

SINTONIA DE UM CONTROLADOR PID EM UM SISTEMA DE CONTROLE DE NÍVEL DE TANQUES EM SÉRIE UTILIZANDO UM SOFTWARE GRATUITO

A. M. RIBEIRO¹ e R. B. SANTOS

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas

¹E-mail para contato: alexandremribeiro96@hotmail.com

RESUMO – Controladores PID são largamente utilizados no controle de processos químicos. No entanto, muitos dos controladores encontrados nos sistemas químicos são mal sintonizados. Ajustar parâmetros referentes a controladores PID é de extrema importância, pois pode ocasionar perda de material, além de poder oferecer riscos quanto a segurança. No presente trabalho, utilizando a plataforma de simulação *xcos* do software livre *Scilab*, foi implementada a modelagem de um sistema de dois tanques em série, a fim de controlar o nível do segundo tanque através de um controlador PID. Os parâmetros do controlador foram ajustados através dos métodos de sintonia Ziegler-Nichols II e Tyreus-Luyben em malha fechada, comparando os dois resultados e fazendo um ajuste fino em cima do ajuste com menor erro.

1. INTRODUÇÃO

Todos os sistemas químicos estão sujeitos a perturbações, ou seja, distúrbios no processo. Os processos em malha fechada possuem a vantagem de manter o valor de uma variável controlada o mais próximo do valor de *setpoint* de maneira automatizada, sem a necessidade da atuação de um operador em campo para este fim, além de possuírem alto índice de confiabilidade garantindo maior segurança ao processo.

Para implementação do controlador, é necessário conhecimento das variáveis de processo e sua resposta a eventuais distúrbios, o que pode ser analisado experimentalmente, porém, pode acarretar um alto risco relacionado a segurança e custo elevado de perdas de matéria primas. Uma alternativa é modelar matematicamente o sistema químico a partir de princípios físicos e químicos, estimando comportamento perante as perturbações com o auxílio de *softwares* simuladores como fizeram Martins (2005) e Jabuonski *et al.* (2003).

Para implementação de malha fechada é necessário sintonizar os ganhos K_C (proporcional), K_I (integrativo) e K_D (derivativo) do controlador. As sintonias do controlador PID (proporcional integral e derivativo) neste trabalho foram feitas segundo os métodos de Ziegler-Nichols II e Tyreus-Luybe (Franchi, 2011; Haugen, 2010).

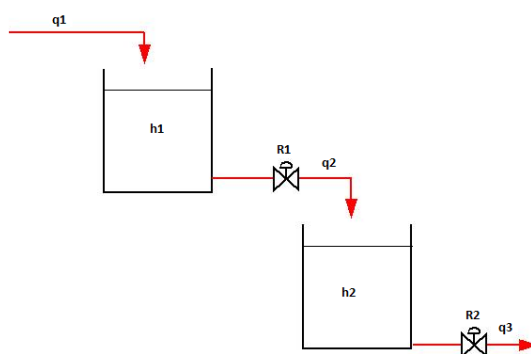
O controle de nível em tanques de processos químicos é necessário devido as possíveis perturbações nas vazões volumétricas de entrada e saída, podendo, por exemplo, transbordar se não estiver em malha fechada. Jabuonski *et al.* (2003) aborda tal controle com auxílio de simulação computacional, obtendo resultados promissores.

Devido a importância da sintonia dos controladores, o presente trabalho tem como objetivo a implementação de um controlador PID para controlar o nível em um sistema de tanques em série, através da utilização do *software* gratuito *Scilab* ajustar os parâmetros do controlador através dos métodos de sintonia Ziegler-Nichols II e Tyreus-Luyben, fazendo uma comparação entre os dois métodos e o critério de integração do erro para realizar a sintonia fina do controle.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi proposto controlar o nível do segundo tanque (h_2) do sistema representado pela Figura 1, sistema bastante comum na indústria química.

