

NHẬN DẠNG VÀ TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN PID ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG MÁY BƠM TRÊN NỀN TẢNG NHÚNG VÀ WEB

IDENTIFICATION AND SYNTHETIC PID CONTROLLER PUMP SYSTEM CONTROL ON EMBEDDED PLATFORMS AND WED

Trịnh Long¹, Lê Quang Giáp², Phạm Sơn Lâm², Thái Hữu Nguyên¹,
Trần Thị Quỳnh Oanh³, Nguyễn Văn Dũng⁴, Lê Xuân Hải^{5*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.33>

TÓM TẮT

Hệ thống máy bơm nước là một hệ truyền động gồm biến tần, máy bơm nước và hệ thống ống dẫn nước. Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu trình bày về việc nhận dạng mô hình hệ thống máy bơm bằng công cụ Matlab Identification kết hợp ứng dụng giải thuật PID và công nghệ IoT trên nền tảng ESP32 nhằm kiểm soát áp suất trong đường ống nước. Ngoài ra hệ thống còn được điều khiển và giám sát thông qua giao diện Web. Giải thuật dựa trên phương pháp thực nghiệm nhằm đánh giá mức độ ảnh hưởng giữa tín hiệu điều khiển đầu vào và tín hiệu đầu ra. Từ đó xây dựng bộ điều khiển PID cho áp suất trong đường ống. Kết quả cho thấy, chất lượng của hệ thống đáp ứng tốt với các giá trị đặt, đồng thời đảm bảo được thời gian xác lập.

Từ khóa: Matlab Identification, bộ điều khiển PID, ESP32.

ABSTRACT

The water pump system is a drive system which includes an inverter, a pump, and a plumbing system. This paper presents a model determination of the pumping system by Matlab Identification Tool in combination with the PID algorithm and IoT technology on platform ESP32 in order to control water pipe pressure. In addition, the system can be monitored and controlled via the Web interface. The proposed algorithm is based on an experimental method to evaluate the influence between the input control signal and the output signal. From there, a PID controller is built to control the pressure in the pipeline. The experimental results show that the system's quality meets the preset values with a setup time interval.

Keywords: Matlab Identification, PID controller, ESP32.

¹Khoa Điện, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh

²Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

³Khoa Điện - Tự động hóa, Trường Cao đẳng Kỹ thuật Công nghiệp

⁴Trường Cao đẳng cơ điện xây dựng Bắc Ninh

⁵Trường Quốc tế, Trường Đại học Quốc gia Hà Nội

*Email: hailx@vnu.edu.vn

Ngày nhận bài: 28/8/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 30/9/2022

Ngày chấp nhận đăng: 27/10/2022

1. GIỚI THIỆU

Hệ thống máy bơm nước là một hệ thống rất phổ biến, từ các hệ thống tưới tiêu trong nông nghiệp, hệ thống

nước tòa nhà tới các hệ thống trong công nghiệp. Việc kiểm soát áp suất trong đường ống dẫn là việc hết sức quan trọng để đảm bảo an toàn, tránh hiện tượng nứt, vỡ đường ống. Tuy nhiên ở Việt Nam hiện nay, vấn đề này chủ yếu được khắc phục thông qua việc chọn linh kiện hệ thống. Vì vậy khi áp dụng các các hệ thống lớn hơn, đòi hỏi kiểm soát cao hơn thì việc đưa tự động ổn định áp suất là việc hết sức cần thiết.

Hệ thống máy bơm nước là một hệ thống rất phổ biến, từ các hệ thống tưới tiêu trong nông nghiệp, hệ thống nước tòa nhà tới các hệ thống trong công nghiệp. Việc kiểm soát áp suất trong đường ống dẫn là việc hết sức quan trọng để đảm bảo an toàn, tránh hiện tượng nứt, vỡ đường ống. Tuy nhiên ở Việt Nam hiện nay, vấn đề này chủ yếu được khắc phục thông qua việc chọn linh kiện hệ thống. Vì vậy khi áp dụng các các hệ thống lớn hơn, đòi hỏi kiểm soát cao hơn thì việc đưa tự động ổn định áp suất là việc hết sức cần thiết.

