

# HỆ THỐNG BƠM NƯỚC TỰ ĐỘNG

Lê Phan Nguyên Đạt - 20139037, Nguyễn Hoài Tâm - 20139012

**Tóm tắt nội dung**—Mục tiêu của đồ án là thiết kế và triển khai hệ thống bơm nước tự động kết hợp với cảm biến mực nước và bộ điều khiển PID để tự động hóa quá trình bơm nước. Hệ thống sử dụng một vi điều khiển và cảm biến mực nước để phát hiện mức nước và điều khiển hoạt động của bơm. Hệ thống đề xuất cung cấp một giải pháp thiết thực và tiết kiệm chi phí cho việc bơm nước tự động, giúp tiết kiệm nước, giảm thiểu sự can thiệp thủ công và hạn chế hiện tượng búa nước xảy ra làm hư hỏng hệ thống ống nước.

## I. GIỚI THIỆU

Hiện nay trong các khu vực nông thôn hoặc nơi có nguồn nước không ổn định, việc sử dụng máy bơm nước trở nên phổ biến để cung cấp nước cho sinh hoạt và sản xuất. Tuy nhiên, việc vận hành bơm nước thủ công còn gặp phải nhiều khó khăn, đặc biệt là trong trường hợp không có người sử dụng có mặt để điều khiển hoạt động của bơm.

Ngoài ra, khi đóng ngắt các máy bơm có cấu trúc hệ thống không đảm bảo không đúng cách có thể xảy ra hiện tượng búa nước. Hiện tượng búa nước là hiện tượng xảy ra khi dòng chảy nước trong hệ thống ống dẫn bị đột ngột gián đoạn và tạo ra các làn sóng âm thanh và dao động. Hiện tượng búa nước không chỉ gây ra tiếng ồn và rung động khó chịu mà còn có thể gây ra thiệt hại cho hệ thống ống dẫn và các thiết bị đi kèm nếu xảy ra quá thường xuyên.

Trọng tâm của đồ án này là thiết kế và triển khai hệ thống bơm nước tự động với tính năng kiểm soát lưu lượng nước, giúp cho việc cung cấp nước trở nên an toàn, tiện lợi và hiệu quả hơn. Bên cạnh đó việc kết hợp với bộ điều khiển PID sẽ giúp hệ thống bơm nước hoạt động một cách chính xác.

## II. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### A. Động cơ điện một chiều

Động cơ điện một chiều viết tắt của “Direct Current Motors” còn gọi là động cơ DC, chuyển đổi năng lượng điện thành năng lượng cơ học. Động cơ DC lấy năng lượng điện thông qua dòng điện trực tiếp và chuyển đổi năng lượng này thành vòng quay cơ học.

Ta gọi  $J$  là mômen quán tính của rôto động cơ,  $B$  là hệ số tải,  $\omega_m$  là tốc độ động cơ (rpm) và  $E_m$  lần lượt theo thứ tự là điện áp và dòng điện nguồn cấp cho động cơ.

Ta có: Mômen phát sinh trên trục động cơ  $T_m$  là:

$$T_m = K \cdot I_m \quad (1)$$

Và với  $R_0$  là điện trở phần ứng rôto ta lại có:

$$E_m = I_m \cdot R_0 \quad (2)$$

Từ định luật Newton II ta có:

$$J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m = T_m \quad (3)$$

Từ đó ta được:

$$J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m = \frac{K E_m}{R_0} \quad (4)$$

Sử dụng biến đổi Laplace cho phương trình trên ta được mô hình hàm truyền của động cơ DC:

$$\frac{\omega_m(s)}{E_m(s)} = \frac{\frac{K}{R_0 J}}{\frac{s}{B}} \quad (5)$$

Đặt  $G(s) = \frac{\omega_m(s)}{E_m(s)}$  và dùng phép biến đổi Laplace ngược cả 2 vế phương trình (5):

$$G(t) = a_1 e^{-a_2 t} \quad (6)$$

Trong đó  $a_1 = \frac{K}{R_0 J}$ ;  $a_2 = \frac{B}{J}$ . Để xác định đáp ứng của tốc độ động cơ dưới dạng mô hình hàm truyền đạt hoặc dạng hàm theo thời gian, chúng ta cần xác định các thông số của động cơ như hệ số khuếch đại tĩnh động cơ  $K$ , hệ số tải  $B$ , mômen quán tính  $J$  và hệ số tụt áp  $R_0$ . Từ đó, ta có thể xác định được hệ số khuếch đại và hằng số thời gian của mô hình động cơ.

