

DOI:10.22144/ctu.jvn.2023.005

XÂY DỰNG VÀ ĐIỀU KHIỂN GIÁM SÁT HỆ THỐNG NẤU SỮA THỰC VẬT TỰ ĐỘNG

Phạm Trọng Nguyên¹, Nguyễn Ngọc Châu¹, Nguyễn Thị Thúy Hồng², Huỳnh Phạm Bảo Ngọc², Nguyễn Như Tương An² và Đỗ Vinh Quang^{2*}

¹Sinh viên lớp Điều khiển và tự động hóa, khóa 2018, Trường Đại học Kỹ thuật-Công nghệ Cần Thơ

²Khoa Kỹ thuật cơ khí, Trường Đại học Kỹ thuật-Công nghệ Cần Thơ

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Đỗ Vinh Quang (email: dvquang@ctut.edu.vn)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 24/09/2022

Ngày nhận bài sửa: 24/10/2022

Ngày duyệt đăng: 26/10/2022

Title:

Fabrication and control of a plant-based milk cooking system

Từ khóa:

PLC S7-1200, PID, IMC, Solidworks, WinCC, Web server

Keywords:

PLC s7-1200, PID, IMC, Solidworks, WinCC, Web server

ABSTRACT

Temperature has significant influences on many processes in physics, chemistry, biology, and human life. Controlling precisely temperature is therefore a basic but essential issue in automation control. This paper presents a method of building, controlling and monitoring a plant-based milk cooking system. Solidworks software was used to design 3D model for the system, from which to process mechanically the hardware, install electrical devices, and design a SCADA system. The tangent line method for system identification and the Internal Model Control (IMC) method are used to configure the PID controller applied to the temperature control of the system. Experimental results show that the plant-based milk's temperature was stable at the set value (90°C) after 45 minutes with a steady-state error of approximately 2°C. This result is equivalent to the simulation result from the kinetic model with the setting time of 45 minutes and the steady-state error of about 1°C. The product after cooking and cooling is completely usable. Therefore, the built model basically meets the technological process requirements of an automatic plant-based milk cooking system.

TÓM TẮT

Nhiệt độ ảnh hưởng then chốt đến nhiều quá trình vật lý, hóa học, sinh học và nhiều mặt trong đời sống của con người. Điều khiển nhiệt độ chính xác là bài toán cơ sở và rất quan trọng trong lĩnh vực điều khiển tự động. Bài viết trình bày phương pháp xây dựng, điều khiển và giám sát hệ thống nấu sữa thực vật tự động. Phần mềm Solidworks được ứng dụng để thiết kế mô hình 3D cho hệ thống, từ đó tiến hành gia công phần cứng, lắp đặt thiết bị, xây dựng chương trình điều khiển và giám sát (SCADA). Phương pháp kẻ tiếp tuyến để nhận dạng hệ thống và phương pháp điều khiển mô hình nội (IMC-internal model control) được sử dụng để chỉnh định bộ điều khiển PID áp dụng vào điều khiển nhiệt độ của hệ thống. Kết quả thực nghiệm cho thấy nhiệt độ sữa ổn định tại giá trị đặt (90°C) sau 45 phút với sai số xác lập trong khoảng 2°C. Kết quả này tương đương với kết quả mô phỏng từ mô hình động học với thời gian xác lập 45 phút và sai số xác lập khoảng 1°C. Sản phẩm sau khi nấu và làm nguội hoàn toàn sử dụng được. Như vậy, mô hình đã xây dựng cơ bản đáp ứng được các yêu cầu quy trình công nghệ của một hệ thống nấu sữa thực vật tự động.

1. GIỚI THIỆU

Nhiệt độ là yếu tố có quyết định đến nhiều quá trình tự nhiên và trong đời sống của con người. Trong lĩnh vực sản xuất thực phẩm và đồ uống, một số loại sữa thực vật như sữa đậu nành, sữa đậu xanh, sữa sen, sữa bắp,... sau khi nghiền ướt và tách bã được cho vào nồi gia nhiệt nhằm loại bỏ những chất tạo mùi không mong muốn, vô hoạt hóa các enzyme và tiêu diệt hoặc ức chế các vi sinh vật có trong sữa (Tập đoàn JIMIE, 2022). Sữa sau khi nấu chín có thể giảm nhanh nhiệt độ để thuận lợi cho quá trình rót vào chai, hạn chế việc chờ sữa nguội, tốn thời gian và làm sữa dễ bị nhiễm khuẩn. Nên có thể thấy rằng việc điều khiển nhiệt độ chính xác là bài toán cơ sở và rất quan trọng.

