Accionamentos Electromecânicos

Controlo de máquinas DC

Os objectivos são:

- Estabelecer o valor de determinadas grandezas (binário, velocidade, posição, etc.).
- Auto-proteger o variador e o motor contra sobrecargas e outros tipos de falhas.
- Conseguir bom desempenho com bom rendimento
- Nalguns casos avaliar parâmetros do sistema e adaptar a estratégia de funcionamento aos seus valores.

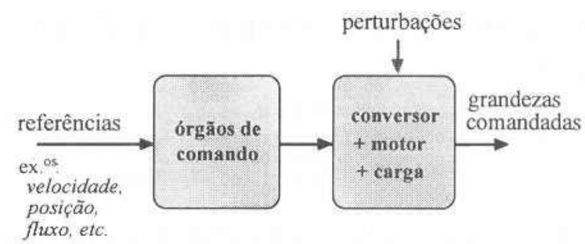
Para isso é necessário:

- Identificar a variável a ser controlada, efectuar o estudo do sistema, a estabilidade do controlo a utilizar e as potenciais vantagens decorrentes da sua utilização.
- Seleccionar uma topologia para o conversor electrónico de potência com base na potência do sistema, na complexidade e nas características de desempenho desejadas.

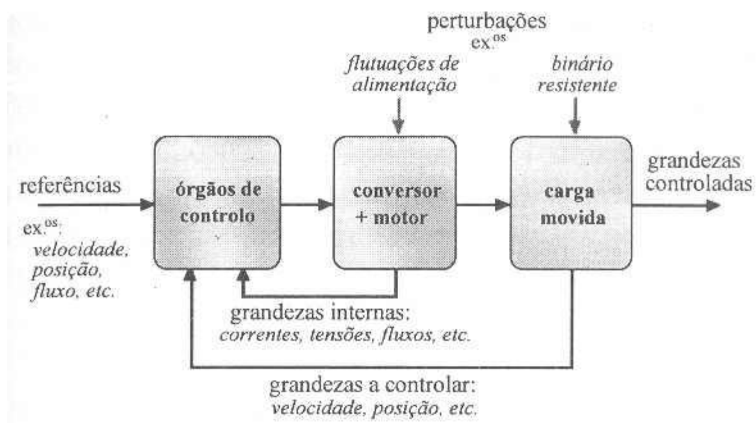
Revisões:

Existem duas modalidades essenciais quanto à estrutura de um sistema de controlo:

- Cadeia em malha aberta. Neste caso não existe a utilização dos valores a estabelecer para os corrigir. É mais chamada de comando e não controlo. Aplica-se para sistemas com requisitos pouco exigentes.



- Cadeia em malha fechada. Por realimentação das grandezas do sistema, medidas ou estimadas. Permitem melhores melhorar as características de resposta do sistema e o aumento da imunidade do sistema a perturbações.

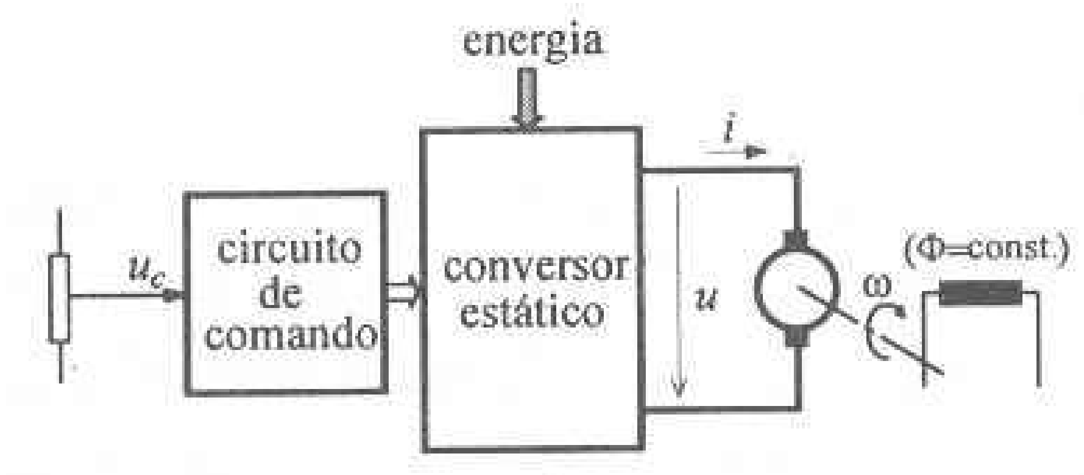


Revisões:

É necessário modelar matematicamente o comportamento dos sistemas, simplificando, mas de modo criterioso. Num caso geral o modelo matemático usado é o das equações diferenciais.