Thách thức đầu tiên trong việc điều khiển áp suất hệ thống bơm nước đây là việc tìm ra được mô hình của hệ thống. Trong [1, 2] đã đề cập đến cách nhận diện hệ thống biến tần-động cơ nhằm mục đích tính toán được bộ điều khiển tối ưu. Ngoài ra, việc xây dựng được hệ thống điều khiển và giám sát thông minh bằng vi điều khiển và hệ biến tần - động cơ xoay chiều được đề cập trong [3, 4].

Bộ điều khiển PID là bộ điều khiển được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển công nghiệp. Trong [5] tác giả đã xây dựng bộ điều khiển PID cho động cơ 3 pha dựa theo phương pháp tối ưu bầy đàn. Trong khi đó ở [6] tác giả đã sử dụng thuật toán thông minh fuzzy-PID kết hợp với thuật toán PSO để điều khiển cho lò điện trở. Cả [5, 6] đều đã sử dụng thuật toán PID để điều khiển những hệ thống riêng biệt và đều đạt được kết quả tốt. Từ đó nhóm nghiên cứu đã quyết định xây dựng bộ điều khiển PID theo [7] cho hệ truyền động biến tần-động cơ trong mô hình máy bơm IoT.

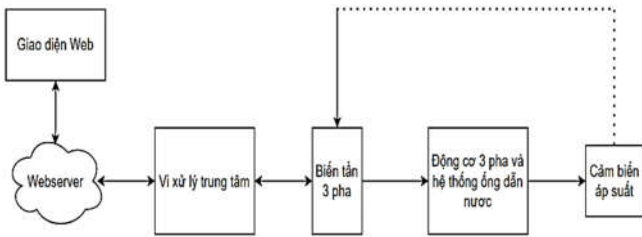
Trong bài báo này, chúng tôi sẽ sử dụng một phương pháp mô hình hóa hệ thống bằng thực nghiệm được đề cập trong [8] và xây dựng một hệ thống thực để kiểm tra hiệu quả của việc sử dụng thuật toán điều khiển thông minh trong việc ổn định áp suất đường ống trong hệ thống

bơm nước. Ngoài ra chúng tôi cũng sẽ xây dựng một hệ thống giám sát trên nền tảng Web. Hệ thống máy bơm nước mà chúng tôi đã thiết kế trong bài toán này.

2. MÔ HÌNH HỆ THỐNG

Để rút ra mô hình của hệ thống máy bơm, chúng ta phải xây dựng được hàm truyền của biến tần, động cơ máy bơm và hệ thống ống nước. MATLAB Identification toolbox sẽ được sử dụng để giúp chúng ta rút ra được mô hình của cả hệ thống máy bơm.

Động cơ máy bơm nước (động cơ 3 pha) sẽ được điều khiển bằng biến tần. Một cảm biến áp suất được gắn trong hệ thống ống nước sẽ cho chúng ta biết được giá trị áp suất nước có trong đường ống. Luật điều khiển sẽ được phát triển dựa vào mô hình hở của hệ thống, có thể được tính toán thông qua sự thay đổi của đầu ra áp suất và đầu vào tần số từ biến tần. Hình 1 mô tả sơ đồ khối của mô hình hở hệ thống, bao gồm biến tần 3 pha, hệ thống máy bơm (máy bơm và hệ thống ống nước), cảm biến áp suất 0 - 1000kPa, vi điều khiển Arduino và giao diện Web.



Hình 1. Sơ đồ khối mô hình hở hệ thống

Sau khi lấy mẫu dữ liệu, chúng ta sẽ sử dụng công cụ Matlab Identification toolbox để xác định mô hình của hệ thống.

Các bước sử dụng Matlab Identification toolbox:

- Dữ liệu sau khi thu thập sẽ được lưu trong file Excel và sau đó được xử lý trên SIT(System Identification toolbox) của Matlab. Tập này bao gồm dữ liệu đầu vào và đầu ra của hệ thống, đầu vào là tần số tối đa cấp cho biến tần và đầu ra là áp suất nước trong đường ống.

