CONTROLE E SERVOMECANISMOS
Engenharia da Computação
Aula 23 - “Controle PID e Controle Robusto”

Prof. Dr. Victor Leonardo Yoshimura

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Computação

17 de julho de 2017

FACOM-UFMS

Introdução

- A estrutura do PID foi apresentada em (11.10)-(11.11):

$$C_{pid}(s) = k_p + \frac{k_p}{T_i s} + k_p T_d s \tag{23.1}$$

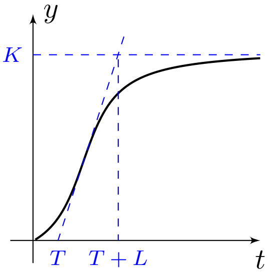
- Amplamente utilizada na indústria, devido à natureza incerta das plantas;
- Além disto, é comum haver apenas dados experimentais da planta;
- Muitas regras de sintonia de PIDs foram feitas:
  - Método de Ziegler-Nichols (ZN);
  - Método de Cohen-Coon;
  - Método de Tyreus-Luyben;
  - Método de Åström-Hägglund.

1º Método de Ziegler-Nichols

- Supõe planta sem integradores, nem polos conjugados dominantes;
- Forma assumida para a planta:

$$G(s) = \frac{K}{Ts+1}e^{-Ls} \tag{23.2}$$

- Aplique um degrau à entrada da planta e verifique sua saída.



<u>Sintonia proposta</u>:

$$C(s) = \begin{cases} \dfrac{T}{L} & \text{se P} \\ 0{,}9\dfrac{T}{L} + 0{,}27\dfrac{T}{L^2 s} & \text{se PI} \\ 0{,}6T\dfrac{(s+L^{-1})^2}{s} & \text{se PID} \end{cases} \tag{23.3}$$

2º Método de Ziegler-Nichols

- Monte um sistema em realimentação unitária com compensador P;
- Eleve k_p até um valor, k_{cr}, onde o sistema apresente oscilações sustentadas;
- De posse de k_{cr} e T_{cr} (período da oscilação sustentada), a sintonia proposta é

$$C(s) = \begin{cases} 0{,}5k_{cr} & \text{se P} \\ 0{,}45k_{cr} + 0{,}54\dfrac{k_{cr}}{T_{cr}s} & \text{se PI} \\ 0{,}075k_{cr}T_{cr}\dfrac{(s+4T_{cr}^{-1})^2}{s} & \text{se PID} \end{cases} \tag{23.4}$$

Comentários aos Métodos de ZN

1º) As regras de ZNs são muito usadas em plantas não precisamente conhecidas (controle robusto de sistemas incertos);

2º) essas regras podem ser utilizadas em plantas precisamente conhecidas;

3º) Se a planta apresentar integrador, as regras podem não ser aplicáveis;

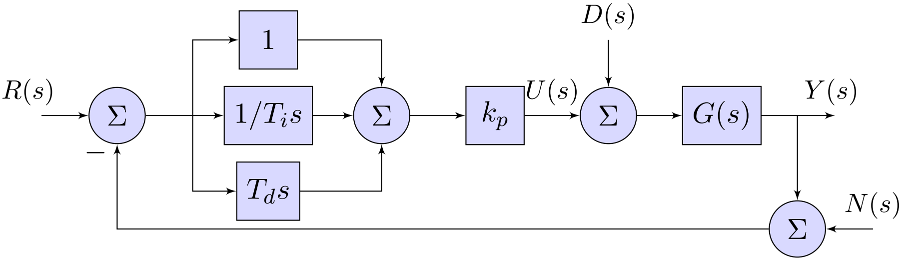
4º) Ambos os métodos almejam overshoot inferior a 25% para entrada degrau.