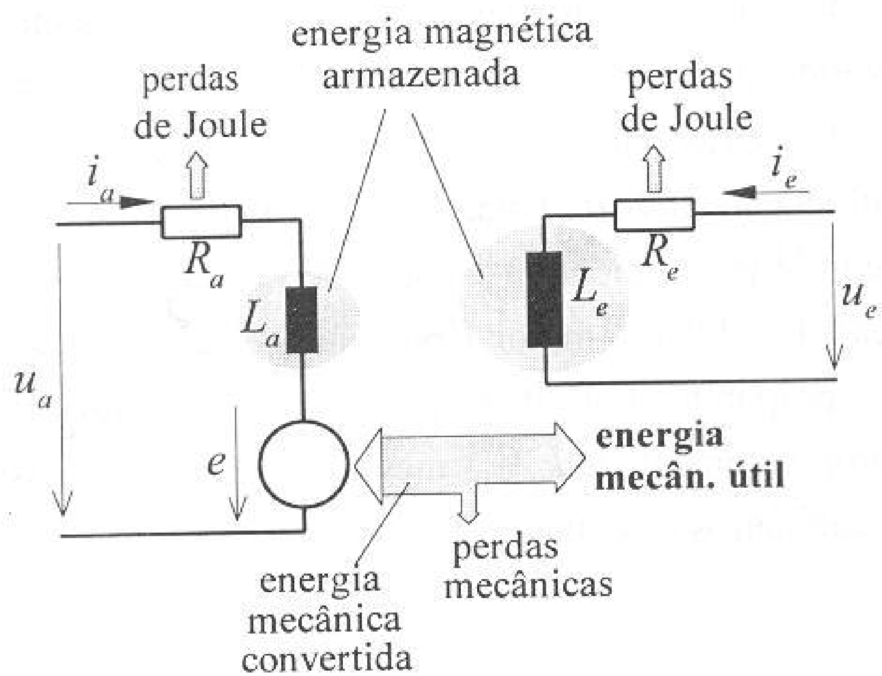
- Modelação do sistema: função de transferência do sistema.
- Métodos:
  Resposta em frequência, e conceitos de MG e MF.
  Lugar das raízes.

Máquina DC:



Malha aberta

Máquina DC:



Circuito equivalente

Equações:

Designa-se cte. de binário

$$e = K_a \Phi \omega$$

$$T = K_a \Phi i_a$$ Caract. electromecânica

$$\Phi = K i_e$$

$$u_a = e + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt}$$ Caract. eléctrica

$$u_e = R_e i_e + L_e \frac{di_e}{dt}$$

$$T = J \frac{d\omega}{dt} + T_r$$ Caract. mecânica

Máquina DC:

Pode ser visto como produtor de binário dependente de três entradas: u_a, u_e e w (sistema complexo).
Se Φ=cte o sistema é linear

Simplificação: excitação = cte:

$e = K_a \Phi \omega$	Eliminar e:
$T = K_a \Phi i_a$	$T = K_a \Phi i_a$
$\cancel{\Phi = K i_e}$	
$u_a = e + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt}$	$u_a = K_a \Phi \omega + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt}$
$\cancel{u_e = R_e i_e + L_e \frac{di_e}{dt}}$	$T = J \frac{d\omega}{dt} + T_r$
$T = J \frac{d\omega}{dt} + T_r$	

Simplificação:

$$T = K_a \Phi i_a$$

$$u_a = K_a \Phi \omega + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt}$$

$$T = J \frac{d\omega}{dt} + T_r$$

Eliminar i_a :

$i_a = T / K_a \Phi$

$$u_a = K_a \Phi \omega + R_a \frac{T}{K_a \Phi} + L_a \frac{d\left(\frac{T}{K_a \Phi}\right)}{dt}$$

$$T = J \frac{d\omega}{dt} + T_r$$

Eliminar T :

