

Desenvolvimento e controle de um pêndulo amortecido atuado por uma hélice

Development and control of a damped pendulum actuated by a propeller.

RESUMO

O trabalho a ser apresentado tem como finalidade mostrar o desenvolvimento de um pêndulo amortecido atuado por uma hélice, em que o motor tem como função a alteração da posição angular em busca de um ponto de referência (*setpoint*), utilizando a aplicação de um controlador Proporcional Integrativo (PI). A pesquisa aborda a construção mecânica do protótipo, os componentes utilizados para a atuação da planta e para o seu sensoriamento. O trabalho também discorre acerca da aquisição e da verificação de dados aplicadas por meio da comunicação do software de controle com o microcontrolador Arduino® e a síntese dos ganhos do controlador. Ao final, a resposta controlada da posição angular do pêndulo amortecido é obtida e apresentada.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo didático. Pêndulo amortecido. Arduino®. Controle PI.

Bruno Vinicius Vaz

b.vaz@hotmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Júlio Yuzo Yassuda

yuzuyas@hotmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Emerson Ravazzi Pires da Silva

emersonr@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

ABSTRACT

The present work aims to show the development of a propeller-driven damped pendulum, in which the engine has the function of changing the angular position in search of a reference point, using an integrative proportional (PI) controller. The research approaches its mechanical construction, the components used for the plant actuation and for its sensing. The work also discusses the acquisition and verification of applied data through the communication between the control software with the Arduino® microcontroller and the development of the controller's gains. Thus, the controlled response of the angular position of the damped pendulum is obtained and presented.

KEYWORDS: Didactic model. Damped pendulum. Arduino®. PI Control.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Atualmente, procuram-se melhorias em todos os tipos de processos com a finalidade de obter maior confiabilidade na busca de respostas padronizadas, produzindo-se mais e gastando menos [1].

Dessa forma, o controle tornou-se fundamental nos procedimentos que necessitam de resultados precisos e padronizados, sendo essencial em todos os campos da engenharia e da ciência [2, 3, 4].

Dentre as diversas formas de controle existentes, o de posição é muito utilizado, por exemplo, nos setores industriais, em máquinas CNC, braços robóticos, válvulas proporcionais, entre outras [5].

Para o estudo de estratégias de controle, é inviável a paralisação de equipamentos como os citados acima, mas com a necessidade do aperfeiçoamento de estratégias de controle são desenvolvidos módulos didáticos para este fim. Com essa finalidade, o trabalho aborda a criação de um módulo didático de um pêndulo amortecido atuado por uma hélice.

O controle de posição de um pêndulo amortecido através de um motor com hélice tem o intuito de regular a posição angular pela atuação do motor localizado na extremidade de sua haste [6]. O motor rotaciona o pêndulo até a angulação desejada. Com isso, é possível estudar a comunicação do atuador e do sensor com o *software* que monitora o módulo e, ao mesmo tempo, estudar as diversas possibilidades de aplicação de estratégias de controle [7].

MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de desenvolver o pêndulo amortecido atuado por hélice, o trabalho trata primeiro do desenvolvimento da parte mecânica e em seguida aborda o desenvolvimento da parte de comunicação, análise de dados e controle.

Visando a parte mecânica, a estrutura é composta por duas partes, sendo uma fixa e outra móvel.

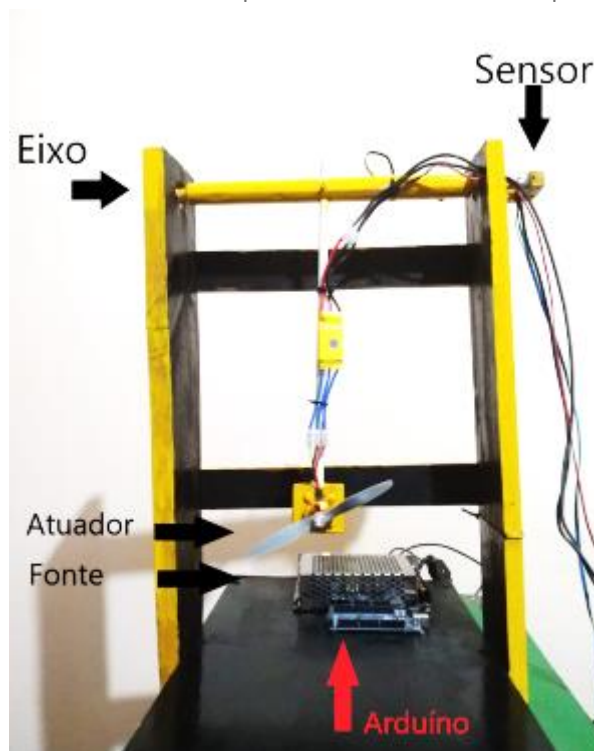
Essas partes são ligadas por um rolamento que permite que ocorra movimento entre elas [6]. Com isso, no módulo, é possível observar a parte fixa, utilizada para suporte, e uma parte móvel, composta pelo eixo de rotação, onde estão a haste e um motor fixo na extremidade.

