

ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ CƠ KHÍ NÉN NHÂN TẠO BẰNG CÁC BỘ ĐIỀU KHIỂN PID VÀ PI POSITION CONTROL OF A PNEUMATIC ARTIFICIAL MUSCLE BY PID AND PI CONTROLLERS

TRẦN VĨNH PHÚC^{1a}, NGÔ HIẾU NGHĨA¹, NGUYỄN MINH KHẢI¹

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

+ Tác giả liên hệ: ^aemail: phuctv@vlute.edu.vn

Nhận bài (Received): 13/12/2022; Phản biện (Reviewed): 03/01/2023; Chấp nhận (Accepted): 06/02/2023

TÓM TẮT

Trong bài báo này trình bày bộ điều khiển PID cho vấn đề điều khiển vị trí cơ khí nén tạo (PAM) kết hợp bộ điều khiển PI cho áp suất vào/ra PAM. Mô hình thực nghiệm được thiết lập nhằm chứng minh tính khả thi của bộ điều khiển. Thuật toán điều khiển được thực hiện trên phần mềm MATLAB/Simulink thông qua mạch điều khiển nhúng thời gian thực TI C2000 để điều khiển áp suất không khí vào/ra cơ nhân tạo khí nén, từ đó kiểm soát vị trí cơ. Kết quả nghiên cứu cho thấy khả năng kiểm soát vị trí của bộ điều khiển PID-PI với các hệ số tìm được bằng phương pháp thử sai là khá tốt với sai số gần bằng 1.5%, gần như không có vọt lố và thời gian xác lập là 1 giây. Ngoài ra còn có thể thấy được sự ảnh hưởng của tải treo đối với đáp ứng của hệ qua kết quả của bộ điều khiển áp suất.

Từ khóa: Cơ nhân tạo, bộ điều khiển PID, thiết bị truyền động.

ABSTRACT

In this paper, a PID controller is proposed for the position control of the pneumatic artificial muscle (PAM) combined with the PI controller for the air pressure in/out of the PAM. An experimental model was set up to demonstrate the feasibility of the controller. The control algorithm was implemented on the MATLAB/Simulink software through the TI C2000 real-time embedded control circuit to control the air pressure in/out of the pneumatic artificial muscle, thereby controlling the muscle position. The results show that the ability to control the position of the PID-PI controller with the coefficients found by trial and error is quite good, with an error of close to 1.5%, and there is almost no overshoot, and the set time is one second. In addition, the effect of the suspension load on the system response is observed through the results of the pressure controller.

Keywords: artificial muscle, PID controller, transmission equipment.

1. GIỚI THIỆU

Thiết bị truyền động cơ nhân tạo khí nén (PAM) cho thấy tiềm năng to lớn trong lĩnh vực người máy [1] và thiết bị phục hồi chức năng [2], [3] do sự nổi bật về đặc tính tỉ lệ lực/khối lượng và momen xoắn/khối

lượng cao [4]–[6]. PAM gồm ba thành phần chính: sợi bện bên ngoài, bóng cao su bên trong, nắp đậy và cổng nạp/xả khí. Khi cấp khí vào PAM thì PAM sẽ co lại, đường kính tăng lên và chiều dài giảm xuống từ đó sinh ra lực kéo dọc trục. Ngược lại, khi khí nén

được xả, PAM sẽ dẫn ra và dần trở lại trạng thái ban đầu. Lực co và chiều dài PAM phụ thuộc vào áp suất cấp vào bên trong PAM [7]–[9]. Mặc dù có nhiều đặc tính có lợi, nhưng tính phi tuyến cao [10]–[13] và hiện tượng trễ [14]–[16] khiến việc kiểm soát PAM gặp nhiều khó khăn, có nghiên cứu đã chú ý đến vấn đề phức tạp này [17]. Nghiên cứu này đề xuất bộ điều khiển PID cho việc kiểm soát vị trí PAM và **d** bộ điều khiển PI ở vòng trong cho việc kiểm soát áp suất trong PAM, đây là bộ điều khiển đơn giản, không đòi hỏi thiết bị điều khiển mạnh nên dễ dàng sử dụng trong các ứng dụng dân dụng và công nghiệp. Phần còn lại của bài báo được sắp xếp như sau. Phần 2 cung cấp nội dung của nghiên cứu bao gồm (1) phương pháp nghiên cứu, trong đó giới thiệu về thiết bị thực nghiệm và thuật toán điều khiển. (2) trình bày các kết quả thử nghiệm và thảo luận. Cuối cùng, phần 3 là kết luận.