Hiện nay, nhiều công ty khác nhau sản xuất các bộ nồi nấu đa dạng phục vụ nhu cầu buôn bán thực phẩm của các hộ kinh doanh như nồi nấu phở, nồi nấu cháo, nồi nấu sữa,... Đối với quy trình công nghệ nấu sữa đậu nành của VinaOrganic, đậu được cho vào máy xay đậu để tách bã và dung dịch sữa thu được sẽ đi vào bồn gia nhiệt. Nhiệt độ tại bồn này được thiết lập bằng núm xoay và được duy trì thông qua thuật toán điều khiển ON/OFF đối với bồn gia nhiệt. Van và bơm được bật thủ công để bơm dung dịch đã nấu xong lên bồn chứa. Trước khi cho chảy trong ống dẫn inox đặt trong bồn có môi chất lạnh (muối đá) để làm nguội (VinaOrganic, 2022). Công ty Viên Đông xây dựng hệ thống đơn giản hơn khi bỏ qua phần làm nguội để giảm giá thành và quá trình gia nhiệt và làm nguội cũng chỉ giới hạn ở việc chỉnh nhiệt độ sử dụng thuật toán điều khiển ON/OFF và đóng mở van, bơm bằng tay (VienDong, 2022).

Internet đang ngày càng mở rộng với những khái niệm như công nghệ số, IoT (Internet of things), cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ 4 (Lu, 2017; Kalsoom et al., 2021) đã và đang ảnh hưởng rất nhiều đến lĩnh vực tự động hóa ở nước ta hiện nay. Việc giám sát và điều khiển hệ thống từ xa qua điện thoại thông minh, máy tính bảng hay qua các trình duyệt web đang ngày càng phổ biến. Trong đó, ứng dụng hệ thống giám sát điều khiển SCADA từ xa cho dây chuyền sản xuất là một trong những công cụ hỗ trợ thiết thực cho các công ty trong việc điều

hành hệ thống sản xuất. Với mức giá hợp lý đồng thời trang bị tính năng web server, PLC Siemens S7-1200 là một lựa chọn nổi bật để xây dựng một hệ thống điều khiển giám sát mà cho phép người dùng truy cập vào hệ thống mọi lúc mọi nơi. Lương và Bình (2016) đã xây dựng hệ thống mạng truyền thông Ethernet giữa PLC S7-1200, biến tần và màn hình HMI trong giới hạn của mạng LAN. Điền và ctv. (2018) đã xây dựng hệ thống điều khiển và giám sát SCADA mạng internet trên cơ sở PLC S7-1200 cho một dây chuyền sản xuất thức ăn chăn nuôi. Hệ thống này cho phép người dùng điều khiển quá trình linh hoạt bằng nhiều thiết bị khác nhau như: máy tính, máy tính bảng, điện thoại thông minh được kết nối Internet. Dương và Hiên (2022) đã xây dựng được hệ thống điều khiển và giám sát cho dây chuyền phân loại sản phẩm theo màu sắc sử dụng PLC S7-1200 ứng dụng công nghệ IoT. Ngoài việc cung cấp chức năng truy cập và điều khiển từ xa, hệ thống còn cho phép các chuyên gia viết/chỉnh sửa và nạp chương trình cho PLC từ xa thông qua mạng Internet.

Từ những khảo sát trên, việc áp dụng những kiến thức lý thuyết kết hợp với xu hướng phát triển của thời đại để giải quyết, cải thiện một vấn đề thực tiễn là việc làm luôn cần thiết. Do vậy, một hệ thống nấu sữa thực vật tự động đã được xây dựng theo quy trình công nghệ cùng với giao diện điều khiển giám sát trực quan sử dụng mạng nội bộ (LAN). Mô hình toán của quá trình gia nhiệt được rút ra bằng phương pháp nhận dạng hệ thống. Đây là cơ sở để tính toán thông số điều khiển cho thuật toán PID nhằm kiểm soát nhiệt độ nấu sữa của hệ thống. Kết quả cho thấy sự tương đồng giữa mô phỏng lý thuyết và thực nghiệm trong điều khiển nhiệt độ. Hệ thống hoạt động tự động, ổn định và chất lượng sản phẩm đạt yêu cầu.

