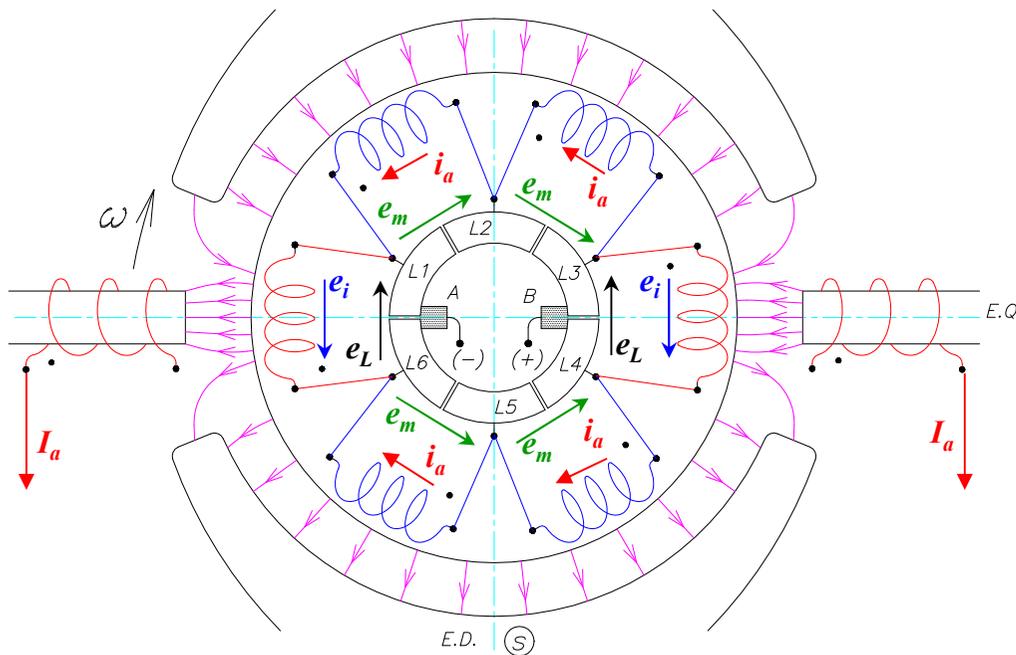
$$R_{b1} = k \cdot (1 / b_1) ; R_{b2} = k \cdot (1 / b_2)$$



COMUTAÇÃO RESISTIVA OU LINEAR

→ VARIAÇÃO DA CORRENTE NA BOBINA DETERMINADA PELA RESISTÊNCIA EQUIVALENTE DO CONTATO: ESCOVA + LÂMINA DO COMUTADOR

COMUTAÇÃO NÃO LINEAR → AÇÃO DOS PÓLOS DE COMUTAÇÃO (PÓLOS AUXILIARES OU INTERPOLOS)

