

Plataforma Aero-Pêndulo invertido destinado a ensaios de Engenharia - Controlador

Kleber Willian Albino lima Junior, Kevin Santos Dos Passos, Sofia Santos Dos Passos, José Henrique Galeti

Instituto Federal de Mato Grosso do Sul– Três Lagoas-MS

klebwiljunior@gmail.com , jose.galeti@ifms.edu.br

Resumo

Neste projeto é uma plataforma de ensaios de engenharia e controle composta por um pendulo capaz de equilibrar uma massa através de dois propulsores de ar (equilíbrio de um pendulo invertido). Os controladores para o sistema em malha fechada, com isso conseguimos ajustar a tensão e corrente enviada para o motor CC por um sinal PWM de forma que o Aero-Pêndulo atinja uma posição angular desejada. Uma plataforma de hardware, multifuncional(MyRIO), que proporcionará uma variedade de aplicações e ensaios, dera-se em um software integrada ao hardware(LabVIEW), que permite deste o projeto, passando pela simulação, ensaios e até o controle automático.

Palavras-chave: Aero Pêndulo, MyRIO, LabVIEW, Controle

Introdução

Para explica-se o funcionamento do aero-pêndulo pode-se utilizar como analogia um pêndulo simples, uma massa acoplada a um fio inextensível e fixo em uma extremidade a uma superfície [1].

No sistema desenvolvido o atuador, formado por um conjunto motor CC e hélice, faz com que o eixo se movimente, produzindo uma força que atua de forma contrária à gravidade, dependendo da posição do motor. Tal o sistema é conhecido como aero-pêndulo.

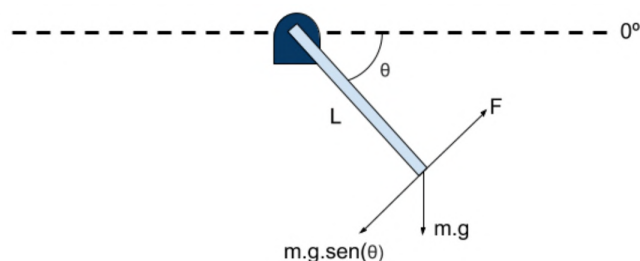
Por outro lado, o desenvolvimento da área de controle tem sido impulsionada por diversos trabalhos acadêmicos [2], [3], desde aplicações de controles clássicos como PID [4], [5], e para os casos em que se busca melhor desempenho, outras técnicas, como por exemplo, Redes Neurais Artificiais [6], Fuzzy [7], Modos Deslizantes [8] e dentre outros.

A aplicação de uma tensão no motor, a força gerada impulsiona o eixo para cima. Como descrito anteriormente, o objetivo do projeto é especificar uma posição angular para o eixo e mantê-lo nessa posição mesmo que ocorram perturbações. Ao controlar a tensão enviada para o motor é possível ajustar a posição angular do eixo, logo, a função de transferência que relaciona posição angular com tensão é de suma importância.

Embasamento teórico

Os desenvolvimentos do aero-pêndulo têm seus modelos matemáticos bem descritos na literatura, neste projeto especificamente, será descrito o modelo básico. Observe-se a Figura 1 podemos descrever a equação básica do equilíbrio de forças [9].

Figura 1 – Diagrama de forças do aero pêndulo



Fonte: (Adaptado de [10])

$$J \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} + c \cdot \frac{d\theta}{dt} + m \cdot g \cdot L \cdot \text{sen}(\theta) = F \quad (1)$$

De acordo com as Leis de Newton e Momento Angular, a equação do movimento para o aero pêndulo é a seguinte [1]:

Onde,

J = Momento de Inércia (kgm²)

θ = Posição angular (rad)

L = Comprimento do eixo (m)

c = Coeficiente de amortecimento viscoso (Nms/rad)

m = Massa do aero-pêndulo (kg)

