

12º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2021

ESTUDO DE MÉTODOS DE CONTROLE PARA UM SISTEMA TÉRMICO

Caio A. Bastos¹, Rodrigo Rech²

¹ Graduando em Engenharia Eletrônica, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus São Paulo, caio.bastos@aluno.ifsp.edu.br.

² Mestrado em Automação e Controle de Processos, Professor do Instituto Federal de São Paulo, Câmpus São Paulo, rodrigo.rech@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.05.03-3 - Controle de Processos Eletrônicos, Retroalimentação

RESUMO: Este artigo tem como objetivo apresentar o estudo da especificação dos elementos componentes de uma planta de controle de temperatura, sua modelagem e análise da dinâmica entre modelo desenvolvido e o sistema real. A planta desenvolvida poderá vir a ser tornar um kit didático para uso em disciplinas de controle de sistemas dinâmicos. O elemento aquecedor do sistema foi especificado a partir dos resultados de testes realizados e, com base em sua resposta a um acionamento, foi construído o modelo matemático do sistema. A validação do modelo foi feita por meio da comparação entre a simulação e a sua resposta real. O produto deste estudo dá suporte para o prosseguimento do desenvolvimento de uma plataforma didática de controle de temperatura.

PALAVRAS-CHAVE: plataforma didática; sistemas embarcados; controle de temperatura; controle PID; microcontroladores.

STUDY OF CONTROL METHODS FOR A THERMAL SYSTEM

ABSTRACT: This article aims to present the study of the specification of the component elements of a temperature control plant, its modeling and analysis of the dynamics between the developed model and the real system. The developed plant could become a didactic kit for use in dynamic systems control disciplines. The heating element of the system was specified based on the results of tests performed and, based on its response to a trigger, the mathematical model of the system was built. The validation of the model was done by comparing the simulation and its real answer. The product of this study supports the further development of a didactic temperature control platform..

KEYWORDS: didactic platform; embedded systems; temperature control; PID control; microcontrollers.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de controle de temperatura, além de possuírem inúmeras aplicações nos mais diversos setores da indústria e da pesquisa (MAYA e LEONARDI, 2014), também são interessantes do ponto de vista didático, pois sua dinâmica lenta permite uma compreensão intuitiva dos elementos e parâmetros presentes na maioria dos sistemas de controle.

De acordo com Ogata (2010), sistemas térmicos são aqueles que envolvem a transferência de calor de uma substância para outra, e seus modelos podem ser construídos utilizando o conceito de

resistência e capacitância térmica. A figura 1a ilustra um sistema de controle de temperatura de um forno elétrico, o termômetro faz a leitura da temperatura e envia para o controlador que, por sua vez, compara com a temperatura de referência e, em caso de divergência, aciona o aquecedor, fazendo que a temperatura atinja o valor desejado.

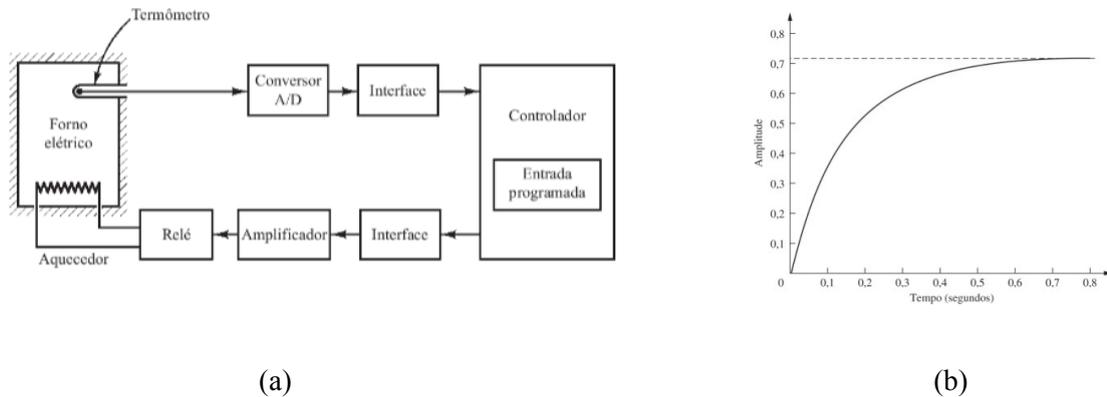


FIGURA 1: (a) Exemplo de sistema de controle de temperatura de um forno; (b) Comportamento de um sistema de primeira ordem

A figura 1b ilustra o comportamento de um sistema térmico após o acionamento do elemento aquecedor partindo do repouso.

Esse comportamento se assemelha à dinâmica de um sistema de primeira ordem, que é modelado pela equação 1.

$$P(s) = \frac{K_{DC}}{\tau s + 1} \quad (1)$$

em que,

K_{DC} - ganho de malha do sistema, °C;

τ - constante de tempo do sistema, segundos;

s - variável da Transformada de Laplace.

O ganho de malha do sistema, K_{DC} , é a diferença entre a temperatura em regime permanente do sistema e a temperatura ambiente e a constante de tempo τ é o tempo que leva para a resposta do sistema chegar a 63,2% da resposta em regime permanente.

