

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

ESTUDO SOBRE CONTROLE DE POSIÇÃO DE ATUADORES PNEUMÁTICOS POR DIFERENÇA DE PRESSÃO

Felipe Gonçalves Diogo, Yago Marcos Marcelino, Aguinaldo Cardozo da Costa Filho, Matheus Mascarenhas, Carlos Eduardo Oliveira da Silva.

Instituto Federal de Ciências e Tecnologia de São Paulo Campus São José dos Campos, Rod. Pres. Dutra, km - 12223-201 - São José dos Campos-SP, Brasil, felipe.diogo@ifsp.edu.br, yago.m@aluno.ifsp.edu.br, aguinaldo@ifsp.edu.br, mascarenhas@ifsp.edu.br, carlossilva@ifsp.edu.br.

Resumo

Este trabalho aborda o controle de posição de atuadores pneumáticos por diferença de pressão. Os atuadores pneumáticos são amplamente utilizados na indústria devido à sua simplicidade e baixo custo, mas controlar com precisão sua posição é desafiador devido à resposta não linear do sistema. O objetivo desse estudo é avaliar a viabilidade e eficácia do controle por diferença de pressão, por meio de testes experimentais em um protótipo. O trabalho está dividido em etapas: 1. estudos teóricos, 2. construção do protótipo, 3. Programação de controle PID, 4. testes e conclusão. Os resultados obtidos mostram que a aplicação é viável, mas sugere cuidados a respeito de algumas não linearidades do sistema.

Palavras-chave: Controle de posição, Viabilidade, PID.

Área do Conhecimento: Engenharia de Mecatrônica.

Introdução

A utilização de atuadores pneumáticos é amplamente adotada em diversas aplicações industriais, devido à sua simplicidade, baixo custo e facilidade de manutenção. No entanto, o controle preciso da posição de um atuador pneumático pode ser um desafio, uma vez que sua resposta é altamente não linear e depende de diversos fatores, como a pressão do ar comprimido e as condições de carga e descarga. Nesse contexto, uma estratégia interessante é o controle de posição por diferença de pressão.

Neste trabalho será apresentado um estudo sobre o controle de posição de atuadores pneumáticos por diferença de pressão nas câmaras traseira e dianteira, com o objetivo de avaliar sua controlabilidade, repetibilidade e viabilidade em uma aplicação real. Para tal, será desenvolvido um protótipo que permitirá a realização dos testes experimentais necessários. Um diagrama de blocos do sistema será elaborado e uma descrição do circuito de controle utilizado será fornecida.

Serão realizados testes experimentais, a fim de atingir os objetivos já citados, onde os resultados obtidos têm o potencial de contribuir para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes e precisas de controle de posição de atuadores pneumáticos, além de fornecer conclusões relevantes sobre o método de controle em questão.

Este artigo está dividido nas seguintes etapas: 1. estudos e fundamentação teórica, 2. Construção e Esquematização do Protótipo, 3. Testes e Controle PID, e por fim 4. apresentação dos resultados. Cada etapa do processo de desenvolvimento será detalhada a seguir.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Estudos e Fundamentação Teórica

Conforme Bavareso (2007), a modelagem matemática requer a capacidade de converter fenômenos reais em problemas passíveis de prever tendências por meio de técnicas matemáticas. Esse processo implica na obtenção de conjunto de equações que descrevem um fenômeno real.

Com base na dissertação elaborada por Muzy (2018), a modelagem matemática do sistema de controle de posição do atuador será separada em duas partes distintas: a Equação do Movimento e a Dinâmica das pressões que representam o protótipo elaborado e descrito neste documento.

Equação do Movimento

A segunda lei de Newton, conforme descrito por Maciel (2015), é uma das leis fundamentais da física e descreve a relação entre a força aplicada a um objeto, sua massa e a aceleração resultante. Essa lei é utilizada na equação do movimento. Sendo:

$$F = m * a \quad (1)$$

Relacionando a posição da haste do cilindro, pressão nas câmaras e considerando o equilíbrio das forças internas e externas, temos:

$$a = \ddot{x} = \frac{F}{m} \quad \therefore \quad \ddot{x} = \frac{1}{m} (A_a \cdot P_a - A_b \cdot P_b - F_f - \beta \dot{x}) \quad (2)$$

Sendo $\ddot{x}$ a aceleração do deslocamento da haste, $\dot{x}$ a velocidade de deslocamento da haste, m a soma das massas do êmbolo e da haste, A_a e A_b as áreas nos êmbolos traseiro e dianteiro, P_a e P_b as pressões internas nas câmaras traseira e dianteira, F_f a força de atrito e β o coeficiente de atrito viscoso.