Figura 1 – Tanques em série.



As áreas de seção transversal de ambos os tanques (A) são de 10 ft^2 , as resistências de ambas as válvulas ($R_1 = R_2$) são de $0,1 \text{ ft}/(\text{ft}^3/\text{min})$, vazão volumétrica de entrada no primeiro tanque (q_1) de $30 \text{ ft}^3/\text{min}$, vazão volumétrica de saída do primeiro tanque e entrada do segundo (q_2) é expressa por $q_2 = h_1/R_1$ e vazão volumétrica de saída do segundo tanque (q_3) expressa por $q_3 = h_2/R_2$.

Modelando matematicamente a partir do volume do primeiro tanque obtemos a primeira equação diferencial ordinária (Equação 1).

$$\frac{dh_1}{dt} = \frac{1}{A} \left(q_1 - \frac{h_1}{R_1} \right) \quad (1)$$

Para o segundo tanque, tem-se a taxa conforme a Equação 2.

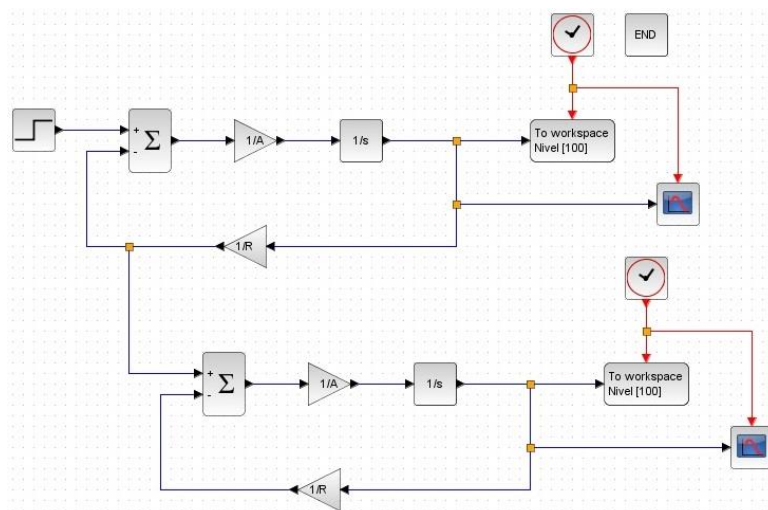
$$\frac{dh_2}{dt} = \frac{1}{A} \left(\frac{h_1}{R_1} - \frac{h_2}{R_2} \right) \quad (2)$$

Implementou-se a Equação 1 e a Equação 2 na plataforma *xcos* do *software* gratuito *Scilab* versão 5.5.2, cuja interface com a modelagem é apresentada na Figura 2.

Para obtenção dos parâmetros da função transferência do processo ($G_P(s)$), utilizou-se os resultados da modelagem do segundo tanque, já que a proposta é de controlar h_2 (altura do

segundo tanque). Para isso, foi provocada uma perturbação degrau na vazão de entrada do primeiro tanque, alterando a vazão de 20 ft³/min para 50 ft³/min.

Figura 2 – Interface do *xcos* com a modelagem do processo



Com a função de transferência do processo foi implementado controlador PID, ajustado os parâmetros com os métodos de sintonia Ziegler-Nichols II e Tyreus-Luyben e através do critério de integração do erro (equação 3) encontrou-se valores que minimizam o erro, sendo então selecionados para utilização no controle.

$$ITAE = \int t. |e(t)| dt \quad (3)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Obtenção da função transferência (identificação do processo)

Com a perturbação na vazão de entrada no primeiro tanque, houve uma variação de 30 ft³/min (variável de entrada), notou-se que a variação do nível do segundo tanque (variável de saída) até atingir estado estacionário foi de aproximadamente 3 ft (conforme Figura 3), então pode-se determinar o ganho do processo (K_P) de 0,1. Traçou-se uma reta tangente ao ponto de inflexão na curva de reação do processo para obtenção da constante de tempo (τ) 2,75 min e do tempo morto (t_D) de aproximadamente 0,25 minutos (aproximação da função de transferência de segunda ordem para primeira ordem com tempo morto). A função transferência do processo é apresentada pela Equação 4.

