107484 – Controle de Processos

Aula: Controle Proporcional Integral Derivativo (PID)

Prof. Eduardo Stockler Tognetti

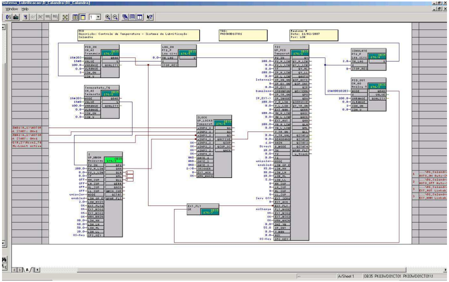
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade de Brasília – UnB

1º Semestre 2015

Motivação

Controladores PID

- Largo uso industrial (90% [Yamamoto & Hasimoto, 1991]).
- Ações de controle e sintonia de fácil entendimento.
- Bom compromisso simplicidade-desempenho.
- Malhas mal ajustadas (80% [Bialkowski, 1991]) $\rightsquigarrow$ oportunidades.



Ação proporcional

Controlador Proporcional

$$u(t) = \overline{u} + K_c e(t) \tag{1}$$

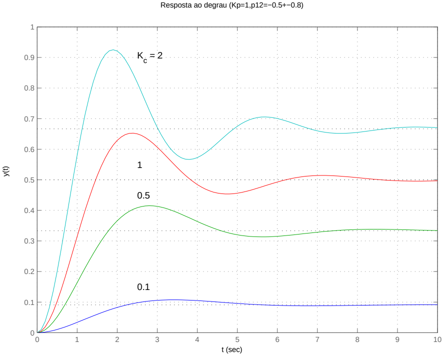
- Erro de regime estacionário (sistemas tipo 0: $e(t) = 0$ quando $K_c \rightsquigarrow \infty$)
- $K_c \rightsquigarrow \infty$ $\rightsquigarrow$ instabilidade / controle liga-desliga

Resposta ao degrau unitário do sistema em malha fechada com controlador P e sistema de 2a ordem

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + s + 1} \tag{2}$$

- Aplicação típica:

$\rightsquigarrow$ controle de nível



Ação integral

Controlador Proporcional-Integral

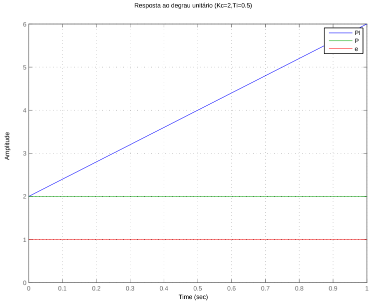
$$u(t) = \overline{u} + K_c e(t) + K_c \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau \tag{3}$$

- Erro de regime nulo para entradas do tipo degrau
- Ganho integral ou rps (repete a ação proporcional a cada T_i s.)
- Crescimento do termo integral na saturação do atuador $\rightsquigarrow$ windup

Resposta $u(t)$ ao degrau unitário de $e(t)$: controlador P e PI com $K_c = 2$ e $T_i = 0.5$.

- Aplicação típica:

$\rightsquigarrow$ controle de vazão, nível e pressão



Ação derivativa

Controlador Proporcional-Derivativo

$$u(t) = \overline{u} + K_c e(t) + K_c T_d \frac{de(t)}{dt} \tag{4}$$

- Ação antecipatória (antecipa a ação proporcional em T_d s.)
- Sensível a ruídos de alta frequência

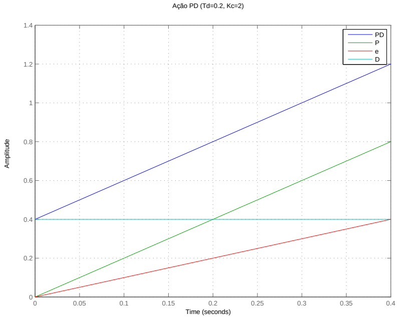
$$\frac{\tilde{U}(s)}{E(s)} = K_c(1 + T_d s) \rightsquigarrow \frac{\tilde{U}(s)}{E(s)} = K_c(1 + \frac{T_d s}{\alpha T_d s + 1}), \quad 1/(\alpha T_d) \gg 0 \tag{5}$$

Resposta $u(t)$ a rampa unitária de $e(t)$: controlador P e PD e D com $K_c = 2$ e $T_d = 0.2$.

- Aplicação típica:

PD $\rightsquigarrow$ sistemas com inércia

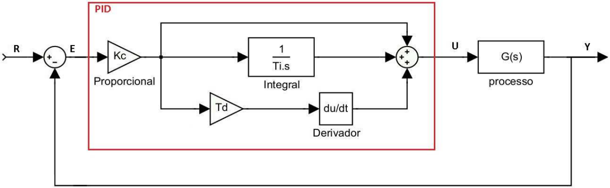
PID $\rightsquigarrow$ controle de temperatura



Controlador PID

Forma padrão do controlador PID:

$$u(t) = \overline{u} + K_c \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \Longrightarrow \frac{\tilde{U}(s)}{E(s)} = K_c \left(1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right) \tag{6}$$



Ações de controle

- Ação proporcional $\rightsquigarrow$ $u(t) = K_c e(t)$
- Ação integral $\rightsquigarrow$ $u(t) = K_c \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau$
- Ação derivativa $\rightsquigarrow$ $u(t) = K_c T_d \frac{de(t)}{dt}$

Algoritmos PID

Paralela clássica (ideal, ISA, padrão)

$$G_c(s) = K_c \left(1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d\right) \tag{7}$$

Série (interativa,real)

$$G_c(s) = K'_c \left(1 + \frac{1}{sT'_i}\right)(1 + T'_d s) \tag{8}$$

ou

$$G_c(s) = K'_c \left(1 + \frac{1}{sT'_i}\right)\left(\frac{1 + sT'_d}{1 + \alpha s T'_d}\right) \tag{9}$$

- Implementável fisicamente (controladores analógicos ou pneumáticos)
- Todos os parâmetros interagem; zeros reais; valores típicos $\alpha \in [0.05 \quad 0.2]$

Expandida (paralela alternativa, não interativa)

$$G_c(s) = K''_c + \frac{K_i}{s} + K_d s \tag{10}$$

- Maior flexibilidade; pouca interpretação física dos parâmetros