

TÍCH HỢP BỘ CẢM BIẾN MỨC DÙNG SÓNG SIÊU ÂM ỨNG DỤNG TRONG HỆ THỐNG ĐIỀU CHỈNH LƯU LƯỢNG BẰNG BƠM LY TÂM

INTEGRATE ULTRASONIC LEVEL SENSOR IN FLOW CONTROL SYSTEM USING CENTRIFUGAL PUMP

Lê Văn Anh, Nguyễn Đức Dương, Đinh Thị Hằng

Khoa Điện, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 02/04/2020, chấp nhận đăng ngày 07/05/2020

Tóm tắt: Các cảm biến mức là thiết bị rất quan trọng, ứng dụng trong nhiều ngành công nghiệp để hiển thị mức chất lỏng, rắn và góp phần vào quá trình điều khiển mức. Bài báo trình bày việc nghiên cứu, xây dựng bộ cảm biến mức dùng sóng siêu âm với tín hiệu đầu ra dạng chuẩn 4-20 mA. Bộ cảm biến được tích hợp với độ tin cậy và tính linh động cao. Sản phẩm được kiểm nghiệm trên mô hình điều chỉnh mức nước do nhóm nghiên cứu tự lắp đặt. Hệ thống điều khiển mức này hiện đang phục vụ các hoạt động thực hành, thí nghiệm trong trường đại học. Bộ cảm biến này đang được hoàn thiện để có thể áp dụng trong các nhà máy công nghiệp.

Từ khóa: cảm biến siêu âm, vi điều khiển STM32, phương pháp điều chỉnh mô hình nội.

Abstract: Level sensors are very important instruments, which are used in many industries to display the level of liquid, solid and are used in level control process. The paper aims at the research, building of an ultrasonic level sensor with standard output ranging 4-20 mA. This sensor is integrated with high reliability and flexibility. It is tested on a water level control system which is integrated by my group. This level control system is currently used to serve in practice and experiment activities in our university. This sensor is being improved to apply in industrial factories.

Keywords: ultrasonic sensor, STM32 microchip, Internal Model Control (IMC) method.

1. GIỚI THIỆU

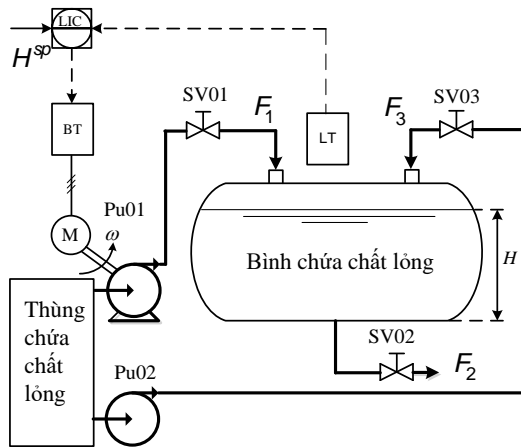
Trong các dây chuyền sản xuất công nghiệp cũng như trong đời sống thường nhật, với các chất lỏng, để lưu trữ cũng như vận chuyển, đòi hỏi việc hiển thị mức chất lỏng. Có nhiều công nghệ được dùng để đo mức trong điều khiển quá trình và việc chọn lựa loại cảm biến thích hợp là yêu cầu thiết yếu. Một lưu chất làm ẩm ướt hay bám vào cảm biến sẽ có thể dẫn đến việc hiển thị sai giá trị quá trình. Do đó các nhà máy công nghiệp sử dụng khá phổ biến phương pháp đo mức chất lỏng mà không cần tiếp xúc với chất lỏng cần đo, cần kể đến là phương pháp đo mức chất lỏng bằng sóng siêu âm. Phương pháp

này dựa trên sóng âm thanh tần số cao. Tần số 40÷50 kHz là dải tần số điển hình trong những ứng dụng công nghiệp. Tần số làm việc được chọn tương ứng với tần số cộng hưởng của bộ phát và bộ thu [1].

Cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 đang diễn ra rất mạnh mẽ ở mọi lĩnh vực sản xuất trên toàn thế giới với sự tham gia không chỉ của các nhà máy công nghiệp, các doanh nghiệp mà còn cả các trường đại học. Để tiến hành công việc này, các trường đại học kỹ thuật đang từng bước trang bị các mô hình điều khiển điều khiển quá trình để sinh viên có thể nâng cao trình độ và kỹ năng thực hành. Tuy nhiên nhiều trường đại học chưa trang bị

được các mô hình này do các mô hình này thường phải nhập khẩu và có giá thành khá cao. Gần đây, một số nhóm nghiên cứu chế tạo bộ cảm biến siêu âm dùng bộ vi xử lý Arduino Uno R3 cho thiết bị đo mưa [2] hay kết hợp với phần mềm Labview để dạy học vật lý 10 [3]. Tuy nhiên những nhóm này chưa kết nối cảm biến với các thiết bị công nghiệp và phần mềm công nghiệp để tạo hành một hệ thống điều khiển quá trình hoàn chỉnh. Nhằm bắt được nhu cầu này, chúng tôi mạnh dạn nghiên cứu, chế tạo bộ cảm biến mức bằng sóng siêu âm dùng bộ vi xử lý STM32F091RC NUCLEO với tín hiệu đầu ra dạng chuẩn 4÷20 mA và tích hợp vào mô hình mạch vòng kín điều chỉnh mức chất lỏng mà nhóm nghiên cứu tự lắp.