Time	Frequency	Pressure
1	0	0
2	50,00	1,5
3	50,00	4
4	50,00	8
5	50,00	1,25
6	50,00	9
7	50,00	10,25
8	50,00	10,25
9	50,00	13,25
10	50,00	14
11	50,00	17,75
12	50,00	21,5
13	50,00	20,25
14	50,00	22,75
15	50,00	23,25
16	50,00	24
17	50,00	30,25
18	50,00	30,25
19	50,00	31,5
20	50,00	34
21	50,00	35,25
22	50,00	36,5
23	50,00	39
24	50,00	39
25	50,00	41,5
26	50,00	44
27	50,00	44

Hình 2. Dữ liệu đầu vào và đầu ra trong file Excel

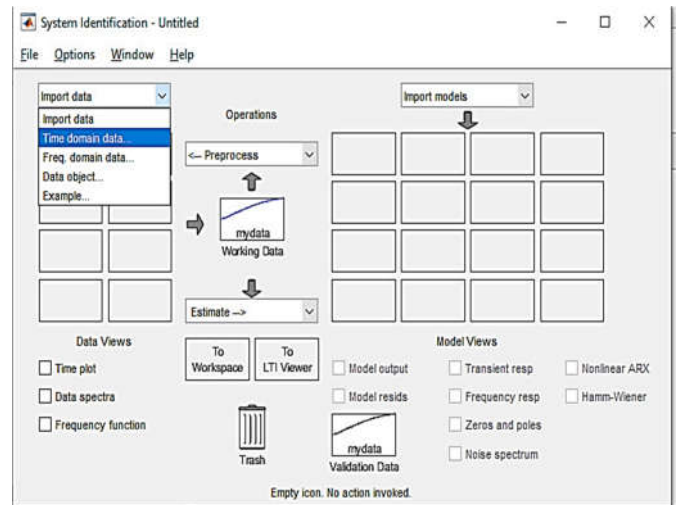
- Đầu tiên, chúng ta sẽ xuất dữ liệu trong file Excel vào trong Workspace của Matlab bằng cách sử dụng lệnh xlsread().

```
>> u1=xlsread('F:\tailieu\Máy Bơm IOT\Lay_mau',1,'A1:A300');
y1=xlsread('F:\tailieu\Máy Bơm IOT\Lay_mau',1,'B1:B300');
save ident u1 y1;
ident u1 y1;
```

Hình 3. Lệnh để xuất dữ liệu từ Excel vào Matlab

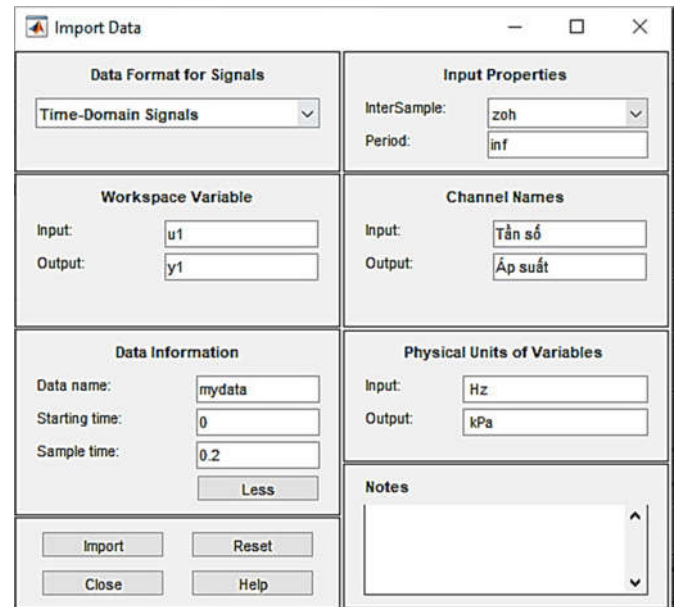
Trong đó: u1, y1 lần lượt là dữ liệu đầu vào và đầu ra.

- Sau đó, mở SIT bằng lệnh "ident". Chọn vào Import data và sau đó chọn Time domain data...



Hình 4. Chọn Time domain data.

