

## Phương pháp điều khiển PID cho hệ quạt và tấm phản: Mô phỏng và thực nghiệm

### PID control method for fan and plate: Simulation and experiment

Nguyễn Ngọc Phú<sup>1</sup>, Nguyễn Hải Thanh<sup>2\*</sup>, Hoàng Nam Kôn<sup>1</sup>, Lê Hữu Đạt<sup>1</sup>,  
Ngô Hoàng Thiện<sup>1</sup>, Dương Thành Đạt<sup>1</sup>, Nguyễn Hữu Nghĩa<sup>1</sup>, Phạm Đình Phước<sup>1</sup>,  
Ngô Ngọc Quang<sup>1</sup>, Nguyễn Quốc Bảo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Khoa Đào tạo Chất lượng cao, Đại học Sư phạm Kỹ Thuật TP HCM

<sup>2</sup> Khoa Điện-Điện tử, Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP HCM

\* nguyenhaithanh@nhct.edu.vn

Ngày nhận bài:

02/7/2023

Ngày chấp nhận đăng:

09/8/2023

**Keywords:** fan and plate, PID control, linear algorithm, SISO system

#### ABSTRACT

*This article introduces the fan and plate system (F&P) - a simple single input - single output - SISO system but with high nonlinearity and low cost, which can be widely applied to automatic control laboratories. The algorithm examined in this article is PID - a popular linear algorithm in industry and academia. The PID controller has worked well and effectively on the above system with setting angles of 10 degrees and 15 degrees. Besides, an F&P experimental platform is implemented at the automatic control Laboratory. Through simulation and experiment, the plate has been successfully controlled stably at the desired position as required. The process of investigating changes in PID control parameters is consistent with the rules of control theory.*

#### TÓM TẮT

*Trong bài báo này, chúng tôi giới thiệu về hệ quạt và tấm phản (fan and plate – F&P) – một hệ một vào một ra (single input – single output – SISO) đơn giản nhưng có tính phi tuyến cao, chi phí thấp, có thể được áp dụng rộng rãi cho các phòng thí nghiệm (PTN) điều khiển tự động (ĐKTĐ). Giải thuật được khảo sát trong bài báo này là PID – một giải thuật tuyến tính thông dụng trong công nghiệp và học thuật. Bộ điều khiển (BĐK) PID đã hoạt động tốt và hiệu quả trên hệ trên với góc đặt 10 độ và 15 độ. Bên cạnh đó, một nền tảng thí nghiệm F&P được thực hiện tại PTN ĐKTĐ. Thông qua mô phỏng và thực nghiệm, tấm phản đã được điều khiển ổn định thành công tại vị trí xác định mong muốn theo yêu cầu. Quá trình khảo sát sự thay đổi thông số điều khiển PID là phù hợp với quy luật lý thuyết điều khiển.*

**Từ khóa:** quạt và tấm phản, điều khiển PID, giải thuật tuyến tính, hệ SISO

### 1. Giới thiệu

Trong ĐKTĐ, các mô hình đơn giản và mang tính chuẩn hóa được xây dựng để khảo sát các giải thuật điều khiển. Các mô hình kinh điển như con lắc ngược quay (S. Patil và cộng sự, 2022, trang 1-5), bóng thanh (S. Latif, E. Muhammad & U. Naeem,

2019, trang 74-79) đã được sử dụng nhiều và giúp cho việc đào tạo, nghiên cứu về giải thuật được thuận tiện, phổ biến rộng rãi. Bên cạnh đó, việc phát triển các mô hình chuẩn khác cũng cần thiết, để việc khảo sát các giải thuật được phong phú hơn. Từ đó, việc ứng dụng giải thuật phù hợp cho từng trường hợp

cũng được nâng cao. Trong nghiên cứu này, một đối tượng phi tuyến SISO được chúng tôi giới thiệu là hệ F&P. Đây là một hệ tụy đơn giản nhưng mới được nghiên cứu gần đây ở Việt Nam. Trên thế giới, hệ này đã được giới thiệu ở nghiên cứu (E. Dincel, Y. Yalçın & S. Kurtulan, 2014, trang 545-550). Trong nghiên cứu này, cấu trúc toán học của F&P không được giới thiệu và cũng không có thông tin mô phỏng nào được trình bày, giải thuật PID dựa trên thực nghiệm được thực hiện trên PLC Beckhoff CX9000. Cấu trúc toàn bộ mô hình thực nghiệm trên là rất đắt tiền, khó có thể được trang bị rộng rãi cho các PTN. Giải thuật PID đã được thực hiện trên cả mô phỏng và thực nghiệm ở tài liệu trên. Tuy nhiên, việc áp dụng lại giải thuật này trên một vi điều khiển có giá thành rẻ, thiết bị phổ quát cho sinh viên trong các PTN ở Việt Nam là cần thiết để tạo ra một cấu trúc vừa túi tiền và dễ trang bị. Trên cơ sở đó, sau giải thuật PID, các giải thuật khác như mờ, phi tuyến có thể được tiếp tục áp dụng hoặc nghiên cứu. Bên cạnh đó, các giải thuật như mờ (Gharieb, W., 1999, vol 1625), trượt (Huann-Keng Chiang và cộng sự, 2014, trang 383-388) đều đã được thực hiện thành công trên mô hình F&P. Tuy nhiên, ở Việt Nam, việc khảo sát đối tượng này vẫn chưa

được thực hiện. Do đó, đây là một mô hình mới, cần được thử nghiệm để đánh giá, phù hợp cho các PTN ĐKTĐ.