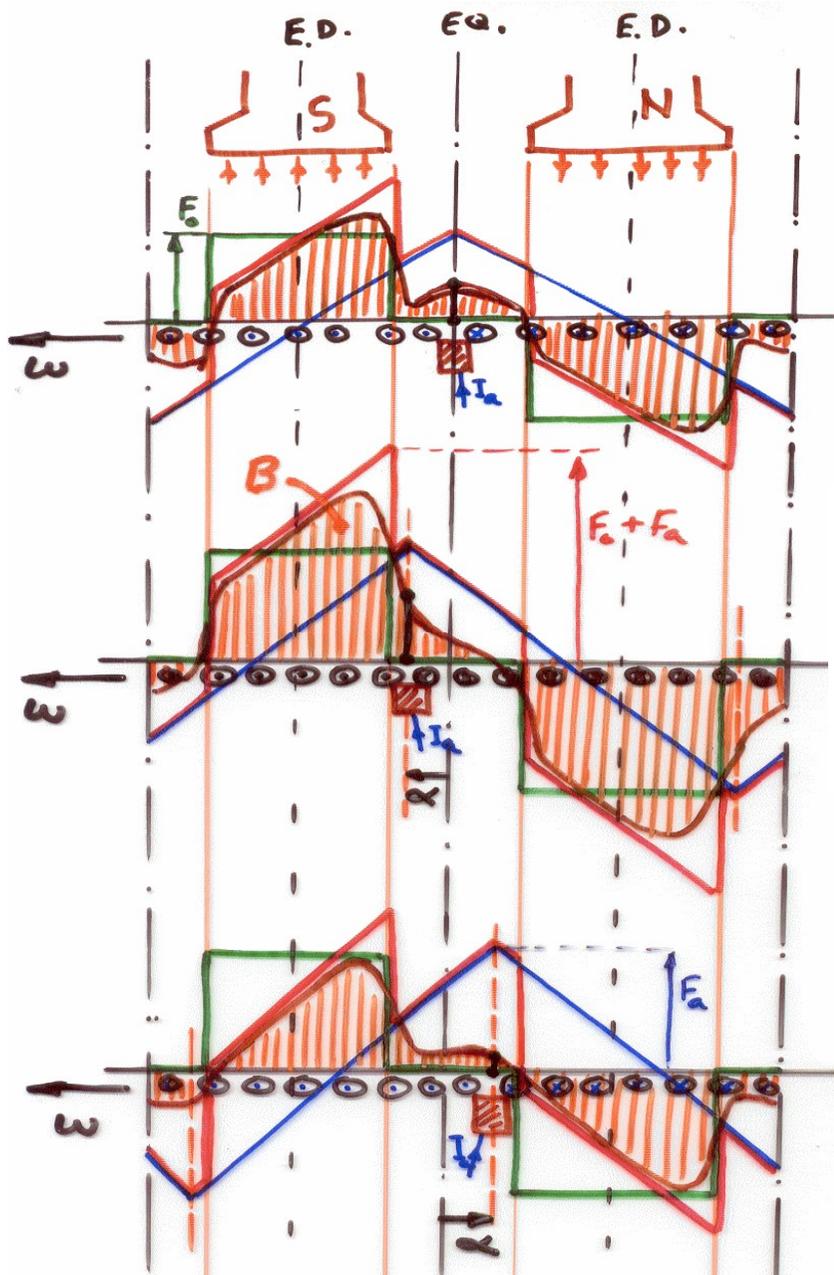


EFEITO DO INTERPOLO:

- TENSÃO INDUZIDA MOTOCIONAL: $e_i = B_{int} \cdot L \cdot v$
- B_{int} : CAMPO PRODUZIDO PELO INTERPOLO
- TENSÃO INDUZIDA: $e_i = -e_L$
- ACELERAÇÃO NA VARIAÇÃO DA CORRENTE
- INTERPOLO EM SÉRIE COM A ARMADURA
- EFEITO OCORRE EM QUALQUER CONDIÇÃO DE CARGA

INDUTÂNCIA DA BOBINA NÃO NULA :

- TENSÃO INDUZIDA VARIACIONAL: $e_L = L \cdot di / dt$
- ATRASO NA VARIAÇÃO DA CORRENTE
- AO FINAL DO TEMPO DE COMUTAÇÃO: $i_{bob} \neq -i_a$
- CIRCUITO DA BOBINA ABERTO MECANICAMENTE
- **CENTELHAMENTO** (TENSÃO INDUZIDA NA ABERTURA DO CIRCUITO > QUEDA DE TENSÃO NO CONTATO DA ESCOVA COM A LÂMINA)