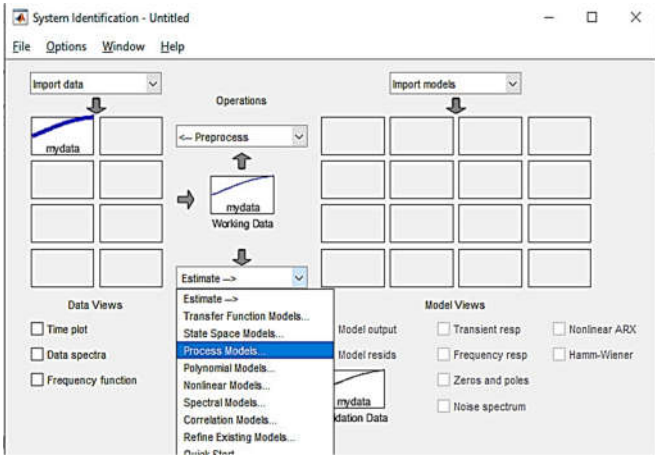
- Sau khi chọn Time domain data... bảng sau sẽ mở ra:



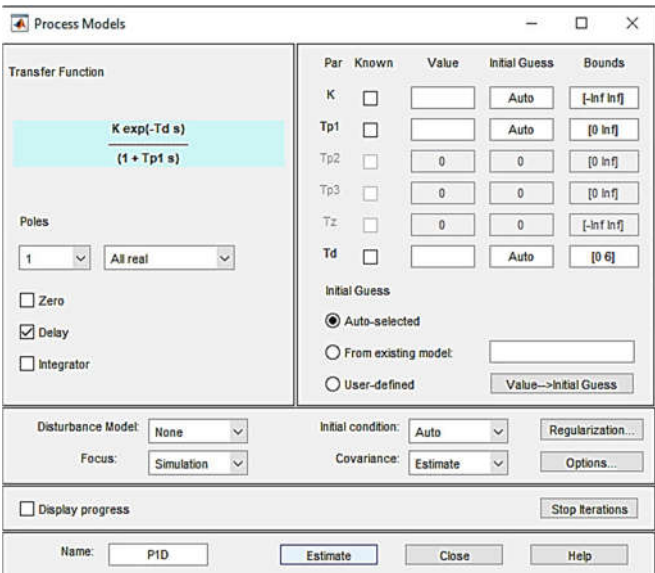
Hình 5. Giao diện Import Data

Chúng ta sẽ nhập đầu vào, đầu ra và các đơn vị tương ứng. Data name là tên dữ liệu mà chúng ta đã đặt tên trước đó. Starting time là 0 và Sample time là 0,2. Chọn Import để hoàn tất quá trình nhập dữ liệu.

- Quay trở lại SIT, chọn Estimate, sau đó chọn Process Model để lựa chọn loại mô hình của hệ thống. Chọn Delay để chọn hệ có trễ.