$$G_P(s) = \frac{0,1 e^{-0,25s}}{2,75s+1} \quad (4)$$

3.2 Implementação da malha fechada

Implementando um sistema de controle PID feedback e assumindo que as funções de transferência do elemento atuador $G_F(s)$ e do sensor $G_M(s)$ sejam iguais a 1, construiu-se o diagrama de controle no simulador conforme a Figura 4.

Figura 3 – Resposta da variável de saída (h_2) frente a uma perturbação degrau na vazão de entrada (q_1).

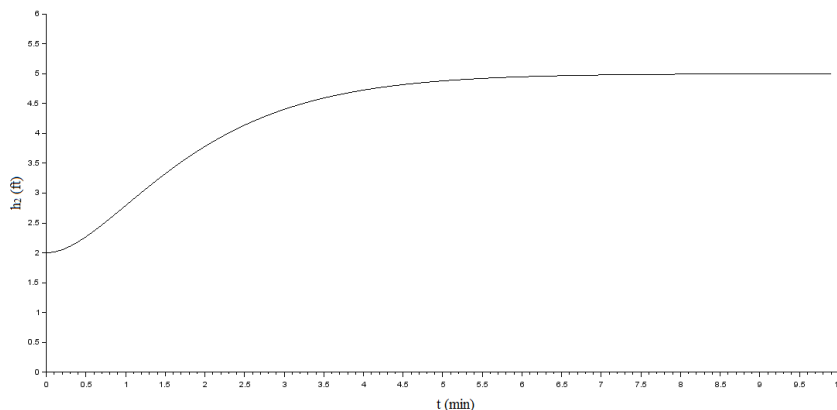
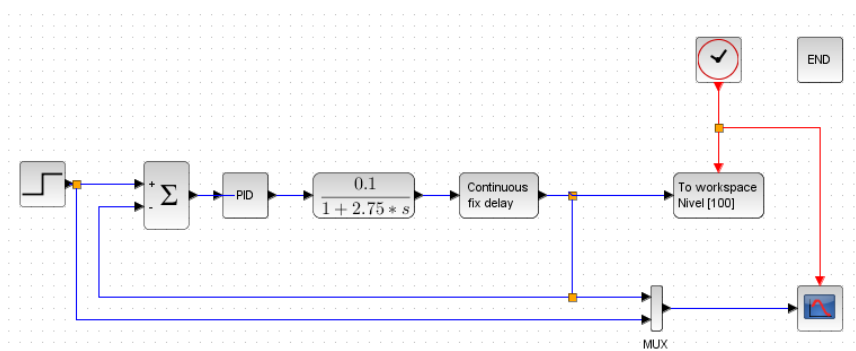


Figura 4 – Diagrama de controle implementado no *xcos*.



O bloco “Continuous fix delay” é utilizado para aplicar o tempo morto da aproximação para função transferência do processo de primeira ordem. Uma perturbação degrau é configurada com o valor da variação do *setpoint* escolhido, que é comparado com a resposta do sensor, obtendo um erro o qual se espera diminuir com o controlador. Uma linha de referência evidencia o valor do *setpoint*, a fim de fornecer uma perspectiva visual do *offset*.

3.3 Sintonia do Controlador PID

Utilizando o método “Ultimate Gain” a partir de uma perturbação degrau do *setpoint* de 1 ft, elevou-se gradativamente o ganho proporcional até um valor crítico K_{Cr} em que ocorre uma oscilação sustentada (limite da estabilidade) na variável de saída, a fim de se determinar o período das oscilações T_c , o gráfico gerado pelo *software* no ganho crítico K_{Cr} de 179 é apresentado na Figura 5. O período das oscilações T_c é aferido de aproximadamente 1,0 min.