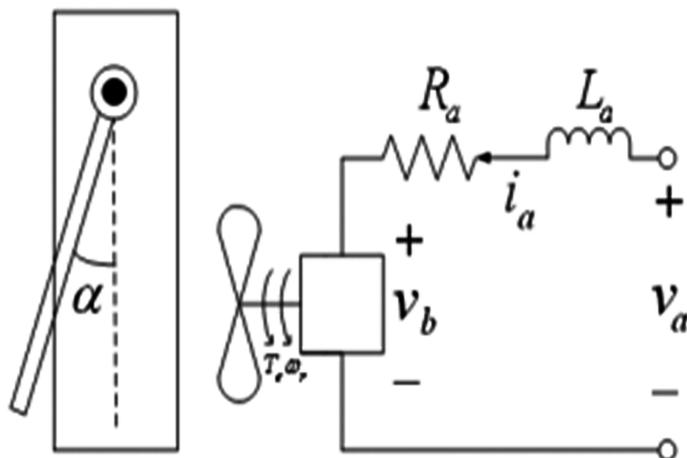
Trong các giải thuật điều khiển PID là giải thuật thông dụng nhất (Liuping Wang, 2020, trang 1-30) vì cấu trúc đơn giản. Cấu trúc đơn giản khiến nó có thể được áp dụng trên các vi điều khiển thông dụng, tốn ít tài nguyên. Do đó, việc nghiên cứu giải thuật này cần được tiếp tục khảo sát để thường xuyên cập nhật, hướng dẫn cho sinh viên.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi xây dựng một đối tượng F&P thực nghiệm áp dụng Arduino- một vi xử lý đơn giản, thông dụng, được áp dụng rộng rãi và có cộng đồng hỗ trợ. BDK PID được chúng tôi thiết kế thử nghiệm trên mô phỏng Matlab/Simulink và mô hình thực nghiệm nêu trên. Giải thuật PID đã chứng tỏ khả năng điều khiển tốt mô hình trên. Bên cạnh đó, sự khảo sát của chúng tôi trong nghiên cứu này cũng xác nhận sự tinh chỉnh PID là phù hợp với lý thuyết điều chỉnh.

## 2. Mô hình toán học

Theo (Huann-Keng Chiang và cộng sự, 2014, trang 383-388) các công thức (1)-(3) được sử dụng. Mô hình toán của F&P được thể hiện ở Hình 1 và phương trình động lực học của F&P được chọn như ở (9)

Hình 1. Mô hình toán F&P



Phương trình momen cho động cơ DC là

$$T_e(t) - T_L(t) - B_m \omega_r(t) = J_m \dot{\omega}_r(t) \quad (1)$$

Trong đó,  $T_e$  là momen động cơ (Nm),  $T_L$  là momen tải (Nm),  $J_m$  là momen quán tính động cơ ( $\text{kgm}^2$ );  $B_m$  là hệ số ma sát của động cơ;  $\omega_r$  là vận tốc góc quay của động cơ (rad/s)

Dựa vào mối quan hệ giữa dòng điện  $i_a$  (A) qua động cơ và momen động cơ, ta có

$$T_e(t) = k_t i_a(t) \quad (2)$$

Với  $k_t$  là hằng số của động cơ

Theo định luật Kirchoff, ta được

$$R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + k_b \omega_r(t) = v_a(t) = u(t) \quad (3)$$

Trong đó,  $L_a$  là điện cảm cuộn dây (H),  $k_b$  là hệ số phản điện của động cơ,  $u$  (hay  $v_a$  là điện áp cấp cho động cơ

Kết hợp (1), (2), (3), chuyển đổi sang miền tần số, ta có:

$$(R_a + L_a s) \left[ \left( \frac{J_m s + B_m}{k_t} \right) \Omega_r(s) + \frac{1}{k_t} T_L(s) \right] + k_b \Omega_r(s) = U(s) \quad (4)$$

Giả sử tải không có, tức  $T_L(s)=0$ , lúc này, (4) trở thành

$$\left[ (R_a + L_a s) \left( \frac{J_m s + B_m}{k_t} \right) + k_b \right] \Omega_r(s) = U(s) \quad (5)$$

Ta định nghĩa:

$$\tau_1 = \frac{J_m R_a}{k_t}, \quad \tau_2 = \left[ \frac{R_a B_m}{k_t} + k_b \right], \quad \tau_3 = \frac{R_a}{k_t} \quad (6)$$

Lúc này, (5) trở thành

$$\tau_1 \dot{\omega}_r(t) + \tau_2 \omega_r(t) = u(t) \quad (7)$$

Bên cạnh đó, góc lệch của tâm phản tỉ lệ thuận với vận tốc góc quay của động cơ thông qua công thức sau

$$\omega_r(t) = \frac{\alpha(t)}{\lambda} \quad (8)$$

Trong đó,  $\lambda$  là hệ số tỉ lệ giữa vận tốc động cơ và góc lệch tâm phản (phụ thuộc đặc tính từng hệ F&P;  $\alpha$  là góc lệch tâm phản so với phương thẳng đứng (rad)

Như vậy, phương trình toán mô tả hệ F&P được mô tả như sau

$$\dot{\alpha}(t) = -\frac{\tau_2}{\tau_1} \alpha(t) + \frac{\lambda}{\tau_1} u(t) \quad (9)$$

### 3. Mô phỏng

#### 3.1. Cấu trúc mô phỏng

Thông số mô hình được chọn như sau:

