



## Điều khiển vô hướng hiện đại áp dụng kỹ thuật suy luận mờ trong điều khiển tốc độ động cơ

### Advanced scalar control based on Fuzzy logic in motor speed control

Trương Chí Trung<sup>1</sup>, Trần Đình Cường<sup>2</sup>, Phan Trần Đăng Khoa<sup>2,\*</sup>, Đỗ Thành Đạt<sup>3</sup>, Diệp Tư Quân<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Phòng Thử nghiệm Điện Công nghiệp, Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3

<sup>2</sup>Khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Tôn Đức Thắng

<sup>3</sup>Khoa Công nghệ Điện – Điện tử, Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

Từ khóa:

TÓM TẮT

Điều khiển vô hướng  
Bộ điều khiển mờ  
Động cơ không đồng bộ  
Chính lưu nguồn áp  
Từ thông

Nghiên cứu này trình bày một phương pháp cải tiến trong điều khiển vô hướng vòng kín cho động cơ không đồng bộ ba pha, nhằm nâng cao độ ổn định và khả năng thích ứng của hệ thống điều khiển tốc độ. Phương pháp đề xuất sử dụng bộ điều khiển PI cấu trúc song song, trong đó các hệ số  $K_p$  và  $K_i$  không cố định mà được tự động điều chỉnh theo thời gian thực thông qua bộ điều khiển mờ. Kết quả mô phỏng trên phần mềm MATLAB/Simulink cho thấy hệ thống đạt được độ ổn định cao hơn, đáp ứng nhanh hơn và khả năng bám tốc độ tham chiếu tốt hơn so với phương pháp PI truyền thống với thông số  $K_p$  và  $K_i$  cố định. Phương pháp này tăng cường khả năng ứng dụng thực tiễn của điều khiển vô hướng trong hệ truyền động động cơ không đồng bộ, đặc biệt trong các điều kiện tải và tốc độ thay đổi.

Keywords:

ABSTRACT

Scalar control  
Fuzzy logic  
controller  
Induction motor  
Voltage source  
inverter  
Magnetic flux

This study presents an improved approach to closed-loop scalar control for three-phase induction motor, aiming to enhance the stability and adaptability of the speed control system. The proposed method employs a parallel-structure PI controller, in which the coefficients  $K_p$  and  $K_i$  are not fixed but are automatically adjusted in real time through a fuzzy logic controller. Simulation results on the MATLAB/Simulink software show that the system achieves higher stability, faster response, and better tracking of the reference speed compared to the conventional PI controller with fixed parameters. This approach enhances the practical applicability of scalar control in induction motor drives, particularly under load and speed variations.

\* Phan Trần Đăng Khoa, Khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Tôn Đức Thắng

Email: [phantrandangkhoa@tdtu.edu.vn](mailto:phantrandangkhoa@tdtu.edu.vn)

<https://www.doi.org/10.55228/JTST140603>

Ngày nhận bài: 09/06/2025; Ngày nhận bài sửa: 03/10/2025; Ngày chấp nhận đăng: 06/11/2025

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/11/2025

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

## 1. Giới thiệu

Động cơ không đồng bộ ba pha (KĐBBP) là loại động cơ phổ biến nhất trong công nghiệp nhờ vào độ bền cao, cấu trúc đơn giản và chi phí thấp. Tuy nhiên, một hạn chế lớn của loại động cơ này là sự liên kết giữa mô-men xoắn và từ thông, khiến việc điều khiển tốc độ trở nên phức tạp [1]. Để khắc phục vấn đề này, các nghiên cứu trước đã đưa ra nhiều chiến lược điều khiển như điều khiển vô hướng V/f hằng số, điều khiển vector [2] và điều khiển mô-men trực tiếp (Direct torque control) [3], [4]. Trong số các phương pháp điều khiển, điều khiển vô hướng (Scalar control) nổi bật với cấu trúc đơn giản, dễ triển khai và không yêu cầu cảm biến phức tạp. Tuy nhiên, phương pháp này thường gặp hạn chế về khả năng phản ứng chậm và khó duy trì độ ổn định cao trong điều kiện tải hoặc tốc độ thay đổi đột ngột [5].