Com os parâmetros K_{Cr} e T_c pode-se determinar o ganho proporcional (K_C), tempo integral (τ_I) e tempo derivativo (τ_D) do controlador PID, pelos métodos de Ziegler-Nichols e Tyreus-Luyben, conforme a Tabela 1. Os parâmetros calculados são dispostos na Tabela 2.

A Figura 6, apresenta os gráficos resultantes das sintonias segundo Ziegler-Nichols e Tyreus-Luyben, para uma perturbação degrau no *setpoint* de 5 ft. Percebe-se que a primeira

sintonia (esquerda) apresentou maior oscilação em relação a segunda (direita), porém a segunda sintonia apresentou um maior *offset* ao longo do tempo.

Figura 5 – Oscilação sustentada do nível (h_2).

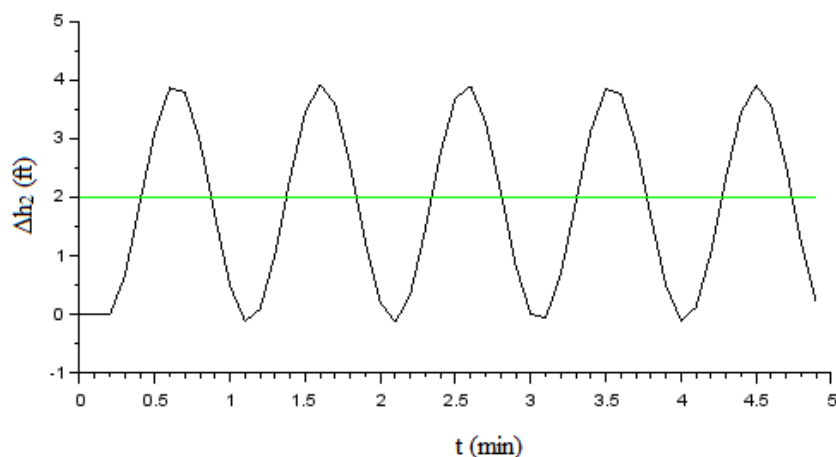


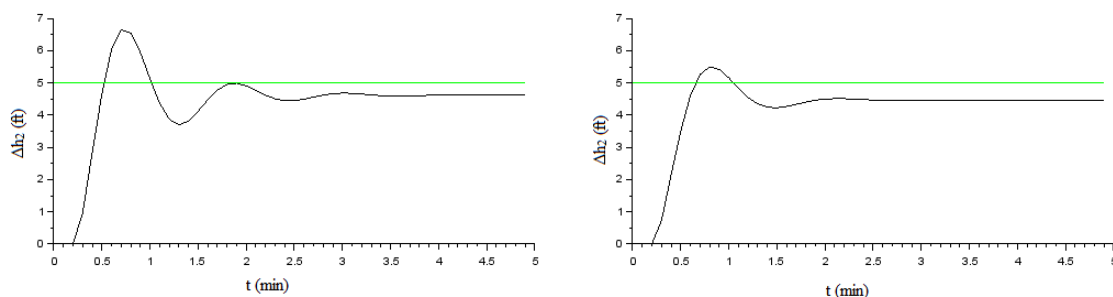
Tabela 1 – Métodos de Sintonia PID

Ziegler-Nichols	0,6 K_{Cr}	0,5 T_c	0,125 T_c
Tyreus-Luyben	0,45 K_{Cr}	2,2 T_c	0,158 T_c

Tabela 2 - Sintonia do Controlador

Ziegler-Nichols	107,000	0,5	0,125
Tyreus-Luyben	80,600	2,200	0,158

Figura 6 – Sintonias de Ziegler-Nichols (esq) e Tyreus-Luyben (dir)