Sơ đồ công nghệ của mô hình điều khiển mức chất lỏng được minh họa như trong hình 1.



Hình 1. Sơ đồ mô hình điều chỉnh mức

Các thông số và các biến quá trình của mô hình bao gồm:

- F_1 : lưu lượng thể tích của nước cấp (m^3/h);
- F_2 : lưu lượng thể tích của nước đầu ra (m^3/h);
- H : chiều cao mức nước bồn; $H_{max} = 0,6$ (m);
- ρ : khối lượng riêng của nước; $\rho = 1000$ (kg/m^3);
- V : thể tích lượng nước trong bồn;

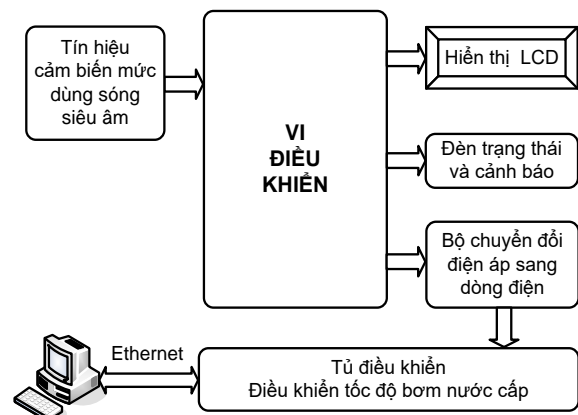
- L : chiều dài bình trộn nhiệt; $L = 1,5$ (m);
- R : bán kính của bình; $R = 0,3$ (m);
- ω : tốc độ của bơm Pu01.

Nguyên lý hoạt động của quá trình là cấp nước từ thùng vào bình trụ tròn nằm ngang bằng tuyến 1 thông qua bơm Pu01 (bơm ba pha kết hợp biến tần) và van SV01 (van solenoid); bằng tuyến 2 thông qua bơm Pu02 (bơm một pha) và van SV03. Nước từ bình chứa được đưa ra ngoài thông qua van SV02. Mức trong bình được đo bằng bộ cảm biến siêu âm LT và đưa về bộ điều khiển mức LIC kết hợp biến tần để điều chỉnh tốc độ bơm Pu01, từ đó điều chỉnh ổn định mức. Một số yêu cầu kỹ thuật chung được đặt ra đối với mô hình này: đảm bảo chạy an toàn, ổn định; độ chính xác của bộ cảm biến: lệch không quá 5%; bộ cảm biến linh hoạt, dễ ghép nối với các thiết bị sẵn có.

2. XÂY DỰNG PHẦN CỨNG BỘ ĐO MỨC CHẤT LỎNG VÀ THUẬT TOÁN ĐO

Phần cứng được xây dựng dựa trên các mạch truyền tin qua các cáp nối nhằm mục đích tiện thay thế và ghép nối, được minh họa ở hình 2, bao gồm:

- Mạch đo: đo khoảng cách bằng phương pháp siêu âm.
- Mạch điều khiển: thu nhận, phân tích và xử lý thông tin.
- Mạch hiển thị: LCD, đèn led để hiển thị trạng thái, thông số của bộ cảm biến.



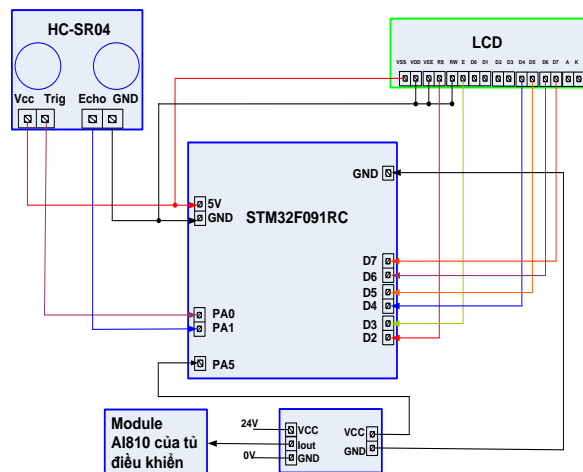
Hình 2. Sơ đồ khối phần cứng bộ cảm biến

2.1. Thiết bị phần cứng trên mạch đo mức

Mạch đo sử dụng cảm biến siêu âm loại HC-SR04, loại cảm biến có độ chính xác khá cao (3 mm), được sử dụng phổ biến. Cảm biến này hoạt động bằng cách phát một tín hiệu siêu âm (tần số 40 kHz) và bắt đầu đếm thời gian nhận được tín hiệu phản hồi. Khoảng cách đo của cảm biến này được tính từ tốc độ và thời gian phản hồi. Cảm biến siêu âm HC-SR04 có 4 chân (Vcc - nguồn 5V, Trig - nối với vi điều khiển (đầu phát), Echo - nối với vi điều khiển (đầu thu), GND - nối âm).

