



Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Tecnologia
Engenharia da Computação

TANQUES DUPLO

Manaus - AM
2024

DARLYSSON MELO DE LIMA - 21954316
EVANDRO SALVADOR MARINHO - 22052988
HERVELYN CHRISTINNE VITAL DA SILVA - 21750599
KEVYN DO NASCIMENTO PAZ GONDIM - 22153920
MARIA SARA DA SILVA NAVARRO - 22051556

TANQUES DUPLO

Relatório apresentado como requisito para compor a nota parcial disciplina de Laboratório de Sistema de Controle referente ao semestre 2023/2, apresentado ao curso de bacharelado em Engenharia da Computação da Faculdade de Tecnologia, da Universidade Federal do Amazonas - UFAM.

Professor: Dr. Florindo Antonio de Carvalho Ayres Júnior

Manaus - AM
2024

Conteúdo

1	INTRODUÇÃO	1
2	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	2
2.1	Modelagem Matemática	2
2.2	Simulações do Sistema em Diagramas de Blocos	4
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	6
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	7
4.1	Apêndice	8
	BIBLIOGRAFIA	9

Lista de Figuras

Figura 1	Esquema de Tanque Duplo. Ogata, 5 ed.	2
Figura 2	Diagrama de bloco do sistema de dois tanque	4
Figura 3	Grafico da simulação	6

1 Introdução

Sistemas de controle são um conjunto de componentes que monitora, ajusta e verifica um sistema para atingir um certo objetivo. Sob esse viés, um projeto de sistemas de controle tem por objetivo entender e reproduzir de maneira prática tudo que foi compreendido durante a disciplina teórica, desde a realização da modelagem, o sistema e estabelecer os requisitos.

Um dos problemas da indústria que o sistema de controle vem solucionar é o controle de vazão e nível de líquidos em tanques que deve ser controlada de forma automática, é comum que esses tanques estejam acoplados entre si existindo interação entre eles e exigindo controle regulatório.

Um sistema de controle de nível é projetado para atender dois objetivos, sendo eles: manter o nível aproximado do *set-point*, que é entendido como o ponto de operação ideal, e garantir um equilíbrio contínuo de energia ou massa, de modo que a entrada e saída se igualem de maneira estável. Neste trabalho será apresentado a modelagem e linearização desse sistema de controle de nível em dois tanques acoplados.

2 Procedimentos experimentais

2.1 MODELAGEM MATEMÁTICA

Ao estudarmos sistemas com fluxo de líquidos, é essencial classificá-los em fluxo laminar ou turbulento, baseando-se no número de Reynolds. O fluxo laminar, ocorrendo em linhas de escoamento sem turbulência, é representado por equações diferenciais lineares quando o número de Reynolds é igual ou inferior a 2000. Por outro lado, em processos industriais com fluxo de líquidos através de tubos, conexões e reservatórios, onde há turbulência, as equações diferenciais são não-lineares. No entanto, ao restringirmos a área de operação, essas equações podem ser simplificadas através da linearização. Se considerarmos um sistema não linear, como dois tanques acoplados com fluxo turbulento, com número de Reynolds entre 3000 e 4000, as equações diferenciais do sistema serão as seguintes. O sistema a ser modelado é apresentado na [Figura 1](#). Esse processo apresenta dois tanques acoplados, onde será realizado o controle de nível do tanque 2 como apresentado em [1].

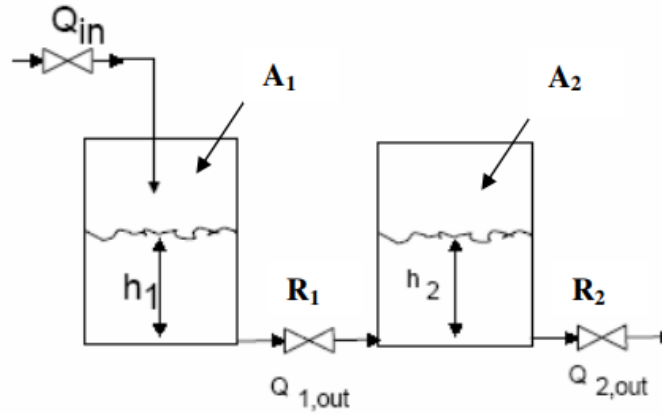


Figura 1: Esquema de Tanque Duplo. Ogata, 5 ed.