EFEITOS ADICIONAIS DA REAÇÃO DE ARMADURA



ESCOVAS NA LINHA NEUTRA

→ **CALAGEM NULA**

ESCOVAS DESLOCADAS NO SENTIDO DA ROTAÇÃO

→ **CALAGEM POSITIVA**

→ **COMUTAÇÃO ATRASADA**

ESCOVAS DESLOCADAS NO SENTIDO CONTRÁRIO AO DA ROTAÇÃO

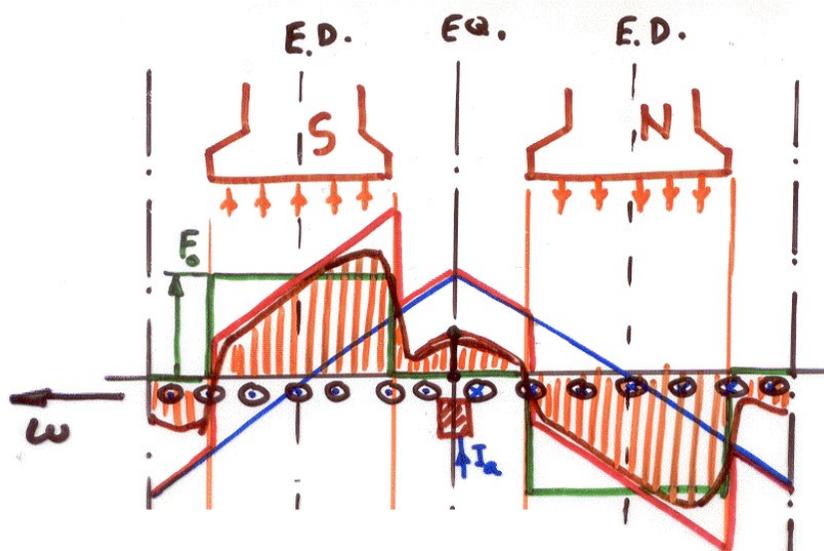
→ **CALAGEM NEGATIVA**

→ **COMUTAÇÃO AVANÇADA**

EFEITOS DA CIRCULAÇÃO DE CORRENTE NOS CONDUTORES DA ARMADURA

EFEITOS DA MUDANÇA NA POSIÇÃO RELATIVA DAS ESCOVAS (CALAGEM)

EFEITOS ADICIONAIS DA REAÇÃO DE ARMADURA

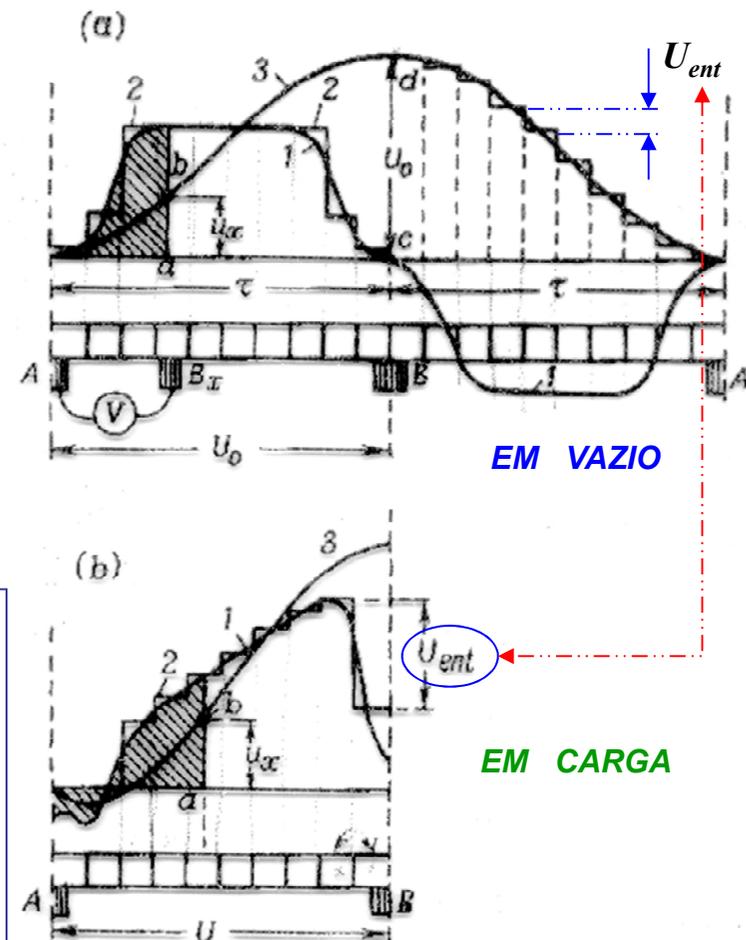


EFEITO DA DISTORÇÃO DE CAMPO EM CARGA SOBRE A DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES ENTRE LÂMINAS DO COMUTADOR:

EM VAZIO → DISTRIBUIÇÃO “UNIFORME”

EM CARGA → DISTRIBUIÇÃO DESEQUILIBRADA

RISCO DE ULTRAPASSAGEM DA TENSÃO DISRUPTIVA PELO AR → **ARCO ENTRE ESCOVAS (“FLASH-OVER”)**



MÉTODOS DE PARTIDA E VARIAÇÃO DE VELOCIDADE DOS MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA

ALIMENTAÇÃO A PARTIR DE FONTE C.A. :