Dinâmica das Pressões

Analisando a equação 2, observa-se que envolvem a dinamicidade nas diferenças de pressões P_a e P_b , sendo a sua taxa de variação expressa por:

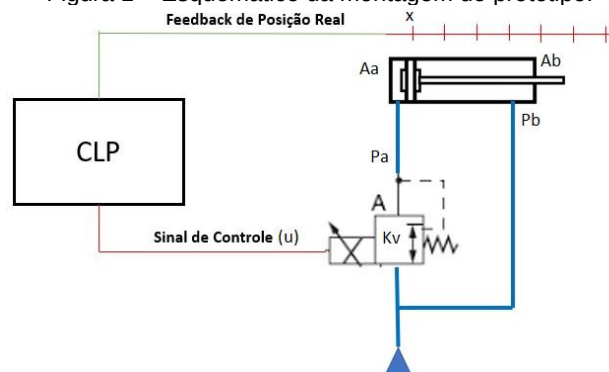
$$\dot{P}_a = \frac{2P_o K_v}{V_t} \cdot \frac{U}{U_n} - \frac{2P_a A_a}{V_t} \dot{x} \quad (3)$$

$$\dot{P}_b = \frac{2P_o K_v}{V_t} \cdot \frac{U}{U_n} - \frac{2P_b A_b}{V_t} \dot{x} \quad (4)$$

Onde P_o é pressão ambiente, V_t é o volume total do cilindro, K_v é o coeficiente de atrito da válvula proporcional, U e U_n são respectivamente o sinal atual e sinal máximo de posicionamento do êmbolo.

O esquemático representativo do protótipo elaborado foi feito conforme a Figura 1:

Figura 1 – Esquemático da montagem do protótipo.



Fonte: Do autor (2023)

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Construção e Esquematização do Protótipo

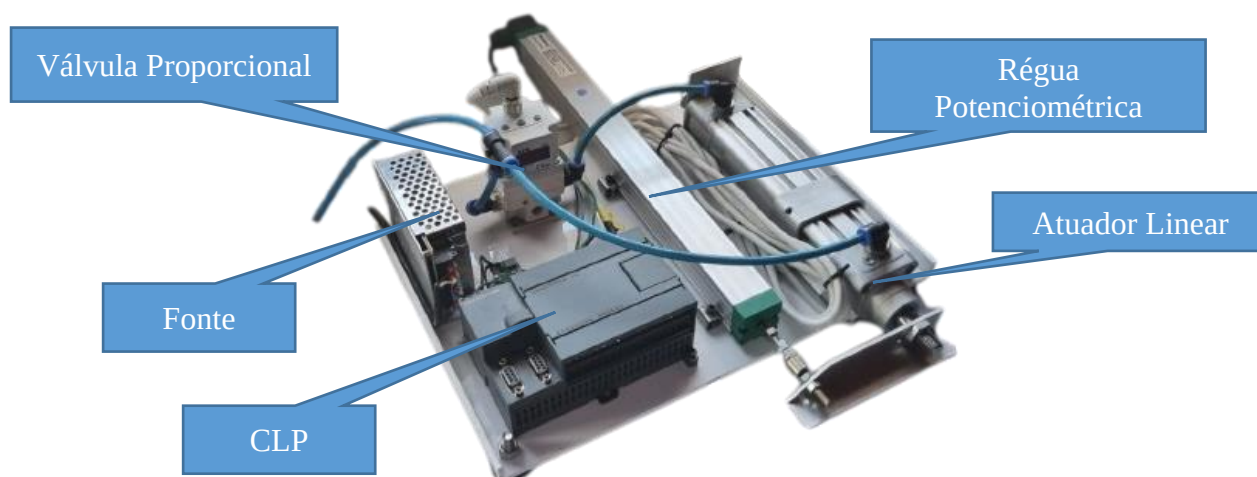
A seguir, é apresentado uma lista de materiais utilizados no protótipo:

Tabela 1 - Lista de Materiais.