com a capacidade dos tanques dado por:

$$A_1 \frac{dh_1}{dt} = Q_{in} - Q_{1out} \quad (1)$$

$$A_2 \frac{dh_2}{dt} = Q_{1out} - Q_{2out} \quad (2)$$

A vazão que sai do segundo tanque é definida pela altura do líquido presente no tanque

$$Q_{2out} = K_2 \sqrt{h_2} \quad (3)$$

devido à interligação e suas conexões, a vazão de saída do primeiro tanque é determinada pela diferença de nível entre o primeiro e o segundo tanque.

$$Q_{1out} = K_1 \sqrt{h_1 - h_2} \quad (4)$$

logo para a variação dos níveis de tanque:

$$\frac{dh_1}{dt} = \frac{(Q_{in} - k_1 \sqrt{h_1 - h_2})}{A_1} \quad (5)$$

$$\frac{dh_2}{dt} = \frac{(k_1 \sqrt{h_1 - h_2} - k_2 \sqrt{h_2})}{A_2} \quad (6)$$

Para realizar a linearização do sistema, é necessário assumir que o sistema não terá muitas variações em sua condição de operação.

Imagine o fluxo através de uma tubulação que conecta dois reservatórios ou tanques. A resistência R ao fluxo é definida como a mudança na diferença de nível necessária para causar uma alteração na taxa de fluxo, ou seja:

$$R = \frac{\text{Variação na diferença de nível, m.}}{\text{Variação na vazão em volume, m}^3/\text{s}}$$

Resistência:

$$R = \frac{dh}{dQ} \quad (7)$$

$$dQ = \frac{K}{2\sqrt{h}} dh \quad (8)$$

$$dh = \frac{2\sqrt{h}}{K} = \frac{2h}{Q} \quad (9)$$

logo:

$$R = \frac{2h}{Q} \quad (10)$$

A capacitância A de um tanque é determinada pela mudança na quantidade de líquido armazenado necessária para provocar uma alteração no potencial ou altura. A capacitância de um tanque ou reservatório é equivalente à sua seção transversal.

O Q é a vazão de equilíbrio entre os tanques quando o sistema está em um estado estacionário.

As resistências R_1 e R_2 são provavelmente medidas de resistência ao fluxo para cada tanque, calculadas como a razão entre a altura do líquido e a vazão.

3 Resultados e discussões

O resultado da simulação é apresentado no gráfico em [Figura 3](#)