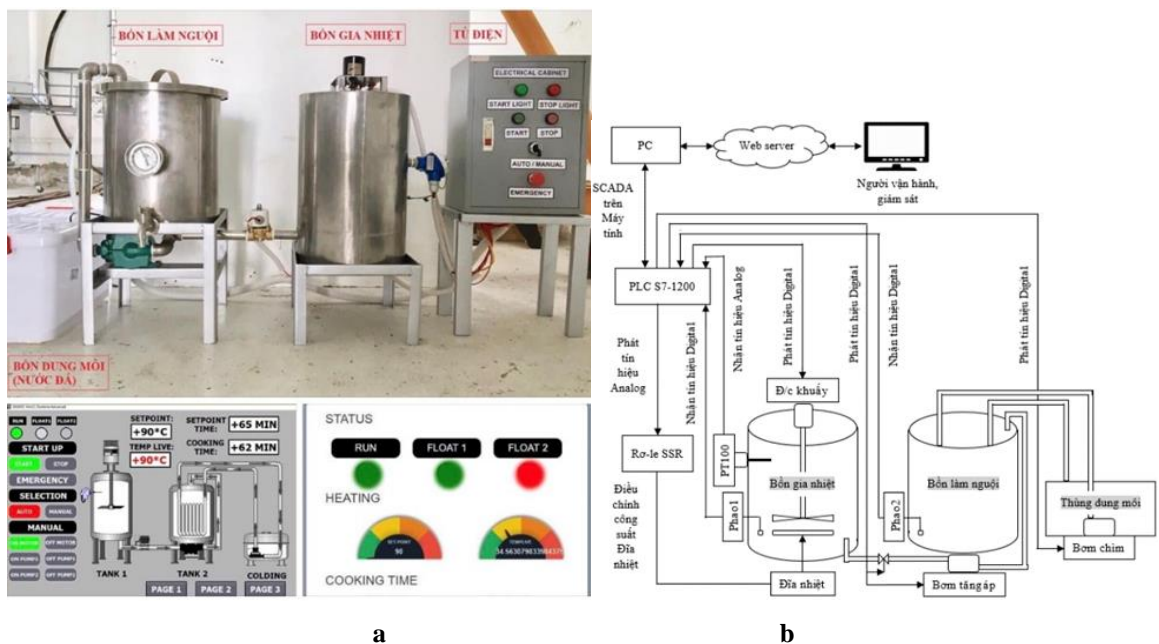
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Tổng quan mô hình

Mô hình hệ thống nấu sữa thực vật tự động được xây dựng như Hình 1a với 03 thành phần chính gồm (a) hệ thống bồn gia nhiệt, bồn làm nguội, bồn chứa dung môi làm lạnh, (b) tủ điều khiển và (c) giao diện điều khiển. Các thiết bị chính sử dụng cho hệ thống được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Các thiết bị sử dụng cho hệ thống

TT	Thiết bị	Số lượng	Thông số
1	PLC S7-1200	01	1212C DC/DC/DC
2	Rơ-le SSR	01	220V/15A
3	Cảm biến PT100	01	RTD 2 dây, 24V
4	Cảm biến báo cạn	02	On/Off, Inox
5	Van điện từ	01	220V, Ø27mm
6	Bơm tăng áp	01	220V, 35lít/phút
7	Động cơ khuấy	01	50RPM, 28W, 220V
8	Đĩa nhiệt	01	3000W, Ø180mm, Inox
9	Tủ điện	01	Thiết, 200x300x400mm
10	Bồn gia nhiệt	01	Inox 304, Ø300x450mm, 20 lít
11	Bồn làm nguội	01	Inox 304, Ø300x350mm
12	Bồn dung môi	01	480x360x270mm



Hình 1. Tổng quan về hệ thống

a) Mô hình thực tế; b) Sơ đồ điều khiển

Nguyên lý điều khiển được thực hiện như Hình 1b. Dung dịch sữa với thể tích 20 L trong bồn gia nhiệt được đun nóng bởi đĩa nhiệt mà có thể thay đổi công suất của nó theo tín hiệu Analog output từ PLC thông qua rơ-le SSR. Nhiệt độ ở bồn này liên tục được cảm biến PT100 đo và đưa tín hiệu Analog đến bộ điều khiển PLC S7-1200. Bộ điều khiển này sử dụng thuật toán PID sẽ dựa vào giá trị đặt (nhiệt độ mong muốn) và giá trị đo được từ cảm biến (nhiệt độ thực tế) để tính toán tín hiệu điều khiển cấp cho rơ-le SSR. Như vậy, có được một hệ vòng kín điều khiển chức năng trọng yếu của hệ thống.