Tendo em vista que, a atual formação de um engenheiro de controle exige a compreensão adequada da modelagem e da identificação de sistemas dinâmicos, o presente trabalho apresenta o estudo da seleção dos elementos para desenvolvimento de uma planta de controle de temperatura para fins didáticos, sua identificação, modelagem e comparação entre modelo teórico e experimental.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a medição da temperatura foram adotados dois sensores, o LM35, um sensor de temperatura analógico, e o DS18B20, um sensor de temperatura digital. O LM35 tem uma faixa de operação de -55 °C até 150 °C. A faixa de operação do DS18B20 é de -55 °C a 125 °C. Ambos os sensores possuem uma faixa de medição adequada para o sistema desenvolvido (Figura 4a). A escolha por dois sensores, um analógico e um digital, foi motivada para incentivar o usuário do kit didático a trabalhar com os dois tipos de sinais, analógico e digital.

O elemento aquecedor foi escolhido com base em testes feitos com diversas cargas resistivas (cargas de 10, 15, 22 e 27Ω) alimentadas por uma tensão de 5 V para verificação da temperatura de aquecimento e potência consumida (Figura 4a).

Como elemento de controle foi escolhida uma plataforma Arduino Uno (LIMA e VILLAÇA, 2012), que ficou responsável por fazer a leitura dos sensores e acionar a carga, utilizando para isso um circuito com transistor MOSFET. Um esquemático do sistema desenvolvido pode ser visto na Figura 2.

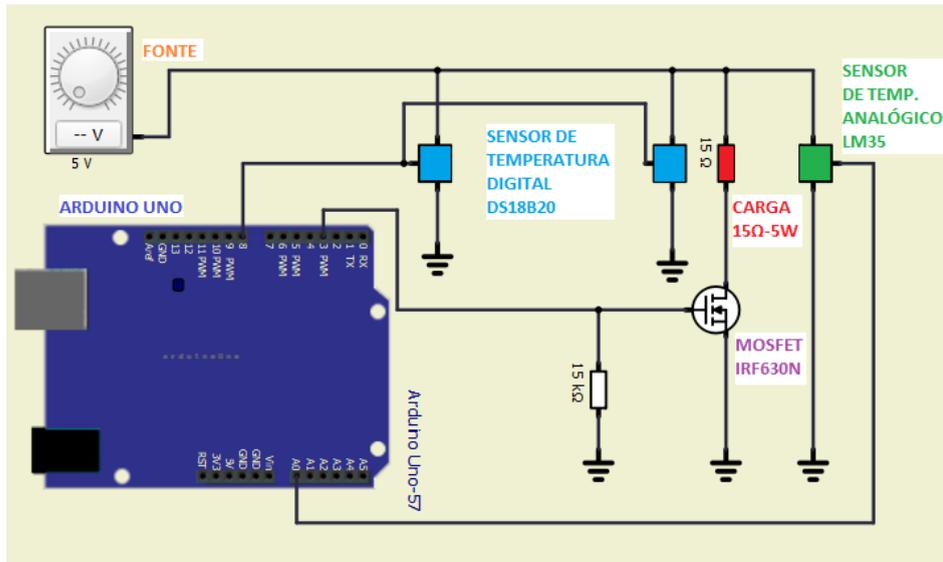


FIGURA 2. Diagrama do protótipo do sistema desenvolvido.

Com todos os elementos do sistema especificados, foi aplicado um sinal de *PWM* (*Pulse Width Modulation*) no circuito acionador da carga e verificado o quanto o sistema aquecia. Esse processo de verificação da resposta do sistema a uma entrada conhecida é denominado identificação do sistema. A partir da resposta obtida pelo processo de identificação do sistema foi possível, utilizando o *software* Octave (EATON et al., 2014), a construção do modelo matemático que aproxima a dinâmica do sistema em questão.

Após a identificação e construção do modelo matemático, a resposta experimental do sistema e a resposta do modelo matemático desenvolvido foram comparadas para verificação do quão bem se ajustavam.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 3a mostra o resultado obtido no teste de seleção da carga. Pode-se observar que as cargas de 10 e 15Ω tiveram uma margem de resposta melhor que as outras de 22 e 27Ω, pois ultrapassaram a faixa de 50 °C em menos de 2 minutos. Como a carga de 15Ω consome menos potência que a de 10Ω, ela foi escolhida para ser o elemento aquecedor do sistema.