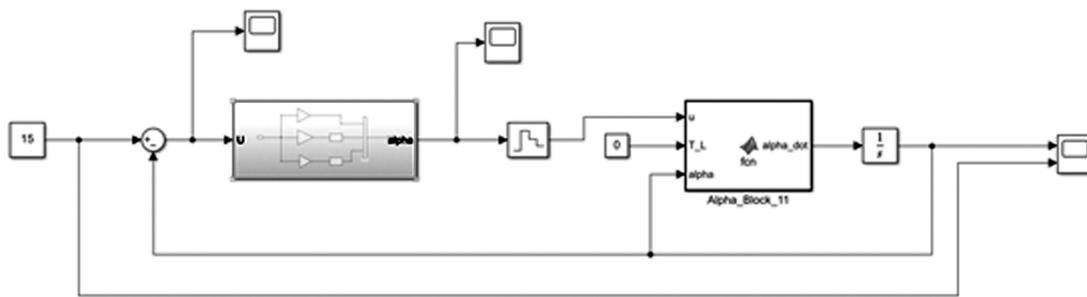
$$k_t = 0.0065; \quad B_m = 4.121 \times 10^{-6}; \quad J_m = 3.87 \times 10^{-7}; \quad R_a = 0.837; \quad \lambda = 0.002; \quad (10)$$

$$\tau_1 = \frac{J_m R_a}{k_t}; \quad \tau_2 = \frac{B_m R_a}{k_t}; \quad \tau_3 = \frac{R_a}{k_t}; \quad a = \frac{-\tau_2}{\tau_1}; \quad b = \frac{\lambda}{\tau_1}; \quad F = 3.11; \quad a_0 = -0.25;$$

$$b_0 = 2.14; \quad d = 0$$

Cấu trúc mô phỏng được thể hiện ở Hình 2

**Hình 2.** Cấu trúc mô phỏng PID cho F&P

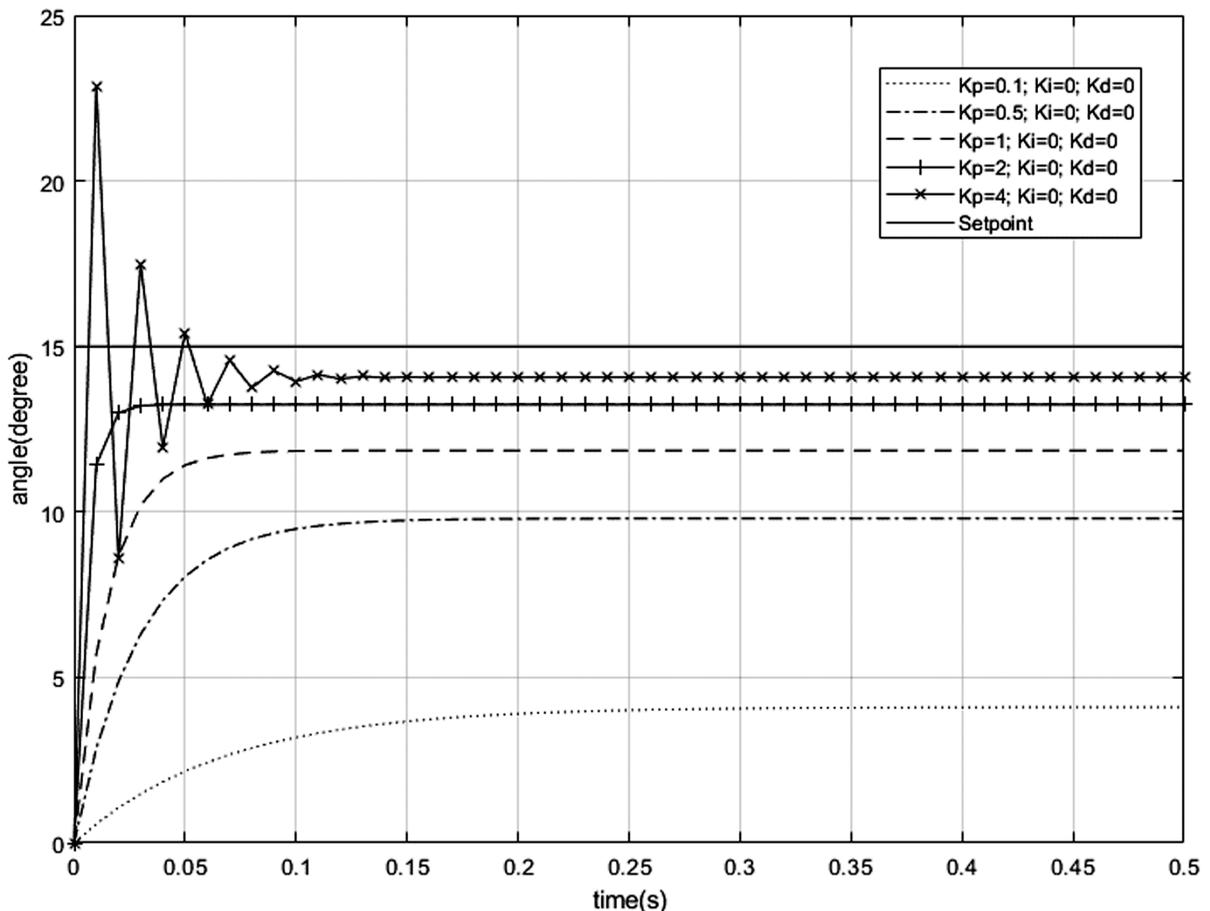


Do F&P trong nghiên cứu này đã được xấp xỉ dạng tuyến tính ở công thức (9). Mô hình trong mô phỏng áp dụng công thức trên để mô tả F&P giả lập.

### 3.2. Kết quả mô phỏng

Trong mô phỏng, giá trị đặt của góc lệch tâm phản được chọn là 15 độ. Các kết quả mô phỏng được thể hiện từ Hình 3 đến Hình 5.