F = Força gerada pelo conjunto motor e hélice (N)

g = Aceleração da gravidade (m/s²)

Na equação (1) o Coeficiente de Amortecimento Viscoso (c) representa o fator de proporcionalidade dessa força de atrito do ar [11]

Para realizar a medição dessa variável usamos a equação (2),

$$J = m \cdot L^2 \quad (2)$$

Observe-se o linearizando o sistema do aero-pêndulo em torno do ponto de operação que é o horizonte (0°), a aproximação para pequenos ângulos pode ser aplicada na equação (1),

$$J \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} + c \cdot \frac{d\theta}{dt} + m \cdot g \cdot L \cdot \theta = F \quad (3)$$

Aplica-se a transformada de Laplace a (3) e reorganizando os termos, tem-se:

$$\frac{\theta(s)}{F(s)} = \frac{1/J}{s^2 + \frac{c}{J} \cdot s + \frac{m \cdot g \cdot L}{J}} \quad (4)$$

Para o aero-pêndulo, o deslocamento angular é resultado do deslocamento de ar proporcionado pela rotação de hélice acoplada de um motor elétrico. Supondo que o motor elétrico escolhido é máquina de corrente contínua, existe uma relação entre a tensão aplicada aos seus terminais e a velocidade de rotação do eixo e, por consequência, uma relação com propulsão fornecida peça hélice acoplada.

O MyRIO é um hardware de múltiplas funções que reúne as principais funções da família de instrumentos RIO da National Instrument, e que trabalha-se de forma embarcada programas desenvolvidos no LabView. Foi desenvolvido com o propósito do desenvolvimento rápido de novas tecnologias voltado para a pesquisa e ensino, observe-se figura 2.

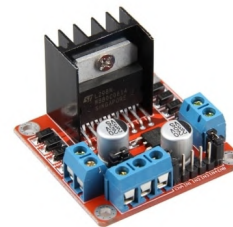
Figura 2-Fotografia do MyRio



Fonte: (National Instrument).

O driver é baseado no circuito integrado L298N. Observe-se a Figura 3. Com este Driver Ponte H L298N a velocidade e rotação de 2 motores DC ou 1 motor de passo. O mesmo possui dois canais e permite controlar velocidade e sentido de rotação de até dois motores ao mesmo tempo.

Figura 3-Amplificador Ponte-H – L298N



Fonte:(Driver Motor com Dupla Ponte-H – L298N)

Um dos circuitos mais importantes na elaboração de sistemas automatizados é a ponte H. Trata-se de um circuito utilizado para controlar um motor DC a partir de sinais gerados por um microcontrolador.

Experimental

Para o nível de potência requerido como o sinal PWM, seja acionado diretamente por um myrio observe-se figura 2, utilizar-se que o amplificador(ponte H observe-se figura 3) podem-se um aumento a corrente que esse motor seja acionado diretamente para os motores do drone embicado-se apenas os motores e estrutura pronto, o drone foi usado para fazer o Aero-Pêndulo, sendo necessário um sistema de condicionamento de potência para fornecer a corrente necessária para o motor, observe-se figura 4 e figura 5 mostra-se a estrutura que o drone esta voando-se e também muda-se o ângulo

Para esse caso a variável de interesse a pode-se medida como tensão e o ângulo θ formado entre o eixo, na direção do mastrear-se e a haste que sustenta o conjunto motor e hélice alterar-se o sentido anti-horário e horário, foi o uso de um potenciômetro acoplado ao eixo. Nesse caso, a variação de posição e mapeada em uma variação de tensão entre o terminal central do potenciômetro, observe-se a figura 4 e 5 onde da cor verde é o potenciômetro acoplado ao eixo podem-se trabalha ângulos