$T = J \frac{d\omega}{dt} + T_r$

$$u_a = K_a \Phi \omega + \frac{R_a}{K_a \Phi}\left(J \frac{d\omega}{dt} + T_r\right) + \frac{L_a}{K_a \Phi}\left(\frac{d\left(J \frac{d\omega}{dt} + T_r\right)}{dt}\right)$$

Controlo maq. DC

Simplificação:

$$u_a = K_a \Phi \omega + \frac{R_a}{K_a \Phi}(\overbrace{J\frac{d\omega}{dt} + T_r}^{T}) + \frac{L_a}{K_a \Phi}\left(\frac{d\left(\overbrace{J\frac{d\omega}{dt} + T_r}^{T}\right)}{dt}\right)$$

Fazendo d/dt=s (Laplace):

$$U_a = K_a \Phi \omega + \frac{R_a}{K_a \Phi}(J\Omega s + T_r) + \frac{L_a}{K_a \Phi} s\left(J\Omega s + T_r\right)$$

Laplace→ maiúsculas

$$\downarrow$$

$$U_a - K_a \Phi \omega = \frac{R_a}{K_a \Phi}(J\Omega s + T_r) + \frac{L_a}{K_a \Phi} s\left(J\Omega s + T_r\right)$$

$$\downarrow$$

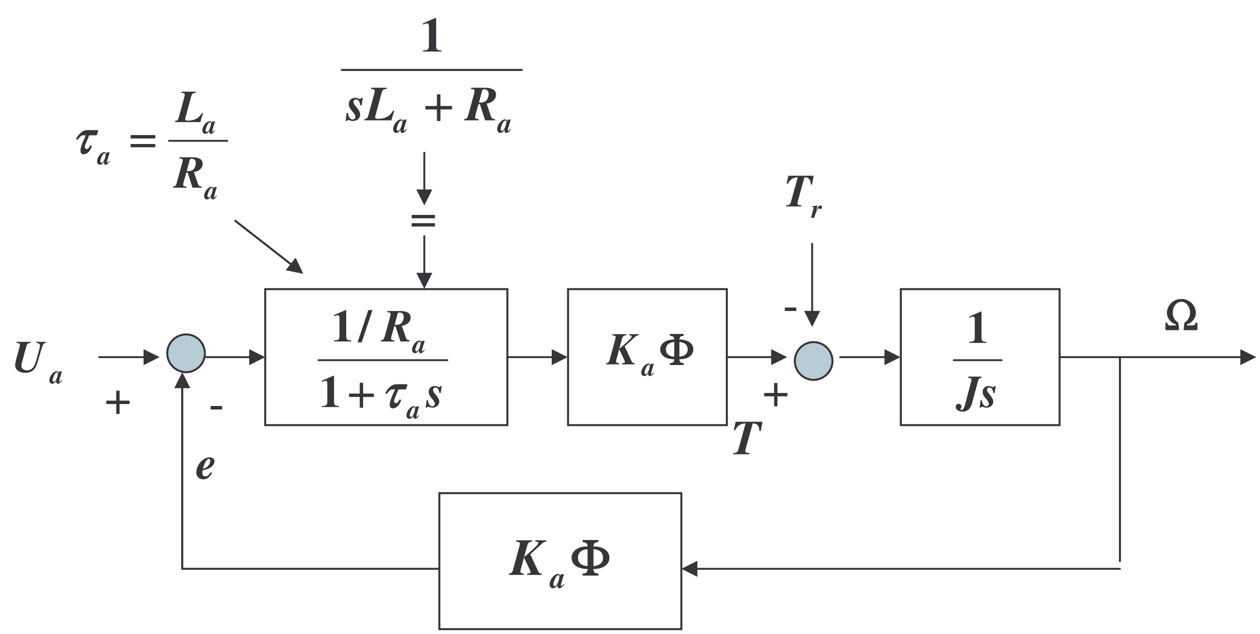
$$\left(\left((U_a - K_a \Phi \Omega) K_a \Phi \frac{1}{R_a + sL_a}\right) - T_r\right)\frac{1}{Js} = \Omega$$

Máquina DC:

A equação:

$$\left(\left((U_a - K_a\Phi\Omega)K_a\Phi\frac{1}{R_a + sL_a}\right) - T_r\right)\frac{1}{Js} = \Omega$$

