

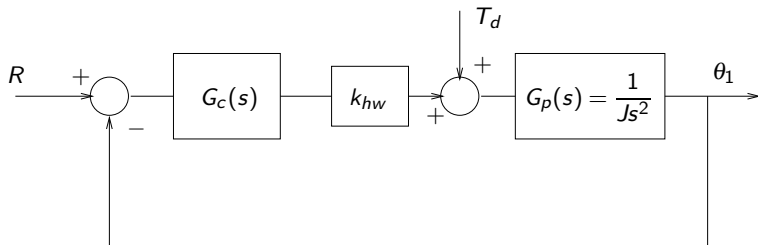
EA722 - Laboratório de Controle e Servomecanismos

Rejeição de Distúrbios, Controle Colocado e Controle em Cascata

Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
Universidade Estadual de Campinas

2º Semestre 2017

- Distúrbios: Forças ou torques que tendam a tirar o sistema do seu valor de referência (set-point) ou dificultar o rastreamento da trajetória comandada
- Exemplo: transporte de material com variação de carga através de uma esteira que se desloca com velocidade constante



Sistemas de controle por realimentação tem a capacidade de rejeitar distúrbios

Experiência

- torque T_d : 0,1 Hz (baixa frequência) ou 2,0 Hz (alta frequência)
- controladores: PD, PID e PD com filtro lead
- análise e verificação do comportamento: rejeição de distúrbios e servo (controlador PID + filtro lead)

■ Configuração: dois graus de liberdade:

- 1 dois carros conectados por uma mola, ou
- 2 dois discos conectados pela eixo de torção

■ Funções de Transferência:

$$\frac{X_1(s)}{F(s)} = \frac{m_2 s^2 + c_2 s + k_2}{D(s)} = \frac{N_1(s)}{D(s)}$$

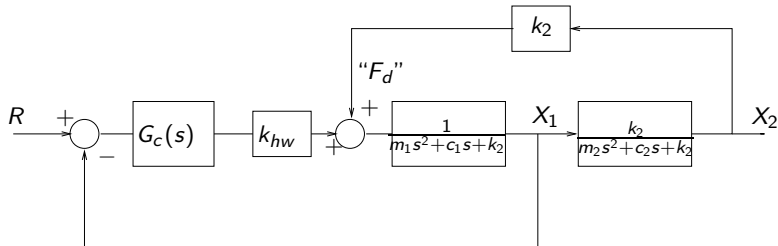
$$\frac{X_2(s)}{F(s)} = \frac{k_2}{D(s)} = \frac{N_2(s)}{D(s)}$$

$$D(s) = m_1 m_2 s^4 + (c_1 m_2 + c_2 m_1) s^3 + [(m_1 + m_2) k_2 + c_1 c_2] s^2 + (c_1 + c_2) k_2 s.$$

■ Controle colocado:

- 1 situação em que tanto o atuador como o sensor estão colocados no mesmo carro (ou disco).

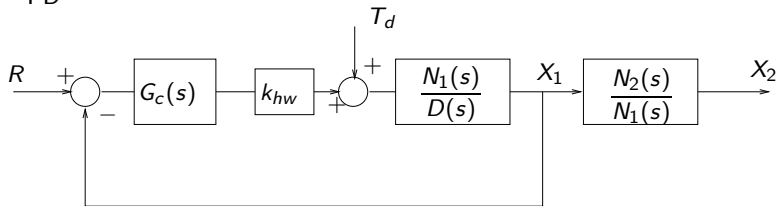
- 2 nos equipamentos ECP, o atuador está rigidamente acoplado ao primeiro carro (ou disco) e utiliza-se o sensor associado ao mesmo carro (ou disco).