Sau khi đạt tới nhiệt độ đặt và thời gian duy trì để nấu chín sữa (thông thường 20 phút), tín hiệu điều khiển cho dừng đĩa nhiệt, dừng động cơ khuấy đồng thời kích hoạt van điện từ và bơm tăng áp để chuyển sữa sang bồn làm nguội. Lúc này, bơm chìm sẽ hoạt động để bơm dung môi làm lạnh vào ống trao đổi nhiệt dạng lò xo nằm trong bồn làm nguội. Van điện từ và bơm tăng áp sẽ dừng khi cảm biến báo cạn trong bồn gia nhiệt được kích hoạt, còn bơm chìm hoạt động đến khi người dùng bấm nút dừng. Toàn bộ thông tin về nhiệt độ, thời gian đun nóng và nấu cũng như trạng thái của các thiết bị chính được hiển thị trên màn hình máy tính với giao diện trên WinCC và Web server.

2.2. Thiết kế và thi công hệ thống

2.2.1. Phần cơ khí

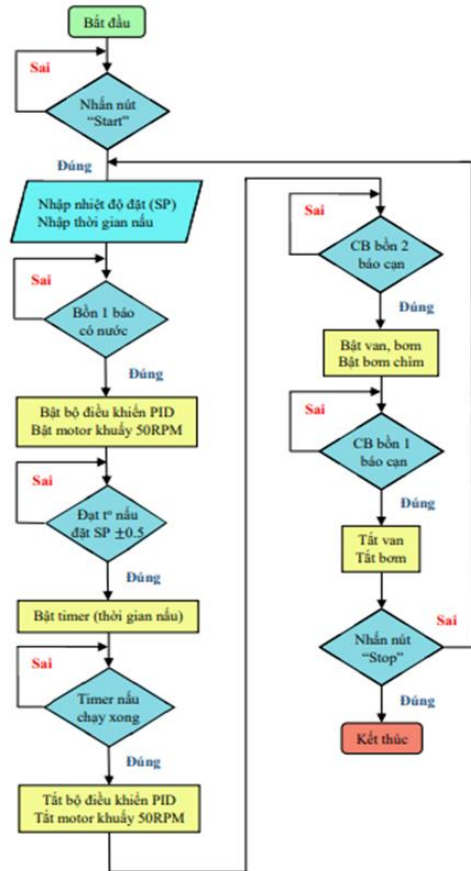
Mô hình hệ thống nấu sữa thực vật tự động được thiết kế, chế tạo tương tự hình dạng của hệ thống công nghiệp. Tên các thiết bị và quy cách, kích thước của chúng được trình bày trong Bảng 1. Phần mềm SolidWorks được sử dụng để vẽ mô hình 3D của 2 bồn trước khi tiến hành xuất bản vẽ 2D và đem gia công. Kết quả thu được là mô hình thực tế hoàn chỉnh như đã giới thiệu ở Hình 1.

2.2.2. Xây dựng chương trình điều khiển

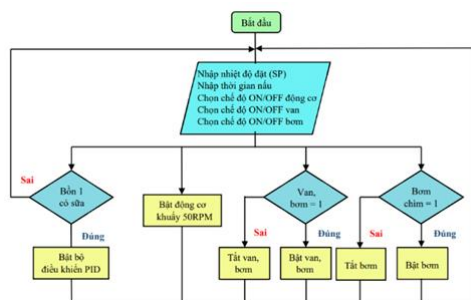
Với mô hình đã có, một chương trình điều khiển được xây dựng dựa trên yêu cầu về nhiệt độ và thời gian nấu sữa trong quy trình công nghệ sản xuất sữa đậu nành công nghiệp (Tập đoàn JIMIE, 2022). Yêu cầu điều khiển là hệ thống vận hành ổn định, thời gian tăng nhiệt độ nhanh, độ vọt lố không quá 10%, sai số xác lập không quá 3°C do nhiệt độ nấu thích hợp rơi trong khoảng 87 – 93°C.

Lưu đồ giải thuật chế độ Auto được trình bày ở Hình 2a. Đầu tiên, sau khi nhấn nút Start và nhập nhiệt độ đặt (SP) và thời gian nấu, chương trình kích hoạt bộ điều khiển PID, động cơ khuấy. Khi nhiệt độ đạt giá trị đặt thì Timer thời gian nấu bắt đầu kích hoạt để duy trì nhiệt độ nấu sữa. Khi hết thời gian nấu, chương trình dừng bộ điều khiển PID và động cơ khuấy, nếu cảm biến phao 2 của bồn làm nguội báo cạn, chương trình bật van điện từ và bơm tăng áp để bơm dung dịch sữa từ bồn gia nhiệt sang bồn làm nguội, đồng thời bơm chìm cũng được kích hoạt để bơm dung môi lạnh. Đến khi, cảm biến phao 1 của bồn gia nhiệt báo cạn, chương trình dừng van điện từ và bơm tăng áp. Bơm chìm hoạt động đến khi nhiệt độ trong bồn làm nguội đạt yêu cầu, người vận hành nhấn nút Stop kết thúc.