→ **CONVERSORES C.A. – C.C. → RETIFICADORES CONTROLADOS**

OPERAÇÃO EM UM OU DOIS QUADRANTES

OPERAÇÃO EM QUATRO QUADRANTES COM CONVERSORES EM ANTI-PARALELO

→ **GRUPOS MOTOR-GERADOR C.C. → SISTEMA “WARD-LEONARD”**

OPERAÇÃO NATURAL EM QUATRO QUADRANTES

ALIMENTAÇÃO A PARTIR DE FONTE C.C. :

→ **PARTIDA E ACELERAÇÃO REOSTÁTICA**

OPERAÇÃO EM UM OU DOIS QUADRANTES – MÉTODO DISSIPATIVO

→ **RECORTADOR DE TENSÃO – “CHOPPER”**

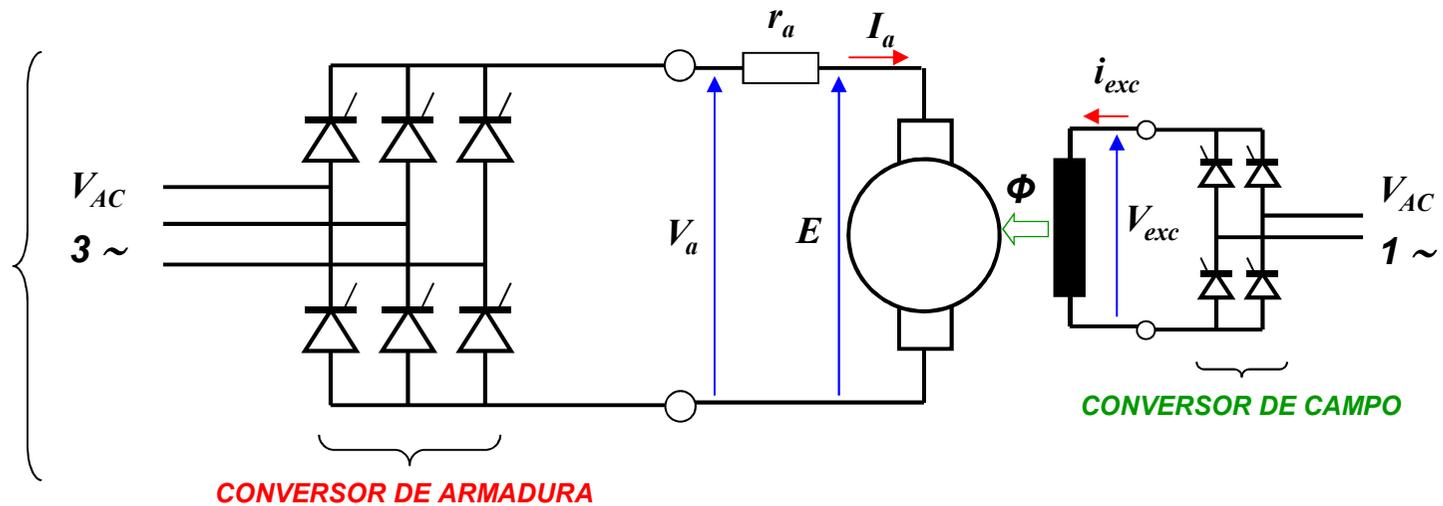
OPERAÇÃO EM UM OU DOIS QUADRANTES

OPERAÇÃO EM QUATRO QUADRANTES COM “CHOPPER” REGENERATIVO

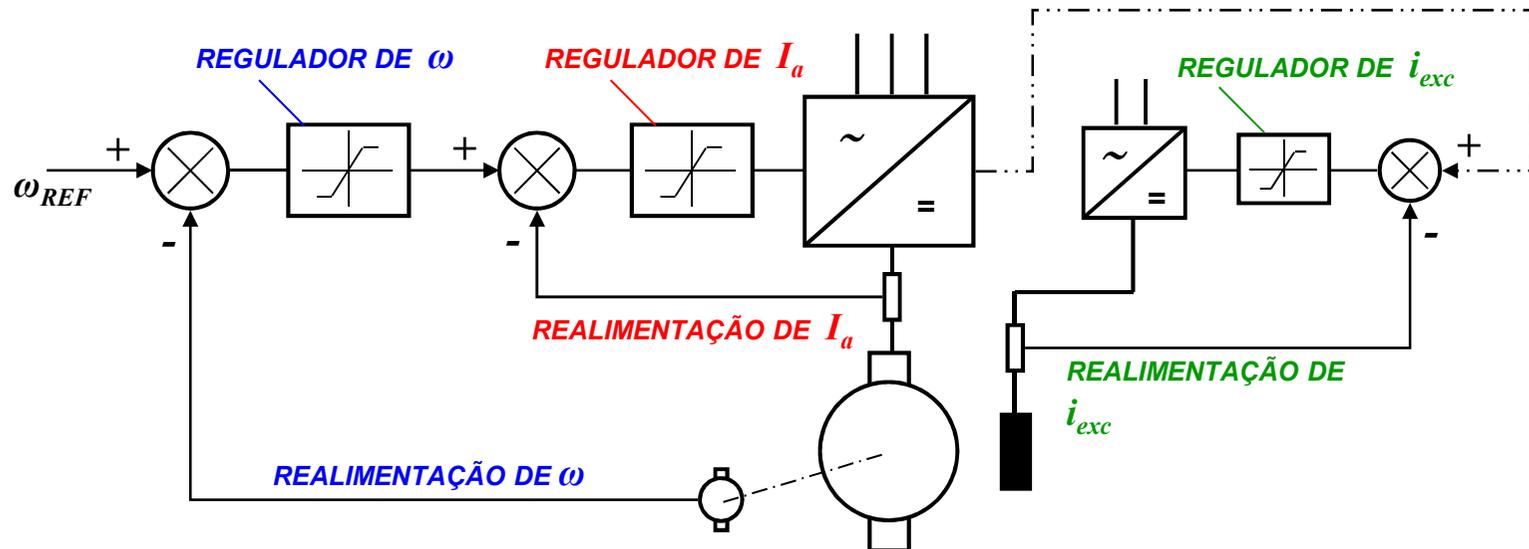
MÉTODOS DE PARTIDA E VARIAÇÃO DE VELOCIDADE DE MOTORES C.C.