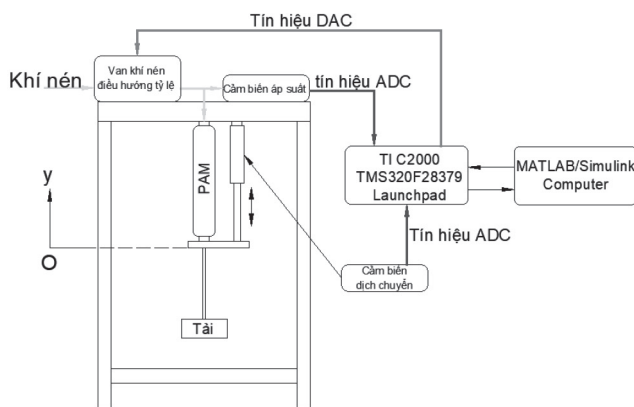
2. NỘI DUNG

2.1. Phương pháp nghiên cứu

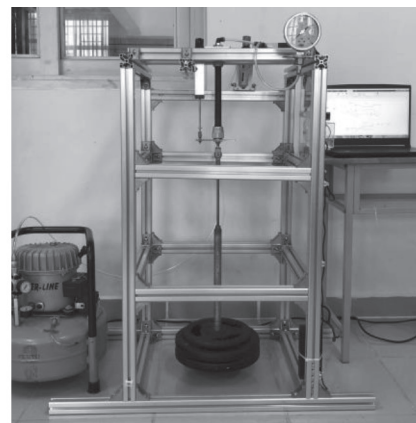
2.1.1. Thiết bị thực nghiệm

Việc thực nghiệm được tiến hành trên

PAM của hãng FESTO (loại MAS-20-200N), có đường kính 20 mm và chiều dài 200 mm khi ở trạng thái ban đầu. Dựa trên datasheet được cung cấp từ FESTO, PAM có thể co tối đa 25% so với chiều dài ban đầu ở áp suất 6 bar. Độ dịch chuyển được đo bằng cảm biến khoảng cách KTC của hãng AccuracyTM có khoảng đo từ 0-100 mm và áp suất bên trong PAM được đo bằng cảm biến áp suất SR13002A có dãy đo từ 0-10 bar của hãng Georgin. Khí nén được cung cấp thông qua van tỉ lệ điều hướng 5/3 (FESTO loại MPYE-5-1/8-HF-101B). Tất cả dữ liệu I/O đều được nhập và xuất bởi bộ vi điều khiển C2000 của hãng Texas Instruments (loại TMS320F28379D LaunchPAD), được nhúng vào máy tính thời gian thực. Các thuật toán điều khiển và đo lường được thực hiện dựa trên phần mềm MATLAB/Simulink. Tất cả dữ liệu I/O được truyền bởi bộ vi điều khiển Texas Instruments C2000 (loại TMS320F28379D LaunchPAD). Để thu được các kết quả trình bày trong nghiên cứu, mô hình tổng quát và mô hình thực nghiệm được triển khai theo hình 1a, b.



a)



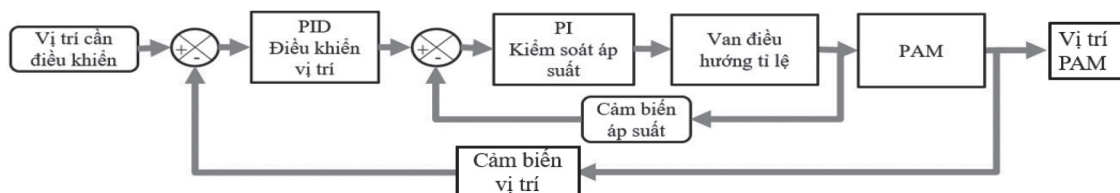
b)

Hình 1. a) Mô hình tổng quát; b) Mô hình thực nghiệm

2.1.2. Bộ điều khiển

Cấu trúc bộ điều khiển của hệ thống được trình bày trong hình 2, với hai vòng điều khiển. Trong đó, vòng điều khiển bên

trong sử dụng bộ điều khiển PI cho việc kiểm soát áp suất, điều này đảm bảo cho việc kiểm soát vị trí PAM bằng bộ điều khiển PID vòng điều khiển bên ngoài.