Nhiều nghiên cứu đã áp dụng bộ điều khiển tích phân tỉ lệ PI (Proportional-Integral) để cải thiện hiệu suất điều khiển tốc độ trong hệ thống điều khiển vô hướng vòng kín theo nguyên tắc:

- Tốc độ thực (tốc độ rotor) được hồi tiếp từ cảm biến tốc độ. Sau đó, so sánh chênh lệch với tốc độ tham chiếu để đưa ra sai số tốc độ và cũng chính là tín hiệu đầu vào khâu PI;

- Tín hiệu đầu ra khâu PI có thể là tốc độ hoặc tần số đã được hiệu chỉnh để tương thích và đáp ứng được tốc độ mong muốn.

Tuy nhiên, việc sử dụng các thông số  $K_p$  và  $K_i$  cố định thường không đủ linh hoạt để đáp ứng trong các điều kiện làm việc biến đổi. Một số hướng tiếp cận trước đây đã tích hợp trí tuệ nhân tạo, đặc biệt là logic mờ (Fuzzy Logic) để thích nghi các tham số điều khiển theo thời gian thực. Ví dụ, nghiên cứu trong bài báo [6] đã thiết kế hệ thống điều khiển vector sử dụng bộ điều khiển mờ, cho thấy khả năng đáp ứng tốc độ nhanh hơn, không quá điều chỉnh (overshoot), không có sai số xác lập (steady-state error) và ít gợn sóng mô-men (torque ripple) so với phương pháp PI truyền thống. Tuy nhiên, nghiên cứu này tập trung vào cấu trúc điều khiển vector, trong khi các cải tiến đơn giản hơn cho điều khiển vô hướng vẫn còn hạn chế. Tương tự, các tác giả trong [7] đã đề xuất bộ điều chỉnh tối ưu hệ số PI cho điều khiển V/f của động cơ không đồng bộ kết hợp giữa logic mờ và thuật toán di truyền (Genetic Algorithm - GA). Về dữ liệu huấn

luyện gồm 29 bộ mẫu  $K_p$ ,  $K_i$  và thuật toán di truyền được sử dụng để tìm cặp  $K_p$ ,  $K_i$  tối ưu trong không gian tìm kiếm. Kết quả cho thấy sự phản hồi tốc độ của fuzzy-genetic nhanh hơn, ít quá điều chỉnh hơn phương pháp Ziegler-Nichols. Mặc dù, công trình [7] có đề cập đến khả năng thích nghi tốt với biến thiên tham số. Tuy nhiên, vẫn chưa thực hiện khảo sát với các trường hợp tải thay đổi hoặc điều kiện hoạt động khác nhau để chứng minh điều đó.

Nghiên cứu này tận dụng cấu trúc đơn giản của điều khiển vô hướng V/f hằng số và kết hợp bộ điều khiển PI cấu trúc song song với hệ mờ (Fuzzy Logic Controller - FLC) để tự động điều chỉnh các hệ số  $K_p$  và  $K_i$  dựa trên sai số tốc độ và đạo hàm sai số. Bên cạnh đó, quá trình mô phỏng cũng xét đến các trường hợp tải thay đổi và biến thiên theo tốc độ. Mở ra khả năng ứng dụng thực tiễn của điều khiển vô hướng thông qua một giải pháp đơn giản, hiệu quả.