Lưu đồ giải thuật chế độ Manual được trình bày ở Hình 2b chủ yếu được dùng để kiểm tra tình trạng thiết bị. Người dùng cũng có thể sử dụng chế độ này để nấu dựa vào các tín hiệu cảm biến theo các bước đã trình bày ở phần trước đó.



a



b

Hình 2. Lưu đồ giải thuật của Chương trình điều khiển

a) Chế độ Auto; b) Chế độ Manual

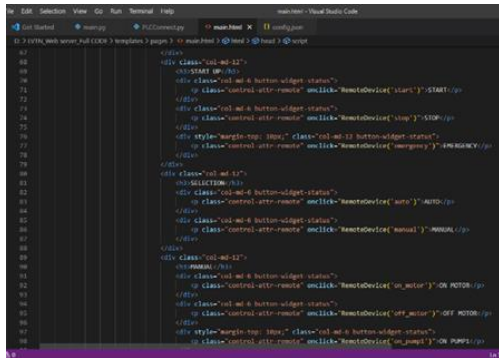
2.2.3. Xây dựng giao diện điều khiển giám sát WinCC, Webserver

Giao diện điều khiển giám sát hệ thống (Hình 1a) được thiết kế qua công cụ WinCC của TIA Portal và Web server, có thể tương tác người vận hành qua 02 chế độ gồm: (1) điều khiển thủ công và (2) điều khiển tự động. Hệ thống giám sát SCADA được hoàn thành từ việc kết hợp các chức năng Graphics Designer, Tag Logging, Report Designer, User Achivers của WinCC.

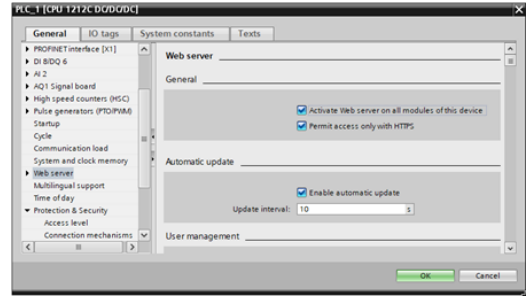
Hệ thống Webserver xây dựng dựa vào công cụ Visual Studio Code với ngôn ngữ lập trình Python cùng với thư viện Python flask, kết hợp với bộ 3 ngôn ngữ cơ bản của Website là HTML, CSS, Javascript cùng với thư viện kết nối với PLC S7-1200 python-snap7. Các bước đã thực hiện bao gồm:

Bước 1: Xây dựng giao diện giám sát và điều khiển trên Web server bằng phần mềm “Visual Studio Code” để soạn thảo các trang Web, sau đó lưu dưới dạng file .html (Hình 3).

Bước 2: Cấu hình Web server cho PLC S7-1200. Kích hoạt chức năng Webserver bằng cách chọn thuộc tính “Activate Web server on all modules of this device” (Hình 4).

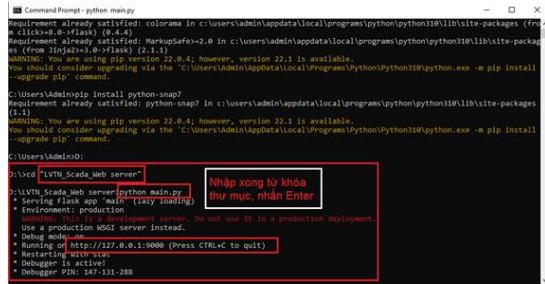


Hình 3. Chương trình giao diện Web điều khiển và giám sát hệ thống nấu sữa thực vật tự động trên phần mềm “Visual Studio Code”



Hình 4. Chức năng Webserver của PLC S7-1200 trên phần mềm TIA Portal V15.1

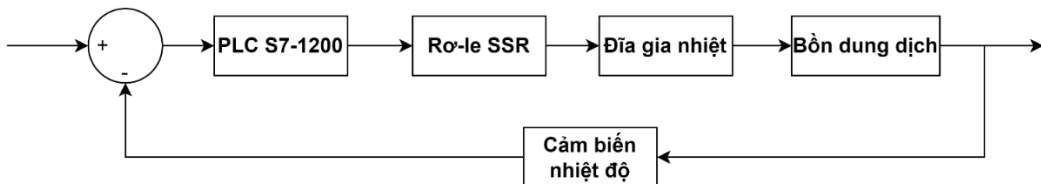
Bước 3: Đăng ký địa chỉ Webserver. Sau khi khai báo phần mềm Python, tải thư viện flask để truy cập Web, tải thư viện Snap7 để kết nối với PLC, truy cập vào thư mục chứa bộ mã nguồn (Source) trong máy tính. Ta có, địa chỉ truy cập Web: http://127.0.0.1:9000 (dạng local) như Hình 5.



