



Estudo e implementação de um controlador PID para aprimoração de uma máquina de fumaça

Study and implementation of a PID controller for improvement of a smoke machine

Adriano Miguel Yock Correia¹, Leonardo Faria Costa²

RESUMO

O ambiente artístico utiliza diversos elementos, dentre eles a luz e a fumaça para criar atmosferas e transmitir emoções aos espectadores, as máquinas de fumaça desempenham um papel importante nesse processo, proporcionando uma maior imersão espacial e destaque na iluminação. Este trabalho tem como objetivo aprimorar uma máquina de fumaça que utiliza fluido à base d'água, composta por um reservatório de fluido, uma bomba e um bloco de aquecimento. As máquinas mais simples usam apenas um termostato para controlar o aquecimento, o que leva a variações de temperatura e períodos em que a bomba não pode ser acionada devido ao esfriamento do bloco de aquecimento, para resolver esses problemas, o trabalho propõe a implementação de um controlador PID para o controle da máquina de fumaça, além disso será analisado métodos de identificação da função de transferência e métodos de sintonia para o controlador PID realizado por meio de simulação em software.

PALAVRAS-CHAVE: controlador PID; identificação; máquina de fumaça.

ABSTRACT

The artistic environment employs various elements, including light and smoke, to create atmospheres and convey emotions to the audience, with smoke machines playing a significant role in this process by providing enhanced spatial immersion and highlighting the lighting. This work aims to improve a smoke machine that uses water-based fluid, consisting of a fluid reservoir, a pump, and a heating block. Simpler machines only use a thermostat to control heating, resulting in temperature variations and periods when the pump cannot be activated due to the cooling of the heating block. To address these issues, the work proposes the implementation of a PID controller for smoke machine control. Additionally, methods for identifying the transfer function and tuning the PID controller will be analyzed through simulation in software.

KEYWORDS: PID controller; identification; smoke machine.

INTRODUÇÃO

Dentro das artes cênicas, a luz é utilizada como um elemento capaz de realçar e valorizar obras. Dentro do espaço cênico a iluminação é capaz de modificar objetos estáticos e criar diferentes efeitos e atmosferas (SERRAT, 2006). Neste contexto a fumaça é utilizado como um elemento modificador, realçando a iluminação utilizada e proporcionando diferentes atmosferas e ambientes dentro de uma apresentação.

Existem diferentes tipos de máquinas de fumaça, o modelo comumente encontrado no mercado tem seu funcionamento baseado no aquecimento de um fluido a base d'água e glicerina. Seu sistema de controle é simples, baseado em um termostato com histerese, o qual ocasiona períodos em que a máquina não pode ser acionada por ter esfriado, além disso não é possível realizar o acionamento por longos períodos.

¹ Discente no Curso de Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil. E-mail: adriancorreia@alunos.utfpr.edu.br.

² Docente no Curso de Engenharia Eletrônica/DAELN. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil. E-mail: leonardocosta@utfpr.edu.br. ID Lattes: 1913323628041401.

Desta forma, a implementação de um controlador PID se torna vantajoso, proporcionando o acionamento por períodos maiores, além de evitar que a máquina esfrie devido a histerese do termostato.

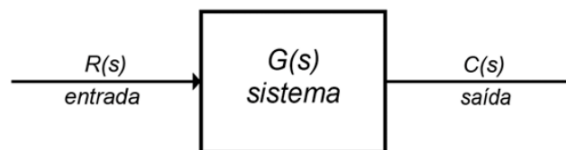
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será abordado a fundamentação teórica, percorrendo os conceitos necessários para a execução do trabalho, introduzindo os tópicos função de transferência, métodos para identificação de modelos de primeira ordem e controladores PID.

FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA

Define-se uma função de transferência como a representação por meio da razão da saída pela entrada no domínio da frequência de um sistema representado por uma equação diferencial linear invariante no tempo, além disso, seu conceito possibilita a separação em três partes distintas, entrada, sistema e saída conforme apresentado na Figura 1 (OGATA, 2010; NISE, 2013).

Figura 1 – Representação em diagrama de blocos de um sistema dinâmico



Fonte: Autoria própria (2023).

Através do conceito de função de transferência é possível modelar a dinâmica do sistema por meio de um equacionamento algébrico no domínio da frequência. O modelo de primeira ordem é comumente encontrado e utilizado, podendo representar modelos físicos de circuitos RC, sistemas térmicos e similares. Para o sistema térmico a ser identificado através de ensaios foi escolhido o modelo de primeira ordem com atraso de transporte, o qual é apresentado na equação abaixo: (NISE, 2013; COELHO; COELHO, 2004).

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} e^{-\theta s} \quad (1)$$

Na Equação (1) os parâmetros K , τ e θ representam o ganho em malha aberta, constante de tempo do sistema e o atraso de transporte respectivamente, $G(s)$ representa a função de transferência do sistema, dada pela razão da saída $C(s)$ com a entrada $R(s)$ (COELHO; COELHO, 2004).