## 2. Cơ sở lý thuyết

Phương pháp điều khiển vô hướng V/f là một kỹ thuật điều khiển phổ biến trong các hệ truyền động sử dụng động cơ KĐBBP nhờ vào đặc tính cấu trúc đơn giản, dễ thực hiện và chi phí thấp. Kỹ thuật điều khiển vô hướng theo nguyên tắc cơ bản là giữ tỉ số điện áp/tần số không đổi, mục đích là duy trì từ thông chính chạy qua khe hở không khí [8], [9]. Trong phương pháp điều khiển vô hướng V/f vòng hở, điện áp được cấp theo tỉ lệ với tần số điều khiển và không cần tín hiệu hồi tiếp từ bất kỳ cảm biến nào [10], [11], [12], [13]. Đối với cấu trúc điều khiển vòng kín, thuật toán điều khiển sử dụng tín hiệu phản hồi từ cảm biến để điều chỉnh tỉ lệ V/f hằng số. Tùy thuộc vào yêu cầu điều khiển và cấu trúc hệ thống, tín hiệu phản hồi có thể được thu nhận từ cảm biến tốc độ, cảm biến dòng điện hoặc điều khiển không cảm biến (sensorless) thông qua các kỹ thuật ước tính [14], [15].

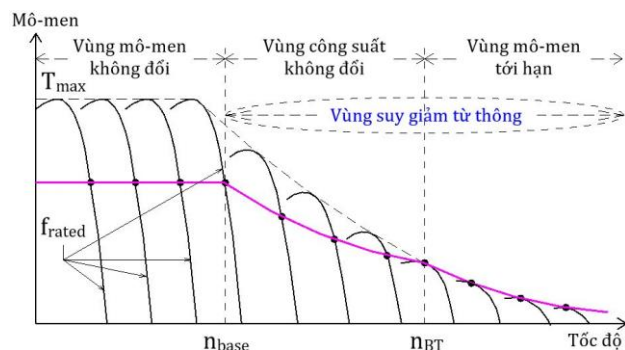
Điện áp cảm ứng trên cuộn dây stator có mối quan hệ trực tiếp với từ thông liên kết và tần số nguồn cấp. Mối quan hệ này được biểu diễn bởi công thức điện áp cảm ứng như sau:

$$\frac{V_{e,RMS}}{f} = 4,44.N.\Psi_s.\xi \quad (1)$$

Để giữ từ thông không đổi trong suốt quá trình vận hành động cơ thì điều kiện sau cần được đảm bảo:

$$\frac{V}{f} = \text{constant} \quad (2)$$

Bên cạnh đó trong quá trình ứng dụng kỹ thuật V/f cũng cần xem xét đến đặc tính mô-men và tốc độ trong hệ truyền động động cơ không đồng bộ được thể hiện như sau:



Hình 1. Đường đặc tính mô-men và tốc độ.

Đường đặc tính được chia làm 3 vùng: Vùng mô-men không đổi, vùng công suất không đổi và vùng mô-men tới hạn.

**Vùng mô-men không đổi:** Tốc độ từ 0 đến  $n_{base}$ . Ở vùng này, điện áp và tần số cùng tăng tuyến tính theo nguyên tắc V/f không đổi. Từ thông stator sẽ được duy trì ổn định theo công thức (1) dẫn đến mô-men điện từ không đổi. Đây cũng là vùng hoạt động mà tác giả nghiên cứu, phân tích cũng như mô phỏng trong công trình này.

**Vùng công suất không đổi và vùng mô-men tới hạn:** Khi tốc độ vượt quá  $n_{base}$ , điện áp lúc này đã đạt đến giá trị định mức do giới hạn của nguồn cấp. Nếu tiếp tục tăng tốc độ, đồng nghĩa tăng tần số sẽ dẫn đến giảm từ thông và cũng đồng nghĩa mô-men điện từ suy yếu. Khi vượt quá  $n_{BT}$  hệ thống dần mất ổn định và giảm tốc độ đột ngột. Do đó, khi điều khiển tốc độ động cơ không đồng bộ cần tránh vận hành hệ thống đi vào vùng suy giảm từ thông.