Hình 5. Đăng ký địa chỉ Webserver trên cửa sổ Command Prompt

2.2.4. Xây dựng thuật toán điều khiển

Trong hệ thống nấu sữa này, việc gia nhiệt và duy trì nhiệt độ cho sữa ở một giá trị mong muốn là quan trọng nhất. Bài toán điều khiển nhiệt độ này được tiến hành dựa trên nguyên lý điều khiển hồi tiếp (Hình 6). Bộ điều khiển PID trong PLC S7-1200 tiếp nhận và so sánh giá trị nhiệt độ của sữa mà cảm biến PT100 thu thập với nhiệt độ đặt (SP), từ đó cấp tín hiệu điều khiển với mức điện áp 0-10V đến rơ-le SSR để điều khiển công suất của đĩa nhiệt.



Hình 6. Mô hình điều khiển vòng kín

Để lựa chọn thông số cho thuật toán điều khiển PID cũng như mô phỏng hệ thống điều khiển vòng

kín, ta cần biết được mô hình toán học mà mô tả đặc tính động học của quá trình gia nhiệt này.

Bằng cách áp dụng phương pháp kẻ tiếp tuyến, mô hình FOPDT (first order plus dead time – phương trình vi phân bậc nhất có trễ) giữa đầu vào là công suất cấp nhiệt và đầu ra là nhiệt độ của chất lỏng có được như công thức (1).

$$G(s) = \frac{29,629}{139,52s + 1} \cdot e^{-3,45s} \quad (1)$$

Trong đó, $K_p = 29,629$; $T_p = 139,52$ (phút); $\theta_p = 3,45$ (phút) lần lượt là độ lợi, hằng số thời gian và thời gian chết của quá trình vòng hở. Bằng cách ước lượng $e^{-\theta s} \approx \frac{1}{1+\theta s}$, hàm truyền (1) trở thành:

$$G(s) = \frac{29,629}{139,52s + 1} \cdot \frac{1}{3,45s + 1}$$

Với các thông số của quá trình vòng hở có được, ta có thể dựa vào phương pháp điều khiển mô hình nội bộ (Internal Model Control – IMC) để tìm các thông số điều chỉnh cho bộ điều khiển PID mà có dạng tiêu chuẩn như phương trình (2).

$$CO = K_c \cdot e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(t)dt + K_c \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

Chọn hằng số thời gian vòng kín T_c tác động nhanh: T_c có giá trị lớn hơn $0,1 \cdot T_p$ hoặc $0,8 \cdot \theta_p$ (Arbogast et al., 2010, PID control of the heat exchanger, 2022), ta được:

$$K_c = \frac{1}{K_p} \cdot \left(\frac{T_p + 0,5 \cdot \theta_p}{T_c + 0,5 \cdot \theta_p} \right) = \frac{1}{29,629} \cdot \left(\frac{139,52 + 0,5 \cdot 3,45}{14 + 0,5 \cdot 3,45} \right) = 0,30315$$

$$T_i = T_p + 0,5 \cdot \theta_p = 139,52 + 0,5 \cdot 3,45 = 141,245$$

$$T_d = \frac{T_p \cdot \theta_p}{2 \cdot T_i} = 1,703$$

Ta chuyển các thông số này sang Bộ điều khiển PID cấu trúc dạng lý tưởng (3) mà được sử dụng trong Simulink và TIA Portal:

$$CO(t) = K_p \cdot e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

Các thông số cho bộ điều khiển PID sử dụng trong Simulink và TIA Portal:

$$P = K_c = 0,30315$$

$$I = \frac{K_c}{T_i} = 0,002146$$

$$D = K_c \cdot T_d = 0,51654$$

Cuối cùng, ta tiến hành kiểm chứng kết quả đối với bộ thông số điều khiển tìm được trên mô hình lý thuyết thông qua Matlab Simulink và trên mô hình thực tế.

