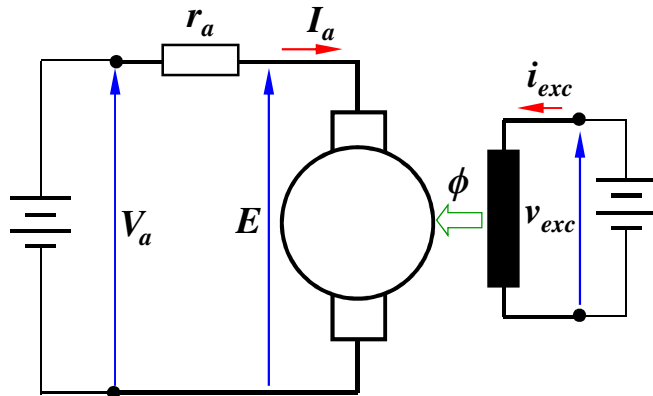


***CARACTERÍSTICAS EXTERNAS DAS MÁQUINAS
DE CORRENTE CONTÍNUA***

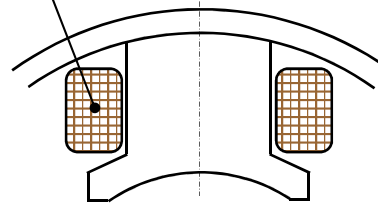
MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA: CARACTERÍSTICAS EXTERNAS

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

→ FONTES INDIVIDUALMENTE CONTROLADAS / AJUSTADAS



BOBINA DE CAMPO INDEPENDENTE (OU BOBINA DE CAMPO "SHUNT")



RESISTÊNCIA ÔHMICA DA BOBINA DE CAMPO: R_{sh}

- POTÊNCIA DE ARMADURA = $V_a \cdot I_a$
- POTÊNCIA DE EXCITAÇÃO = $v_{exc} \cdot i_{exc} = R_{sh} \cdot (i_{exc})^2$
- $v_{exc} \cdot i_{exc} \ll V_a \cdot I_a \rightarrow i_{exc} \ll I_a$
- BOBINA DE CAMPO ("SHUNT"):
- Nº DE ESPIRAS ELEVADO → N_{sh}
- CONDUTOR DE SECCÃO REDUZIDA
- F.M.M. DE EXCITAÇÃO : $F_0 = N_{sh} \cdot i_{exc}$

$$\left. \begin{aligned} E &= k \cdot \phi \cdot \omega \\ C &= k \cdot \phi \cdot I_a \\ V_a &= E + r_a \cdot I_a \end{aligned} \right\} \begin{aligned} V_a &= k \cdot \phi \cdot \omega + r_a \cdot I_a = k \cdot \phi \cdot \omega + \frac{r_a \cdot C}{k \cdot \phi} \\ \frac{V_a}{k \cdot \phi} &= \omega + \frac{r_a \cdot C}{(k \cdot \phi)^2} \end{aligned} \rightarrow \omega = \frac{V_a}{k \cdot \phi} - \frac{r_a}{(k \cdot \phi)^2} \cdot C \rightarrow \omega = \omega_0 - \alpha \cdot C$$

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}

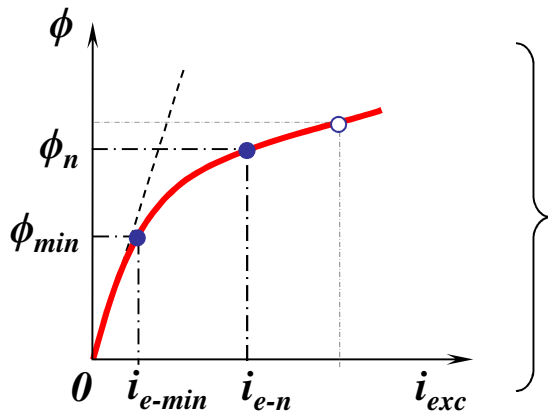
→ REVERSÃO DO SENTIDO DE ROTAÇÃO → INVERSÃO DE ALIMENTAÇÃO DO CAMPO OU DA ARMADURA