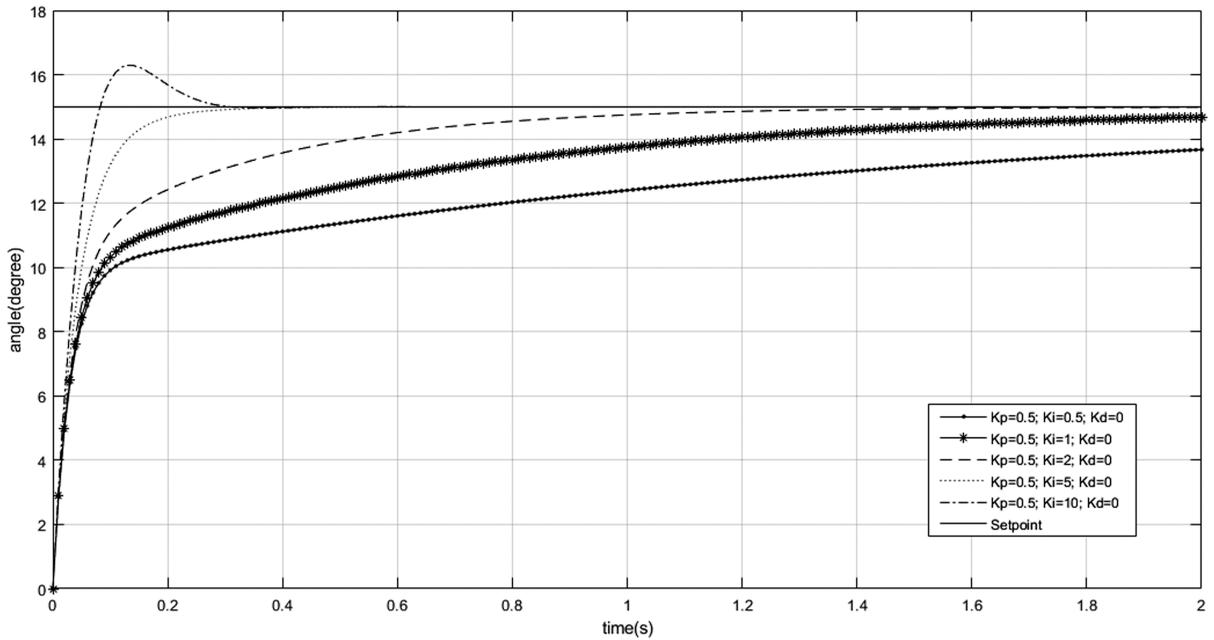
**Hình 3.** Phản hồi của hệ thống khi thay đổi  $K_p$



Trong Hình 3, vì hàm truyền là hàm bậc nhất nên không có nhiều dao động trong đáp ứng bước. Nó đạt đến trạng thái ổn định sau một thời gian ngắn vượt mức. Giá trị của trạng

thái ổn định được tăng lên theo giá trị của  $K_p$  vì nó tỷ lệ thuận với sai số (điểm đặt – giá trị quá trình). Sau khi tăng giá trị của  $K_p$  lên hơn 4, đã có một sự vượt quá lớn (27,8%).

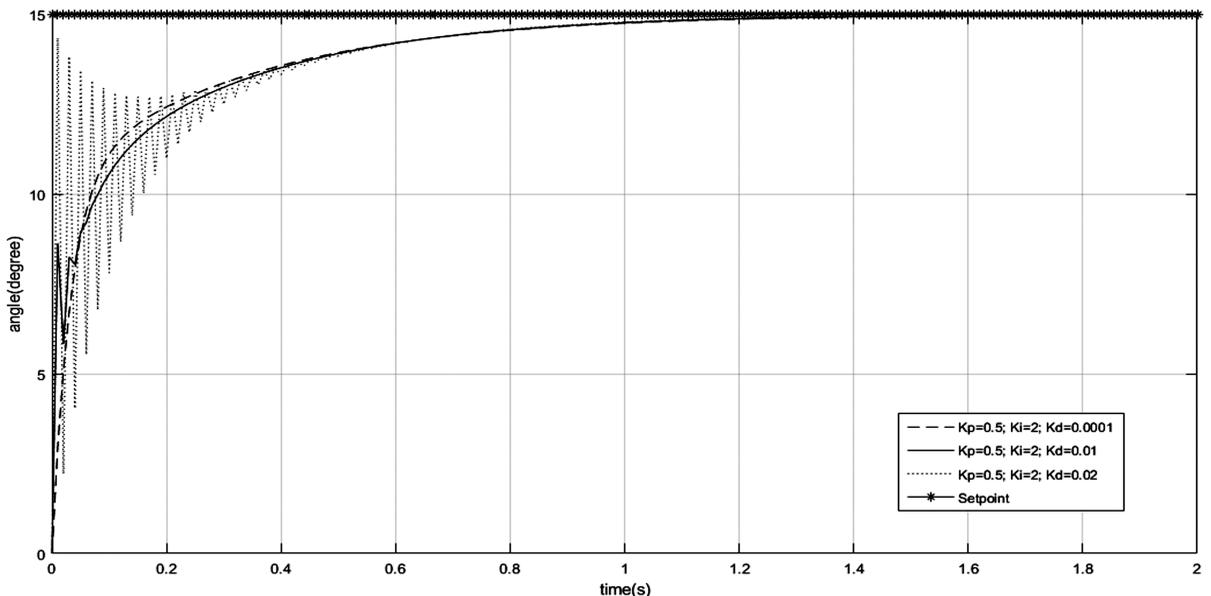
**Hình 4.** Phản hồi của hệ thống khi thay đổi  $K_i$ , với  $K_p=0.5$



Ở Hình 4, việc triển khai  $K_i$  đã giúp hệ thống đạt đến giá trị điểm đặt. Giá trị của  $K_i$  càng cao thì đáp ứng bước đạt đến trạng thái ổn định càng nhanh. Ví dụ:  $K_i = 0,5$  hệ thống không đạt trạng thái ổn định trong vòng hai

giây,  $K_i = 2$  hệ thống đạt được sau  $\sim 1,2$  giây, v.v. Nếu giá trị  $K_i$  bị đẩy lên quá cao, hiện tượng vọt lố sẽ xảy ra. Do đó, chúng tôi đã dừng thử nghiệm do kết quả của thử nghiệm không mong muốn.