Equivale a:



Controlo maq. DC

Controlo:

Tal como foi já visto:

$$u_a = K_a \Phi \omega + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt}$$

$$T = K_a \Phi i_a$$

Das equações anteriores, em regime estacionário e desprezando a queda de tensão em R_a, $U_a \approx e = K_a \Phi \omega$

Assim o controlo da tensão U_a é um método eficaz de controlar a velocidade. Conjugando as duas equações anteriores o seu valor exacto é:

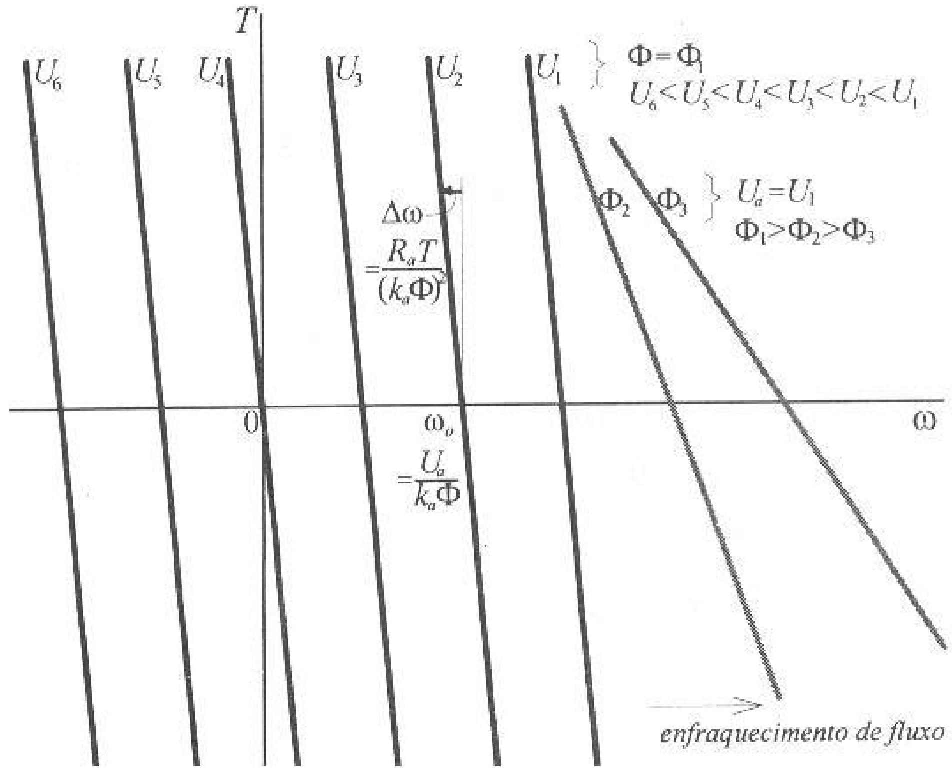
$$\omega = \frac{u_a}{K_a \Phi} - \frac{R_a T_r}{(K_a \Phi)^2}$$

Controlo maq. DC

Controlo:

Graficamente:

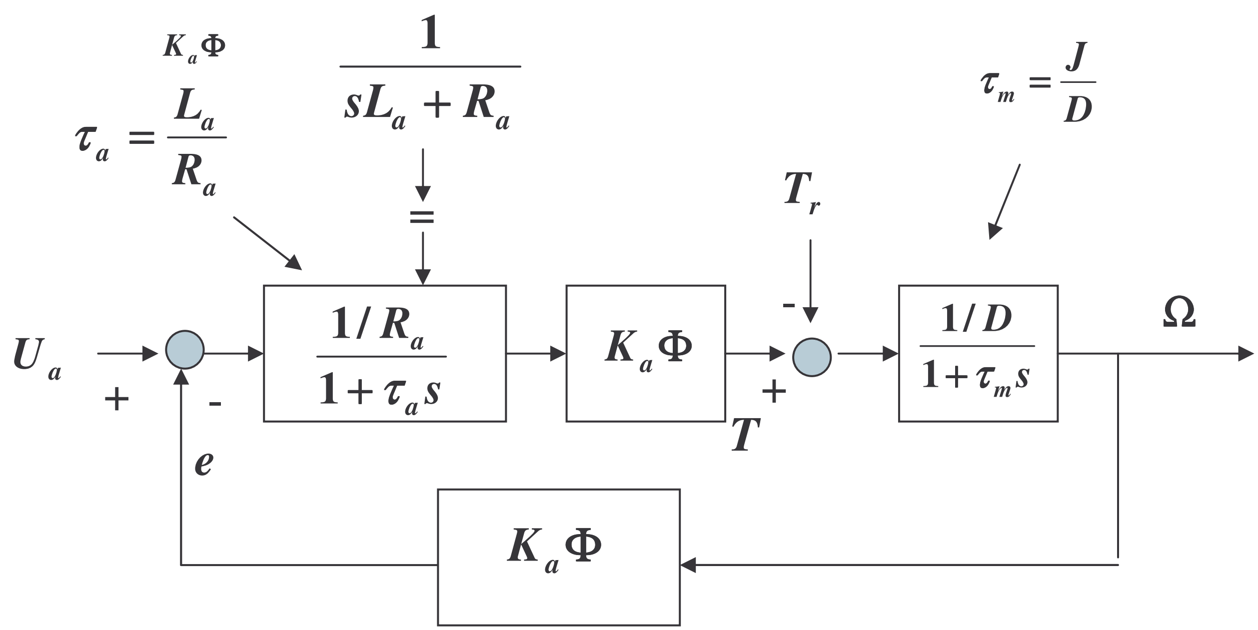
$$\omega = \frac{u_a}{K_a\Phi} - \frac{R_a T_r}{(K_a\Phi)^2}$$



Máquina DC:

Contando com as perdas por atrito do motor $T_m = D\omega$ ou eventualmente a carga com binário resistente proporcional à velocidade:

Neste caso:



Máquina DC:

Os pólos da FT são dados por: $$(1+s\tau_a)(1+s\tau_m)+K_a{}^2\Phi^2\frac{1}{R_a}\frac{1}{D}=0$$

As soluções são: $$s_1,s_1=-\frac{1}{2\tau_a}-\frac{1}{2\tau_m}\pm\frac{1}{2}\sqrt{\left(\frac{1}{\tau_a}-\frac{1}{\tau_m}\right)^2-\frac{4K_a{}^2\Phi^2}{JL_a}}$$

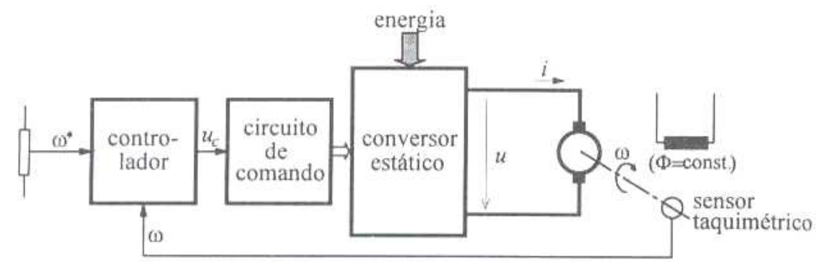
Caso S_1 e S_2 sejam reais, as evoluções de $\Delta\omega_m(t)$ (causadas por $\Delta U_a = C^{te}$ ou por $\Delta T_l = C^{te}$) são do tipo exponencial: $\Delta\omega_m(t) = A_1.e^{s_1.t} + A_2.e^{s_2.t}$

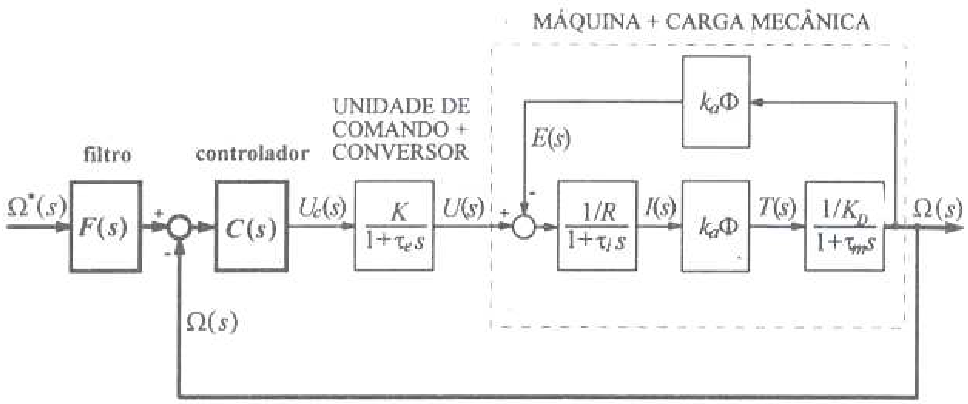
Caso S_1 e S_2 sejam complexas conjugadas, as evoluções de $\Delta\omega_m(t)$ serão do tipo oscilatório amortecido: $\Delta\omega_m(t) = C.e^{-\alpha.t}.\cos(B.t+\psi)$