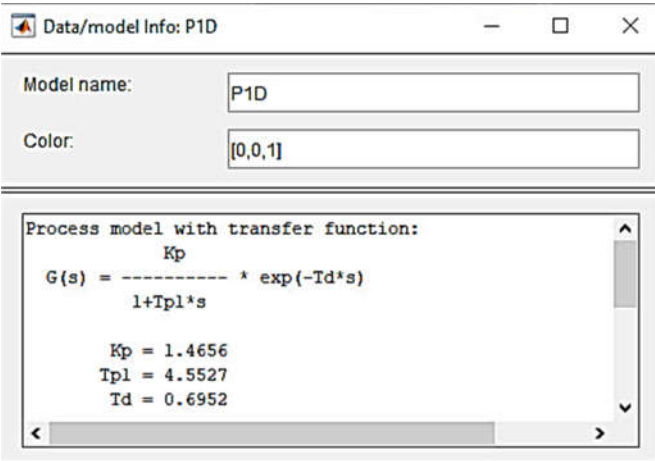


Hình 6. Chọn Process model



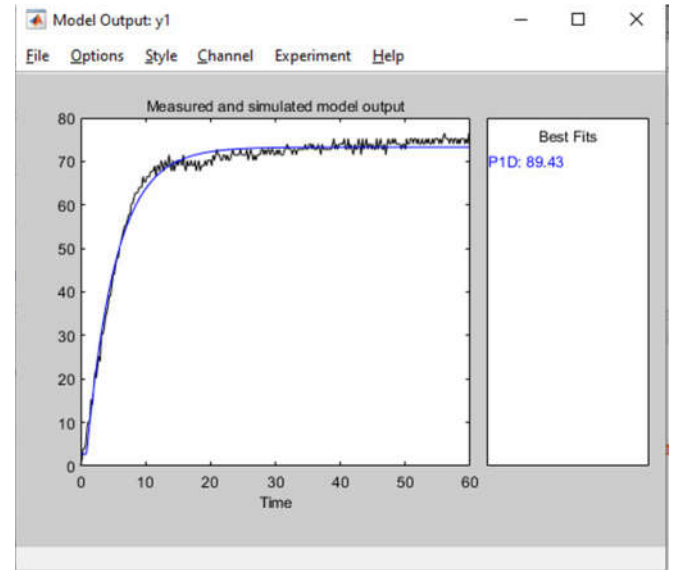
Hình 7. Giao diện Process Model

Chọn Estimate, chúng ta sẽ thu được hàm truyền của hệ thống.



Hình 8. Hệ số hàm truyền khâu quán tính bậc nhất có trễ

Ta thu được độ khớp giữa mô hình tính toán và hệ thống thực:



Hình 9. Độ khớp mô hình của khâu quán tính bậc nhất có trễ

Sau khi sử dụng công cụ Matlab Identification toolbox, chúng ta thu được hàm truyền hệ hở của hệ thống với độ khớp là 89,43%:

$$G(s) = \frac{1,4656}{1 + 4,5527s} e^{-0,6952s}$$

Sau khi xác định được mô hình của hệ thống, chúng ta ta sẽ thiết kế bộ điều khiển PID và sẽ được đề cập cụ thể ở phần 3.

3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN

3.1. Thiết kế thuật toán điều khiển

- Ta xấp xỉ đối tượng về khâu quán tính bậc 2:

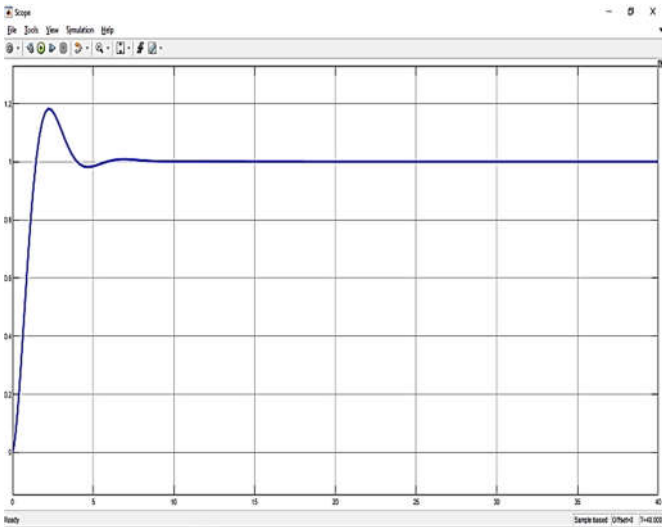
$$G(s) = \frac{1,4656}{1 + 4,5527s} e^{-0,6952s} = \frac{1,4656}{(1 + 4,5527s)(1 + 0,6952s)}$$

- Sau khi tính toán các tham số PID, chúng tôi thu được bảng 2.

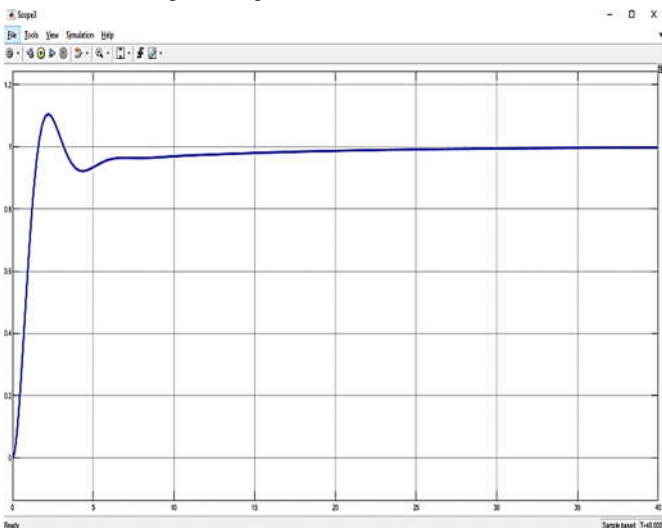
Bảng 2. Các tham số

Phương pháp	Công thức tham số	Giá trị tham số
Ziegler-Nichols 1	$K_p = \frac{1,2T}{kL} \approx 5,3620$ $T_1 = 2L = 1,3904$ $T_D = 0,5L = 0,2476$	$k = 1,4656$ $T = 4,5527$ $L = 0,6952$
Phương pháp tối ưu module	$T_1 = T_1 = 4,5527$ $K_p = \frac{T_1}{2kT_2} = 2,2342$ $K_i = \frac{1}{2kT_2} = 0,4907$	$k = 1,4656$ $T_1 = 4,5527$ $T_2 = 0,6952$