2.2. Thiết bị phần cứng trên mạch điều khiển của bộ cảm biến mức

Mạch điều khiển sử dụng vi điều khiển STM32F091RC NUCLEO và mạch chuyển đổi tín hiệu điện áp ($0 \div 3,3$ V) sang tín hiệu dòng ($4 \div 20$ mA).



Hình 3. Sơ đồ đấu nối các phần cứng trong bộ cảm biến mức

Bộ vi điều khiển STM32F091RC NUCLEO kết hợp lõi RISC 32-bit hiệu suất cao ARM Cortex M0 hoạt động ở tần số lên đến 48 MHz, bộ nhớ nhúng tốc độ cao (lên tới 256 kbyte bộ nhớ Flash và 32 kbyte của bộ nhớ SRAM) và một loạt các thiết bị ngoại vi và các kênh vào ra. Bộ vi điều khiển này cung cấp các giao diện truyền thông tiêu chuẩn (hai I2C, hai SPI/một I2S, một HDMI CEC

và tối đa 8 USART), một CAN, một ADC 12 bit, một DAC 12 bit với 2 kênh, 7 bộ định thời 16 bit, 1 bộ định thời 32 bit và bộ hẹn giờ điều khiển PWM tiên tiến [4]. Đây là bộ vi điều khiển khá mạnh, khá phổ biến, đặc biệt dung lượng bộ nhớ và tốc độ xử lý lớn hơn ARDUINO UNO R3 và một số bo mạch khác.

Để cấu hình phần cứng bộ cảm biến mức, trên bộ vi điều khiển STM32F091RC NUCLEO ta sử dụng các chân PA12 (SYS_SWCLK) và PA13 (SYS_SWDIO). Cấu hình các chân PA0(Trig) và PA1 (Echo) lần lượt là các chân đầu vào và đầu ra kết nối với cảm biến siêu âm HC-SR04 và chân xuất tín hiệu DAC là chân PA5_DAC_2. Sơ đồ đấu nối các môđun trong bộ cảm biến được minh họa như ở hình 3.

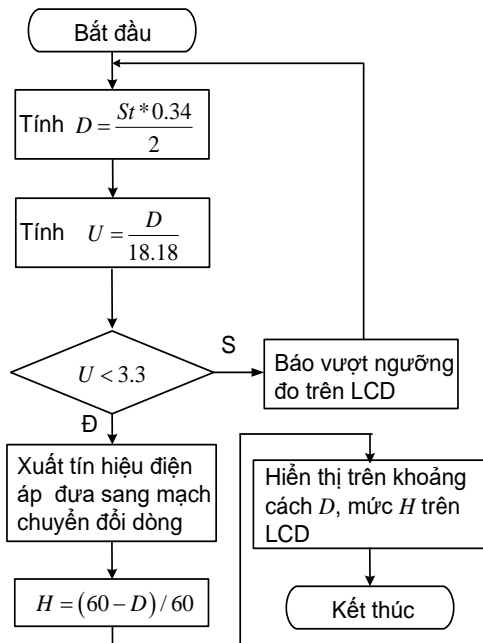
2.3. Thiết bị phần cứng trên mạch hiển thị

Để tiện cho người sử dụng, ngay tại bộ cảm biến mức cần đưa ra các thông số giám sát để biết được khoảng cách mà cảm biến siêu âm đo được và mức nước trong bình chứa. Từ đó đưa màn hình LCD để hiển thị thông số và đèn led để hiển thị các trạng thái (trạng thái báo ngưỡng cao, gần đầy bình hay ngưỡng thấp của bình). Cụ thể dùng màn hình LCD1602 với hai dòng hiển thị, dòng thứ nhất hiển mức khoảng cách đo được từ cảm biến tới mặt nước (cm), dòng thứ hai hiển thị giá trị mức trong bình chứa (%).

