

Kallil de A. Bezerra: 20180154987

**DCA0216.0 - SISTEMAS DE CONTROLE**  
**Avaliação - Unidade 2**

Brasil

Novembro de 2020

Kallil de A. Bezerra: 20180154987

# **DCA0216.0 - SISTEMAS DE CONTROLE**

## **Avaliação - Unidade 2**

Modelo canônico de Relatório Técnico e/ou Científico em conformidade com as normas ABNT apresentado à comunidade de usuários L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN  
Departamento de Engenharia da Computação e Automação – DCA

Brasil  
Novembro de 2020

# Resumo

Resumindo o início, meio e fim do trabalho

**Palavras-chaves:** Sistema de Controle. PID. Sistemas Dinâmicos.

# Lista de ilustrações

Figura 2.1 – Comportamento do sistema . . . . .	9
---	---

# Lista de tabelas

Tabela 1.1 – Valores do controlador PI . . . . .	7
--	---

# Sumário

	<b>Introdução</b> . . . . .	<b>6</b>
<b>1</b>	<b>EMBASAMENTO TEÓRICO</b> . . . . .	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> . . . . .	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>Projetando o controlador PID</b> . . . . .	<b>8</b>
<b>2.2</b>	<b>Simulação do controlador</b> . . . . .	<b>9</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>10</b>

# Introdução

O controle automático tem desempenhado um papel vital no avanço da engenharia e da ciência. Além da sua importância em sistemas de veículos espaciais, sistemas robóticos, e semelhantes, o controle automático tornou-se uma importante parte da fabricação moderna e dos processos industriais. É possível citar o controle numérico de ferramentas e máquinas nas indústrias de manufatura, no projeto de sistemas de piloto automático em operações aeroespaciais e no projeto de carros e caminhões na indústria automobilística. O controle também é essencial no controle de pressão, temperatura, umidade e viscosidade nos processos industriais (OGATA, 2001).

No trabalho aqui apresentado, será simulado um sistema que controla um tanque reator de agitação contínuo. Nessa simulação deve haver um controlador PID, ou PI, considerando um sobressinal máximo de 20% e um tempo de estabilização de 10 minutos. Além disso, as simulações devem ser feitas no Matlab e os gráficos devem ser apresentados.

# 1 Embasamento teórico

Em reações exotérmicas irreversíveis, reagentes de modo adiabático levam a altas temperaturas, portanto, para que haja um controle dessa temperatura, o calor gerado deve ser removido por resfriamento. Assumiremos que os reagentes estão perfeitamente misturados, e apenas uma única ação exotérmica irreversível de primeira ordem ocorre. Portanto, a variável a ser controlada é a temperatura do reator,  $T$ , e a variável manipulada é a temperatura de resfriamento,  $T_R$ . O sistema em questão é não-linear e é definido pelas seguintes equações de estado:

$$\dot{C}_A = C_A + D_a(1 - C_A)\exp\left(T/\left(\frac{(1+T)}{\gamma}\right)\right) - (C_f - 1) \quad (1.1)$$

$$\dot{T} = T + B \cdot D_a(1 - C_A)\exp\left(T/\left(\frac{(1+T)}{\gamma}\right)\right) - \beta(T_R - T) \quad (1.2)$$

Aqui temos  $C_A$ , que é a concentração do produto no reator, dado em  $\frac{gmol}{L}$ ,  $T$  é a temperatura do reator, variável controlada, dada em *Kelvin*,  $T_R$  é a temperatura do resfriamento, variável manipulada, dada em *Kelvin* também, e  $C_f$  é a concentração da alimentação do equipamento, dada em  $\frac{gmol}{L}$ . Valores típicos dessas variáveis são dados na tabela 1.1:

Constante	Valor
$\gamma$	20
$D_a$	0.072
B	8
$\beta$	0.3
$C_f$	1

Tabela 1.1 – Valores do controlador PI

Para o ponto de equilíbrio, usando  $T_R = 0$ ,  $T = 4.705K$ ,  $C_A = 0.76456 \frac{gmol}{L}$ , o sistema corresponde ao seguinte modelo linearizado:

$$G(s) = \frac{0.005001s + 0.0003501}{s^2 + 0.02668s + 0.0004545} \quad (1.3)$$



## 2 Desenvolvimento

### 2.1 Projetando o controlador PID

É pedido que seja projetado um controlador PID, ou PI, para o sistema proposto, aplicando-o ao modelo não-linear. Devem ser considerados como critérios para o projeto um sobressinal máximo de 20% e um tempo de estabilização de 10 minutos, o controlador também deve ser discretizado para uma amostragem de 0.1 minutos, ou 6 segundos.