O motor é responsável por buscar um ponto de referência (*set point* ou valor alvo), isso é feito através da alteração do ângulo, nesse projeto compreendido entre 0 e 90°, predeterminado no sistema de controle antes do início de seu funcionamento.

Como atuador do sistema, utiliza-se um motor *Brushless* de 1000kV com uma hélice acoplada em seu eixo, sendo acionado por um sinal oriundo da placa de comunicação Arduino® Mega2560. Para a sua alimentação, é necessário uma fonte externa pois a tensão/corrente fornecida pela placa é insuficiente, nesse caso foi utilizada uma fonte de 12V e 10A. Por fim, com a finalidade de controlar a velocidade de rotação do motor o módulo *electronic speed control* (ESC) de 30A foi ligado entre o motor e o Arduino®

Como sensor de posição angular, foi acoplado um potenciômetro, do tipo linear de $10k\Omega$, ao eixo de rotação, quando o potenciômetro gira uma simples conversão permite encontrar a posição em graus do sistema pêndulo amortecido. Com isso, foi possível encerrar a parte de construção e iniciar a parte de comunicação e controle. A Figura 1 mostra a construção do módulo didático.

Figura 1 – Módulo didático pêndulo amortecido atuado por hélice.



Fonte: Autoria própria.

A placa Arduino® foi utilizada para a aquisição de dados, já o processamento e o controle do módulo foram feitos pelo *software* Simulink®; para que ocorra a comunicação correta foi incorporado ao Matlab® o pacote *Simulink Support Package for Arduino® Hardware*, com isso a transmissão dos dados entre Simulink® e Arduino® ocorre instantaneamente.

Com o estabelecimento da comunicação foi possível elaborar o diagrama de blocos para o controle PI via *software* Simulink®. O diagrama é responsável pelo controle do módulo didático, bem como pela monitoria em tempo real, por exemplo, da variável controlada (nesse caso posição angular), sinal de controle e erro estacionário.

No diagrama de blocos, é possível observar o bloco *step* onde o *setpoint* pode ser alterado conforme a posição angular desejada pelo usuário. O bloco sensor recebe a leitura do potenciômetro e através de uma conversão permite que a leitura seja feita em graus.

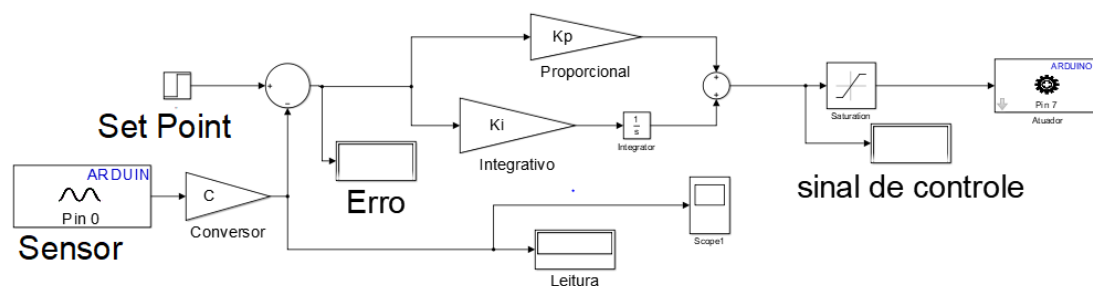
O sinal de erro é gerado através da comparação entre o *setpoint* e a leitura do sensor. Com base no erro, o controlador produz o sinal de controle, atuando na correção da posição angular do módulo pêndulo amortecido através do motor *Brushless* com hélice, levando a haste até a posição angular desejada.

O controle da planta é realizado por meio de um controlador proporcional integrativo (PI). A Equação (1) mostra a função de transferência do controlador.

$$G_{PI}(s) = K_p + \frac{K_I}{s} \quad (1)$$

Sendo K_p e K_I o ganho proporcional e o ganho integrativo, respectivamente. Neste projeto, os ganhos foram obtidos de maneira empírica após exaustivos testes experimentais. O diagrama de blocos de controle pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Diagrama de blocos de controle



Fonte: Autoria própria.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como mencionado anteriormente, nesse trabalho o controlador PI foi projetado de maneira empírica, e após diversos testes práticos os valores encontrados para K_p e K_I foram, respectivamente, 0,275 e 0,085.