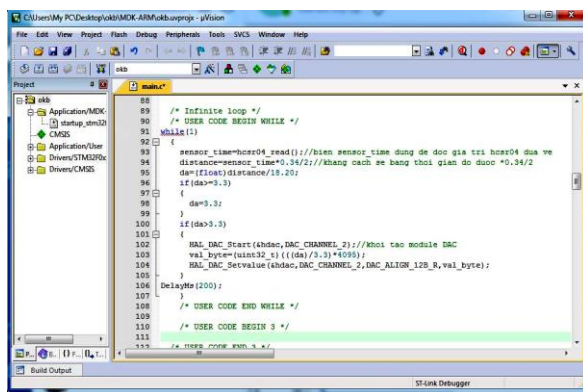
2.4. Thuật toán đo mức

Thuật toán được cài đặt trên vi điều khiển STM32F091RC bao gồm ba nhiệm vụ cơ bản: đo lường, xử lý và chuyển đổi sang dạng tín hiệu chuẩn. Thuật toán này được minh họa ở hình 4, trong đó: D - khoảng cách đo (cm), U - điện áp đầu ra (V), St - thời gian sóng siêu âm được phát từ cảm biến và quay trở lại.

Tiến hành khai báo cấu hình phần cứng của bộ vi xử lý trên phần mềm STM32 CubeMX. Sau đó triển khai thuật toán đo mức trong vi điều khiển này thông qua phần mềm Keil-uVision5, được minh họa như hình 5.



Hình 4. Lưu đồ thuật toán trong bộ vi xử lý

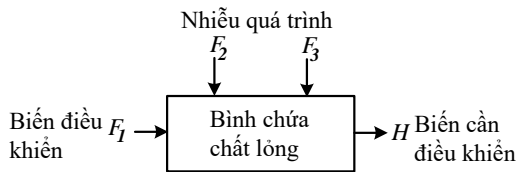


dùng CPU AC800M PM856; các môđun vào, ra số DI810, DO810; các môđun vào, ra tương tự AI810, AO810; nguồn 24VDC, máy tính PC; aptomat một pha; cầu dao có chì, role trung gian.

Với mô hình điều khiển mức, lưu lượng nước cấp F_1 là biến điều khiển, tức là việc điều khiển F_1 sẽ quyết định việc điều chỉnh, ổn định mức. Mặt khác cơ cấu chấp hành là bơm ba pha nên phần mạch lực hệ thống dùng một biến tần SS2-043-3.7K (công suất 2,2 kW) để điều khiển tốc độ bơm Pu01, từ đó lưu lượng F_1 được điều chỉnh. Ngoài ra trong mạch lực còn dùng: aptomat ba pha, khởi động từ.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH ĐIỀU KHIỂN MỨC CHẤT LỎNG

Trên cơ sở của mô hình điều khiển mức ở hình 1, xác định được các biến quá trình bao gồm các biến vào, ra và nhiễu như minh họa trong hình 7.



Hình 7. Các biến quá trình của mô hình điều khiển mức

Theo định luật bảo khối lượng, ta có biến thiên thể tích phần nước trong bình được mô tả ở phương trình (1):

$$\frac{dV}{dt} = F_1 + F_3 - F_2 \quad (1)$$

Với V là thể tích nước trong bình trụ tròn nằm ngang, được tính theo (2):

$$V = L \left[\frac{\pi R^2}{2} - R^2 \arcsin \frac{R-H}{H} - (R-H) \sqrt{H(2R-H)} \right] \quad (2)$$

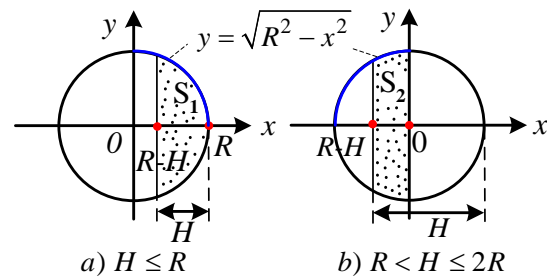
Thật vậy, ta xét bình trụ tròn nằm ngang với tiết diện mặt bên là hình tròn. Đặt hệ trục tọa

độ Oxy như hình 8 với phương trình đường tròn được mô tả theo công thức (3).

$$x^2 + y^2 = R^2 \Rightarrow y = \pm \sqrt{R^2 - x^2} \quad (3)$$

Xét trường hợp bình chứa có mức nước $H \leq R$ (hình 8a), từ (3) ta có thể tích phần nước trong bình được tính theo công thức (4):

$$V_1 = LS_1 = L \left(2 \int_{R-H}^R \sqrt{R^2 - x^2} dx \right) = V \quad (4)$$



Hình 8. Mặt cắt của bình chứa

Xét trường hợp bình chứa có mức nước $R < H \leq 2R$ (hình 8b), từ (3) ta có thể tích phần nước trong bình được tính theo công thức (5):

$$\begin{aligned} V_2 &= L \left(\frac{\pi R^2}{2} + S_2 \right) \\ &= L \left(\frac{\pi R^2}{2} + 2 \int_{R-H}^0 \sqrt{R^2 - x^2} dx \right) = V \end{aligned} \quad (5)$$