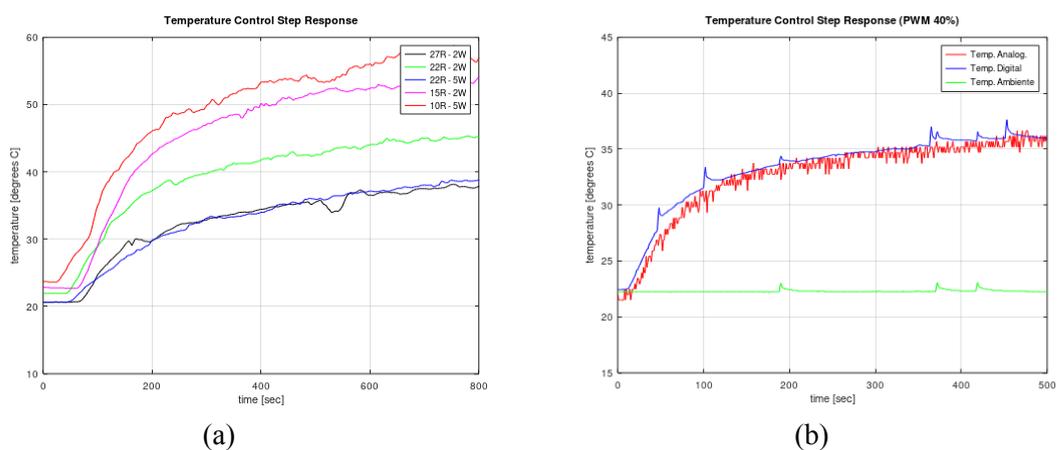


FIGURA 3. (a) Teste de seleção de carga; (b) Resposta do sistema a um sinal de *PWM* com *duty cycle* de 40%.

A Figura 3b mostra a resposta do sistema a um sinal *PWM* com *duty cycle* de 40% (equivalente a uma tensão média de 2 V), para os dois sensores utilizados na carga e outro para a temperatura ambiente.

A inspeção da resposta da Figura 3b indica que a dinâmica térmica da planta corresponde a um sistema de primeira ordem, que é modelado pela equação 1. As variáveis de entrada e de saída do sistema são, respectivamente, $D(s)$ e $T(s)$, onde $D(s)$ é o *duty cycle* do sinal de PWM que aciona a carga e $T(s)$ é a temperatura medida pelos sensores.

Os valores τ e K_{DC} podem ser obtidos da própria resposta ao degrau, tomando o período entre a temperatura inicial e 63,2% da diferença entre temperatura final e inicial, que para o sistema projetado é:

$$K_{DC} = 14,41$$

e

$$\tau = 112 \text{ s}$$

Com base nesses dados foi construído o modelo que aproxima a dinâmica do sistema (equação 2).

$$P(s) = \frac{14,41}{112s+1} \quad (2)$$

A Figura 4 mostra o gráfico de comparação entre a resposta do modelo desenvolvido e a resposta do sistema real.

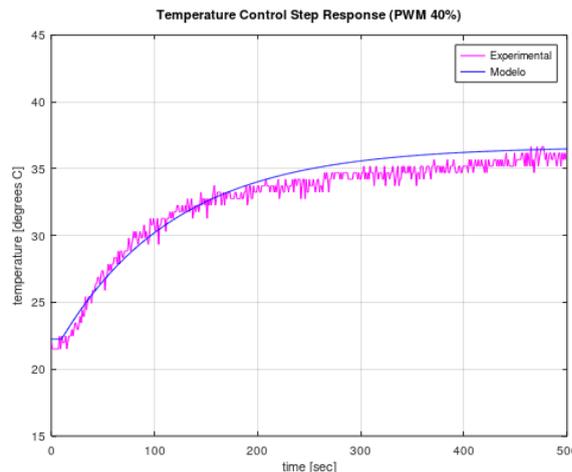


FIGURA 4. Comparação entre a resposta do modelo desenvolvido e a resposta experimental.

Examinando a figura 4 pode-se verificar que o modelo construído se ajusta bem à resposta experimental obtida.

CONCLUSÕES

Com base no teste de seleção do elemento atuador, foi selecionada a carga de $15\Omega/2W$ como elemento aquecedor do sistema. Para essa carga, a temperatura máxima alcançada foi na faixa de $50\text{ }^\circ\text{C}$ depois de 5 minutos partindo da temperatura ambiente de $20\text{ }^\circ\text{C}$. Essa margem de temperatura confirma a viabilidade do elemento escolhido para a aplicação com fins didáticos.

O ajuste fino entre resposta experimental e resposta do modelo (Figura 5) corrobora o desenvolvimento de um modelo matemático da planta a partir da identificação da resposta experimental do sistema a um acionamento.

Os resultados obtidos neste estudo dão o suporte para o prosseguimento do desenvolvimento do kit didático, que tem como próximas etapas o desenvolvimento de um circuito eletrônico para acomodação de todos os elementos componentes do sistema, assim como, uma interface para monitoramento da planta.

REFERÊNCIAS

- EATON, J. W. et al. GNU Octave version 3.8.1 manual: a highlevel interactive language for numerical computations. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2014. ISBN 1441413006. Disponível em: <<http://www.gnu.org/software/octave/doc/interpreter>>.
- MAYA, P.; LEONARDI F. Controle Essencial, 2ª Edição, 2014, Editora Pearson
- NISE, Norman S. Engenharia de Sistemas de Controle. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno – 5ª. Edição, Pearson Prentice-Hall, 2010.
- LIMA, C. B. de; VILLAÇA, M. V. M. AVR e Arduino: técnicas de projeto. 2ª ed. Ed. dos autores, 2012.