→ 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** ($V_a = cte.$)



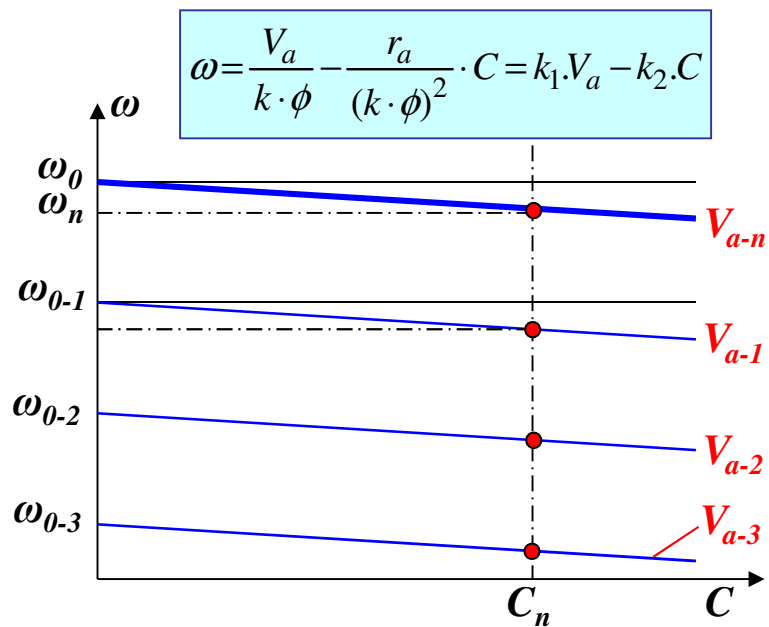
FLUXO IMPOSTO PELA EXCITAÇÃO → **CARACTERÍSTICA DE MAGNETIZAÇÃO NÃO LINEAR**

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

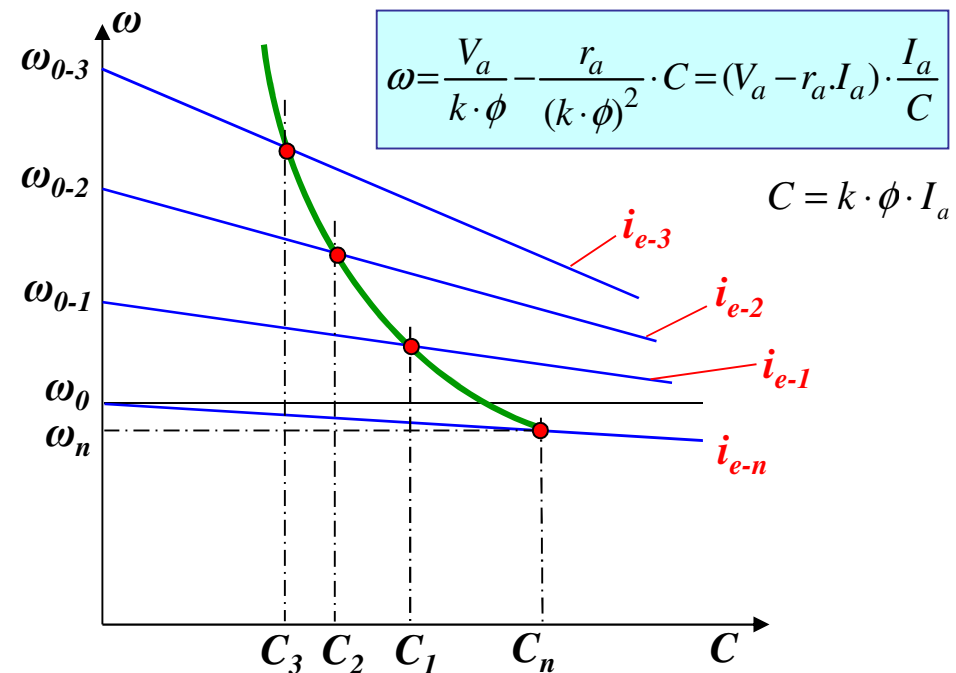
$i_{e-min} \rightarrow \phi_{min}$ **FLUXO MÍNIMO** → **LIMITE DE DISPARO DA MÁQUINA C.C.**