Exemplo

Projete compensadores PID para as plantas:

$$G(s) = \frac{(s+2)(s+3)}{s(s+1)(s+5)} \qquad e \qquad G(s) = \frac{1}{s(s+1)(s+5)}$$

Controle PID Convencional

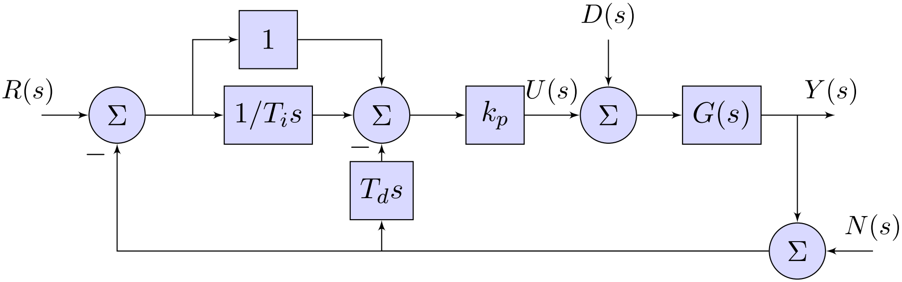


- O degrau introduz um termo impulsivo, devido à parcela D;
- Ao invés de $T_d s$, é comum a introdução de:

$$C_d(s) = \frac{T_d s}{1 + \gamma T_d s}, \quad \gamma \approx 0{,}1 \tag{23.5}$$

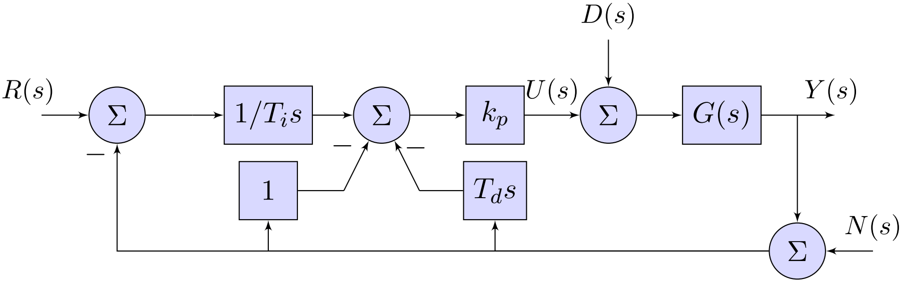
Controle PI-D

- Troca-se o impulso por um pulso abrupto (*“set point kick”*);
- A fim de evitá-lo, usa-se o PI-D:



Controle I-PD

- Existem aplicações onde não se deseja um sinal degrau na atuação;
- Para evitá-lo, usa-se o I-PD:



Funções Transferência

As FTMFs para os diferentes PIDs são:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{\tilde{C}(s)G(s)}{1 + C_{pid}(s)G(s)} \tag{23.6}$$

onde:

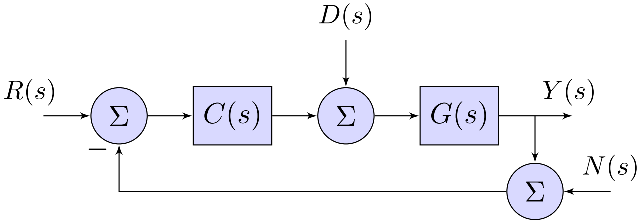
$$\tilde{C}(s) = \begin{cases} C_{pid}(s) & \text{se PID} \\ k_p + \dfrac{k_p}{T_i s} & \text{se PI-D} \\ \dfrac{k_p}{T_i s} & \text{se I-PD} \end{cases} \tag{23.7}$$

Observação

$\frac{Y(s)}{D(s)}$ *não se altera nas diferentes estruturas apresentadas. (Sim, provar este fato e* (23.6)-(23.7) *é um exercício!)*