Trong đồ án này, nhóm sẽ sử dụng encoder để chuyển đổi số vòng quay của động cơ điện một chiều thành một hệ số, tỉ lệ với độ phân giải của encoder.

Động cơ DC sử dụng nam châm vĩnh cửu có từ trường không đổi. Mỗi quan hệ giữa tốc độ động cơ và điện áp được ánh xạ bởi phương trình (4). Vì tác động cơ học của động cơ nhanh, ta sử dụng phương pháp điều khiển điện áp phản ứng để điều chỉnh tốc độ của động cơ DC, đó là phương pháp điều chế độ rộng xung (PWM - Pulse Width Modulation).

Giá trị trung bình của điện áp trên tải được tính theo công thức:

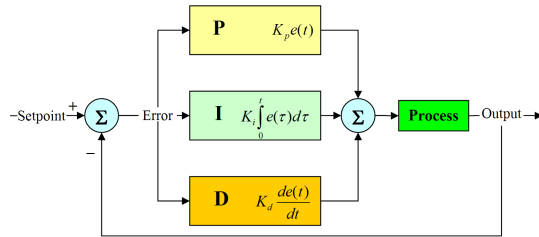
$$U_t = U_{max} \frac{T_{on}}{T_{off}} = \text{Amplitude} \times \frac{\text{Duty cycle}}{\text{Period}} \quad (7)$$

Ta thấy giá trị điện áp trên tải phụ thuộc vào tỉ số  $\gamma = \text{Duty cycle}/\text{Period}$ . Do đó, với mỗi chu kỳ xung, ta có thể Duty cycle để điều chỉnh điện áp [1].

### B. Bộ điều khiển PID

PID là viết tắt của Proportional Integral Derivative, là một cơ chế phản hồi vòng điều khiển phổ biến trong các hệ thống điều khiển công nghiệp. Bộ điều khiển này được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển vòng kín và các hệ thống có tín hiệu phản hồi.

Bộ điều khiển PID tính toán sai số, là hiệu số giữa giá trị đo của thông số về biến đổi và giá trị đặt theo mong muốn của người thiết kế hoặc người dùng. Bằng cách điều chỉnh các giá trị điều khiển, hệ thống điều khiển giảm thiểu sai số và đạt được hoạt động chính xác hơn, đồng thời nâng cao hiệu suất.



Hình 1: Mô hình bộ điều khiển Proportional Integral Derivative - PID.

Bộ điều khiển PID kết hợp ba thành phần:

1) Thành phần Tỷ lệ P(Proportional): là phương pháp điều chỉnh tỷ lệ, giúp tạo ra tín hiệu điều chỉnh tỷ lệ với sai lệch đầu vào theo thời gian lấy mẫu.

2) Thành phần Tích phân I (Integral): là tích phân của sai lệch theo thời gian lấy mẫu. Điều khiển tích phân là phương pháp điều chỉnh để tạo ra các tín hiệu điều chỉnh sao cho độ sai lệch giảm về 0. Từ đó cho ta biết tổng sai số tức thời theo thời gian hay sai số tích lũy trong quá khứ. Khi thời gian càng nhỏ thể hiện tác động điều chỉnh tích phân càng mạnh, tương ứng với độ lệch càng nhỏ.

3) Thành phần Vi phân D (Derivative): là vi phân của sai lệch. Điều khiển vi phân tạo ra tín hiệu điều chỉnh sao cho tỷ lệ với tốc độ thay đổi sai lệch đầu vào. Thời gian càng lớn thì phạm vi điều chỉnh vi phân càng mạnh, tương ứng với bộ điều chỉnh đáp ứng với thay đổi đầu vào càng nhanh.

Luật điều khiển PID được định nghĩa:

$$u(t) = K_p(e(t)) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \frac{de(t)}{dt} \quad (8)$$

Trong đó  $u$  là tín hiệu điều khiển và  $e$  là sai lệch điều khiển ( $e = y_{sp} - y$ ). Tín hiệu điều khiển là tổng của 3 thành phần: Tỷ lệ P, tích phân I và vi phân D. Hàm truyền của bộ điều khiển PID:

$$G_{PID}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_D s = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_D s\right) \quad (9)$$

### III. YÊU CẦU SẢN PHẨM

Sản phẩm có thể điều chỉnh tốc độ bơm theo mực nước có trong hồ. Khi mực nước dâng lên cao thì giảm dần tốc độ bơm. Khi mực nước xuống thấp thì tăng dần tốc độ bơm.