**Hình 5.** Phản hồi của hệ thống khi thay đổi  $K_d$ , với  $K_p=0.5$ ,  $K_i=2$



Theo Hình 5,  $K_d$  dường như có ảnh hưởng tối thiểu đến đáp ứng bước nếu chúng ta sử dụng giá trị  $K_p = 0,5$  và  $K_i = 2,0$ . Việc chọn quá lớn  $K_d$  có thể khiến hệ thống dao động nhiều vì nó ảnh hưởng đến tốc độ thay

đổi trong hệ thống.

## 4. Thử nghiệm

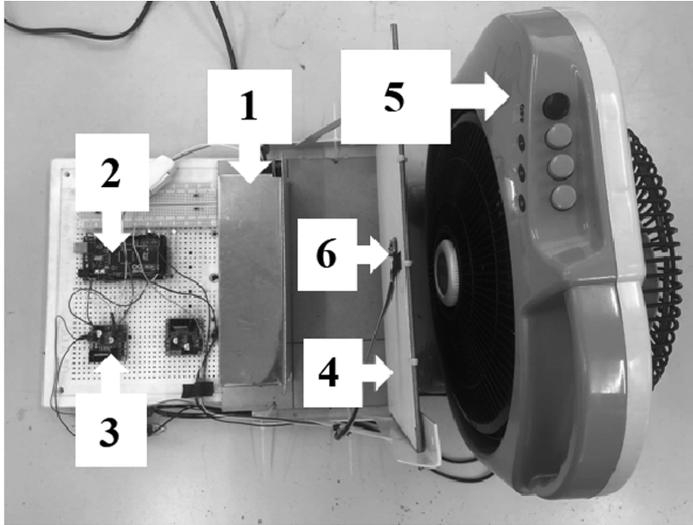
### 4.1. Mô hình thực nghiệm

Mô hình thực nghiệm mà chúng tôi thực

hiện được thể hiện ở Hình 6. Trong thí nghiệm này, ngõ vào là điện áp cấp cho động cơ để tạo vận tốc góc quay của quạt. Trên cơ sở đó, tấm phản bị lệch đi tương ứng để có ngõ ra  $\alpha$ .

Trong hệ thống này, chỉ có 1 cảm biến duy nhất là MPU6050 để đo góc lệch của tấm phản. Vì xử lý được sử dụng là Arduino MEGA2560 vì giá thành rẻ và tính phổ dụng của nó.

**Hình 6. Mô hình thực nghiệm F&P**



Giải thích các thành phần thiết bị ở Hình 6:

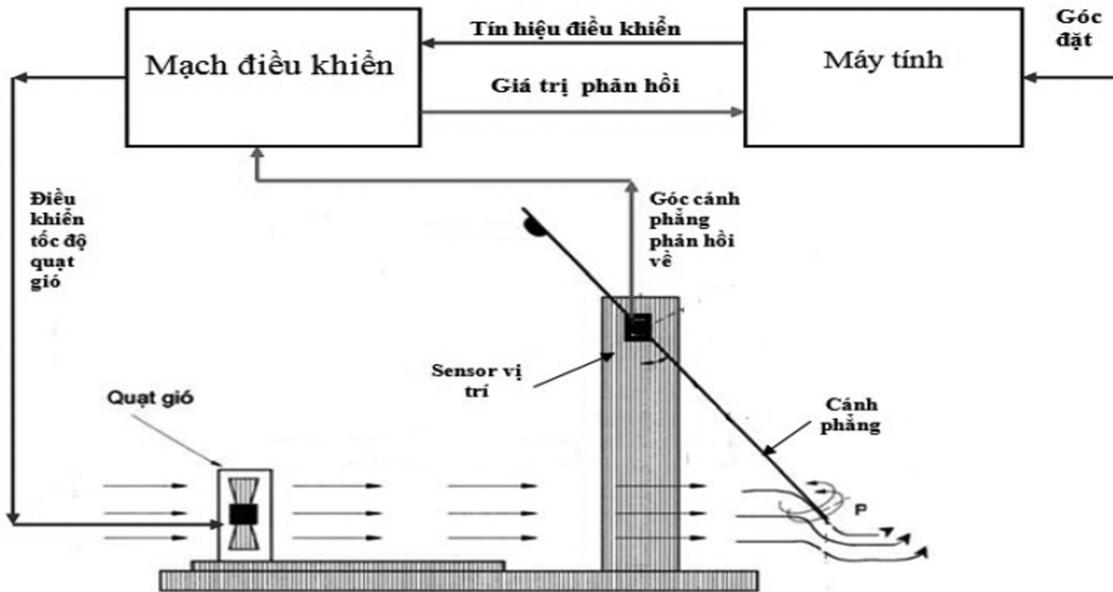
- 1- Nguồn cấp
- 2- Arduino MEGA 2560
- 3- Cầu H L298
- 4- Tấm phản (cách quạt 20cm)
- 5- Quạt
- 6- Cảm biến góc MPU6050

Do quá trình điều khiển PID là dựa vào thực nghiệm tinh chỉnh và thông số mô hình thực tế là không thể nhận dạng chính xác hoàn toàn, việc lựa chọn thông số điều khiển thực nghiệm là dựa trên thử sai. Thông số điều

khiển trên thực nghiệm là không sát hoàn toàn so với thông số đã được liệt kê ở phần mô phỏng.

Cấu trúc phần cứng thực nghiệm F&P được thể hiện ở Hình 7.