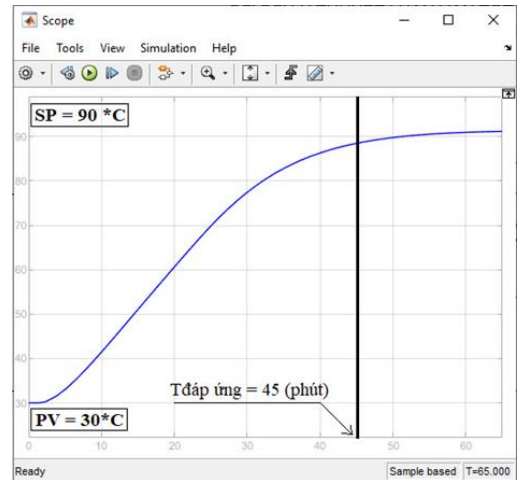
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Điều khiển nhiệt độ

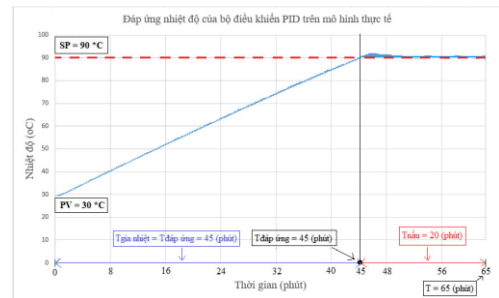
Việc kiểm chứng đáp ứng vòng kín của hệ được tiến hành với giá trị nhiệt độ ban đầu là 30 °C và giá trị đặt là 90°C. Kết quả được thể hiện tương ứng trên Hình 7 và Hình 8.

Ta thấy quá trình mô phỏng ổn định, nhiệt độ đầu ra sau khoảng thời gian $T = 45$ (phút) thì bám sát giá trị đặt với sai số xác lập khoảng 0,9°C và độ vọt lố 2%.

Kết quả thực nghiệm của hệ thống thực tế được thể hiện ở Hình 8, với đường nét đứt màu đỏ là giá trị nhiệt độ đặt (Setpoint = 90°C) và đường màu xanh là giá trị nhiệt độ đo được. Ta thấy hệ thống hoạt động tốt: sau khoảng thời gian cấp nhiệt 45 (phút) thì nhiệt độ sửa đạt tới nhiệt độ đặt và bám sát với độ vọt lố không quá 3% và sai số xác lập nhỏ hơn 2°C. Như vậy, kết quả thực nghiệm là tương đương với kết quả mô phỏng, thỏa mãn yêu cầu điều khiển và các thông số điều khiển tìm được bằng phương pháp IMC hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu điều khiển hệ thống này. Bảng tóm tắt kết quả được trình bày ở Bảng 2.



Hình 7. Đáp ứng vòng kín của mô hình toán



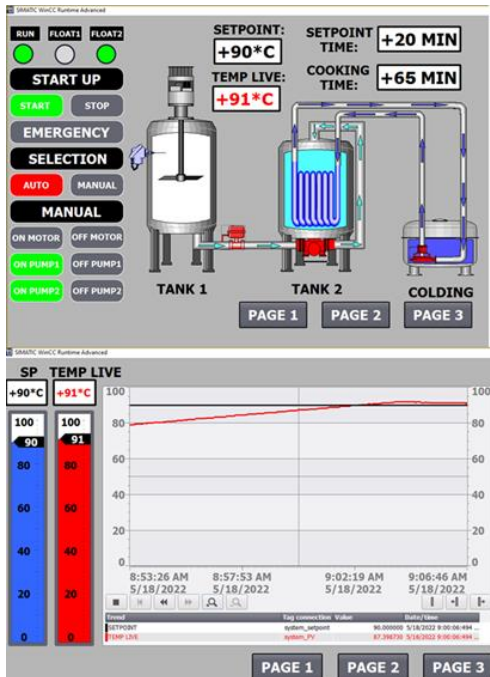
Hình 8. Đáp ứng vòng kín của thiết bị thực

Bảng 2. Đánh giá chất lượng điều khiển khi mô phỏng và thực nghiệm

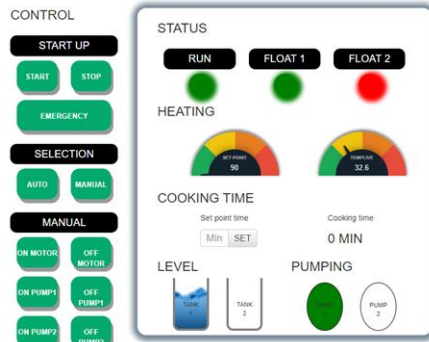
	Yêu cầu	Mô phỏng	Thực nghiệm
Thời gian xác lập	nhANH	45 phút	45 phút
Độ vọt lố	10%	2%	3%
Sai số	3,0°C	0,9°C	1,8°C