Yêu cầu thiết kế đối với mô hình Hệ thống bơm nước tự động cụ thể như sau:

- 1) Module cảm biến có thể đo được mực nước.
- 2) Vi điều khiển có thể đọc được dữ liệu cảm biến và có sẵn thư viện hỗ trợ cho việc lập trình nhanh chóng.

- 3) Động cơ DC có Encoder, công suất thấp, kích thước nhỏ phù hợp với điều kiện mô hình.

### IV. ĐẶC TẢ HỆ THỐNG

Yêu cầu kỹ thuật đối với mô hình Hệ thống bơm nước tự động cụ thể như sau:

- 1) Cảm biến có thể đo được mực nước:

Kích thước: 62 x 20 x 8mm - 62 x 20 x 8mm.

Điện áp hoạt động: DC 3 - 5V.

Dòng hoạt động: 20mA.

Tín hiệu ngõ ra: Analog.

- 2) Vi điều khiển có thể đọc được dữ liệu cảm biến và có sẵn thư viện hỗ trợ cho việc lập trình nhanh chóng:

Điện áp hoạt động: DC 5V.

Bộ nhớ: 400 - 500 Kbyte ROM, 400 - 600 Kbyte SRAM.

- 3) Động cơ DC có Encoder, công suất thấp, kích thước nhỏ phù hợp với điều kiện mô hình:

Trọng lượng: 20 - 50 gram.

Điện áp hoạt động của động cơ DC: DC 9V.

Dòng hoạt động của động cơ DC: 40 - 100mA.

Tốc độ hoạt động cơ DC: 2000 - 10 000 vòng/phút.

Điện áp hoạt động của encoder: DC 3,3 V.

Đĩa encoder: 30 - 200 xung.

### V. THIẾT KẾ MÔ HÌNH HỆ THỐNG

#### A. Nguyên, vật liệu

- 1) Module cảm biến mực nước:

Điện áp hoạt động: DC 3-5V.

Dòng hoạt động: 20mA.

Tín hiệu ngõ ra: Analog.

Kích thước: 62 x 20 x 8mm.

- 2) Vi điều khiển ESP32:

Điện áp hoạt động: DC 5V.

Bộ nhớ: 448 Kbyte ROM, 520 Kbyte SRAM, 6 Kbyte SRAM trên RTC.

- 3) Động cơ DC L2523-60002 tích hợp encoder:

Trọng lượng: 25 gram.

Điện áp hoạt động của động cơ DC: DC 6 - 12V.

Dòng hoạt động không tải của động cơ DC: 40mA.

Tốc độ hoạt động cơ DC: 3800 - 7800 vòng / phút.

Điện áp hoạt động của encoder: DC 2V - 3.3V.

Đĩa encoder: 30 xung.

- 4) Hồ mini chứa nước.

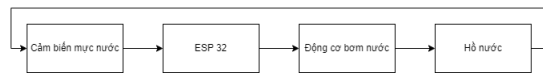
Kích thước: 14 x 11 x 7cm.

Chất liệu: Nhựa.

#### B. Mô tả hoạt động

Mô hình này sử dụng MCU Esp32 để đọc và thu được dữ liệu về mực nước có trong hồ từ cảm biến mực nước. Sau đó thông qua bộ điều khiển PID, Esp32 sẽ tự điều chỉnh tốc độ của máy bơm sao cho phù hợp với mực nước, yêu cầu của người dùng cụ thể là hạn chế áp suất, lãng phí nước và hư hỏng đường dẫn nước.

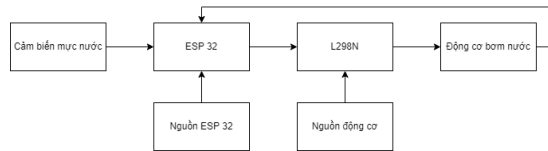
Hoạt động của mô hình thông qua sơ đồ khối sau:



Hình 2: Sơ đồ khối mô hình.