Thay (4) và (5) vào (1), ta có:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{A} (F_1 + F_3 - F_2) = g \quad (6)$$

$$\text{với } A = 2L\sqrt{H(2R-H)} \quad (7)$$

Từ (6), xét trạng thái xác lập, ta có (8)

$$\overline{F_1} + \overline{F_3} - \overline{F_2} = 0 \quad (8)$$

Từ (6) và (8), ta có phương trình sai phân mô tả bình chứa (9).

$$\Delta \dot{H} = \frac{1}{A} (\Delta F_1 + \Delta F_3 - \Delta F_2) \quad (9)$$

$$\text{với } \bar{A} = 2L\sqrt{H(2R - H)} \quad (10)$$

Từ (9), ta có phương trình Laplace mô tả bình chứa (11)

$$H^*(s) = \frac{1}{Ts} [f_1(s) - f_2(s)] \quad (11)$$

$$\text{với } H^* = \frac{\Delta H}{H_{\max}}; f_1 = \frac{\Delta F_1}{F_{\max}}; \quad (12)$$

$$f_2 = \frac{\Delta F_2 - \Delta F_3}{F_{\max}}; T = \frac{\bar{A} \cdot H_{\max}}{F_{\max}}$$

và ký hiệu ngang trên (*) để chỉ giá trị của một biến tại điểm làm việc, ký hiệu (Δ^*) biểu diễn biến chênh lệch so với giá trị tại điểm làm việc.

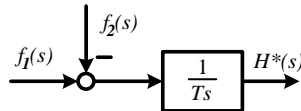
f_1, f_2 : giá trị tương đối của lưu lượng đầu vào, đầu ra của bình (%);

F_{\max} : lưu lượng thể tích cực đại (m^3/h);

H_{\max} : chiều cao cực đại (m);

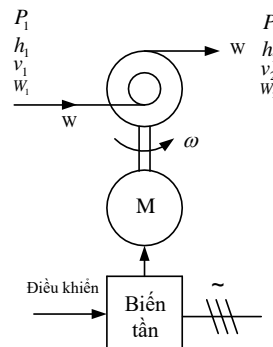
H^* : giá trị mức tương đối (%).

Từ (11), ta có sơ đồ khối mô tả quá trình mức được minh họa ở hình 9.



Hình 9. Sơ đồ cấu trúc mô hình điều khiển mức

Lưu lượng nước cấp F_1 được điều chỉnh bằng bơm ly tâm ba pha Pu01 (hình 10). Đây là vấn đề khá quan trọng do đặc tính bơm ly tâm phi tuyến mạnh.



Hình 10. Sơ đồ nguyên lý điều chỉnh lưu lượng dùng bơm

P_1, P_2 : Áp suất môi chất ở đầu vào, đầu ra của bơm (N/m^2);

v_1, v_2 : Thể tích riêng môi chất ở đầu vào, đầu ra của bơm (m^3/kg);

h_1, h_2 : Hàm enthalpy môi chất ở đầu vào, đầu ra của bơm;

W_1, W_2 : Lưu lượng khối lượng môi chất ở đầu vào, đầu ra của bơm (kg/s);

Q_1, Q_2 : Lưu lượng thể tích môi chất ở đầu vào, đầu ra của bơm (m^3/s);

Φ : Thông lượng nhiệt đưa vào trên đơn vị chiều dài (W/m), $\Phi = 0$;

ω : Tốc độ quay của động cơ bơm (rad/s);

P_s : Công suất cấp của bơm (W);

u_1, u_2 : Nội năng đơn vị môi chất ở đầu vào, đầu ra của bơm;

η : Hiệu suất của bơm.

Trong trường hợp này:

$$v_1 = v_2, Q_1 = Q_2 = F_1, W_1 = W_2 = W = \frac{F_1}{v_1}$$

Theo định luật bảo toàn năng lượng, ta có biến thiên năng lượng của hệ thống bơm được mô tả ở phương trình (13):

$$\frac{dE}{dt} = P_s - F_1(P_2 - P_1) - W(u_2 - u_1) \quad (13)$$

Theo tài liệu [6], ta có phương trình vi phân tốc độ quay của động cơ bơm (14):

$$J \frac{d\omega}{dt} = \frac{\eta P_s}{\omega} - \frac{F_1 P}{\omega} = k \quad (14)$$

với $\frac{\eta P_m}{\Omega} = M_d$ là thành phần sinh momen động cơ bơm.

$\frac{F_1}{\omega}(P_2 - P_1) = \frac{F_1 P}{\omega} = M_c$ là thành phần momen tải cần có để làm chuyển động dung dịch.