Qtd	Material	Especificação
1	Atuador Pneumático CURSO 125mm	FESTO - DSBC-40-125-PPVA-N3
1	Régua Potenciométrica CURSO 325mm	KTC-325 +-0,05%
1	Válvula Proporcional Pneumática	ITV2050-312L
1	CLP SIEMENS S7-200	CPU224XP
1	Fonte de Alimentação	24V 3A
1	Placa Conversora de Tensão	24V-10V

Fonte: Do autor (2023)

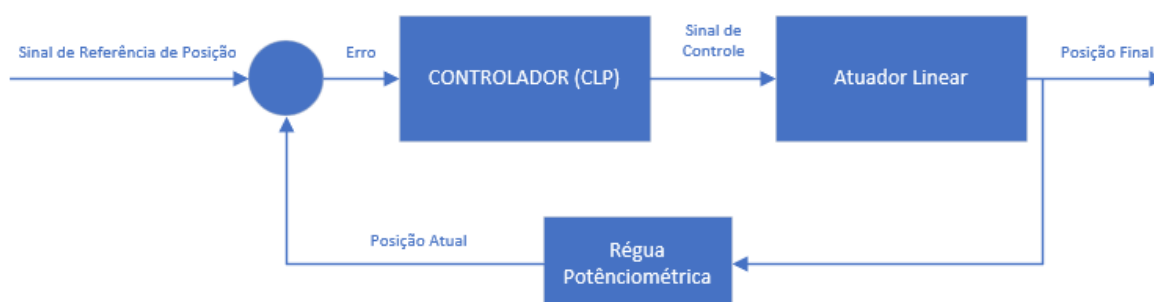
Figura 2 – Protótipo dos atuadores pneumáticos por diferença de pressão.



Fonte: Do autor (2023).

O protótipo foi desenvolvido para a simulação experimental dos conceitos estudados, para que com base em seu desempenho, fosse possível tirar conclusões e vereditos a respeito dessa tecnologia. O processo de controle do projeto pode ser representado a partir da Figura 3:

Figura 3 – Planta de controle dos atuadores pneumáticos por diferença de pressão



Fonte: Do autor (2023).

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

O intuito principal consistiu em conceber o projeto com o propósito de minimizar eventuais complexidades e falhas durante as fases de instalação e operação, que poderiam afetar a performance do sistema de maneira significativa. Alguns exemplos das estratégias adotadas com essa finalidade foram: diminuição das dimensões dos tubos pneumáticos, alinhamento adequado da guia linear com o atuador pneumático e a utilização de cabos blindados para prevenir interferências de ruído.

Testes e Controle PID

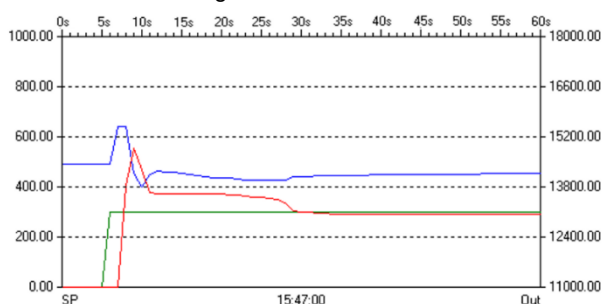
A programação do projeto foi realizada utilizando o Software de Programação *Step 7 Microwin* (SIEMENS), utilizando a linguagem LADDER. A programação foi desenvolvida de maneira a comandar o atuador para a posição desejada, ajustando os parâmetros K e Ti do bloco controlador PID (como o sistema é majoritariamente não linear, é necessário ajustar os parâmetros para cada posição desejada, por exemplo, para a posição 500, utilizou-se um K de 0.3 e um Ti de 1.2, enquanto para a posição 300, utilizou-se um K de 0.6 e um TI de 0.8). Para que houvesse um padrão entre os testes, todos os testes partiram da posição zero, as curvas foram retiradas diretamente do software de programação. A seguir é apresentada a Tabela 2 e as Figuras 4, 5, 6 e 7 que ilustram as curvas com os parâmetros ajustados para cada posição testada:

Tabela 2 – Testes realizados.

	Posição Referência	Posição Final	K	Ti	Curva Gerada no Teste
Teste 1	300	292	0.4	0.15	A
Teste 2	500	518	0.7	0.15	B
Teste 3	650	647	0.52	0.15	C
Teste 4	800	781	0.55	0.12	D

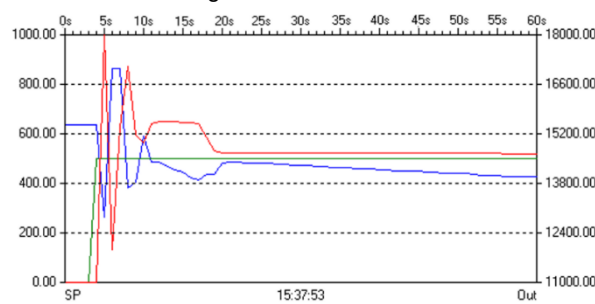
Fonte: Do autor (2023)