Podemos começar analisando o critério de *overshoot* e tempo de estabilização, que será convertido em segundos. Serão usadas as seguintes fórmulas:

$$\xi = \frac{\ln(\text{overshoot})}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2 \text{overshoot}}} \quad (2.1)$$

E

$$t_s(5\%) = \frac{3}{\xi\omega_n} \quad (2.2)$$

Agora, aplicando as especificações de desempenho temos:

$$\xi = \frac{\ln(0,2)}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2(0,2)}}$$

resultando em:

$$\xi = 0,45594$$

Agora, usando o requisito do tempo temos:

$$\begin{aligned} t_s(5\%) &\leq 600 \\ 600 &= \frac{3}{\xi\omega_n} \\ \xi\omega_n &= 0,005 \end{aligned}$$

portanto,

$$\xi = 0,010966$$

Agora, precisamos encontrar o  $\omega_d$ .

$$\omega_d = \omega \sqrt{1 - \xi^2}$$

$$\omega_d = 0,0097598$$

Assim, temos os polos de malha fechada, que são:

$$s_{1,2} = 0,005 \pm 0,00976i$$

Com os valores de  $\omega_d$ ,  $\omega$  e  $\xi$  em mãos, podemos descobrir os ângulos, dessa forma obtemos:  $\theta_1 = \theta_2 = 178,902645^\circ$ ,  $\theta_3 = 90^\circ$  e  $\theta_4 = 0,002443^\circ$ . Também encontramos  $\phi_1 = 0,003258^\circ$  e  $\phi_2 = \phi_3 = 133,9015^\circ$ .

Usando a fórmula da raiz nos diferentes pontos encontramos os valores necessários para calcular o  $k_i$ , que é igual a  $6,2332 \cdot 10^{-7}$ . Dessa forma encontraremos os coeficientes necessários para montar o controlador, que fica da seguinte forma:

$$G_c(s) = \frac{6,23 \cdot 10^{-7}(s^2 + 4,95s + 6,13))}{s}$$

Então, temos  $k_p = 1,35 \cdot 10^{-5}$ ,  $k_i = 1,67 \cdot 10^{-5}$  e  $k_d = 6,23 \cdot 10^{-7}$ .

## 2.2 Simulação do controlador

O projeto proposto deve ser simulado no Matlab, os gráficos serão apresentados a seguir, com o sinal de saída e controle, aplicando o degrau unitário. A simulação não conseguiu atender aos requisitos impostos, demorando 697 segundos para acomodar, mas respeitou os 20% de sobressinal.

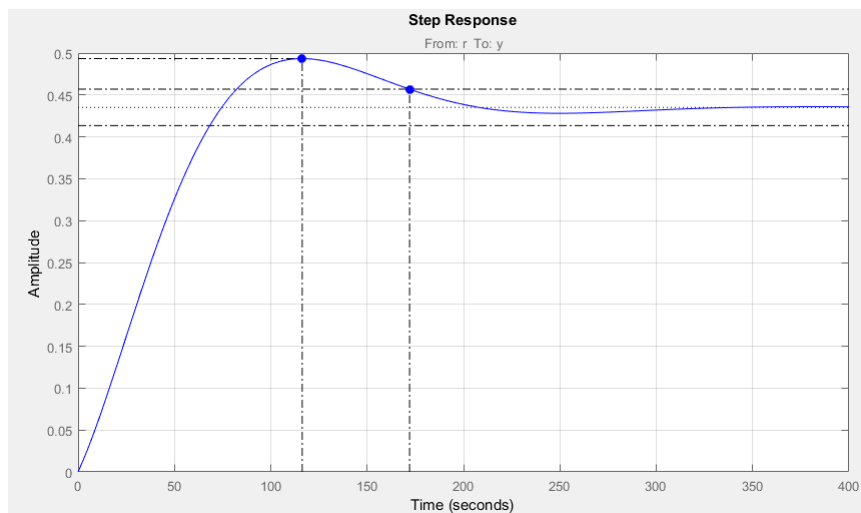


Figura 2.1 – Comportamento do sistema

# Referências

OGATA, K. *Modern Control Engineering*. [S.l.]: Prentice Hall, 2001. Citado na página [6](#).