



Universidade Federal do Pará
Curso de Engenharia Elétrica e da Computação

Laboratório de Sistema de Controle - Experiência 4
Projeto de Controladores PID

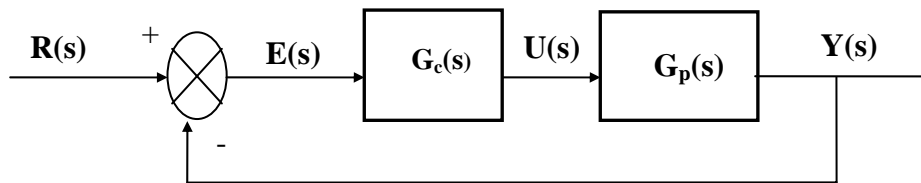
4.1 Objetivo

Nesta aula será apresentado um primeiro método de projeto de controladores PID que permite atender especificações relativas à resposta transitória em dois aspectos: sobre-sinal máximo e tempo de resposta. O método consiste em encontrar um controlador de tal forma que a função de transferência do sistema realimentado seja um sistema de primeira ou segunda ordem.

Também nesta aula será utilizado o método de Ziegler-Nichols para o projeto de controladores PID.

4.2 Descrição do Método

Seja o sistema realimentado:



Onde $G_p(s)$ e $G_c(s)$ são as funções de transferência do processo a ser controlado e do controlador respectivamente.

A função de transferência do sistema realimentado é:

$$M(s) = \frac{G_c(s)G_p(s)}{1 + G_c(s)G_p(s)} \quad (1)$$

Neste método calcula-se $G_c(s)$ de tal maneira que $M(s)$ seja um sistema de primeira ou de segunda ordem.

4.3 O controlador

O controlador PID tem a seguinte função de transferência:

$$G_c(s) = K_p \left[1 + T_d s + \frac{1}{T_i s} \right] \quad (2)$$

4.4 Redução a um sistema de primeira ordem

Se $G_c(s)$ em (1) é determinada de tal forma que:

$$M(s) = \frac{G_c(s)G_p(s)}{1 + G_c(s)G_p(s)} = \frac{k}{\tau s + 1} \quad (3)$$

o sistema realimentado fica reduzido a um sistema de primeira ordem. Neste tipo de controle a resposta do sistema não apresenta sobre-sinal. A constante de tempo do sistema realimentado τ é calculada para atender a especificação de tempo de resposta (estabilização) de acordo com:

Critério do 2%

t_r – tempo de resposta

τ - constante de tempo do sistema realimentado

$$t_r \leq \text{valor}_{_desejado} \quad (4)$$

$$\tau \leq \frac{\text{valor}_{_desejado}}{4} \quad (5)$$

Critério do 5%

t_r – tempo de resposta

τ - constante de tempo do sistema realimentado

$$t_r \leq \text{valor}_{_desejado} \quad (6)$$

$$\tau \leq \frac{\text{valor}_{_desejado}}{3} \quad (7)$$

EXPERIMENTO 1

Seja:

$$G_p(s) = \frac{2}{1 + 100s} \quad (8)$$

- Simular o sistema em malha aberta aplicando na entrada um degrau unitário e medir o tempo de resposta do sistema (critério 2%). Observar que o tempo de resposta é muito lento.
- Calcular um controlador proporcional de tal forma que o sistema realimentado tenha $t_r \leq 20s$.
- Implementar o controlador e simular em malha fechada com uma referência do tipo degrau unitário. Medir o tempo de resposta e verificar se está de acordo com o desejado.

EXPERIMENTO 2

Considere o mesmo processo do Experimento 1:

- Calcular um controlador PI (proporcional-integral com $T_i = 100$) de tal forma que o sistema realimentado:
 - i) tenha saída sem sobre-sinal
 - ii) $t_r \leq 30$ (critério 5%)
 - iii) erro ao degrau unitário seja nulo.
- Implementar o controlador. Simular em malha fechada com uma referência do tipo degrau unitário. Medir o tempo de resposta e verificar se está de acordo com o desejado

4.5 Redução a um sistema de segunda ordem

Se $G_c(s)$ em (1) é determinada de tal forma que:

$$M(s) = \frac{G_c(s)G_p(s)}{1 + G_c(s)G_p(s)} = k \frac{w_n^2}{s^2 + 2\xi w_n s + w_n^2} \quad (9)$$

o sistema realimentado fica reduzido a um sistema de segunda ordem. Neste tipo de controle pode-se calcular ξ e w_n para atender as especificações de projeto:

$$\text{Tempo de pico : } t_p = \frac{\pi}{w_d} \text{ com } w_d = w_n \sqrt{1 - \xi^2} \quad (10)$$

$$\text{Sobre-sinal Máximo: } M_p = e^{-(\xi / \sqrt{1 - \xi^2})\pi} \quad (11)$$

$$\text{Tempo de resposta (estabilização): } t_r = \frac{4}{\xi w_n} \text{ (critério 2\%)} \quad (12)$$

$$t_r = \frac{3}{\xi w_n} \text{ (critério 5\%)} \quad (13)$$

EXPERIMENTO 3:

Seja

$$G_p(s) = 2 \frac{1}{1 + 0.2s} \quad (14)$$

- Simular em malha aberta, usando o degrau unitário como entrada e observar o sinal de saída.
- Deseja-se encontrar um controlador integral de tal forma que o sistema realimentado:
 - i) tenha o sinal de saída com 2% de sobre-sinal ($M_p=0.02$)
 - ii) erro ao degrau unitário nulo.
- Simular em malha fechada e verificar se as condições do projeto foram satisfeitas.

4.6 Método de Ziegler-Nichols para projeto de controladores PID (somente para o relatório)

Considere o processo representado pela seguinte função de transferência:

$$G_p(s) = \frac{1}{s(s+1)(s+5)} \quad (15)$$

- Projete um controlador PID, utilizando uma das regras de sintonia de Ziegler-Nichols de tal forma que a seguinte especificação seja satisfeita:
 - i) Valor máximo do sobre-sinal menor ou igual a 25%.

Lembrando que o método de Ziegler-Nichols nos permite encontrar valores para os parâmetros do controlador PID que vão nos proporcionar uma operação estável do sistema, não garantindo que esta seja a resposta ótima. Logo, após a determinação dos parâmetros por uma das regras de Ziegler-Nichols, uma sintonia fina deve ser realizada para que um resultado aceitável do sistema seja encontrado.