MÉTODOS CLÁSSICOS PARA MODELOS DE PRIMEIRA ORDEM

Em determinados casos não é possível que se obtenha o modelo de dinâmica do sistema de forma analítica, nesses casos é obtido uma aproximação a partir de ensaios



práticos. Para sua obtenção é feita uma identificação aplicando uma entrada degrau com o sistema em malha aberta e observada sua saída (OGATA, 2010).

$$C(s) = \frac{1}{s} \frac{K}{\tau s + 1} e^{-\theta s} \quad (2)$$

A Equação (2) apresenta a resposta para uma entrada degrau.

Com base na resposta temporal permite-se utilizar métodos de identificação e estimação da função de transferência. Os métodos são comumente baseados na resposta à uma entrada degrau, dessa forma, é possível determinar valores para as variáveis K , τ e θ (COELHO; COELHO, 2004).

No trabalho proposto foram testados os métodos de identificação para modelos de primeira ordem de Ziegler, Nichols et al. (1942), Hägglund e Åström (1991), Smith (1985) e Sundaresan e Krishnaswamy (1978) (COELHO; COELHO, 2004; ARCHELA, 2019).

CONTROLADOR PID

Os controladores PID, proporcional, integral e derivativo são comumente encontrados na indústria, sendo empregados em mais de 97% das malhas de controle ativas. Eles são de fácil aplicação e não necessitam de um modelo dinâmico da planta para sua implementação, e é possível com base em técnicas de sintonia realizar um ajuste para o processo que será aplicado e obter sua estabilidade (FRANCHI, 2011; OGATA, 2010).

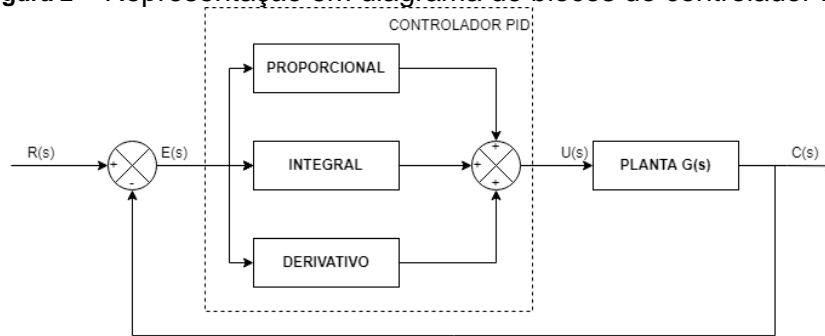
Tais controladores tem por característica a utilização em sistemas de malha fechada, onde a leitura do erro, sendo este a diferença entre a variável controlada e o valor desejado ou *setpoint*, gera um sinal de controle para eliminar o desvio. O controlador utiliza de 3 ações para efetuar o controle, sendo a ação proporcional, integral e derivativa (CAMPOS; TEIXEIRA, 2006).

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

$$U(s) = K_p E(s) + K_I \frac{E(s)}{s} + K_D s E(s) \quad (4)$$

A Equação (3) representa o controlador no domínio no tempo enquanto a Equação (4) o controlador PID no domínio da frequência após aplicação da transformada de Laplace. A Figura 2 apresenta o diagrama de blocos do controlador PID.

Figura 2 – Representação em diagrama de blocos do controlador PID



Fonte: Adaptado de Kluever (2018).

SINTONIA DO CONTROLADOR PID

Os parâmetros do controlador PID afetam a resposta do sistema, seus parâmetros devem ser ajustados para a aplicação pretendida. No desenvolvimento do trabalho foi simulado por meio de software os métodos de sintonia de Ziegler, Nichols et al. (1942), Chien, Hrones e Reswick (1952), Cohen e Coon (1953) (CAMPOS; TEIXEIRA, 2006).

METODOLOGIA

Esta seção apresenta os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho, sendo apresentado o microcontrolador e software utilizado para aquisição dos dados para identificação e simulação da função de transferência identificada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a identificação da função de transferência foi utilizado um microcontrolador ATmega328 juntamente da plataforma de desenvolvimento Arduino IDE, além disso um termopar do tipo K juntamente com o MAX6675 responsável pela amplificação e digitalização dos valores foi montado para obtenção da resposta ao degrau unitário. Os valores obtidos foram utilizados no *software* MATLAB, onde foi possível verificar os diferentes métodos de identificação.

