CONTROLE E SERVOMECANISMOS
Engenharia da Computação
Aula 12 - “Ações Básicas de Controle II”

Prof. Dr. Victor Leonardo Yoshimura

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Computação

24 de maio de 2017

1. Erro em Regime Permanente em Malha Fechada

2. O Compensador Integral

3. O Compensador Derivativo

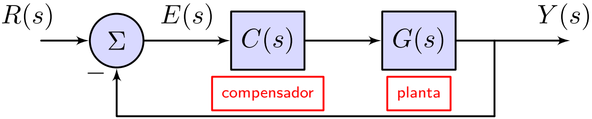
1 Erro em Regime Permanente em Malha Fechada

2 O Compensador Integral

3 O Compensador Derivativo

Erro em Regime Permanente em Malha Fechada I

Considere o sistema em realimentação unitária:



Defina as FTs do compensador e da planta:

$$G(s) = \frac{N_p(s)}{D_p(s)} \tag{12.1}$$

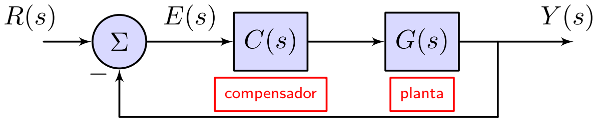
$$C(s) = \frac{N_c(s)}{D_c(s)} \tag{12.2}$$

Note que:

$$E(s) = R(s)\frac{1}{1 + C(s)G(s)} = \frac{D_c(s)D_p(s)}{D_c(s)D_p(s) + N_c(s)N_p(s)}R(s) \tag{12.3}$$

Erro em Regime Permanente em Malha Fechada II

Considere o sistema em realimentação unitária:



- Geralmente, interessa levar o erro a zero;
- Aplicando o Teorema do Valor Final a (12.3):

$$\varepsilon(\infty) = \lim_{s \to 0} s \frac{D_c(s)D_p(s)}{D_c(s)D_p(s) + N_c(s)N_p(s)} R(s) \tag{12.4}$$

Observação

Se a entrada for um degrau, a FTMA deverá ter um polo na origem para erro nulo!

1 Erro em Regime Permanente em Malha Fechada

2 O Compensador Integral

3 O Compensador Derivativo

O Compensador Integral

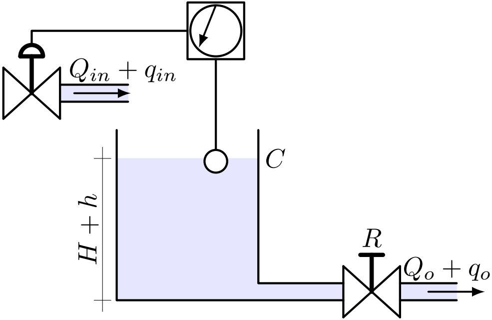
A forma deste compensador é

$$C(s) = \frac{k_i}{s} \tag{12.5}$$

Importante!

Principal função do compensador integral: eliminar o erro em regime em sistemas sob entrada degrau!

Exemplo: Controle de Nível



Modelo da planta (vide aula 07):

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{R}{RCs + 1}$$

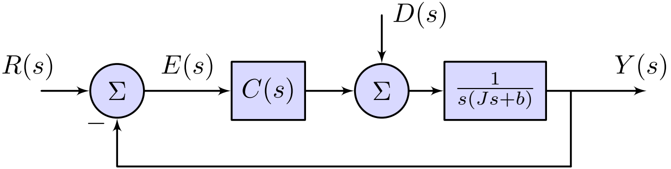
FT do conjunto bóia/referência

$$\frac{Q_i(s)}{E(s)} = k_p$$

Calculemos o erro em regime com (12.4)

$$\varepsilon(\infty) = \lim_{s \to 0} s \frac{RCs + 1}{RCS + 1 + k_p R} \frac{1}{s} = \frac{1}{1 + k_p R} > 0$$