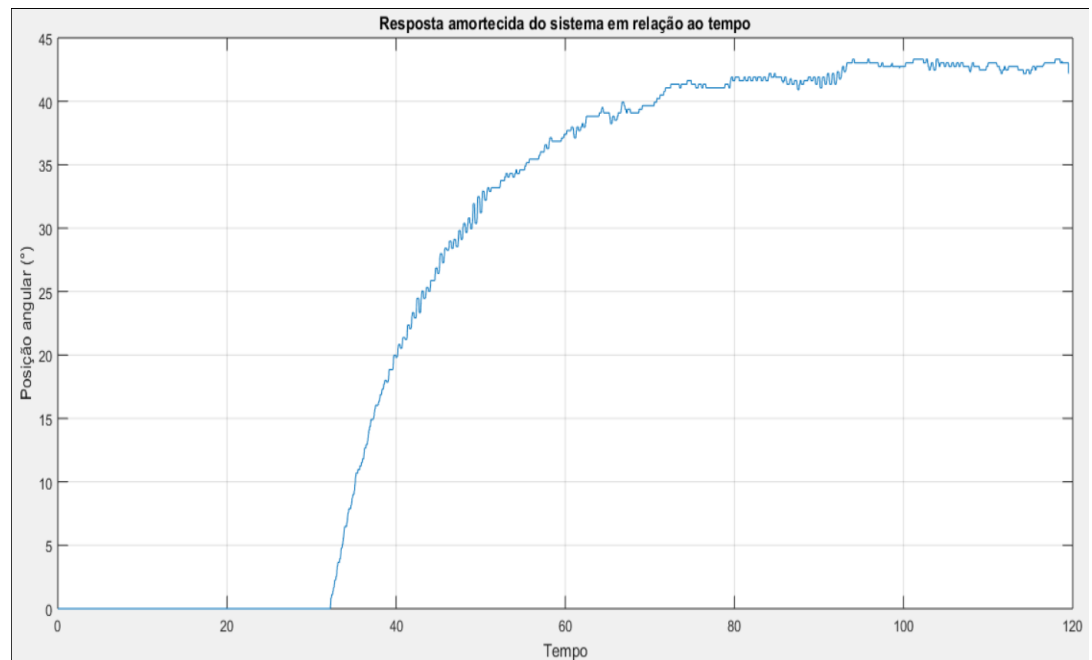
Após a construção do módulo didático, da realização da comunicação entre o módulo e o computador e a síntese do controlador PI, foi possível obter a resposta controlada da posição angular do pêndulo amortecido atuado por hélice.

É possível observar a resposta no diagrama de blocos de controle através do bloco *scope*, após a conversão do potenciômetro para graus. Na implementação, a referência (*setpoint*) escolhida para o controle angular do sistema foi de 43° , via uma entrada do tipo degrau de amplitude constante de 43.

A Figura 3 mostra a resposta do sistema em relação ao tempo, sendo possível observar uma resposta lenta, porém sem *overshoot*. Como os ganhos do controlador foram obtidos de forma empírica, sem levar em conta critérios de desempenho na abordagem do problema, pode ser uma possível justificativa para a lenta resposta do sistema. Percebe-se também, a existência de um tempo morto de aproximadamente 32 segundos, nesse intervalo o sinal de controle é insuficiente para acionar a hélice. Tais problemas serão analisados a fundo futuramente.

Após o início da atuação do motor, é possível observar que a haste sobe lentamente até próximo aos 43 graus (resposta desejada) apresentando um pequeno erro estacionário, provavelmente ocasionados pelos ganhos encontrados que não anularam por completo as imperfeições do sistema.

Figura 3 – Resposta ao degrau do sistema controlado



Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÃO

O objetivo principal do trabalho apresentado foi o desenvolvimento e controle de um pêndulo amortecido atuado por uma hélice, onde o módulo didático teve seu resultado validado através de um teste experimental. Para o controle do módulo, foi feita a síntese de um controlador PI de forma empírica através de diversos ensaios, observando a resposta do sistema considerando diferentes projetos, assim, possibilitando encontrar os ganhos K_P e K_I que conduziram o sistema a resultados satisfatórios.

O desenvolvimento do módulo didático permitiu aprofundar o conhecimento em áreas relacionadas a controle dinâmico, sensoriamento e comunicação de sistemas.

Por fim, o projeto exposto deixa grandes perspectivas de aperfeiçoamento para trabalhos futuros como, por exemplo, realizar a modelagem matemática do sistema, realizar a identificação do modelo, utilizar diferentes estratégias de controle com o intuito de obter resultados mais satisfatórios como, a título de exemplo, sínteses de controladores baseadas em modelo via técnicas de controle robusto.

REFERÊNCIAS

- [1] RIBEIRO, R. Implementação de um sistema de controle de um pêndulo invertido. Itajubá. 2007
- [2] OGATA, K. Engenharia de controle moderno. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- [3] NISE, N. S. Engenharia de Sistemas de Controle. 6ª ed. Rio de Janeiro, Brasil: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2010.
- [4] CASTRUCCI, P. de L.; BITTAR, A.; SALES, R. M. Controle automático. Rio de Janeiro. LTC, 2011.
- [5] SILVA, E. S. Sistema de Controle de Posição Aplicado a um Protótipo de Válvula Proporcional. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 3. 2017.
- [6] MALLARDO, E. C. Diseno y construccion de un prototipo de sistema motor-helice-balancin. Sevilla. 2011.
- [7] DORF, R. C.; BISHOP, R. H. Sistemas de controle modernos. 12. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2013