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

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

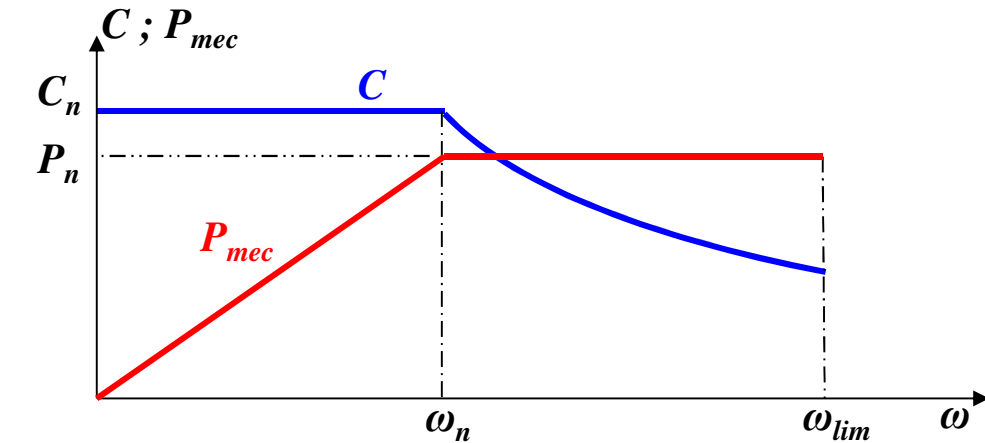


VARIAÇÃO PELA ARMADURA : $\phi = cte.$

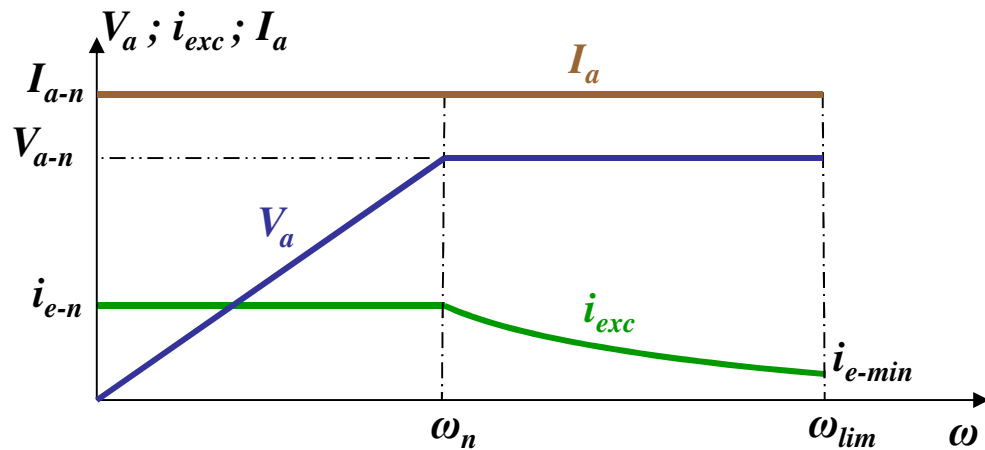


VARIAÇÃO PELO CAMPO : $V_a = cte.$

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