Điều chỉnh lưu lượng F_1 bằng điều khiển tốc độ bơm tức là điều khiển công suất bơm

Pu01. Khi thay đổi lưu lượng bằng thay đổi tốc độ bơm, ta có động học quá trình phi tuyến có quán tính lớn [1].

Từ (14), ta có phương trình sai phân mô tả bơm ly tâm (15):

$$J\Delta\dot{\omega} = \frac{\eta}{\bar{\omega}}\Delta P_s - \frac{\eta\bar{P}_s - \bar{F}_1\bar{P}}{\bar{\omega}^2}\Delta\omega - \frac{\bar{P}}{\bar{\omega}}\Delta F_1 - \frac{\bar{F}_1}{\bar{\omega}}\Delta P \quad (15)$$

Từ (15), ta có phương trình Laplace mô tả bơm ly tâm như phương trình (16):

$$f_1(s) = K_1\Delta P_s + K_2(1+sT_2)\Delta\omega + K_3\Delta P \quad (16)$$

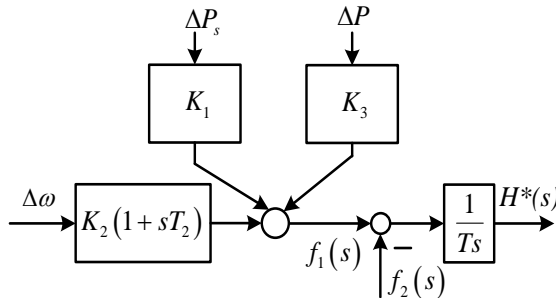
$$\text{với } K_1 = \frac{\eta}{\bar{P}F_{\max}}, K_2 = -\frac{\eta\bar{P}_s - \bar{F}_1\bar{P}}{\bar{\omega}\bar{P}F_{\max}},$$

$$K_3 = -\frac{\bar{F}_1}{\bar{P}F_{\max}}, T_2 = \frac{J\bar{\omega}^2}{\eta\bar{P}_s - \bar{F}_1\bar{P}}$$

Kết hợp (11) và (16), ta có phương trình Laplace mô tả quá trình điều khiển mức kết hợp việc dùng bơm ly tâm để thay đổi lưu lượng:

$$H^*(s) = \frac{1}{Ts} \left[K_1\Delta P_s + K_2(1+sT_2)\Delta\omega + K_3\Delta P - f_2(s) \right] \quad (17)$$

Sơ đồ khối mô tả quá trình điều khiển mức này được minh họa ở hình 11:

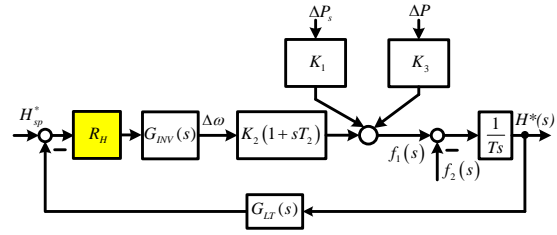


Hình 11. Sơ đồ khối mô hình điều khiển mức kết hợp điều chỉnh lưu lượng dùng bơm

5. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH ĐIỀU KHIỂN MỨC CHẤT LỎNG

Áp dụng phương pháp điều khiển phản hồi

vào đối tượng trên ta có sơ đồ khối mạch vòng điều chỉnh mức như hình 12.



Hình 12. Mạch vòng điều chỉnh mức

Bộ cảm biến mức dùng sóng siêu âm có hàm truyền $G_{LT}(s) \approx 1$.

Biến tần được dùng để điều khiển tốc độ bơm, được cài đặt chạy theo chế độ điều khiển tốc độ theo phương pháp tựa từ thông rotor - FOC kết hợp sensorless, bộ điều khiển tốc độ được tổng hợp theo tiêu chuẩn tối ưu modun, theo [7], ta có hàm truyền của toàn bộ khâu điều khiển tốc độ bơm bằng biến tần có dạng công thức (18):

$$G_{INV}(s) = \frac{1}{1+2sT_{sw} + 2s^2T_{sw}^2} \approx \frac{1}{1+2sT_{sw}} \quad (18)$$

do T_{sw}^2 là thành phần vô cùng bé bậc cao.