**Hình 7. Sơ đồ hệ thống của hệ F&P**



Trong mô hình này, bình thường, tấm phản sẽ thẳng đứng hướng xuống. Với việc chọn giá trị đặt (tức góc lệch mong muốn mà ta muốn tấm phản đạt được). Cảm biến

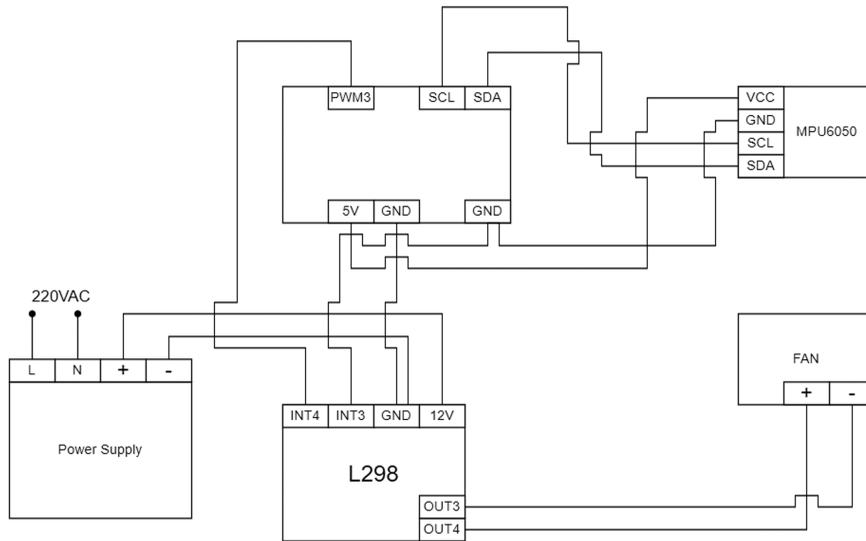
MPU6050 báo giá trị góc nghiêng của tấm phản. Giá trị này được cảm biến độ nghiêng này truyền về board điều khiển Arduino. Quá trình tính toán sai số, tính toán ra tín

hiệu điều khiển PID được thực hiện thông qua code Arduino. Tín hiệu điều khiển được xuất dưới dạng PWM được gửi tới board cầu H L298 để làm quay quạt. Ở đây, quạt được gắn với 1 động cơ DC. Tùy thuộc giá trị điều khiển mà quạt quay nhanh hay chậm. Từ đó, tấm phản sẽ được nâng lên hay

hạ xuống, tương ứng với giá trị đặt. Tín hiệu cảm biến được Arduino truyền lên máy tính thông qua UART. Các số liệu này được phần mềm Hyper Terminal của máy tính thu thập và lưu trữ.

Mô tả kết nối thiết bị phần cứng F&P được mô tả kỹ hơn ở Hình 8.

**Hình 8** Sơ đồ phần cứng và điều khiển của hệ

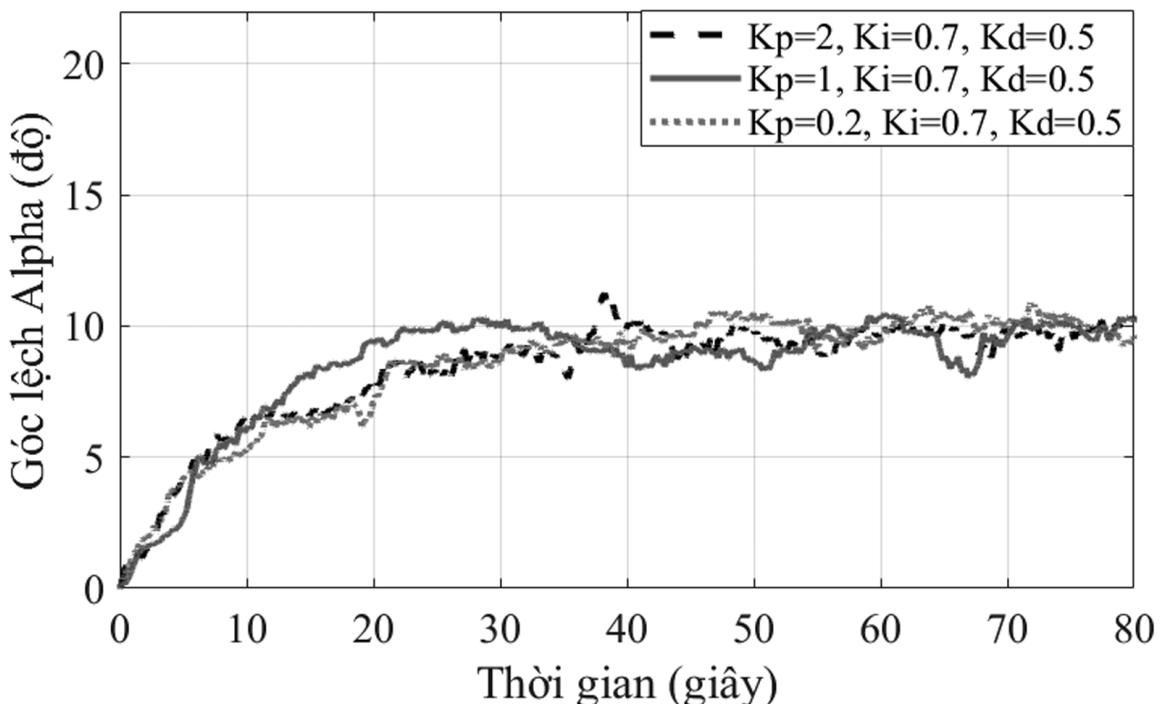


#### 4.2. Kết quả thực nghiệm

Ở thực nghiệm, giá trị đặt của góc lệch

tấm phản được chọn là 10 độ. Các kết quả thực nghiệm được mô tả ở Hình 9 đến Hình 11.