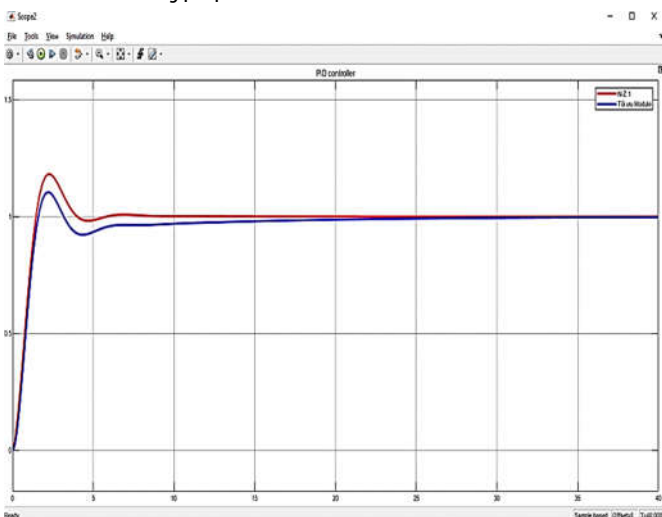
Sau khi nhúng các tham số vào Matlab-Simulink chúng ta có kết quả như thể hiện trong hình 10, 11, 12.



Hình 10. Phương pháp Ziegler-Nichols 1



Hình 11. Phương pháp tối ưu module



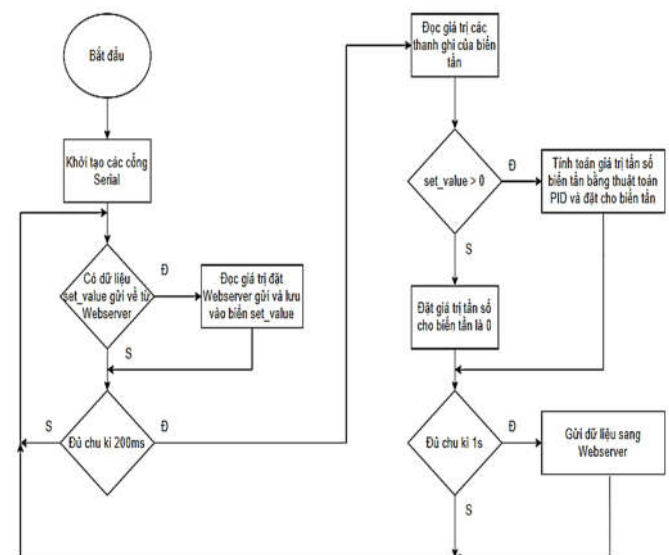
Hình 12. So sánh phương pháp Ziegler-Nichols 1 và tối ưu module

Từ kết quả mô phỏng cho thấy, bộ điều khiển PID được xây dựng theo phương pháp Ziegler-Nichols 1 cho khả năng đáp ứng hệ thống tốt hơn.

3.2. Thiết lập chạy thử

Hệ thống chạy thử của chúng ta bao gồm: vi điều khiển Arduino Mega 2560, vi điều khiển ESP32, biến tần ba pha KCLY KOC100, cảm biến áp suất 0 - 1000kPa, máy bơm 3 pha và hệ thống ống dẫn nước. Arduino Mega 2560 là bộ xử lý trung tâm và ESP32 đóng vai trò như một Webserver. Hai vi điều khiển này giao tiếp với nhau qua chuẩn Uart. Ngoài ra, để có thể thay đổi tần số của biến tần cũng như lấy dữ liệu về từ thanh ghi của biến tần, Arduino Mega 2560 và biến tần sẽ giao tiếp với nhau bằng giao thức Modbus, sử dụng chuẩn giao tiếp vật lý RS485. Đầu ra của biến tần được kết nối trực tiếp với động cơ ba pha. Cảm biến áp suất được gắn trực tiếp trên hệ thống ống dẫn nước. Do đầu ra của cảm biến áp suất là dạng dòng điện 4 - 20mA và biến tần cũng có một cổng vào analog AI2(Analog Input 2) 4 - 20mA, nên chúng ta sẽ kết nối cảm biến với AI2 và đọc giá trị cảm biến ở thanh ghi biến tần, thay vì phải sử dụng một bộ biến đổi để có thể kết nối với Arduino.