Theo kinh nghiệm, chọn $T_{sw} = 0,5T_2$, ta có hàm truyền đạt đối tượng có dạng công thức (19):

$$S_0 = G_{INV}K_2(1+sT_2)\frac{1}{Ts} = \frac{K_2}{T}\frac{1}{s} \quad (19)$$

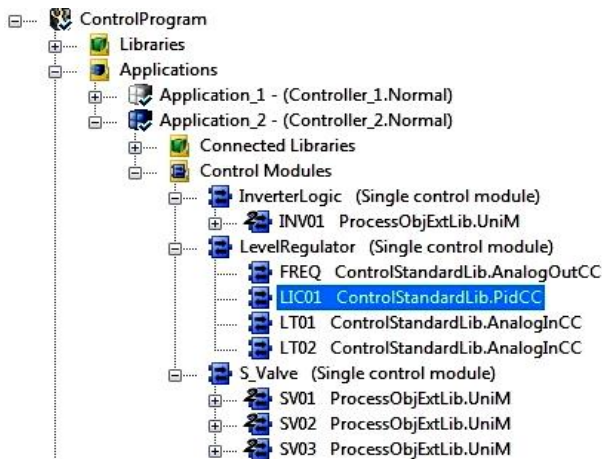
So với các phương pháp Astron/Shei, Tyreus-Luyben, Nichols-Zigler, phương pháp IMC-PID theo Skogesfad (SIMC-PID) có độ ổn định bền vững tốt hơn, chỉ tiêu lượng điều khiển tốt hơn [1,8]. Áp dụng luật chỉnh định SIMC-PID, ta có bộ điều khiển mức như công thức (20):

$$R_H = K_p \left(1 + \frac{1}{s\tau_i} \right), \tau_i = 2\tau_c, K_p = \frac{2T}{\tau_c K_2} \quad (20)$$

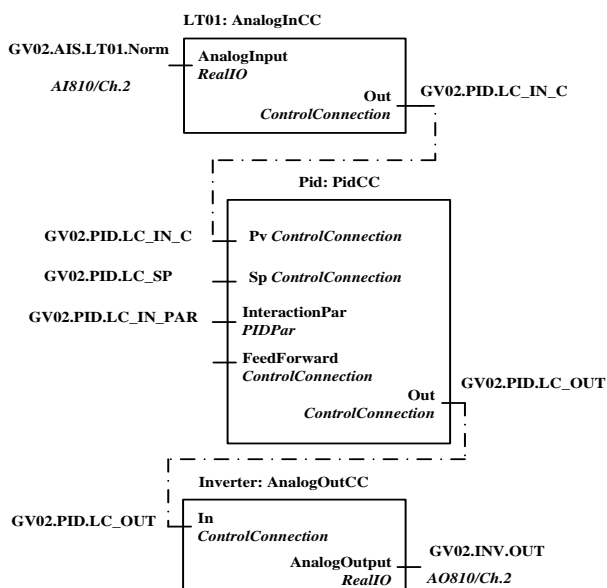
Với τ_c là hằng số thời gian bộ lọc mong muốn.

Ngoài ra, chúng tôi đã tiến hành lắp đặt toàn bộ mô hình (như ở hình 6), tích hợp cảm biến mức LT01 vào mô hình. Bên cạnh đó, trong mô hình, chúng tôi lắp đặt thêm một bộ cảm biến mức thứ hai LT02 loại UB2000-F42-U-V15 của hãng Pepperl. Tiến hành chạy thực nghiệm trên mô hình và hệ thống phần cứng, phần mềm của ABB ta có đường đặc tính tín hiệu đo khoảng cách từ mỗi bộ cảm biến đến bề mặt nước, được minh họa như hình 16.

Đường đặc tính của LT01 bám khá sát đường đặc tính của LT02, sai lệch đo của LT01 so với LT02 có nhưng khá nhỏ, không đáng kể, đảm bảo yêu cầu của bộ đo mức.



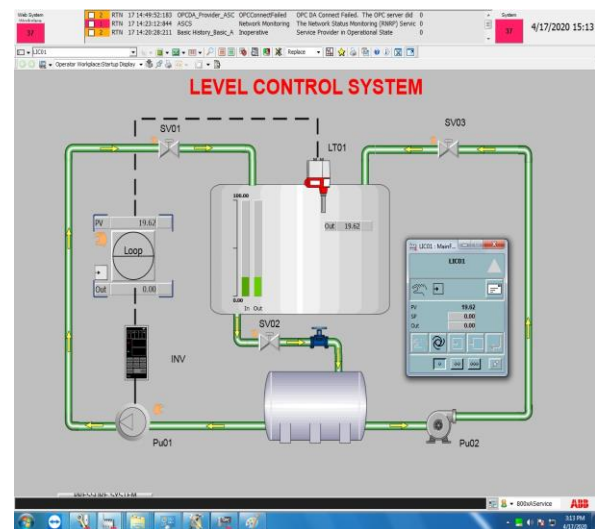
Hình 17. Code chương trình điều khiển trên CBM



Hình 18. Sơ đồ kết nối các khối Control Module trong chương trình điều khiển

Để kiểm tra tính ổn định của bộ đo mức siêu âm LT01, chúng tôi tiến hành thiết lập mạch vòng kín điều khiển mức nước. Chương trình điều khiển được thiết lập trên phần mềm Control Builder M Profession V5.1 (CBM), được minh họa ở hình 17. Chương trình này được lập trình dựa trên các Single Control Module và các Control Module với các Parameter kết nối với nhau thông qua các biến toàn cục, được minh họa ở hình 18.