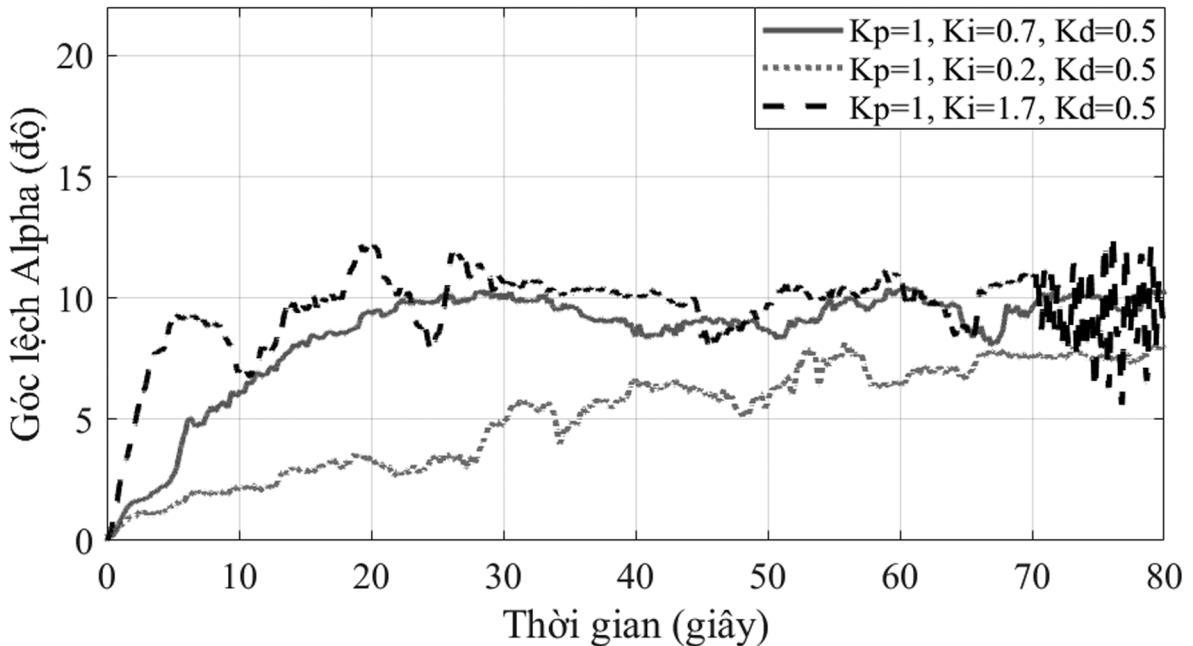
**Hình 9.** So sánh hiệu chỉnh hệ số tỉ lệ  $K_p$



Khi giảm hệ số tỷ lệ  $K_p$  ở Hình 9, ta thấy: Đầu tiên, thời gian khởi động có xu hướng dài hơn do phản hồi của hệ thống trở nên chậm và kém tích cực hơn. Do đó, thời gian xác lập tăng. Bên cạnh đó, giảm  $K_p$  thường dẫn đến giảm độ vọt lố. Hệ thống trở nên ít nhạy cảm hơn với nhiễu loạn, dẫn đến phản ứng mượt mà hơn và giảm khả năng vượt quá trạng thái mong muốn. Thứ ba, thời

gian cài đặt, đề cập đến thời gian cần thiết để hệ thống ổn định trong một phạm vi xác định xung quanh trạng thái mong muốn, thường không bị ảnh hưởng đáng kể bởi việc giảm  $K_p$ . Bằng cách giảm  $K_p$ , khả năng của hệ thống giảm thiểu sự khác biệt giữa trạng thái mong muốn và trạng thái thực tế được cải thiện, nâng cao độ chính xác tổng thể của quá trình điều khiển.

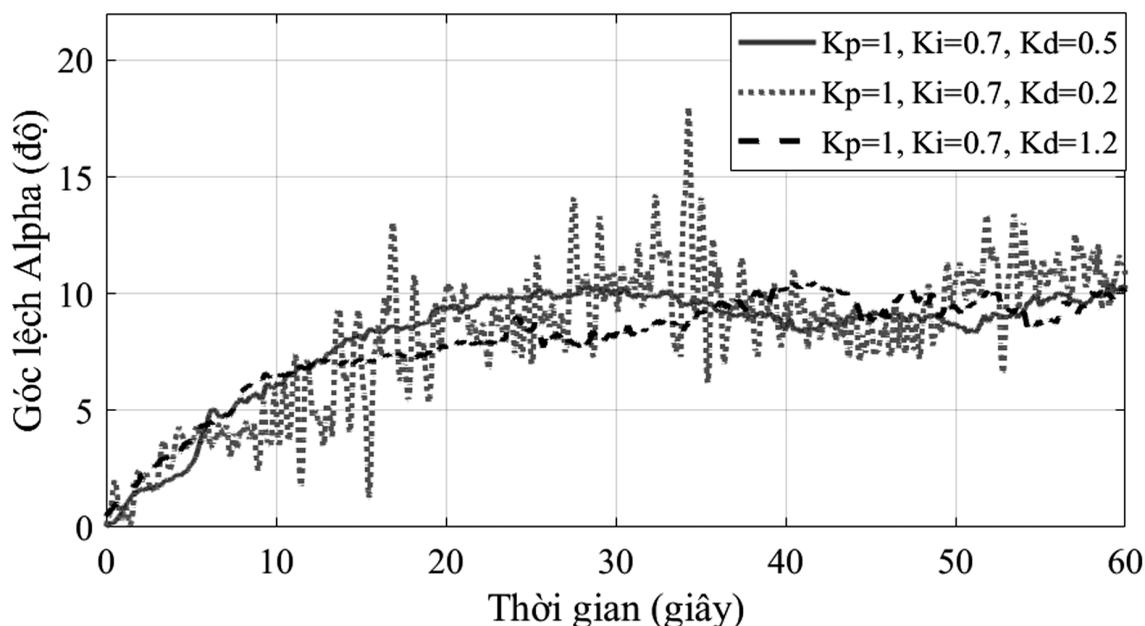
**Hình 10.** So sánh hiệu chỉnh hệ số tích phân  $K_i$



