

TCA: Controle de Processos: Controladores PID

Eduardo Stockler Tognetti

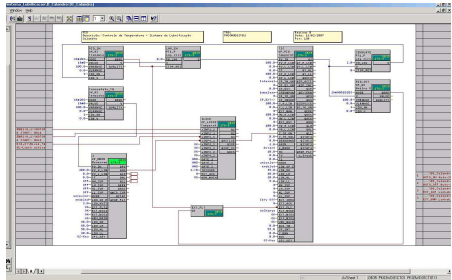
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade de Brasília - UnB

15 de janeiro de 2013

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

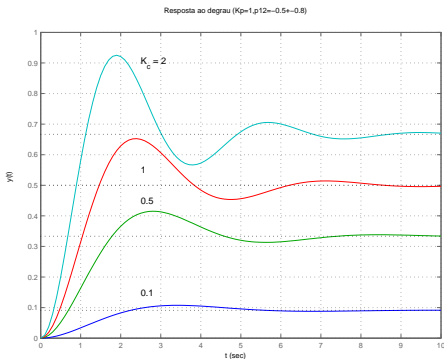
$$u(t) = \bar{u} + K_c e(t) \quad (1)$$

- 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

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

- Aplicação típica:
 \rightsquigarrow controle de nível



Ação integral

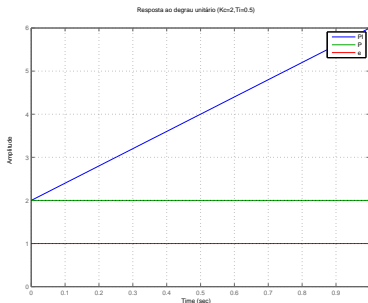
Controlador Proporcional-Integral

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

- 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

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

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

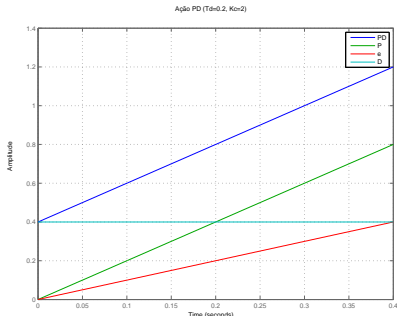
$$\frac{\tilde{U}(s)}{E(s)} = K_c(1 + T_d s) \rightsquigarrow \frac{\tilde{U}(s)}{E(s)} = K_c \left(1 + \frac{T_d s}{\alpha T_d s + 1}\right), \quad 1/(\alpha T_d) \gg 0 \quad (5)$$

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

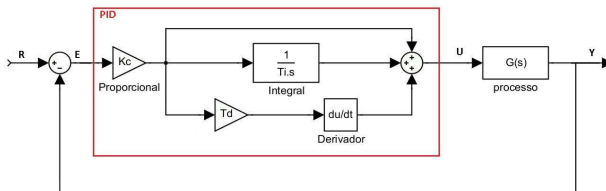
PID \rightsquigarrow controle de temperatura



Controlador PID

Forma padrão do controlador PID:

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



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)

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

Série (interativa, real)

$$G_c(s) = K'_c \left(1 + \frac{1}{sT'_i} \right) \left(1 + \frac{T'_d s + 1}{\alpha T'_d s + 1} \right), \quad \alpha \in [0.05 \quad 0.2] \quad (8)$$

- Implementável fisicamente (controladores analógicos ou pneumáticos)
- Todos os parâmetros interagem
- Zeros reais

Expandida (paralela alternativa, não interativa)

$$G_c(s) = K''_c + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (9)$$

- Maior flexibilidade
- Pouca interpretação física dos parâmetros