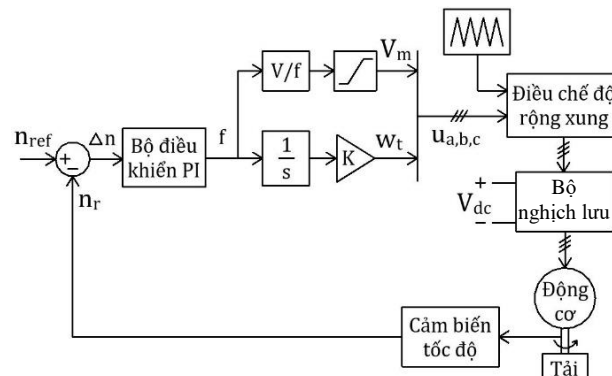
### 3. Mô phỏng hệ truyền động động cơ không đồng bộ ba pha

#### 3.1. Sơ đồ điều khiển V/f vòng kín sử dụng bộ điều khiển PI

Hình 2 minh họa cấu trúc điều khiển tổng quát của động cơ KĐBPP vòng kín theo nguyên tắc V/f. Theo đó, chênh lệch tốc độ giữa tốc độ tham chiếu và tốc độ trên trục rotor được đưa vào bộ điều khiển PI để

chuyển đổi thành tần số điều khiển mong muốn theo phương trình tổng quát:

$$u_{(t)} = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e_{(t)} dt \quad (3)$$



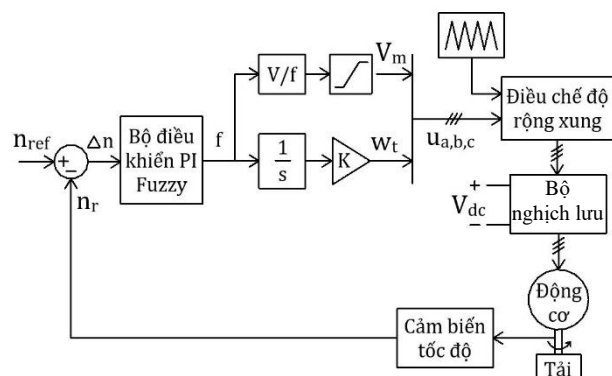
Hình 2. Sơ đồ điều khiển V/f vòng kín sử dụng bộ điều khiển PI.

Sau đó, điện áp điều khiển được xác định theo biểu thức:

$$V_m = \frac{V_{m\_rated}}{f_{rated}} \cdot f \quad (4)$$

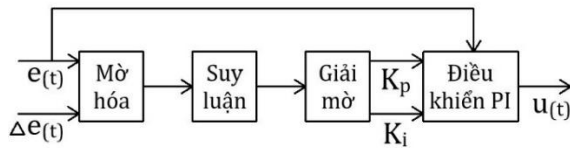
Tín hiệu điện áp 3 pha tham chiếu được thành lập dựa vào biên độ điện áp “ $V_m$ ” và tần số điều khiển “ $f$ ”. Kỹ thuật điều chế độ rộng xung để điều chế tín hiệu điện áp 3 pha  $U_a, U_b, U_c$  kết hợp sóng mang thành các xung chuyển mạch biến tần để cấp điện cho động cơ.

#### 3.2. Sơ đồ điều khiển V/f vòng kín sử dụng bộ điều khiển PI Fuzzy



Hình 3. Sơ đồ điều khiển V/f vòng kín sử dụng bộ điều khiển PI Fuzzy.

Tương tự sơ đồ điều khiển ở Hình 2 thì Hình 3 được thay thế bộ điều khiển PI bởi bộ điều khiển PI Fuzzy. Cấu trúc của bộ điều khiển PI Fuzzy được mô tả trong Hình 4:



**Hình 4.** Sơ đồ khối của bộ điều khiển PI kết hợp giải thuật Fuzzy.

Hệ mờ nhận đầu vào là sai số tốc độ và biến thiên sai số để suy luận ra giá trị tối ưu của  $K_p$  và  $K_i$  tại thời điểm  $t$ . Từ giá trị  $K_p$  và  $K_i$  này kết hợp với phương trình (3) để đưa tín hiệu đầu ra  $u(t)$  là tần số điều khiển, từ đó cải thiện độ linh hoạt và khả năng thích nghi của hệ thống.