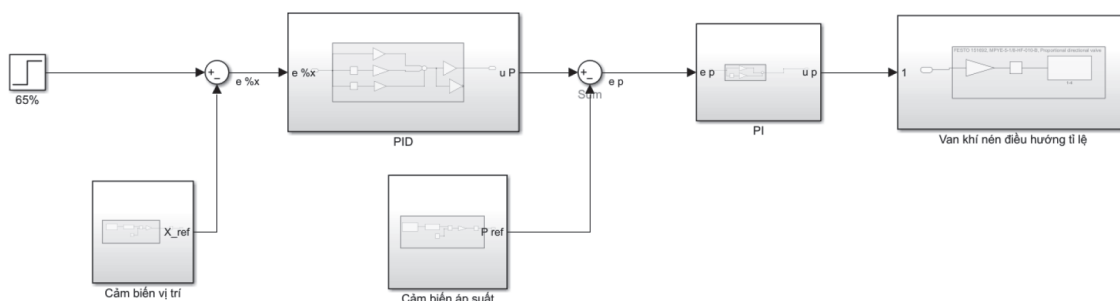


Hình 2. Cấu trúc Bộ điều khiển PID-PI

Bộ điều khiển PI: Bộ điều khiển tỉ lệ P là đủ cho việc kiểm soát hệ bậc nhất như áp suất. Tuy nhiên, áp suất trong PAM không chỉ phụ thuộc vào tính phi tuyến của lưu lượng khí đi qua van điều hướng mà còn phụ thuộc vào sự thay đổi thể tích, nhiệt độ không khí và sự rò rỉ không khí qua van. Do đó, thành phần I được thêm vào để loại bỏ các trạng thái không ổn định. Bằng cách thử sai, thông số của bộ điều khiển PI được xác định lần lượt, K_p là 0.9 và K_i là

6.01666. Bộ điều khiển PI cho việc kiểm soát áp suất được giữ không đổi trong tất cả các thực nghiệm của nghiên cứu.

Bộ điều khiển PID: Bộ điều khiển PID ở vòng ngoài được xây dựng cho mục đích kiểm soát vị trí PAM thông qua phần mềm MATLAB/simulink được thể hiện trong hình 3. Với các hệ số K_p , K_i , K_d tìm được từ phương pháp thử sai lần lượt là 0.116, 1.103, 0.009.



Hình 3. Chương trình điều khiển trên phần mềm MATLAB/Simulink

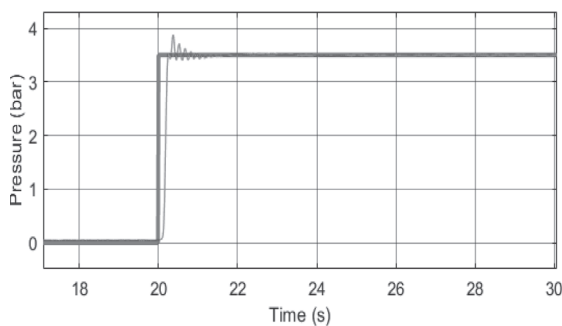
2.2. Kết quả và thảo luận

Trong quá trình nghiên cứu bộ điều khiển vị trí cho PAM, sử dụng tín hiệu vào là hàm nấc và treo vật có tải trọng 25 kg đã thu được những kết quả như sau:

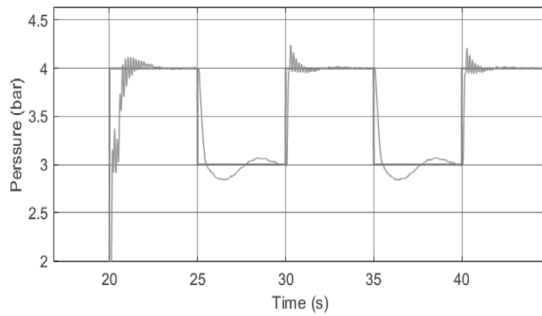
2.2.1. Đáp ứng áp suất của van khí nén

Nghiên cứu tiến hành thực nghiệm với hai tín hiệu đầu vào khác nhau là hàm nấc (hình 4) và xung vuông có tần số 0.1 Hz (hình 5) trong việc đánh giá khả năng kiểm soát áp suất của bộ điều khiển PI. Có thể nhận thấy rằng thời gian quá độ của tín hiệu là 1.5 giây, có độ vọt lố là 0.3 bar là đủ tốt để tiến hành xây dựng bộ điều khiển vị trí ở vòng ngoài. Bên cạnh đó, đáp ứng

cạnh xuống chậm hơn đáp ứng cạnh lên là do PAM là thiết bị hút khí một chiều, nên đáp ứng cạnh xuống phụ thuộc vào tải trọng của vật treo. Tải trọng của vật treo nặng hơn thì đáp ứng của cạnh xuống sẽ nhanh hơn.