### C. Thiết kế kiến trúc

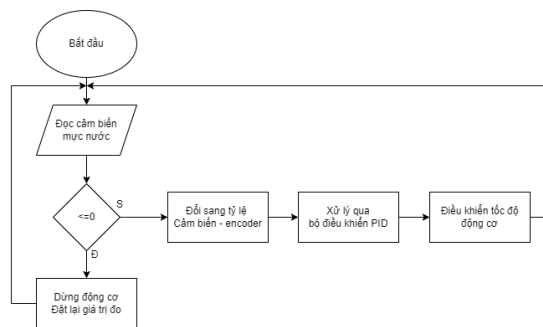
Sơ đồ khối giao tiếp phần cứng:



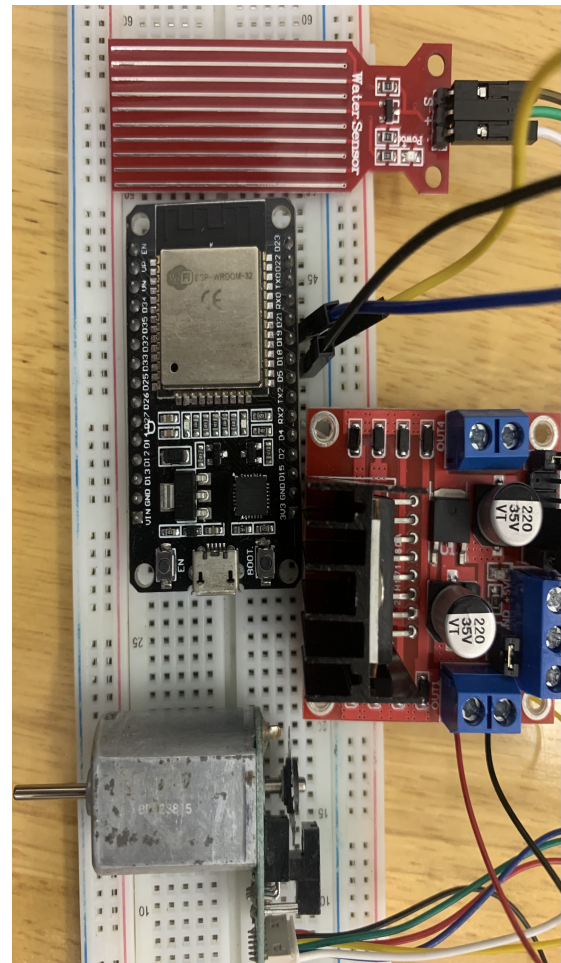
Hình 3: Sơ đồ khối giao tiếp phần cứng.

### D. Thiết kế chi tiết

Lưu đồ hoạt động:



Hình 4: Lưu đồ hoạt động của phần mềm.



Hình 5: Mô hình bơm nước tự động.

Khi bắt đầu, ESP32 sẽ lấy dữ liệu từ cảm biến mực nước, nếu bắt đầu có giá trị thì sẽ chuyển giá trị sang tỷ lệ cảm biến - encoder. Đặt đầu vào cho bộ điều khiển PID và điều khiển tốc độ động cơ qua L298N tỉ lệ nghịch với giá trị của cảm biến.

## VI. KẾT QUẢ THỰC HIỆN

Mô hình hệ thống đã có thể tự động điều chỉnh tốc độ bơm nước vào hồ mà không cần sự can thiệp từ con người.

Sau quá trình nghiên cứu và hoàn thành mô hình nhóm đã học hỏi được nhiều kinh nghiệm làm việc nhóm, thao tác với overleaf để trình bày báo cáo và nhiều kiến thức khác.

## VII. NHẬN XÉT - ĐÁNH GIÁ

Mô hình hệ thống phù hợp với yêu cầu thiết kế và yêu cầu kỹ thuật đã đề ra trước đó.

Cảm biến nhận được tín hiệu mực nước ổn định.

Máy bơm, encoder và Esp32 hoạt động ổn định.

Thuật toán điều khiển PID có thể điều khiển giảm tốc độ bơm khi lượng nước dần vượt cao hơn cảm biến (lượng nước trong hồ gần đầy) và bắt đầu tăng tốc độ bơm khi lượng nước thấp dần so với cảm biến (lượng nước gần cạn).

Khi phát triển trên mô hình thực tế cần nghiên cứu và cải thiện thêm về cảm biến mực nước, thuật toán PID và tối ưu về vi điều khiển.

## VIII. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. M. Basil, "System Identification Algorithm for Systems with Interval," Volume 18 February 2012.