3.2. Chạy thực nghiệm

Kết quả thử nghiệm cho thấy giao diện điều khiển giám sát WinCC trực quan, sinh động và chạy ổn định, thực hiện được các yêu cầu đặt ra (Hình 9): Trendview, Report (xuất file báo cáo), và mô phỏng mức nước,... Hệ thống Webserver hoạt động tốt, chạy ổn định, giao diện trực quan sinh động với đèn báo trạng thái, hiển thị nhiệt độ để giúp người vận hành giám sát dễ dàng (Hình 10). Kết quả nấu sữa ở chế độ Auto với giá trị đặt là 90°C, thời gian duy trì nhiệt độ nấu là 20 phút, sau khi làm nguội cho ra sản phẩm chất lượng tốt.



Hình 9. Giao diện của hệ thống trên WinCC



Hình 10. Giao diện của hệ thống trên Webserver

4. KẾT LUẬN

Một mô hình hệ thống nấu sữa thực vật sử dụng các thiết bị điện-tự động trong công nghiệp đã được xây dựng và thử nghiệm. Giao diện WinCC và Webserver được xây dựng để điều khiển và giám sát toàn bộ hệ thống. Thông qua mô hình thực tế, mô hình toán của quá trình gia nhiệt cũng được rút ra bằng phương pháp nhận dạng hệ thống mà từ đó tính toán thông số cho bộ điều khiển PID. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm cho thấy bộ thông số điều khiển PID tìm được bằng phương pháp IMC làm việc hiệu quả với thời gian tăng không quá 45 phút, độ vọt lố thấp hơn 3% và sai số xác lập không quá 2°C. Sự tương đồng về đáp ứng giữa hai mô hình cho thấy mô hình toán tìm được hoàn toàn phản ánh được động học quá trình gia nhiệt của hệ thống nên nó hoàn toàn có thể sử dụng để phân tích, thiết kế và kiểm chứng một bộ điều khiển trước khi áp dụng vào mô hình thực tế. Hơn thế nữa, có được mô hình toán học, việc áp dụng và mô phỏng động học hệ thống vòng kín với những bộ điều khiển cao cấp hơn như MPC, SMC,... là hoàn toàn thuận lợi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Arbogast, J., Cooper, D., & Rice, R. (2010). *Model-Based Tuning Methods for PID Controllers*.
 Dương, N. Đ., & Hiên, N. T. (2022). Xây dựng hệ thống điều khiển và giám sát scada cho dây chuyền phân loại sản phẩm theo màu sắc trên cơ sở plc s7-1200 ứng dụng công nghệ iot. *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*, 6, 803-812.
 Điền, Đ. N., Sơn, T.N., & Cường, N. C. (2018). Xây dựng hệ thống điều khiển và giám sát scada cho

dây chuyền sản xuất qua mạng internet trên cơ sở PLC S7-1200, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Công nghiệp Hà Nội*, 49, 66-70.
 Kalsoom, T., Ahmed, S., Rafi-ul-Shan, P. M., Azmat, M., Akhtar, P., Pervez, Z., Imran, M. A., & Ur-Rehman, M. (2021). Impact of IoT on Manufacturing Industry 4.0: A New Triangular Systematic Review. *In Sustainability*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/su132212506>

- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>.
- Lương, T. T., & Bình, H. X., (2016). *Nghiên cứu xây dựng hệ thống qua mạng truyền thông trong PLC S7-1200 qua mạng Ethernet*. Đề tài NCKH cấp cơ sở, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.
- Tập đoàn JIMIE. (2022). *Quy trình công nghệ sản xuất sữa đậu nành*.
<https://congnghevotrung.com/thuyet-minh-quy-trinh-cong-nghe-san-xuat-sua-dau-nanh/>.
- VienDong. (2022) *Nồi nấu sữa đậu nành dùng điện*.
<https://cokhiviendong.com/noi-nau-sua-dau-nanh-dung-dien/>.
- Vinaorganic. (2022) *Giới thiệu hệ thống nấu sữa thực vật*.
<https://www.vinaorganic.com/vinaorganic-chuyen-giao-quy-trinh-san-xuat-dau-nanh-say-chat-luong-cao.html>.