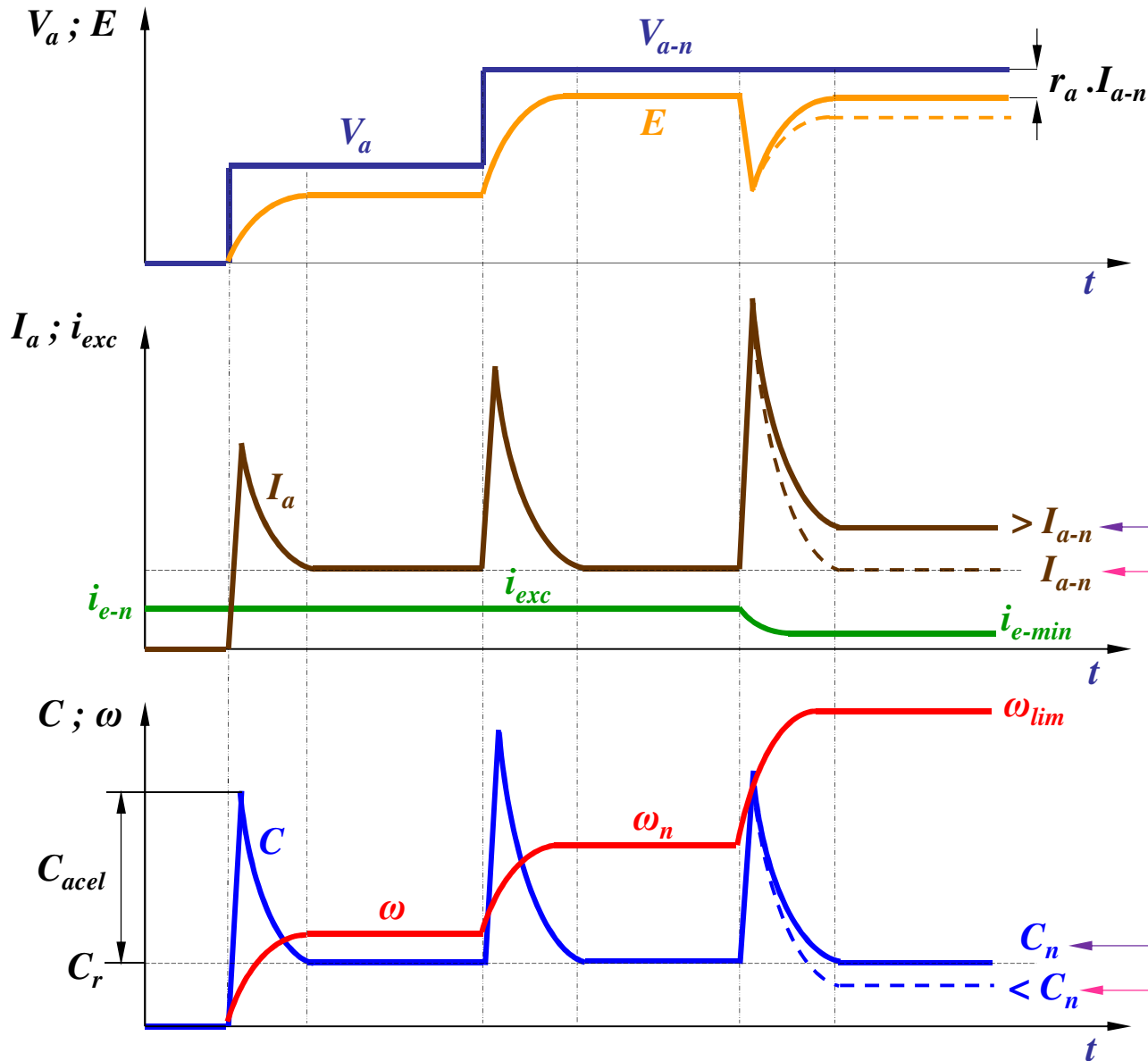
VARIAÇÃO PELA ARMADURA
A TORQUE CONSTANTE

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

VARIAÇÃO PELO CAMPO
A POTÊNCIA CONSTANTE

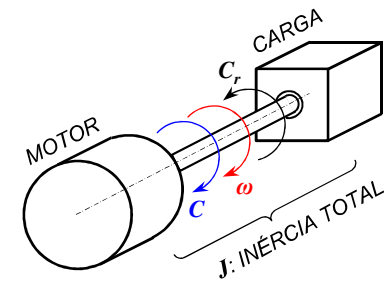
$$C = k \cdot I / \omega \rightarrow P_{mec} = cte.$$

MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA COM CAMPO INDEPENDENTE → TRANSITÓRIOS DE ACELERAÇÃO



$$E = k \cdot \phi \cdot \omega$$

$$I_a = \frac{V_a - E}{r_a}$$



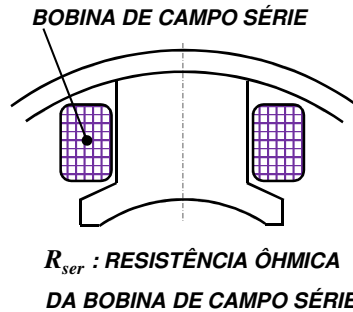
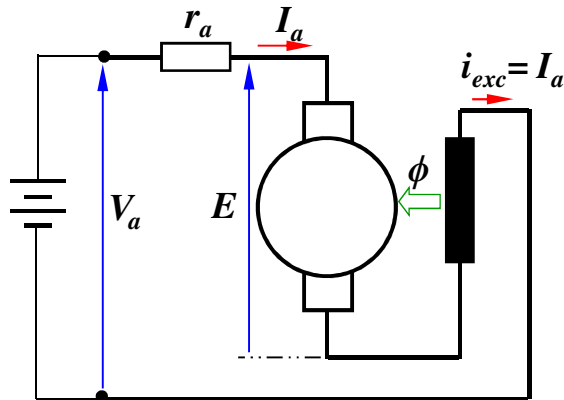
$$C = C_r + J \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

$$C = k \cdot \phi \cdot I_a$$

MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA: CARACTERÍSTICAS EXTERNAS

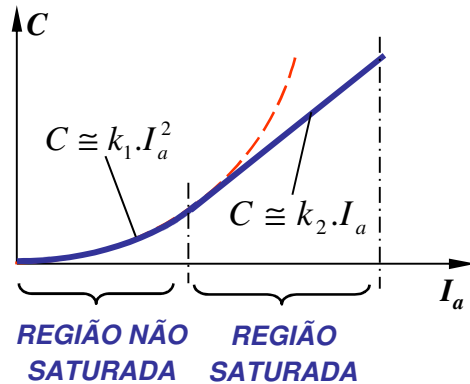
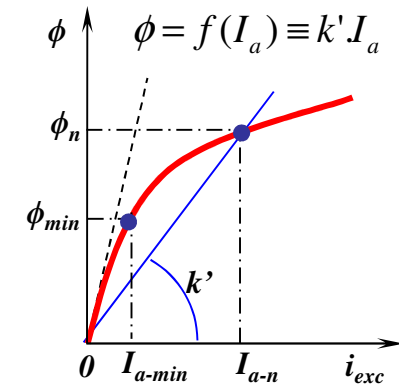
LIGAÇÃO DE CAMPO SÉRIE → **FONTE ÚNICA P/ ALIMENTAÇÃO DE ARMADURA E CAMPO**

→ **EXCITAÇÃO PROVIDA PELA PRÓPRIA CORRENTE DE CARGA**



R_{ser} : RESISTÊNCIA ÔHMICA DA BOBINA DE CAMPO SÉRIE

- POTÊNCIA DE ARMADURA = $V_a \cdot I_a$
- POTÊNCIA DE EXCITAÇÃO = $R_{ser} \cdot (I_a)^2$
- $R_{ser} \cdot (I_a)^2 \ll V_a \cdot I_a \rightarrow i_{exc} = I_a$
- BOBINA DE CAMPO SÉRIE :**
- Nº DE ESPIRAS **REDUZIDO** → N_{ser}
- CONDUTOR DE **SECCÃO ELEVADA**
- F.M.M. DE EXCITAÇÃO : $F_0 = N_{ser} \cdot I_a$



$$V_a = k \cdot \phi \cdot \omega + r_a \cdot \sqrt{\frac{C}{k \cdot k'}}$$

$$C = k \cdot \phi \cdot \sqrt{\frac{C}{k \cdot k'}} \rightarrow \phi = \frac{C}{k \cdot \sqrt{\frac{C}{k \cdot k'}}} = \frac{\sqrt{C} \cdot \sqrt{k'}}{\sqrt{k}}$$