Controle com Dois Graus de Liberdade I

Considere o sistema de controle



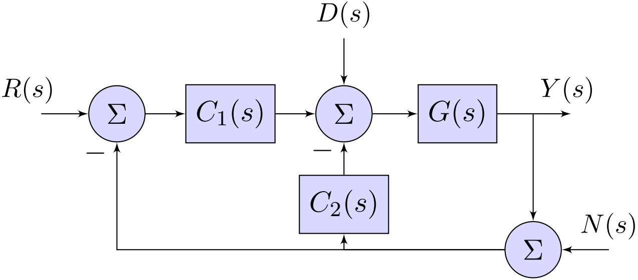
$$Y(s) = \frac{G(s)}{1 + C(s)G(s)} \begin{bmatrix} C(s) & 1 & -C(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R(s) \\ D(s) \\ N(s) \end{bmatrix} \tag{23.8}$$

Observação

Como a planta é dada, ao projetar $C(s)$ para o canal referência-saída, os demais ficam fixos.

Controle com Dois Graus de Liberdade II

Para aumentar a flexibilidade do projeto, faz-se



$$Y(s) = \frac{G(s)}{1 + (C_1(s) + C_2(s))G(s)} \begin{bmatrix} C_1(s) & 1 & -(C_1(s) + C_2(s)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R(s) \\ D(s) \\ N(s) \end{bmatrix} \tag{23.9}$$

Considerações no Controle Robusto

Na presença de perturbações e ruídos, além dos critérios já estudados, deve-se incluir:

a) Bom desempenho no seguimento de referência;
b) Rejeição de perturbações;
c) Insensibilidade a erros de modelagem;
d) Margem de estabilidade, e;
e) Insensibilidade ao ruído.

Observação

Estes parâmetros dependem de uma função a ser estabelecida: a sensibilidade.

Sensibilidade

- Seja $G(s)$ a FT de um dado sistema;
- Suponha que $G(s)$ não seja precisamente conhecida, mas varie para $G(s) + \Delta G(s)$;
- Neste caso, $Y(s)$ variará para $Y(s) + \Delta Y(s)$.

Importante!

A sensibilidade é o quociente entre a variação relativa da saída para uma variação relativa da FTMF. Ou seja:

$$\mathcal{S}(s) = \lim_{\Delta G(s) \to 0} \frac{\dfrac{\Delta Y(s)}{Y(s)}}{\dfrac{\Delta G(s)}{G(s)}} = \frac{\mathrm{d}\, Y(s)}{\mathrm{d}\, G(s)} \frac{G(s)}{Y(s)} = \frac{\mathrm{d} \ln Y(s)}{\mathrm{d} \ln G(s)} \tag{23.10}$$

Sensibilidade: Sistemas em Malha Fechada

- Considere o sistema realimentado com um grau de liberdade;
- A planta, $G(s)$, é incerta, mas não o compensador $C(s)$.
- Assim, tem-se com a definição (23.10):

$$\mathcal{S}(s) = \frac{\mathrm{d}\,Y(s)}{\mathrm{d}\,G(s)}\frac{G(s)}{Y(s)} \underset{G \mapsto CG}{\overset{(3.6)}{=}} \frac{1 + C(s)G(s)}{C(s)}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\,G(s)}\left(\frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)}\right)$$

$$= \frac{1}{1 + C(s)G(s)} \quad (23.11)$$

Observação

Note que a sensibilidade coincide com a FT da referência para o erro para sistemas sem perturbação e ruído.

Sensibilidade: Sistemas sob Perturbação e Ruído

Neste caso, lembrando que $\varepsilon = y - r$ e, aplicando (23.11) a (23.8), tem-se:

$$E(s) = \underbrace{\frac{1}{1 + C(s)G(s)}}_{\mathcal{S}(s)}(R(s) - G(s)D(s)) + \underbrace{\frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)}}_{\mathcal{T}(s)} N(s) \qquad (23.12)$$

Importante!

- *$\mathcal{T}(s)$ é chamada sensibilidade complementar e corresponde à FT do ruído para o erro.*
- *Note que $\mathcal{S} + \mathcal{T} = 1$. Logo, são parâmetros conflitantes!*
- *Obedecer a todos os critérios estabelecidos para o controle robusto é impossível! Há "trade off".*

Exercício

Estude para o caso com dois graus de liberdade.