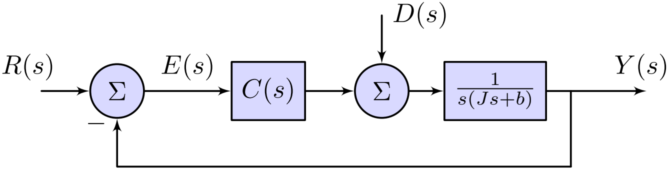
Exemplo: Servomotor DC



- Planta com polo na origem: erro nulo para a referência;
- Porém, não para a perturbação (não está em realimentação unitária);
- Considerando compensador P:

$$\frac{E(s)}{D(s)} = -\frac{\dfrac{1}{s(Js+b)}}{1+\dfrac{k_p}{s(Js+b)}} = -\frac{1}{Js^2+bs+k_p}$$

Exemplo: Servomotor DC



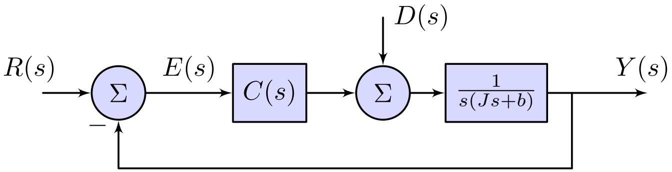
Assim, para perturbação degrau:

$$\varepsilon(\infty) = \lim_{s \to 0} s \left(-\frac{1}{Js^2 + bs + k_p} \frac{1}{s} \right) = -\frac{1}{k_p}$$

Por outro lado, ao tentar usar um compensador I:

$$\frac{E(s)}{D(s)} = -\frac{\frac{1}{s(Js+b)}}{1 + \frac{k_i}{s^2(Js+b)}} = -\frac{s}{Js^3 + bs^2 + k_p}$$

Exemplo: Servomotor DC



- Porém... Polinômios incompletos são sempre instáveis!
- Os problemas anteriores podem ser resolvidos com um PI bem projetado.

Observação

Refaça este exemplo, com o modelo obtido na Aula 06.

1 Erro em Regime Permanente em Malha Fechada

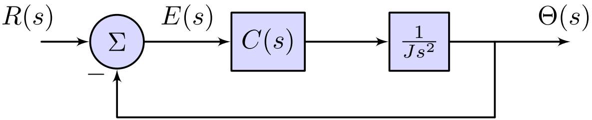
2 O Compensador Integral

3 O Compensador Derivativo

O Compensador Derivativo

- A parcela derivativa tende a aumentar a resposta do controle;
- Assim, são atrativos para "aumentar" a estabilidade do sistema;
- Apresentam, porém, problemas com amplificação de ruídos;
- Não deve ser utilizado isoladamente, mas com:
  - Proporcional mais Derivativo (PD);
  - Proporcional mais Integral mais Derivativo (PID).

Exemplo: Posicionamento de Satélite



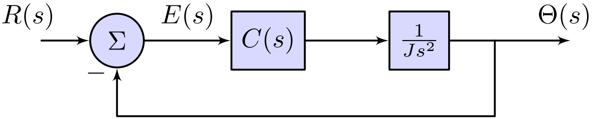
Note que a FTMF deste sistema é

$$\frac{\Theta(s)}{R(s)} = \frac{C(s)}{Js^2 + C(s)}$$

Para compensador P, existirão oscilações sustentadas, pois os polos serão:

$$p_{1,2} = \pm j\sqrt{\frac{k_p}{J}}$$

Exemplo: Posicionamento de Satélite



Observando (9.1) com $\zeta = 0$ e $\omega_n^2 = \dfrac{k_p}{J}$ e aplicando em (9.7):

$$\theta(t) = 1 - \cos \omega_n t$$

Adicionando amortecimento para eliminar as oscilações, com o PD (11.9):

$$\frac{\Theta(s)}{R(s)} = \frac{k_p T_d s + k_p}{Js^2 + k_p T_d s + k_p}$$