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

$$\begin{aligned} E &= k \cdot \phi \cdot \omega & V_a &= E + r_a \cdot I_a \\ C &= k \cdot \phi \cdot I_a & C &= k \cdot k' \cdot I_a^2 \end{aligned}$$

$$V_a = k \cdot \frac{\sqrt{k'}}{\sqrt{k}} \cdot \sqrt{C} \cdot \omega + r_a \cdot \sqrt{\frac{C}{k \cdot k'}} \times \left(\frac{1}{\sqrt{C}} \right)$$

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

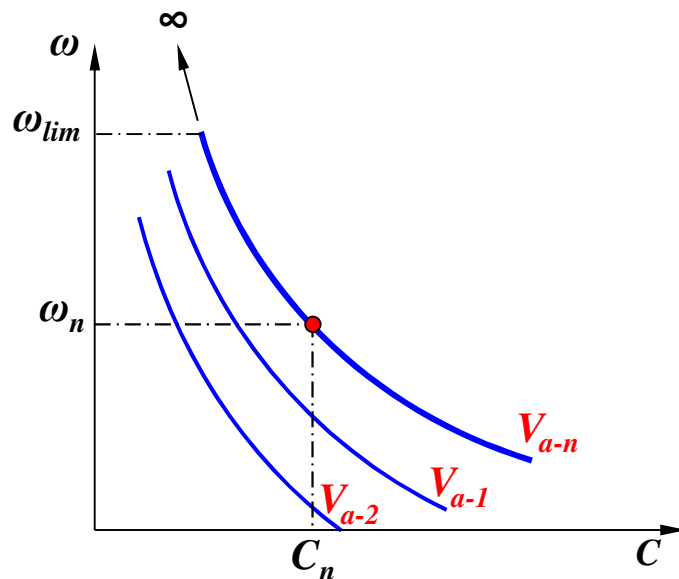
CURVAS CARACTERÍSTICAS → “HIPÉRBOLES” PARAMETRIZADAS PELA TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO

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



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

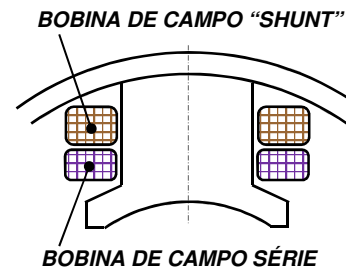
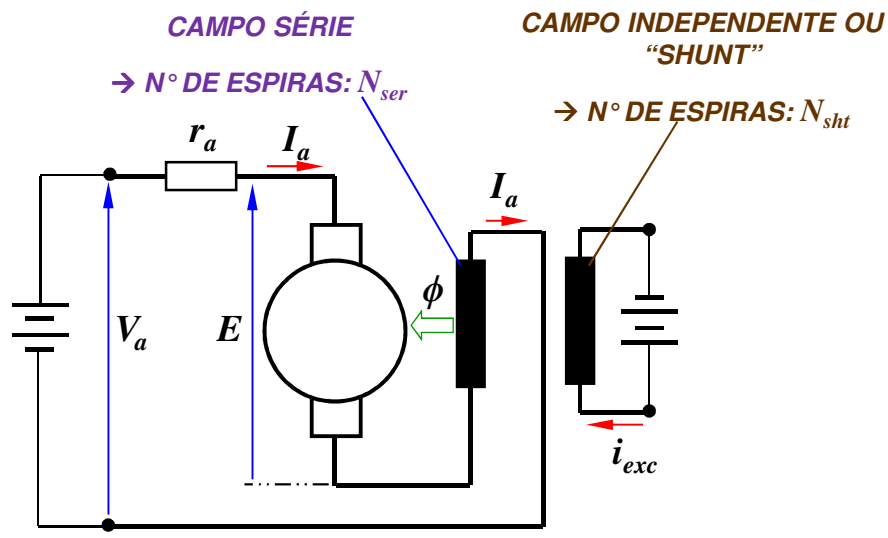
$$\omega = 0 \Rightarrow C = C_p = k \cdot k' \cdot \left(\frac{V_a}{r_a} \right)^2 \left. \vphantom{\omega = 0} \right\} \begin{array}{l} \text{CONJUGADO} \\ \text{DE PARTIDA} \end{array}$$

