

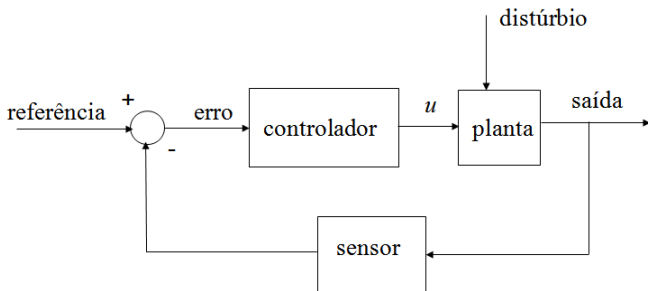
# SEM 536 - Sistemas de Controle I

## Aula 5 - Controlador PID

Adriano A. G. Siqueira

Universidade de São Paulo

## Estrutura básica de um sistema realimentado



# Controlador PID

- $P \implies$  Proporcional
- $I \implies$  Integral
- $D \implies$  Derivativo

- Entrada de controle linearmente proporcional ao erro

$$u(t) = K_P e(t)$$

- Função de transferência

$$C(s) = K_P$$

- Exemplo: Sistema de Segunda Ordem

$$G(s) = \frac{10}{(s + 5)(s + 10)}$$

- Sistemas de ordem maior: instabilidade
- Redução do erro de regime X estabilidade
- Exemplo: Sistema de Terceira Ordem

$$G(s) = \frac{1}{s(s + 1)(s + 5)}$$

# Controlador Integral

- Entrada de controle proporcional à integral do erro

$$u(t) = K_I \int_{t_0}^t e d\eta$$

- Função de transferência

$$C(s) = \frac{K_I}{s}$$

- Erro de regime nulo e independente do valor de  $K$
- Exemplo: Sistema de Segunda Ordem

$$G(s) = \frac{10}{(s + 5)(s + 10)}$$

# Controlador Proporcional-Integral

- Entrada de controle proporcional ao erro e à integral do erro

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_{t_0}^t e d\eta$$

- Função de transferência

$$C(s) = K_P + \frac{K_I}{s}$$

- Exemplo: Sistema de Segunda Ordem

$$G(s) = \frac{10}{(s + 5)(s + 10)}$$



- Entrada de controle proporcional à derivada do erro

$$u(t) = K_D \dot{e}$$

- Função de transferência

$$C(s) = K_D s$$

- Natureza antecipatória
- Não utilizado sozinho ( $\dot{e} = 0 \Rightarrow u = 0$ )
- Aumenta estabilidade
- Exemplo: Sistema de Segunda Ordem

$$G(s) = \frac{10}{(s + 5)(s + 10)}$$

- Entrada de controle proporcional ao erro, à integral do erro e à derivada do erro

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_{t_0}^t e d\eta + K_D \dot{e}$$

- Função de transferência

$$C(s) = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s$$

- Pólos podem ser alocados em qualquer posição

- Análise dos Sinais de Controle: Simulink
- Exemplo:

$$G(s) = \frac{1}{(s + 3)(s + 4)}$$

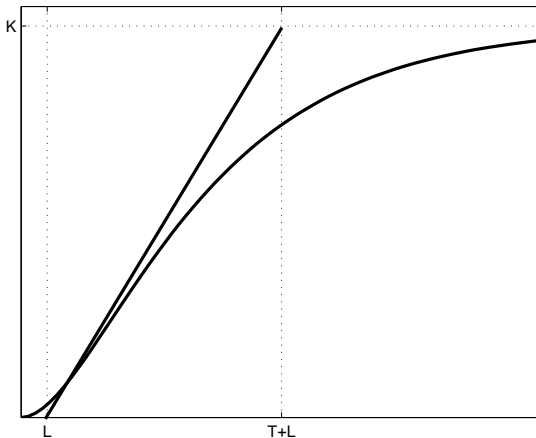
- Ajuste inicial
- Modelo do sistema como:

$$G(s) = \frac{Ke^{-t_d s}}{(\tau s + 1)}$$

- Taxa de decaimento: 0,25
- Fator de amortecimento:  $\zeta = 0,21$

# Regras de Ziegler-Nichols

- Método 1: Entrada degrau ao sistema



- Método 1: Entrada degrau ao sistema

Controlador	$K_P$	$T_I$	$T_D$
P	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
PI	$0.9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2\frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

- Método 1: Entrada degrau ao sistema
- Exemplo:

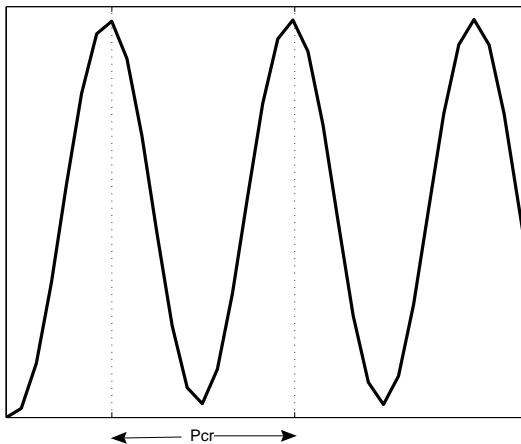
$$G(s) = \frac{10}{(s + 5)(s + 10)}$$

- $L = 0.04$  e  $T = 0.4$
- $K_P = 12$ ,  $T_I = 0.08$  e  $T_D = 0.02$
- $K_I = \frac{K_P}{T_I}$
- $K_D = K_P T_D$



# Regras de Ziegler-Nichols

- Método 2: Oscilação contínua com ganho proporcional  $\Rightarrow K_{cr}$



- Método 2: Oscilação contínua com ganho proporcional

Controlador	$K_P$	$T_I$	$T_D$
P	$0.5K_{cr}$	$\infty$	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$\frac{1}{8}P_{cr}$

- Método 2: Oscilação contínua com ganho proporcional
- Exemplo:

$$G(s) = \frac{1}{s(s+1)(s+5)}$$

- $K_{cr} = 30$  e  $P_{cr} = 2.81$
- $K_P = 18$ ,  $T_I = 1.40$  e  $T_D = 0.35$