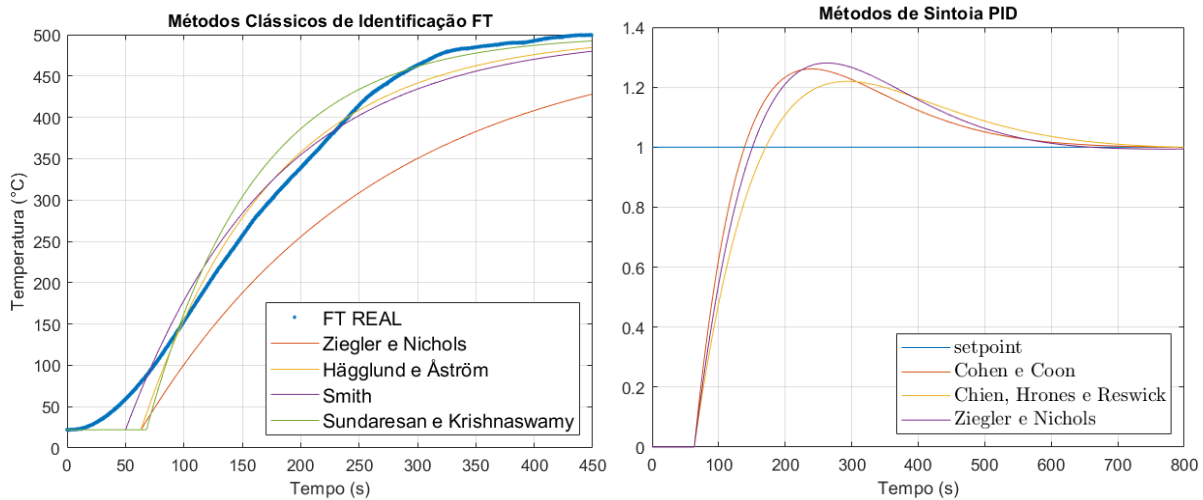
Com posse da função de transferência identificada, é possível simular a resposta do sistema com as diferentes sintonias propostas no trabalho e dar continuidade com a produção do hardware físico para testes na planta real e verificar se o comportamento simulado foi validado.

RESULTADOS

A Figura 3 apresenta os resultados dos diferentes métodos de identificação de função de transferência clássicos e a resposta original do sistema à entrada degrau e apresenta também a resposta do sistema com diferentes sintonias do controlador PID.



Figura 3 – Métodos identificação da FT e métodos de sintonia do controlador PID



Fonte: Autoria própria (2023).

Conforme pode ser observado na Figura 3, o gráfico à esquerda apresenta os diferentes métodos de identificação da função de transferência, sendo possível observar a diferença de cada técnica em relação a sua resposta, tendo variações no tempo morto e no valor de regime, é interessante salientar que o método de Ziegler e Nichols apresentou o maior desvio em regime. No gráfico direito, é possível observar diferenças no tempo de aceleração e *overshoot* máximo.

CONCLUSÃO

O presente trabalho aborda um estudo e aplicação de um método de controle para aprimoração de uma máquina de fumaça, a fim de proporcionar um melhor funcionamento e usabilidade. Para isso, pretende-se utilizar de um controlador PID, de modo que gere estabilidade na temperatura de seu bloco de aquecimento, consequentemente possibilite seu uso intermitente.

No decorrer do trabalho foi estudado acerca dos métodos de identificação da dinâmica do sistema, a fim de possibilitar a obtenção de seu comportamento por meio de um sistema de primeira ordem com atraso de transporte. De posse dos diferentes métodos foi possível validar a função de transferência obtida com o comportamento real da planta, a fim de validar se o modelo está adequado.

De posse do modelo que representa a dinâmica da planta foi possível utilizar os métodos de sintonia para simulação do controlador, de forma que se compare as diferentes sintonias obtidas e observe a que melhor realiza o controle de acordo com o resultado almejado.

Pretende-se em futuros trabalhos realizar a implementação real do controlador e verificar os resultados obtidos por meio de simulação com a planta real controlada.

Agradecimentos

Ao professor Dr. Leonardo Faria Costa pela orientação no desenvolvimento deste trabalho e no trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Eletrônica.



Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

ARCHELA, A. **Técnicas de Modelagem, Estimação de Parâmetros e Controle Embarcado Aplicados em Veículos Elétricos com Trações Traseira Independentes**. 2019. 167 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

CAMPOS, M. C. M. M. d.; TEIXEIRA, H. C. G. **Controles típicos de equipamentos e processos industriais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. ISBN 978-85-212-0398-8.

COELHO, A. A. R.; COELHO, L. d. S. **Identificação de sistemas dinâmicos lineares**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2004.

KLUEVER, C. A. **Sistemas dinâmicos: modelagem, simulação e controle**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. ISBN 978-1-118-28945-7.

NISE, N. S. **Engenharia de Sistemas de Controle**. Rio de Janeiro: LTC, 2013. ISBN 978-85-216-2136-2.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. ISBN 978-85-4301-375-6.

SERRAT, B. S. B. V. M. **ILUMINAÇÃO CÊNICA COMO ELEMENTO MODIFICADOR DOS ESPETÁCULOS: SEUS EFEITOS SOBRE OS OBJETOS DE CENA**. 2006. 93 p. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.