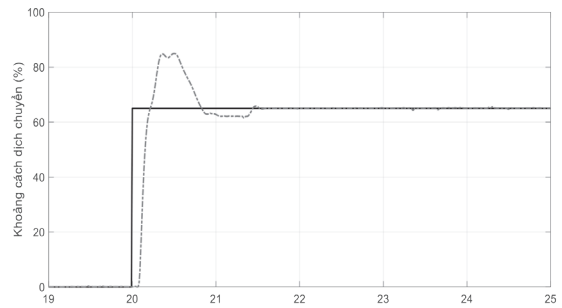
Hình 4. Đáp ứng của áp suất với đầu vào là Step sau khi tinh chỉnh.



Hình 5. Đáp ứng áp suất với đầu vào là xung vuông sau khi tinh chỉnh

2.2.2. Đáp ứng của bộ điều khiển PID với các hệ số được tìm bằng phương pháp Ziegler-Nichlos (Z-N)

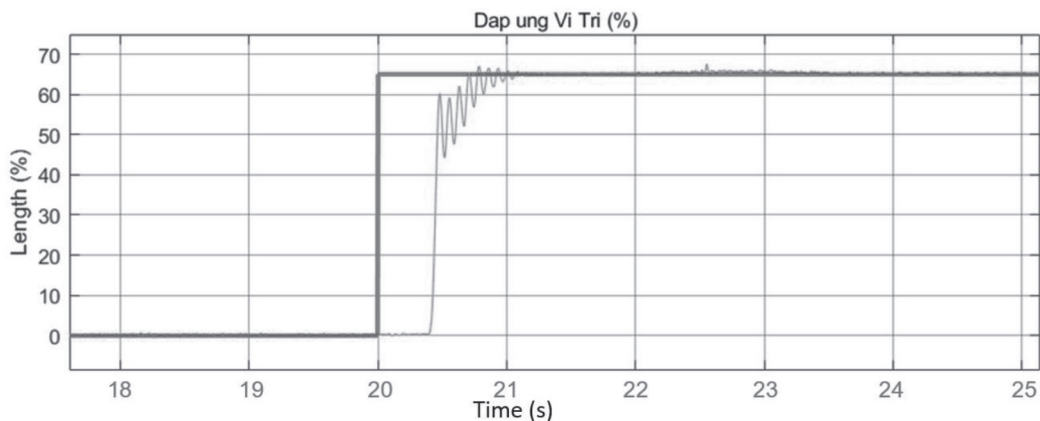
Thực nghiệm trên mô hình thu được hệ số $K_{gh} = 6$ và $T_{gh} = 0.204$ giây. Từ đó xác định các hệ số $K_p = 3.6$, $K_i = 35.29$ và $K_d = 0.09$. Khi sử dụng bộ điều khiển PID với những thông số đã tìm được, kết quả được thể hiện ở hình 6: sai số của đáp ứng vị trí là $\pm 4\%$, thời gian quá độ là 1.5 giây, độ vọt lố là 35%.



Hình 6. Đáp ứng vị trí với đầu vào Step

2.2.3. Đáp ứng của bộ điều khiển PID với các hệ số được tìm bằng phương pháp thử sai

Thực hiện thử nghiệm tìm thông số bộ điều khiển vị trí bằng phương pháp thử sai, với các hệ số $K_p = 0.116$, $K_i = 1.103$ và $K_d = 6.0166$, kết quả được trình bày trong hình 6 như sau: thời gian quá độ của tín hiệu là 1 giây, với sai số là $\pm 1.5\%$, gần như không có vọt lố.



Hình 6. Đáp ứng vị trí với đầu vào là Step.

3. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, hệ thống thực nghiệm bao gồm PAM và van khí nén tuyến tính điều khiển lưu lượng khí qua van. Do đó cần có bộ điều khiển kiểm soát áp suất vào/ra PAM thì mới có thể điều khiển tốt vị trí của PAM. Bên cạnh đó việc áp dụng phương pháp **Z-N cho** bộ điều khiển hai