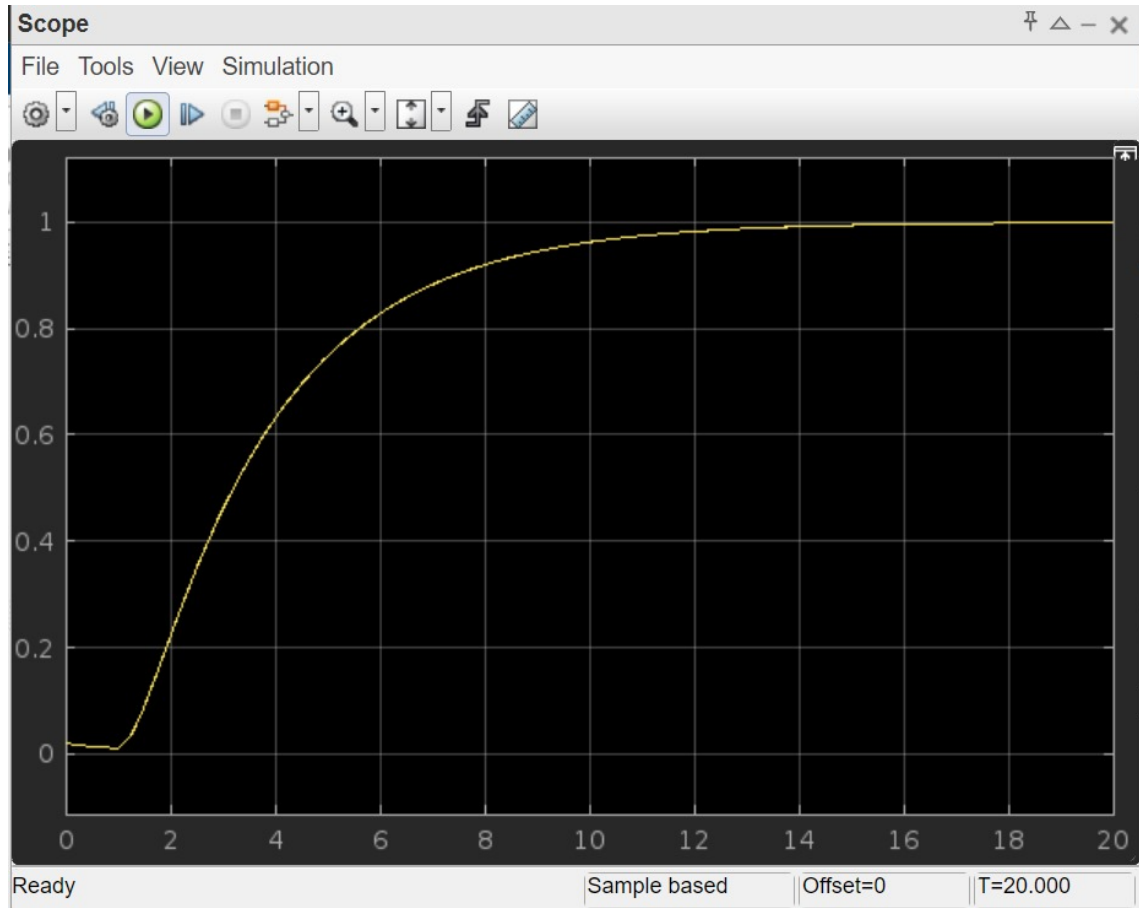


Figura 3: *Gráfico da simulação*

O gráfico mostra uma curva de resposta de primeira ordem a uma entrada degrau. Observa-se que a resposta aumenta rapidamente no início e depois se aproxima de um valor de estado estacionário, o que é típico em sistemas de controle de processo onde há uma capacidade finita que limita a resposta.

O sistema simula a transferência de líquido entre dois tanques com retroalimentação para manter um nível desejado de líquido no segundo tanque. É um modelo simplificado, sem considerar detalhes como a não linearidade real da raiz quadrada da vazão em função da altura, porém representa de forma básica a dinâmica dos tanques em série. O gráfico indica que o sistema consegue estabilizar a altura do líquido no segundo tanque na presença de uma vazão de entrada constante.

4 Considerações finais

Em resumo, a análise da curva de resposta de primeira ordem revela características típicas de sistemas de controle de processo, onde a resposta inicial é rápida, seguida por uma estabilização em um valor de estado estacionário. Esse comportamento é observado no contexto da transferência de líquido entre dois tanques com retroalimentação, representando de forma simplificada a dinâmica desses sistemas. Embora o modelo não leve em conta todas as complexidades, como a não linearidade da relação entre a vazão e a altura do líquido, ele demonstra a capacidade do sistema em manter o nível desejado de líquido no segundo tanque, mesmo diante de uma vazão de entrada constante. Essa capacidade de estabilização é essencial em aplicações práticas de controle de processos industriais.

4.1 APÊNDICE

Segue o código para a modelagem do relatório:

```
1 h1 = 0.4; % metro
  h2 = 0.8; % metro
  kv = 0.0072;
  k1 = 0.0072;
6 k2 = 0.0072;
  C1 = 0.02;
  C2 = 0.02; %metros cubico
  Q_in = 1;

11 Q = kv * sqrt(h1-h2);

  fun_h1 = (Q_in - (k1*sqrt(h1-h2)))/C1;

  fun_h2 = ((k1*sqrt(h1-h2)) - (k2*sqrt(h2)))/C2;
16 R1 = (2*h1)/Q;
  R2 = (2*h2)/Q;
```

Bibliografia

- [1] I. Jardim, «Sistema Didático de Controle de Nível em Tanques Acoplados», *Universidade Federal do Espírito Santo - Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Elétrica*, 2019.