3.3. Thiết kế phần mềm



Hình 13. Lưu đồ thuật toán bộ xử lý trung tâm

Các thuật toán được nêu ở hình 13 sẽ được nhúng vào vi điều khiển Arduino Mega2560. Có bốn công việc chính mà bộ xử lý trung tâm phải thực hiện. Thứ nhất, Arduino Mega2560 đọc và xử lý tín hiệu gửi về từ Webserver (ESP32) nếu có. Tín hiệu gửi về này chứa giá trị đặt áp suất của hệ thống (set_value). Thứ hai, Arduino sẽ đọc các thanh ghi chứa thông tin cần thiết (trong đó thông tin về dòng điện đầu vào AI2 - chứa giá trị cảm biến áp suất gửi về là quan trọng nhất). Thứ ba, Arduino cần tính toán và gửi giá trị tần số chạy cho biến tần để điều khiển ổn định áp suất nước trong đường ống bằng với áp suất đặt. Việc tính toán này sẽ dựa vào thuật toán điều khiển PID và sai lệch giữa giá trị đặt (set_value) với giá trị thực đo được (pv_value) của hệ thống. Ba công việc này sẽ được thực hiện mỗi 200ms. Cuối cùng, Arduino sẽ gửi các giá trị đọc được từ thanh ghi của biến tần sang Webserver để có thể hiển thị lên giao diện Web. Chu kỳ thực hiện nhiệm vụ thứ tư này là 1s.

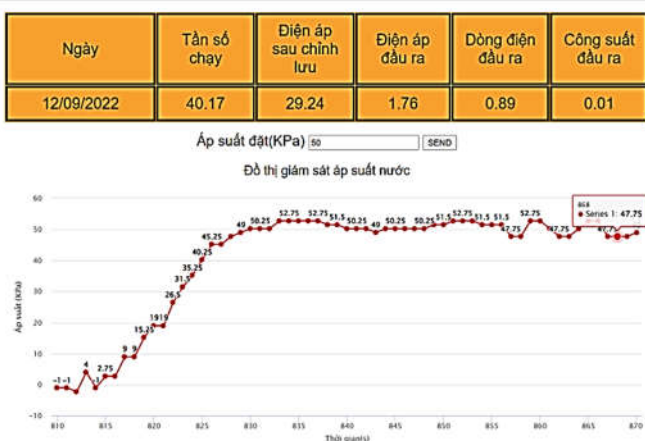
3.4. Giao diện Web

Giao diện Web được thiết kế để có thể nhập giá trị áp suất đặt cho hệ thống một cách dễ dàng. Áp suất nước trong đường ống sẽ được vẽ trực tiếp trên đồ thị theo thời gian thực giúp người dùng quan sát trực quan hơn sự thay đổi của hệ thống. Ngoài ra, trên giao diện Web còn hiển thị thêm một vài thông số (thời gian, điện áp, dòng điện ra của biến tần,...) để người sử dụng có thể thuận lợi hơn trong việc giám sát và điều khiển hệ thống.