Trong Hình 10, khi hệ số tích phân  $K_i$  được tăng lên, ta thấy: Đầu tiên, thời gian khởi động có xu hướng nhanh hơn khi hệ thống phản ứng nhanh hơn với các lỗi và có thể nhanh chóng điều chỉnh đầu ra của nó. Điều này cho phép hệ thống đạt đến trạng thái mong muốn nhanh hơn. Tuy nhiên, thời gian khởi động nhanh hơn không nhất thiết đảm bảo hiệu suất tổng thể được cải thiện. Thứ hai, tăng  $K_i$  thường dẫn đến tăng vọt. Phản ứng của hệ thống trở nên tích cực hơn và nhạy cảm hơn với các lỗi, điều này có thể khiến hệ thống vượt quá trạng thái mong muốn trước khi ổn định. Thứ ba, thời gian xác lập, đề cập đến thời gian cần thiết để hệ thống ổn định trong một phạm vi xác định

xung quanh trạng thái mong muốn, trở nên nhanh hơn. Tuy nhiên, thời gian xác lập nhanh hơn này cũng có thể gây ra hiện tượng mất ổn định hoặc dao động tiềm ẩn trong hệ thống. Thời gian khởi động có xu hướng dài hơn do phản hồi của hệ thống trở nên chậm hơn và kém tích cực hơn. Điều này có nghĩa là phải mất nhiều thời gian hơn để hệ thống đạt được trạng thái mong muốn. Hơn nữa, giảm  $K_i$  thường dẫn đến giảm độ vọt lố, làm cho hệ thống ổn định hơn và ít bị sai lệch quá mức. Tuy nhiên, thời gian xác lập có thể lâu hơn gấp nhiều lần.  $K_i$  giảm làm chậm khả năng loại bỏ sai số xác lập của hệ thống. Ngoài ra, việc giảm  $K_i$  có thể dẫn đến sai số xác lập tăng lên.

**Hình 11.** So sánh hiệu chỉnh hệ vi phân Kd



Trong Hình 11, khi tăng hệ số vi phân Kd, ta thấy: Đầu tiên, thời gian khởi động nói chung không bị ảnh hưởng đáng kể. Phản ứng của hệ thống đối với sai số có thể trở nên nhanh hơn một chút nhưng không nhất thiết dẫn đến thay đổi đáng kể về thời gian khởi động. Thứ hai, tăng Kd thường dẫn đến giảm độ vọt lố. Hệ thống trở nên có khả năng giảm dao động và duy trì độ ổn định tốt hơn, dẫn đến phản ứng mượt mà hơn với độ vọt lố ít hơn. Thứ ba, thời gian thiết lập, đề cập đến thời gian cần thiết để hệ thống ổn định trong một phạm vi xác định xung quanh trạng thái mong muốn, có xu hướng dài hơn. Khi hệ số vi phân Kd bị giảm, ta thấy: Đầu tiên, thời gian khởi động có xu hướng nhanh hơn khi phản ứng của hệ thống trở nên nhanh hơn và nhạy cảm hơn với các thay đổi. Điều này cho phép hệ thống đạt đến trạng thái mong muốn nhanh hơn. Tuy nhiên, thời gian khởi động nhanh hơn không nhất thiết đảm bảo hiệu suất tổng thể được cải thiện. Thứ hai, giảm Kd thường dẫn đến tăng độ vọt lố. Hệ thống trở nên ít có khả năng giảm dao động hơn, khiến nó dễ bị vượt quá trạng thái

mong muốn trước khi ổn định. Thứ ba, thời gian thiết lập có xu hướng dài hơn. Hành động vi sai giảm làm chậm phản ứng của hệ thống, điều này có thể kéo dài thời gian cần thiết để đạt đến trạng thái ổn định hoặc phạm vi mong muốn. Cuối cùng, giảm Kd có thể dẫn đến sai số xác lập tăng lên.

### 5. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi đã trình bày một mô hình toán của hệ F&P, một mô hình SISO đơn giản, rất phù hợp để được phát triển trong các PTN ĐKTĐ trong điều kiện ở Việt Nam. Một cấu trúc điều khiển PID được xây dựng và áp dụng cho hệ thống trên. Mô phỏng Matlab/Simulink cho thấy BDK trên hoạt động tốt và các quy tắc tinh chỉnh đã được khảo sát. Bên cạnh đó, một mô hình F&P thực nghiệm sử dụng Arduino được chúng tôi giới thiệu. Tuy mô hình đơn giản và dễ dàng được xây dựng cho PTN nhưng việc kiểm chứng giải thuật PID và các khảo sát đã được thực hiện và chứng minh sự phù hợp của giải thuật với mô hình này. Các kết quả mô phỏng và thực nghiệm cũng phù hợp với lý thuyết điều chỉnh PID.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- E. Dincel, Y. Yalçın and S. Kurtulan. (2014). A new approach on angular position control of fan and plate system, International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), Metz, France, 2014, pp. 545-550.
- Gharieb, W. (1999). Fuzzy Control to Non-minimal Phase Processes. In: Reusch, B. (eds) Computational Intelligence. Fuzzy Days 1999. Lecture Notes in Computer Science, vol 1625. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Huann-Keng Chiang, Chun-Chiang Fang, Ren-Wei Syu. (2014). The Sliding Mode Angle Control of a Fan-Plate. Proceeding of 11<sup>th</sup> IEEE International Conference on Control & Automation (ICCA), pp. 383-388.
- Liuping Wang. (2020). Basics of PID Control, *PID Control System Design and Automatic Tuning using MATLAB/Simulink*, IEEE, 2020, pp.1-30.
- S. Patil, U. Kulkarni, A. Ingale and R. Halligudi. (2022). Rotary Inverted Pendulum-Stability Assessment, *2022 IEEE 2nd Mysore Sub Section International Conference (MysuruCon)*, Mysuru, India, 2022, pp. 1-5.
- S. Latif, E. Muhammad and U. Naeem. (2019). Implementation of ball and beam system using classical and advanced control techniques, *International Conference on Applied and Engineering Mathematics (ICAEM)*, Taxila, Pakistan, 2019, pp. 74-79.