- 3 A massa do segundo carro (ou disco) interfere no movimento do sistema como se fosse um “distúrbio externo”.
- 4 O conceito de rejeição de perturbação pode ser usado no projeto
- 5 Motivação para o uso: é simples e pode haver dificuldades na colocação de sensores no segundo elemento (carro 2 ou disco 2)

■ Experiência:

- 1 controle PD criticamente amortecido da experiência anterior
- 2 ajuste dos ganhos do PD para atingir especificações sobre o comportamento do carro (disco) #1
- 3 verificação do comportamento do carro (disco) #2 e reajuste do controlador PD



- 4 Servo-rigidez estática é o inverso do ganho estático. Da figura,

$$\frac{X_1(s)}{T_d(s)} = \frac{N_1(s)}{D(s) + k_{hw} G_c(s) N_1(s)}$$

$$\frac{X_2(s)}{T_d(s)} = \frac{X_2}{X_1} \cdot \frac{X_1}{T_d} = \frac{N_2(s)}{N_1(s)} \cdot \frac{X_1(s)}{T_d(s)}$$

e a servo-rigidez é

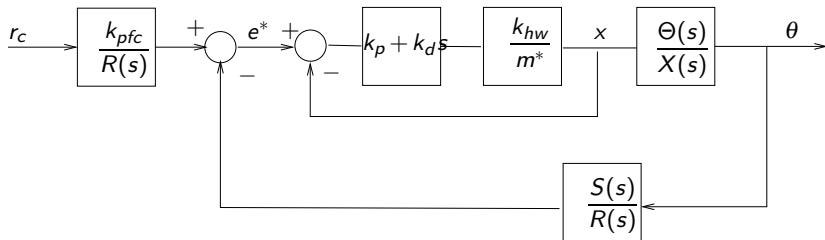
$$\left. \frac{D(s) + k_{hw} G_c(s) N_1(s)}{N_1(s)} \right|_{s=0} \quad \text{p/ variável } x_1$$

$$\left. \frac{D(s) + k_{hw} G_c(s) N_1(s)}{N_2(s)} \right|_{s=0} \quad \text{p/ variável } x_2$$

Pêndulo - controle em cascata da planta instável I

- Mesma estratégia do caso estável:

- **Malha interna:** gera a posição linear x comandada pelo erro produzido entre os ângulos de referência e o medido θ . A malha interna deve responder mais rapidamente do que a malha externa e sem oscilações.
- **Malha externa:** a partir a função de transferência $\Theta(s)/X(s)$, a posição linear produzida pela malha interna é transformada em posição angular. A malha externa é fechada por um controlador que forneça um comportamento apropriado para a posição angular, via alocação de pólos.



- Projeto do controlador cascata:

- Verificar que $\frac{X(s)}{E^*(s)} \approx 1$ na faixa de frequência de operação da malha externa; assim

$$\frac{\Theta(s)}{E^*(s)} = \frac{X(s)}{E^*(s)} \frac{\Theta(s)}{X(s)} = \frac{\Theta(s)}{X(s)}$$

é função de transferência em malha aberta.

- Os pólos desejados do sistema de malha fechada p_1 , p_2 e p_3 são especificados, definindo-se o polinômio

$$D_{cl}(s) = (s + p_1)(s + p_2)(s + p_3)$$

- Escrevendo

$$\frac{\Theta(s)}{X(s)} := k^* \frac{N_{ax}(s)}{D_{ax}(s)}$$

deseja-se então determinar o controlador de malha externa $\frac{S(s)}{R(s)}$ de forma a satisfazer a identidade

$$D_{ax}(s)R(s) + k^* N_{ax}(s)S(s) = D_{cl}(s).$$

- P. A. V. Ferreira. [Introdução aos sistemas de controle](#). Notas de aula do Prof. Paulo Valente, FEEC-UNICAMP, 1999, <http://www.dt.fee.unicamp.br/~jbosco/ea722/rotaula0.pdf>.
- G. F. Franklin, J. D. Powell, and A. Emami-Naeini. [Feedback Control of Dynamic Systems](#). Pearson, Upper Saddle River, NJ, 6 edition, 2009.
- J. C. Geromel and A. G. B. Palhares. [Análise Linear de Sistemas Dinâmicos: Teoria, Ensaio Práticos e Exercícios](#). Blucher, São Paulo, SP, 2004.
- K. Ogata. [Engenharia de Controle Moderno](#). Prentice-Hall do Brasil, Rio de Janeiro, RJ, 3 edition, 1998.