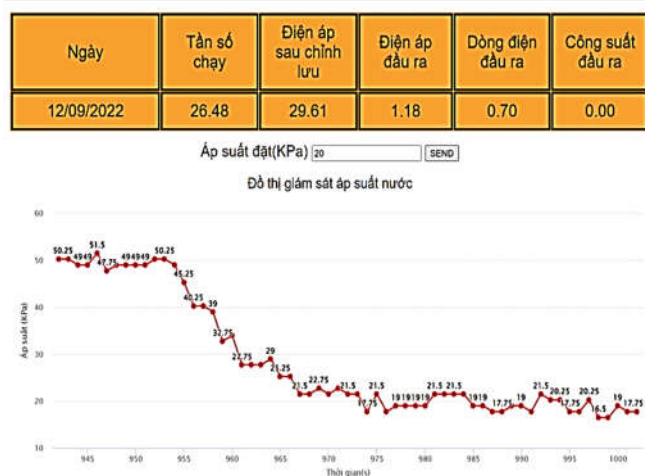


Hình 14. Giao diện giám sát-điều khiển trên Web

4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM



Hình 15. Phản hồi của hệ thống với áp suất đặt là 50kPa



Hình 16. Phản hồi của hệ thống với áp suất đặt là 20kPa

Từ kết quả thực nghiệm, chúng tôi thấy rằng hệ thống vòng kín ổn định với thời gian đáp ứng của hệ là khoảng 18s vẫn phù hợp với tải máy bơm (do đặc tính của đường ống phải mất thời để nước bắt đầu được hút lên), tuy có một chút sai lệch tính nhưng hoàn toàn có thể chấp nhận được.

5. KẾT LUẬN

Từ kết quả của quá trình mô phỏng và thực nghiệm đã đảm bảo rằng chúng tôi có thể tiếp tục cải tiến hệ thống bằng cách sử dụng các bộ điều khiển thông minh như fuzzy-PID, fuzzy-neuron để mang lại khả năng kiểm soát tốt hơn trước khi áp dụng cho những trạm bơm nước có công suất lớn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Shafiq Odhano, Paolo Pescetto, Hafiz Asad Ali Awan, Marko Hinkkanen, Gianmario Pellegrino, Radu Bojoi, 2018. *Parameter Identification of Inverter-Fed Induction Motors: A Review*. Energies, 11, 2194; doi:10.3390/en11092194.
- [2]. Phạm Văn Minh, Nguyễn Đăng Hải, Phạm Thị Hồng Hạnh, Phi Hoàng Nha, Phạm Văn Hưng, 2021. Application of identification method for problem of servo motor speed control on real model. *Journal of Science and Technology*, Hanoi University of Industry Vol. 57, No. 2.
- [3]. Nguyễn Thị Mi Sa, Lê Nguyễn Hồng Phong, Phạm Quang Huy, 2019. *Điều khiển xe với Arduino & ESP32*. Thanh niên Publishing House.
- [4]. Phạm Quang Huy, Hà Quang Phúc, 2020. *Lập trình điều khiển trên Arduino cho hệ van vật kết nối (IoT)*. Thanh niên Publishing House.
- [5]. Muhammad Ruswandi Djalal, Faisal, 2020. *Design Of Optimal Pid Controller For Three Phase Induction Motor Based On Ant Colony Optimization*. SINERGI Vol. 24, No. 2, June 2020: 125-132.
- [6]. Trinh Luong Mien, Vo Van An, Bui Thanh Tam, 2020. *A Fuzzy-PID Controller Combined with PSO Algorithm for the Resistance Furnace*. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal* Vol. 5, No. 3, 568-575.
- [7]. Muhammad Nizam Kamarudin, Sahazati Md. Rozali, Mohd Hendra Hairi, Farhan Hanaff, Mohd Shahrieel Mohd Aras, Mohd Khairi Mohd Zambri, 2018. *Realization of Real-Time Hardware-in-the-Loop for a Liquid Level*. IJEEAS, Vol. 1, No. 2.
- [8]. Lê Xuân Hải, Nguyễn Văn Thái, Bùi Trọng Duong, Vũ Thị Thuý Nga, Thái Hữu Nguyễn, Phan Xuân Minh, 2016. *Implementation of a laboratory overhead crane control system*. *Journal of Military Science and Technology*, Vol. 44.

AUTHORS INFORMATION

Trình Long¹, Lê Quang Giáp², Phạm Sơn Lâm², Thái Hữu Nguyễn¹, Trần Thị Quỳnh Oanh³, Nguyễn Văn Dũng⁴, Lê Xuân Hải⁵

¹Faculty of Electrical Engineering, Vinh University of Technology Education

²Faculty of Electrical Engineering, Hanoi University of Industry

³Faculty of Electrical Engineering and Automation, College of Industrial Techniques

⁴Bac Ninh College of Electromechanics and Construction

⁵International School, Vietnam National University, Hanoi