

---

# SEL0417 - Fundamentos de Controle

Controles PI e PID

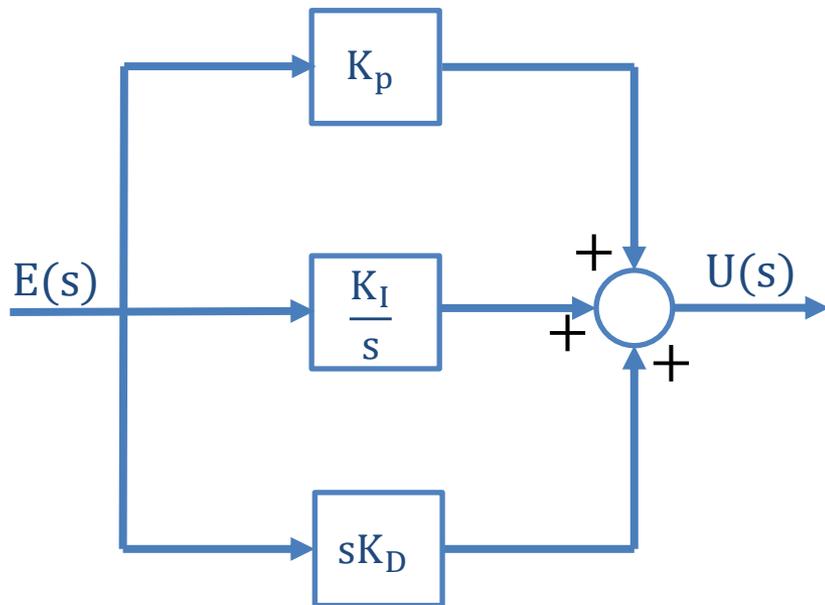
# Controles PI e PID

---

- Os controle PI e PID podem ser projetados empiricamente a partir de ensaios no domínio do tempo;
- Já os projetos por compensação de fase exigem conhecimento da modelagem da planta ou ensaio de resposta da resposta em frequência.

# Controle PID

- O Controlador Proporcional-Integrativo-Derivativo (PID) tem a seguinte estrutura:



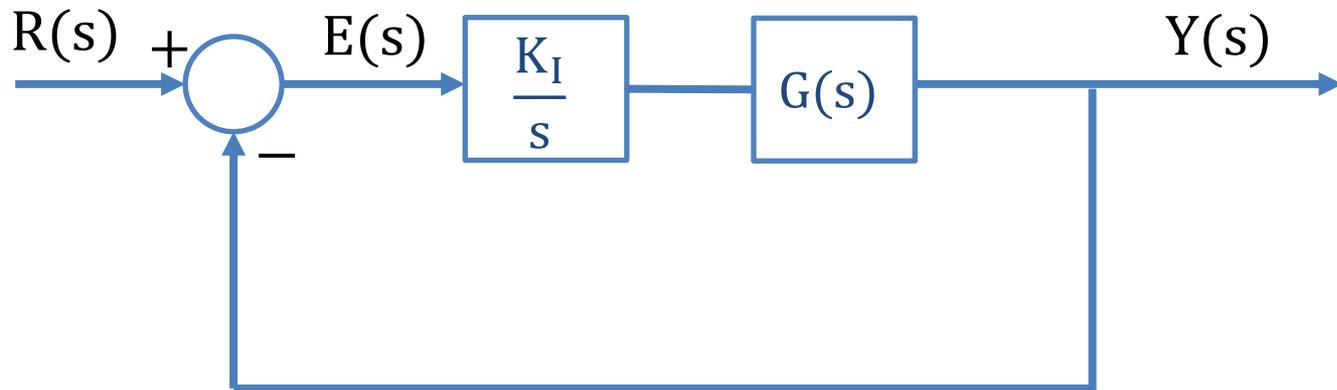
$$\frac{U(s)}{E(s)} = \left( K_p + \frac{K_I}{s} + sK_D \right) =$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_p s + K_I + s^2 K_D}{s} =$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right)$$

# Controle PID

Observação: A ação de controle puramente integral zera o erro de regime permanente na resposta ao degrau.



$$E(s) = \frac{1}{1 + \frac{K_I}{s}G(s)} \rightarrow \text{Se } G(0) = K_G \neq 0 \rightarrow \text{Então, } \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = 0$$