CONVERSORES C.A. – C.C. → RETIFICADORES CONTROLADOS BASEADOS EM TIRISTORES

TOPOLOGIA TÍPICA
DE CONVERSOR
DE 1 QUADRANTE



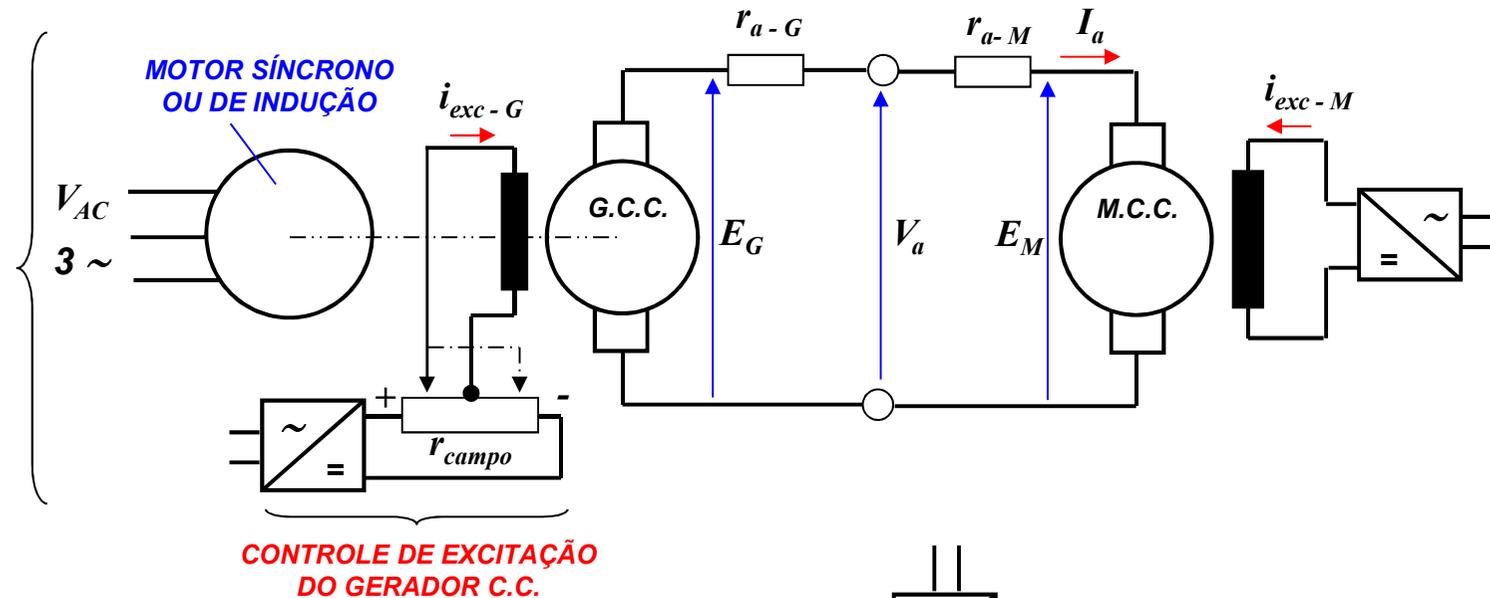
MALHA DE
CONTROLE DE
VELOCIDADE



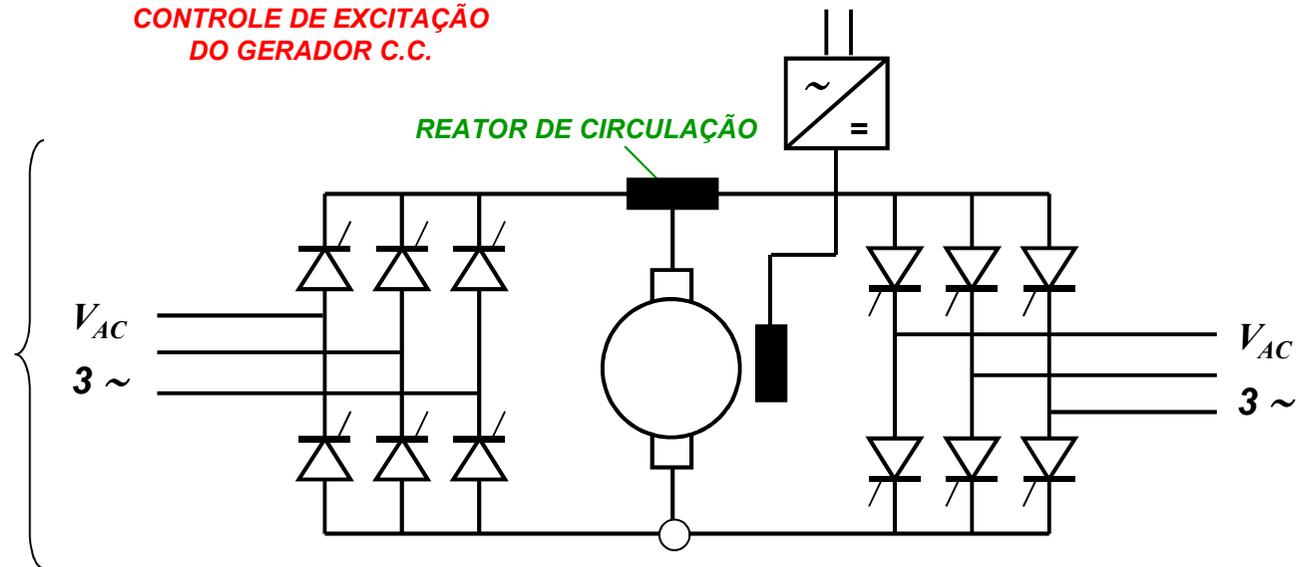
MÉTODOS DE PARTIDA E VARIAÇÃO DE VELOCIDADE DE MOTORES C.C.

GRUPOS MOTOR - GERADOR C.C. → SISTEMAS "WARD - LEONARD"