Phần giao diện vận hành, điều khiển, giám sát được thiết lập trên phần mềm Process Portal A, được minh họa như ở hình 19.



Hình 19. Màn hình giao diện điều khiển mức chất lỏng

Tiến hành chạy thực nghiệm hệ thống với bộ tham số bộ điều chỉnh PI được chỉnh định từ công thức (20), ta có các đáp ứng mức nước bình chứa như ở hình 20.

Các kết quả ở hình 20 cho thấy: khi giá trị mức đặt (đường màu đỏ) thay đổi từ 0 lên 20%, từ 20% lên 40%, sau đó lên 60% và giảm xuống còn 50% thì thông qua bộ điều khiển mức nước trong bình đo được (lấy từ cảm biến LT01) luôn bám theo giá trị mức đặt, có sự quá điều chỉnh tại những thời điểm mức đặt thay đổi, sai lệch ở trạng thái ổn định khá nhỏ (<5%). Điều này chứng tỏ cảm biến siêu âm LT01 của nhóm nghiên cứu hoạt động khá ổn định, thỏa mãn các yếu tố kỹ thuật đã đưa ra, có thể dùng cho các hệ

thống điều khiển quá trình đòi hỏi việc đo mức và điều chỉnh mức.



Hình 20. Đáp ứng mức nước trong bình khi chạy thực nghiệm

Chú thích:

- giá trị mức trong bình LT01(%)
- giá trị mức đặt (%)

7. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

Vấn đề nghiên cứu, tích hợp và xây dựng bộ cảm biến mức dùng sóng siêu âm nói riêng

và tự xây dựng và tích hợp mô hình điều khiển quá trình là việc rất cần thiết và có nhiều ý nghĩa do chi phí nhập các mô hình thực hành điều khiển quá trình của nước ngoài khá cao. Trong bài báo này chúng tôi đã giới thiệu và trình bày vấn đề tích hợp một bộ cảm biến dạng sóng siêu âm để đo mức trong một mô hình điều khiển quá trình đơn biến mà chúng tôi tự lắp đặt, tích hợp. Cảm biến này cũng như mô hình hiện đang triển khai cho các học phần thực hành, thí nghiệm trong Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp. Hướng nghiên cứu tiếp theo: bổ sung tính năng truyền thông của bộ cảm biến mức này. Trong thời gian tới, chúng tôi sẽ triển khai thử nghiệm cảm biến mức này tại một số nhà máy công nghiệp với đối tượng là quá trình đa biến. Với những gì đã làm được, chúng tôi tin tưởng sẽ có thể triển khai bộ cảm biến này và mô hình điều khiển quá trình này trên diện rộng, tại các trường đại học cũng như trong các nhà máy công nghiệp, từ đó góp phần vào sự nghiệp công nghiệp hóa, hiện đại hóa của nước ta.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bùi Quốc Khánh, Phạm Quang Đăng, Nguyễn Huy Phương (2014), *Điều khiển quá trình*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, tr. 119-121, 203-208.
- [2] Nguyễn Đình Chinh, Giản Quốc Anh, Mai Thế Phú Quý, Nguyễn Tuấn Linh, Nguyễn Tiến Anh, Trần Đức Tân (2016), *Nghiên cứu phát triển thiết bị đo mưa hỗ trợ cảnh báo trượt lở đất*. Tạp chí Nghiên cứu khoa học và công nghệ quân sự, số 43, tr. 94-101.
- [3] Ngô Minh Nhứt, Mai Hoàng Phương (2015), *Xây dựng một số thí nghiệm sử dụng cảm biến siêu âm và phần mềm Labview để dạy học chương trình động học - vật lý 10*. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Sư phạm TP. Hồ Chí Minh, số 8(74), tr.60-69.
- [4] STMicroelectronics, STM32 Nucleo-64 boards (MB1136) user manual.
- [5] ABB (2010) System 800xA 5.1. Documents.
- [6] Philip J. Thomas, (1999). *Simulation of Industrial Processes for Control Engineers*, Elsevier Science & Technology Books, Pages 222-224.
- [7] Bùi Quốc Khánh, Nguyễn Văn Liễn, Phạm Quốc Hải, Dương Văn Nghi (2016), *Điều chỉnh tự động truyền động điện*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, tr 306-318.
- [8] G. Saravanakumar, S. Dinesh, S. Preteep, P. Sridhar, and M. Suresh (2017). *Controller Tuning Method for Non-Linear Conical Tank System*. Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST), Volume 1, Issue 2, Pages 224-228.

Thông tin liên hệ:

Nguyễn Đức Dương

Điện thoại: 0904662074; Email: ndduong86.ddt@uneti.edu.vn

Khoa Điện, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.