Figura 4 - Aero-Pêndulo o ângulo 0° C



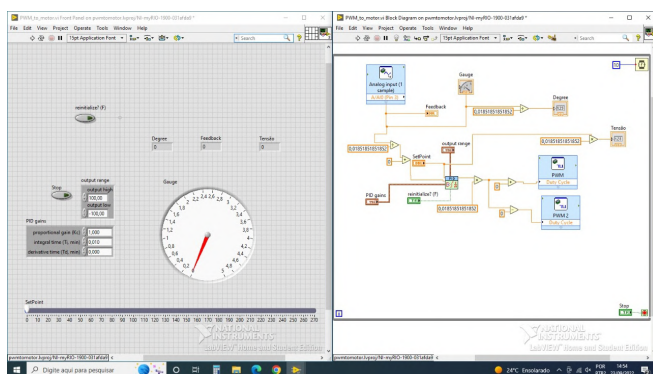
Fonte: (Elaboração Própria).

Figura 5-Aero-Pêndulo o ângulo 40°C



Fonte: (Elaboração Própria).

Figura 6-Tela do LabView, à esquerda a interface com o usuário, à direita os blocos de programação.



Fonte: (Elaboração Própria).

Resultados e Conclusões

Nesses os resultados foi projetado para o Aero-Pêndulo observe-se figura 6 são captura utilizada pela LabView e controlar pelo MyRio como o Aero-Pêndulo observe-se figura 4 e 5.

Todos as etapas construção e um sistema de controle realizada durante de desenvolvimento no laboratório de controle.

Referências

1. JOB, Mila Mary. *Modeling and Control of Mechatronic Aeropendulum. IEEE Sponsored 2nd International Conference on Innovations in Information Embedded and Communication Systems. 2015.*
2. TORGA, DIEGO S. et al. *Desenvolvimento de uma Bancada Didática para Práticas de Controle de Velocidade de Motor de Corrente Contínua.*

3. DE ANDRADE, ALEXANDRE ACACIO et al. *Elaboração de Bancadas Didáticas Para Automação Industrial Baseadas em CLPs e Freios de Foucault. Revista de Ensino de Engenharia, v. 35, n. 2, 2017.*

4. J. JUNG, V. Q. LEU, T. D. DO, E. KIM, H. H. CHOI, *Adaptive Pid Speed Control Design For Permanent Magnet Synchronous Motor Drives, IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no. 2, pp. 900-908, Feb. 2015.*

5. J. WANG, F. WANG, G. WANG, S. LI and L. YU, *Generalized Proportional Integral Observer-Based Robust Finite Control Set Predictive Current Control for Induction Motor Systems with Time-Varying Disturbances, in IEEE Transactions on Industrial Informatics, no prelo, 2018*

6. DE JESÚS RUBIO, JOSÉ ET AL. *Modeling and Control With Neural Networks For A Magnetic Levitation System. Neurocomputing, V. 227, P. 113-121, 2017.*

7. HORNG JH. *SCADA System Of Dc Motor With Implementation Of Fuzzy Logic Controller On Neural Network. Advances in Engineering Software. 2002;33(6):361-364*

8. A. F. A. FURTUNATO, A. O. SALAZAR e O. S. ARAÚJO, *Controlador De Velocidade Usando Modos Deslizantes Suaves Para Um Motor De Indução Trifásico, CONTROLE & AUTOMAÇÃO, vol. 12, 148-155, (2001).*

9. Yago Luiz Monteiro Silva, *Projeto, construção e controle de um aeropêndulo, Trabalho de conclusão de curso em controle e automação, Universidade Federal de Campina Grande, Dez. 2018*

10. Alexsandro Ferreira de Barros Júnior, *Construção e Projeto de Controle de um Aero Pêndulo utilizando Model-Based Design , Trabalho de conclusão de curso em controle e automação, Universidade Federal de Campina Grande, Dez. 2019*

11. MOHAMMADBAGHERI, A.; YAGHOUBI, M. *A new approach to control a driven pendulum with pid method. UKSim 13th International Conference on Modelling and Simulation, 2011.*