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



BOBINA DE CAMPO (“SHUNT”):
 Nº DE ESPIRAS ELEVADO → N_{sht}
 CONDUTOR DE SECCÃO REDUZIDA
 F.M.M. DE EXCITAÇÃO : $F_{sht} = N_{sht} \cdot i_{exc}$

BOBINA DE CAMPO SÉRIE :
 Nº DE ESPIRAS REDUZIDO → N_{ser}
 CONDUTOR DE SECCÃO ELEVADA
 F.M.M. DE EXCITAÇÃO : $F_{ser} = N_{ser} \cdot I_a$

FLUXO NO ENTREFERRO ESTABELECIDO PELA EXCITAÇÃO TOTAL:

$$F_{TOT} = F_{ser} + F_{sht}$$

$$F_{TOT} = N_{ser} \cdot I_a + N_{sht} \cdot i_{exc}$$

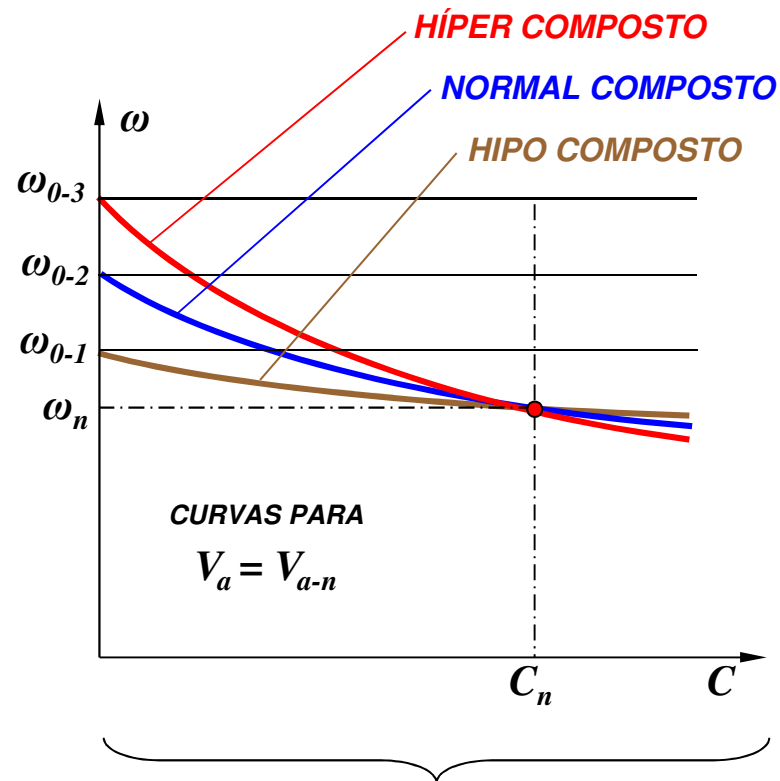
$$\frac{F_{ser}}{F_{TOT}} = K_{CPD}$$

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

- $0,05 < K_{CPD} < 0,10$ → HIPO COMPOSTO
- $0,10 < K_{CPD} < 0,20$ → NORMAL COMPOSTO
- $0,20 < K_{CPD} < 0,50$ → HÍPER COMPOSTO

F_{sht} e F_{ser}

→ **NECESSÁRIAMENTE ADITIVAS**

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