Figura 4 - Curva A



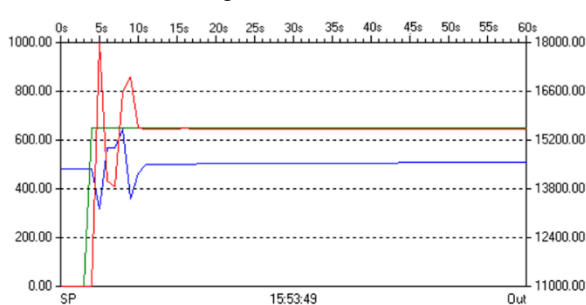
Fonte: Do autor (2023).

Figura 5 - Curva B.



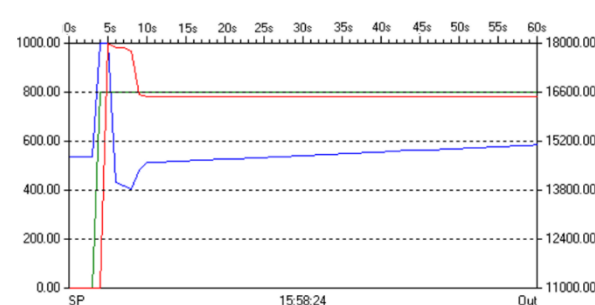
Fonte: Do autor (2023).

Figura 6 - Curva C.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 7 - Curva D.



Fonte: Do autor (2023).

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

 Sinal de Referência (Verde)
 Posição do Atuador (Vermelho)
 Sinal do Controlador (Azul)

Dadas as condições iniciais: partindo da posição zero, sem carga, com uma pressão de linha de 5 bar, o controle de posição foi realizado. Não linearidades foram notadas, ao repetir os testes com o mesmo K e Ti correspondente de cada curva, observou-se que a curva se assemelha, porém não são idênticas as mostradas nesse artigo, isso se deve a diversos fatores não lineares cuja influência pode ser atenuada realizando alguns procedimentos (melhor lubrificação para redução do atrito por exemplo).

Resultados e Discussão

Durante os testes realizados, observa-se que a posição final do atuador se encontra próxima ao valor pré-determinado (representado pela linha verde). No entanto, é evidente a presença de irregularidades durante o período transitório, indicando a existência de não linearidades no sistema. Além disso, nota-se que o sinal do controlador lógico programável (CLP), representado pela linha azul, procura compensar a posição real do atuador, representada pela linha vermelha. Isso evidencia a utilização de um controle PID, mostrando que o controle está de fato agindo como o esperado. Essas observações ressaltam a relevância do controle PID na mitigação das não linearidades e na obtenção de uma resposta mais precisa e estável do atuador. O comportamento do sistema durante o período transitório sugere que ainda existem oportunidades para melhorar o controle e reduzir as irregularidades identificadas. É de suma importância analisar minuciosamente as características dessas não linearidades e considerar estratégias adicionais para aprimorar o controle do atuador pneumático.

Conclusão

Com base nas observações dos gráficos, verifica-se que a implementação do controle de posição por diferença de pressão nas câmaras é viável. No entanto, devido às numerosas não linearidades intrínsecas ao sistema pneumático, tais como a compressibilidade do ar, o atrito das partes mecânicas e as descontinuidades no fornecimento de ar, a obtenção de um controle preciso e eficiente se torna um desafio significativo. Para superar essas não linearidades, é necessário adotar uma abordagem mais técnica e metódica, empregando métodos de controle específicos e, em alguns casos, recorrendo à utilização de técnicas com inteligência artificial, como demonstrado no artigo elaborado por Song e Findlay (2006).

Referências:

BAVARESCO, Delair. **Modelagem matemática e controle de um atuador pneumático**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS, 2007.

MACIEL, Eugênio. **Fundamentos da Física**. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2015. p. 33.

MUZY, Gabriel Almeida. **Sistema de posicionamento de um atuador pneumático comandado por válvulas proporcionais reguladoras de pressão**. Dissertação (Mestrado de Automação e controle de Processos) – Instituto Federal de São Paulo, São Paulo, SP, 2018.,

SONG, Q.; LIU, F.; FINDLAY, R. D. **Generalized Predictive Control for a Pneumatic System Based on an Optimized ARMAX Model with an Artificial Neural Network**. Proceedings of the IEEE international conference on computational intelligence for modelling control and automation, Vienna, Austria, pg. 223–228.