O momento de inércia total influencia a resposta, quando este é elevado a resposta tende para uma exponencial, valores reduzidos provocam uma resposta mais oscilatória.

Máquina DC:

Controlo de velocidade:





A relação entre transformadas de Laplace da velocidade ω, d[a] tensão de comando u_c e do binário resistente T_r é a seguinte:

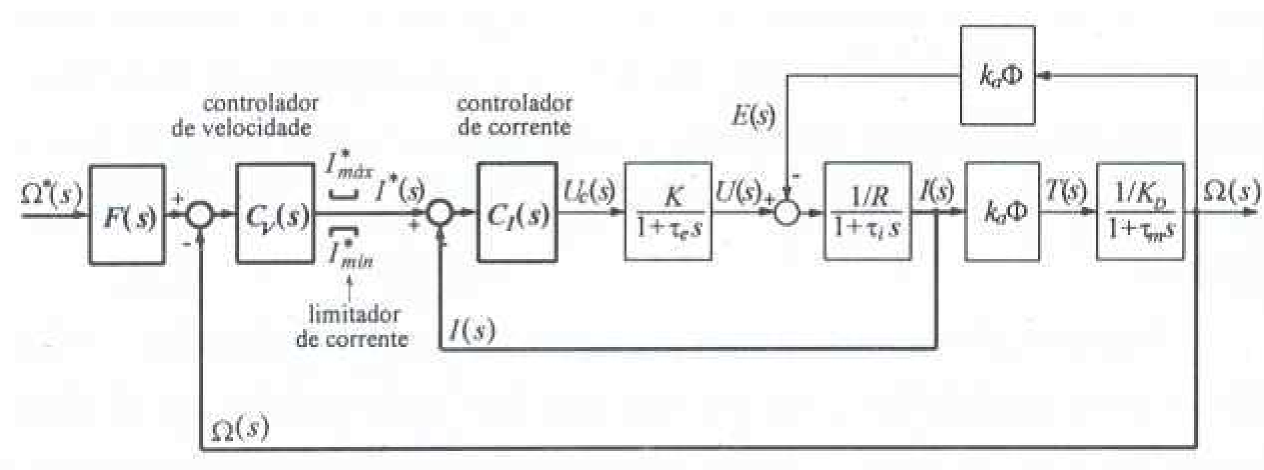
$$\Omega(s) = \frac{K}{1+\tau_e s} \frac{\frac{k_a\Phi}{\tau_i JR}}{s^2 + \frac{s}{\tau_i} + \frac{(k_a\Phi)^2}{\tau_i JR}} U_c(s) - \frac{\frac{1}{\tau_i J}(1+\tau_i s)}{s^2 + \frac{s}{\tau_i} + \frac{(k_a\Phi)^2}{\tau_i JR}} T_r(s)$$

No caso de carga linear, i.e. $T_r = K_D\omega$, a FT entre o sinal de co-nando e a velocidade passa a ser

$$\Omega(s) = \frac{K}{1+\tau_e s} \frac{\frac{k_a\Phi}{RK_D\tau_i\tau_m}}{s^2 + \frac{\tau_i+\tau_m}{\tau_i\tau_m}s + \frac{1}{\tau_i\tau_m} + \frac{(k_a\Phi)^2}{RK_D\tau_i\tau_m}} U_c(s) \quad \text{com} \quad \tau_m = \frac{J}{K_D}$$

Máquina DC:

Para evitar uma subida muito rápida da corrente do conversor (ao tentar controlar) ou se limita a taxa de variação da entrada ou se utiliza um controlo de velocidade com subordinação da corrente:



Fim