Para utilização do critério de integração do erro, ponderado no tempo, dado pela equação 3, foi implementado no diagrama de bloco e verificado os valores obtidos pelos métodos Ziegler-Nichols e Tyreus-Luyben e obteve-se um ITAE menor para o método de Ziegler-Nichols. Assim, partiu-se dos valores obtidos do método de sintonia de Ziegler-Nichols e encontrou-se valores que minimizam o critério, sendo selecionados para utilização

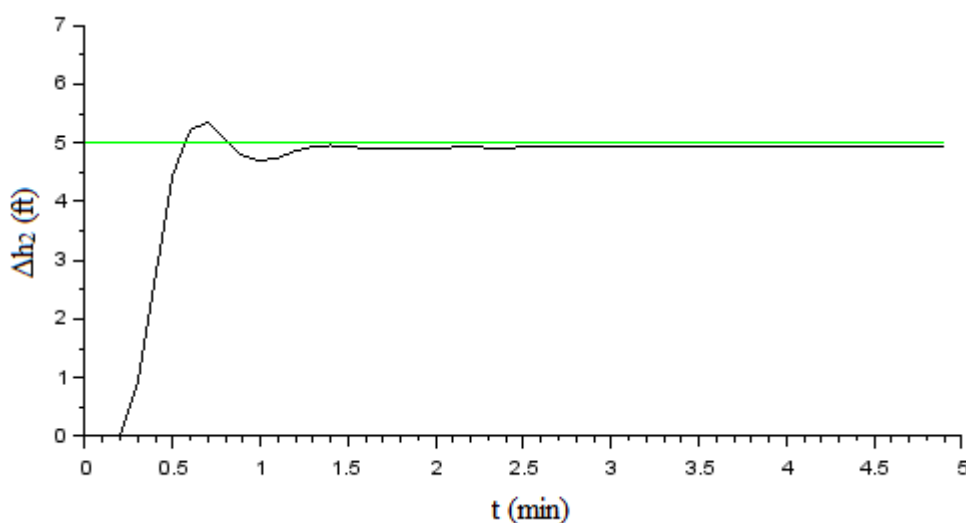
do controlador PID, apresentando uma diminuição nas oscilações e *offset*, cujos valores são: $K_C = 100$; $\tau_I = 0,05$; $\tau_D = 10,0$; Graficamente obteve-se a resposta conforme a Figura 7.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho possibilitou implementar e sintonizar um controlador PID em um sistema de tanques em série. Para isso, foi aplicado o método “Ultimate Gain”, aplicando perturbação no sistema até a saída exibir uma oscilação sustentada (amplitude constante). Porém, esse método necessita de um tempo de sintonia alto, uma vez que necessita de diversas tentativas, como também, submeter o processo no limite da estabilidade em situações reais, pode acarretar em operação instável e resultar em situação de perigo. Sendo assim, sugere-se utilizar o método de Astrom e Hanglund, na qual o sistema é forçado através de um controlador on-off ou um relé, a oscilar com pequenas amplitudes.

Concluiu-se também, que a ferramenta *xcos* do *software* gratuito *Scilab* se mostrou de grande utilidade para o estudo e implementação do controlador PID.

Figura 7 – Ajuste dos parâmetros do PID baseado no ITAE.



5. REFERÊNCIAS

- FRANCHI, C. M. Controle de Processos Industriais. 1. ed. São Paulo: Érica, 2011.
- HAUGEN, Finn. Comparing PI tuning methods in a real benchmark temperature control system. Modeling, Identification and control, v. 31, n. 3, p. 79, 2010.
- JABUONSKI JR, R. E. et al. Sistema de experimentação remota configurável de controle de nível de líquidos multivariável. VI SBAI, Buaru, Brasil, 2003.
- MARTINS, Fernando G. Tuning PID controllers using the ITAE criterion. International Journal of Engineering Education, v. 21, n. 5, p. 867, 2005.