tầng chưa thật sự tốt. Các hệ số tìm được từ phương pháp Z-N được dùng làm cơ sở cho phương pháp thử sai, sau khi tinh chỉnh các thông số PI kiểm soát áp suất và PID kiểm soát vị trí thì kết quả được cải thiện rõ rệt, cụ thể là sai số giảm 25%, thời gian xác lập giảm 0.1 giây và gần như không có vọt lố.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1] R. M. Robinson, C. S. Kothera, and N. M. Wereley, "Variable Recruitment Testing of Pneumatic Artificial Muscles for Robotic Manipulators," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 20, no. 4, pp. 1642–1652, Aug. 2015, doi: 10.1109/TMECH.2014.2341660.
- [2] A. Merola, D. Colacino, C. Cosentino, and F. Amato, "Model-based tracking control design, implementation of embedded digital controller and testing of a biomechatronic device for robotic rehabilitation," *Mechatronics*, vol. 52, no. February, pp. 70–77, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.mechatronics.2018.04.006.
- [3] S. Hussain, P. K. Jamwal, M. H. Ghayesh, and S. Q. Xie, "Assist-as-Needed Control of an Intrinsically Compliant Robotic Gait Training Orthosis," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 64, no. 2, pp. 1675–1685, Feb. 2017, doi: 10.1109/TIE.2016.2580123.
- [4] J. M. Hollerbach, I. M. Hunter, and J. Ballentyne, "A comparative analysis of actuator technologies for robotics," *The Robotics Review* 2. p. 342, 1991.
- [5] B. Hannaford, J. M. Winters, C. P. Chou, and P. H. Marbot, "The anthroform biorobotic arm: A system for the study of spinal circuits," *Ann. Biomed. Eng.*, vol. 23, no. 4, pp. 399–408, Jul. 1995, doi: 10.1007/BF02584440.
- [6] D. H. Plettenburg, "Pneumatic actuators: A comparison of energy-to-mass ratio's," in *Proceedings of the 2005 IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics*, 2005, vol. 2005, pp. 545–549. doi: 10.1109/ICORR.2005.1502022.
- [7] M. D. Doumit and S. Pardoel, "Dynamic contraction behaviour of pneumatic artificial muscle," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 91, pp. 93–110, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.ymssp.2017.01.001.
- [8] W. Felt, K. Y. Chin, and C. D. Remy, "Contraction Sensing with Smart Braid McKibben Muscles," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 21, no. 3, pp. 1201–1209, Jun. 2016, doi: 10.1109/TMECH.2015.2493782.
- [9] J. Sarosi, I. Biro, J. Nemeth, and L. Cveticanin, "Dynamic modeling of a pneumatic muscle actuator with two-direction motion," *Mech. Mach. Theory*, vol. 85, pp. 25–34, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2014.11.006.
- [10] C. P. Chou and B. Hannaford, "Measurement and modeling of McKibben pneumatic artificial muscles," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 12, no. 1, pp. 90–102, 1996, doi: 10.1109/70.481753.
- [11] G. K. Klute and B. Hannaford, "Accounting for Elastic Energy Storage in McKibben Artificial Muscle Actuators," *J. Dyn. Syst. Meas. Control*, vol. 122, no. 2, pp. 386–388, Jun. 2000, doi: 10.1115/1.482478.

- [12] B. Tondu and P. Lopez, "Modeling and control of McKibben artificial muscle robot actuators," *IEEE Control Syst.*, vol. 20, no. 2, pp. 15–38, Apr. 2000, doi: 10.1109/37.833638.
- [13] B. Tondu, S. Ippolito, J. Guiochet, and A. Daidie, "A Seven-degrees-of-freedom robot-arm driven by pneumatic artificial muscles for humanoid robots," *Int. J. Rob. Res.*, vol. 24, no. 4, pp. 257–274, Apr. 2005, doi: 10.1177/0278364905052437.
- [14] S. Shakiba, M. Ourak, E. Vander Poorten, M. Ayati, and A. Yousefi-Koma, "Modeling and compensation of asymmetric rate-dependent hysteresis of a miniature pneumatic artificial muscle-based catheter," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 154, p. 107532, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.ymssp.2020.107532.
- [15] S. L. Xie, H. T. Liu, and Y. Wang, "A method for the length-pressure hysteresis modeling of pneumatic artificial muscles," *Sci. China Technol. Sci.*, vol. 63, no. 5, pp. 829–837, 2020, doi: 10.1007/s11431-019-9554-y.
- [16] M. Al Saaideh and M. Al Janaideh, "On Prandtl-Ishlinskii Hysteresis Modeling of a Loaded Pneumatic Artificial Muscle," *ASME Lett. Dyn. Syst. Control*, pp. 1–12, Jun. 2022, doi: 10.1115/1.4054779.
- [17] M. Chavoshian, M. Taghizadeh, and M. Mazare, "Hybrid Dynamic Neural Network and PID Control of Pneumatic Artificial Muscle Using the PSO Algorithm," *Int. J. Autom. Comput.*, vol. 17, no. 3, pp. 428–438, 2020, doi: 10.1007/s11633-019-1196-5.