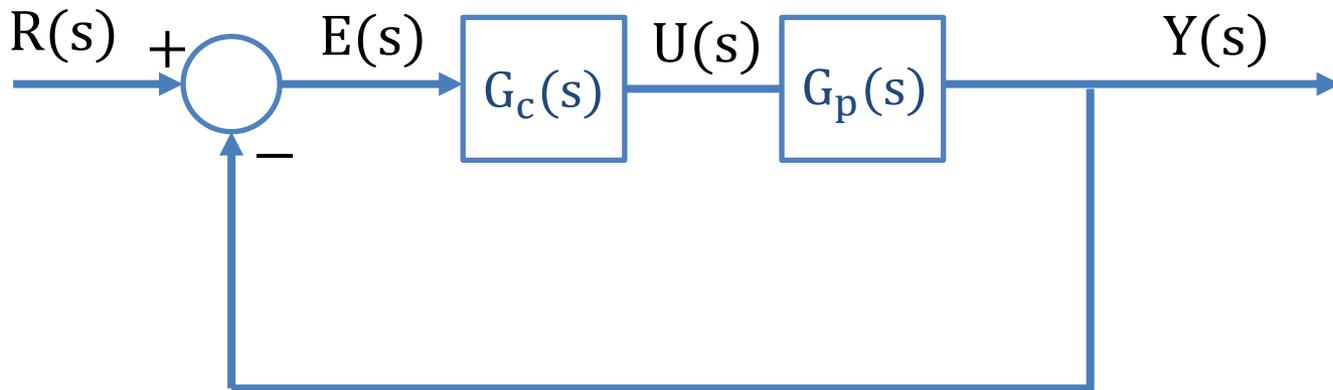
# Controle PID

---

- O ajuste de  $K_p$ ,  $T_i$  e  $T_d$  é conhecido como sintonia do PID;
- Se o modelo da planta é conhecido, a sintonia pode ser realizada de forma analítica ou numérica;
- A sintonia empírica pode ser realizada mesmo que o modelo da planta não seja conhecido.

# Regras de Ziegler - Nichols

- Considere o seguinte diagrama de blocos onde está representado a FT do controlador ( $G_c(s)$ ) e da planta ( $G_p(s)$ )



# Regras de Ziegler - Nichols

---

- Método 1:

- As regras são empíricas e partem do pressuposto que a função de transferência do sistema pode ser aproximada por:

$$G_p(s) = \frac{Ke^{-Ls}}{sT + 1}$$

- O método só funciona se a planta não tiver integradores ou polos complexos conjugados dominantes.

# Regras de Ziegler - Nichols

---

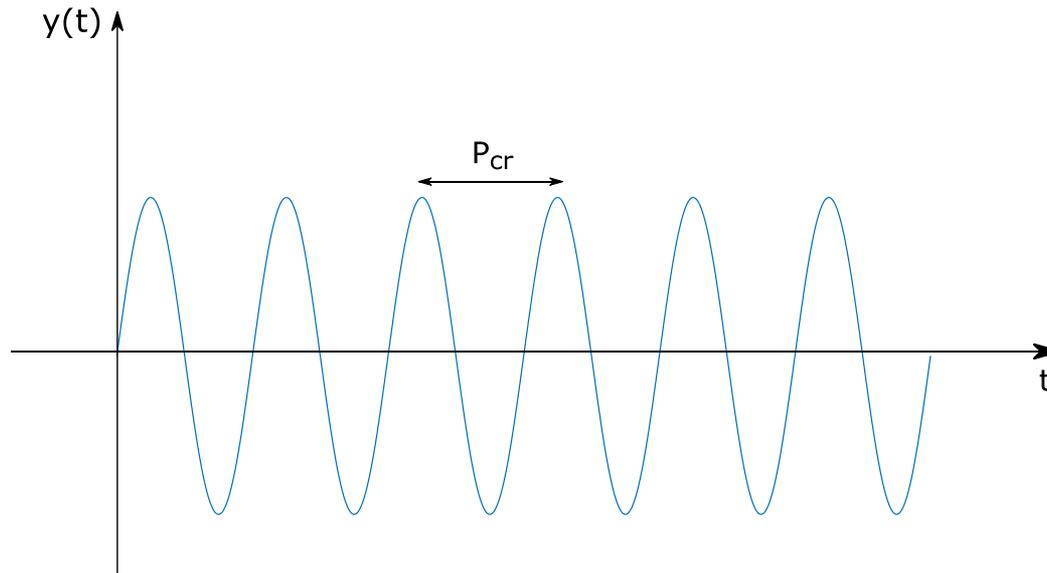
- Método 1:
  - Nesse método, o controlador deve ser sintonizado como segue:

| Tipo de Controlador | $K_p$    | $T_i$    | $T_d$  |
|---------------------|----------|----------|--------|
| P                   | $T/L$    | $\infty$ | 0      |
| PI                  | $0,9T/L$ | $L/0,3$  | 0      |
| PID                 | $1,2T/L$ | $2L$     | $0,5L$ |

# Regras de Ziegler - Nichols

## ■ Método 2:

- Baseia-se no ensaio do sistema em malha fechada, com as ações de controle integral e derivativa desabilitada (ou seja,  $T_i = \infty$  e  $T_d = 0$ );
- Valor de  $K_p$  é aumentado até próximo do valor crítico  $K_{cr}$ , com o qual a resposta do sistema tem o seguinte aspecto:



# Regras de Ziegler - Nichols

- Método 2:
  - O controlador deve ser sintonizado como segue:

| Tipo de 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                 | $0,6K_{cr}$  | $0,5P_{cr}$           | $0,125P_{cr}$ |

# Regras de Ziegler - Nichols

---

- Método 2:

- As regras também são empíricas e partem do pressuposto que, com  $K_{cr}$ , existe um par de polos conjugados sobre o eixo imaginário em:

$$s_{1,2} = \pm j \frac{2\pi}{P_{cr}}$$

- O método 2 pode funcionar em condições nas quais o método 1 não funciona.