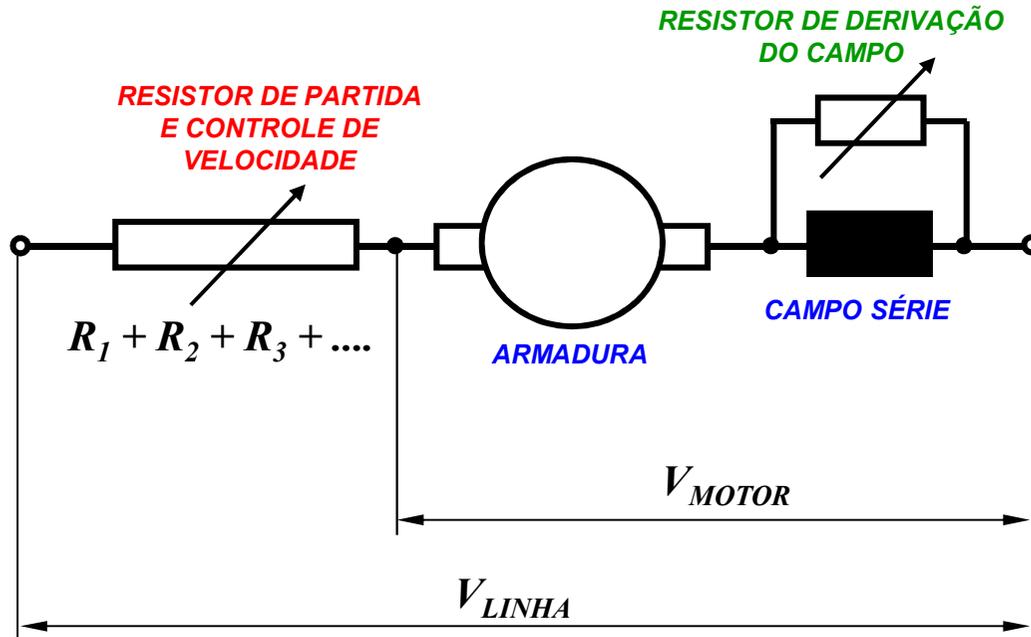
GRUPO ROTATIVO
"WARD - LEONARD"
DE 4 QUADRANTES



SISTEMA ESTÁTICO
"WARD - LEONARD"
DE 4 QUADRANTES



MÉTODOS DE PARTIDA E VARIAÇÃO DE VELOCIDADE - ALIMENTAÇÃO A PARTIR DE BARRAMENTO C.C.



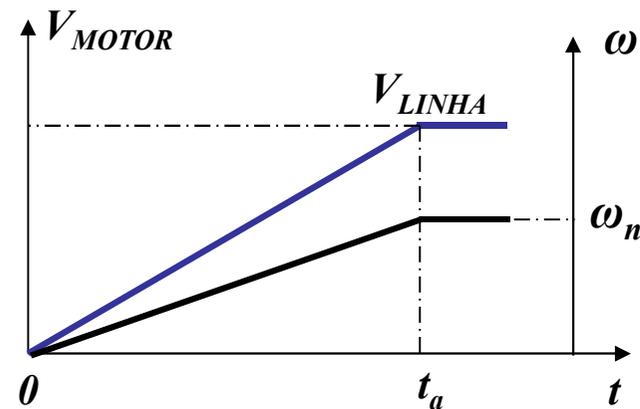
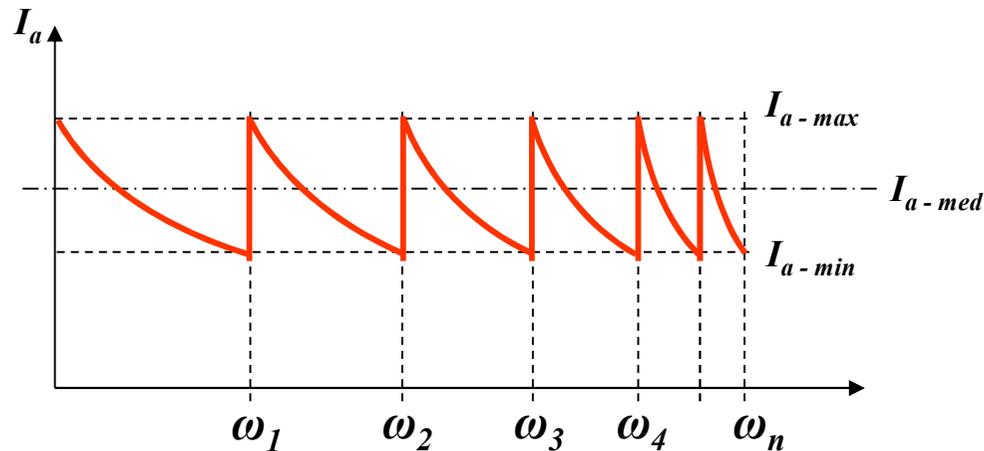
CONTROLE DE PARTIDA E ACELERAÇÃO REOSTÁTICA

$$I_A = \frac{V_{LINHA} - K \cdot \phi \cdot \omega}{r_A + \sum R_i}$$

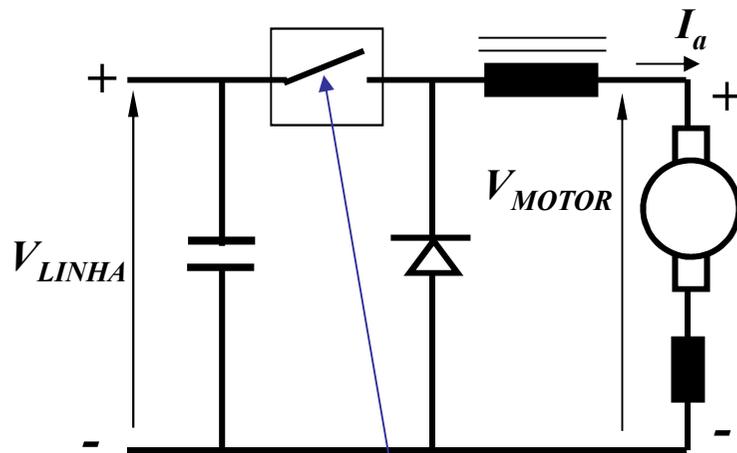
$$I_A = I_{AMED} \cong cte. \Rightarrow C \cong cte.$$

$$C = J \cdot \frac{d\omega}{dt} \cong cte. \Rightarrow \omega = k \cdot t$$

$$E = K \cdot \phi \cdot \omega \Rightarrow V_{MOTOR} \cong E = k \cdot t$$



CONTROLE DE PARTIDA E ACELERAÇÃO POR MEIO DE “CHOPPER”

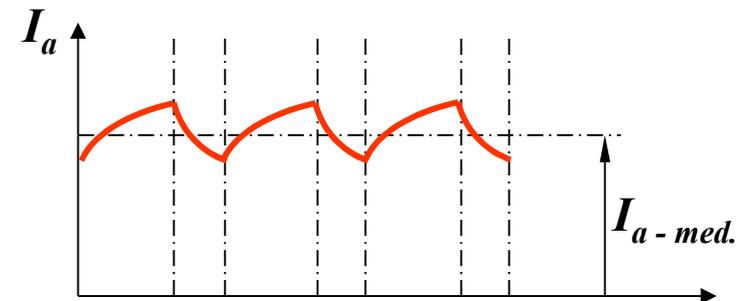
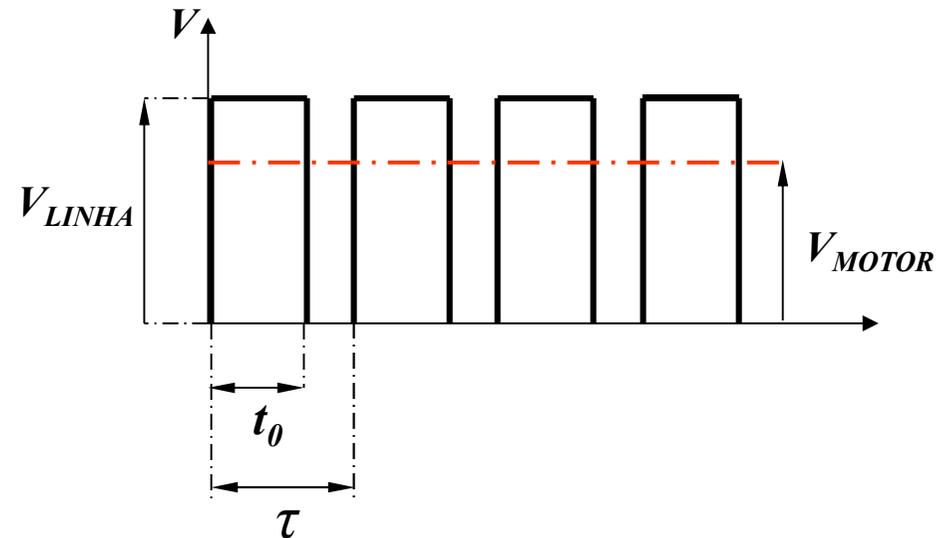


CHAVE ELETRÔNICA

→ SCR → GTO → IGBT
 OPERA COM FREQUÊNCIA DE
 CHAVEAMENTO FIXA E COM
 INTERMITÊNCIA AJUSTÁVEL

FATOR DE INTERMITÊNCIA (“DUTY-CYCLE”)

$$\rightarrow (t_0 / \tau)$$



$$V_{MOTOR} = \left(\frac{t_0}{\tau} \right) \cdot V_{LINHA}$$