Giai đoạn mờ hóa: Chuyển đổi các đại lượng ngõ vào chính xác thành 5 tập mờ NB, NS, ZE, PS, PB được mô tả trong Bảng 2 (Phụ lục 1).

Dựa trên bộ luật NẾU-THÌ và giá trị mờ hóa, hệ thống suy luận ra các tập mờ đầu ra. Cuối cùng, chuyển đổi kết quả suy luận mờ trở lại thành giá trị điều khiển chính xác. Bộ luật được trình bày trong Bảng 4 (Phụ lục 1).

#### 4. Kết quả mô phỏng

Sử dụng mô hình động cơ KĐBBP có các thông số động cơ được đề cập trong Bảng 5 (Phụ lục 2) để tiến hành mô phỏng trên phần mềm MATLAB/Simulink. Các trường hợp mô phỏng được đề cập trong Bảng 1:

**Bảng 1.** Các trường hợp chạy mô phỏng.

Trường hợp	Tốc độ tham chiếu (vòng/phút)	Mô-men tải (Nm)
1	Biến thiên theo hàm dốc	Đóng tải 25 Nm tại thời điểm 3s
2	Biến thiên theo hàm dốc	Biến thiên theo tốc độ

Trường hợp 1, tốc độ tham chiếu được thiết lập tăng từ 0 đến tốc độ định mức 1500 vòng/phút trong vòng 1 giây. Bắt đầu từ giây thứ 1 đến giây thứ 5, tốc độ tham chiếu được giữ không đổi trước khi giảm từ 1500 vòng/phút xuống còn 1200 vòng/phút trong khoảng giây thứ 5 đến giây thứ 6. Kể từ giây thứ 6, tốc độ tham chiếu không đổi với tốc độ 1200 vòng/phút.

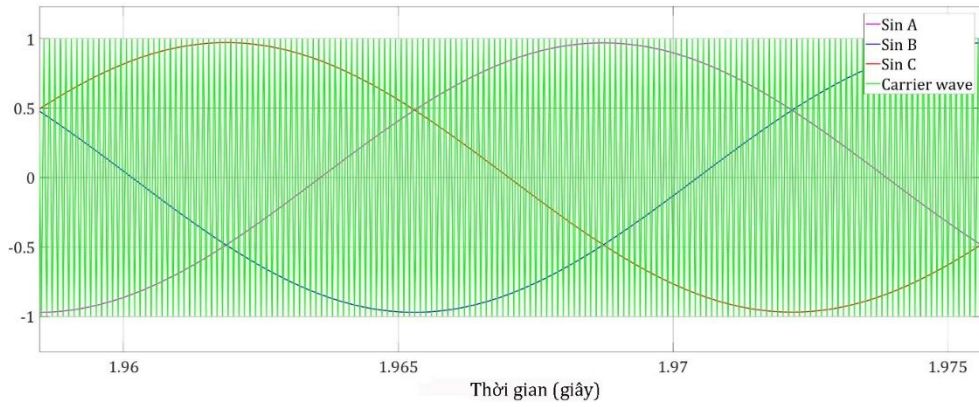
Ta có thể thấy giai đoạn tăng tốc (0-1 giây) trong Hình 5e, cả hai bộ điều khiển cho thấy khả năng bám

theo tốc độ tham chiếu khá tốt. Tuy nhiên, đường đặc tính PI Fuzzy có thời gian đáp ứng nhanh hơn và độ dao động nhỏ hơn so với bộ điều khiển PI truyền thống. Tại thời điểm giây thứ 3, mô-men tải được thay đổi từ 0 đến 25 Nm (Hình 5f), tốc độ rotor bị dao động. Tuy nhiên, bộ điều khiển PI Fuzzy cho thấy độ quá điều chỉnh nhỏ hơn và tốc độ hồi phục nhanh hơn.

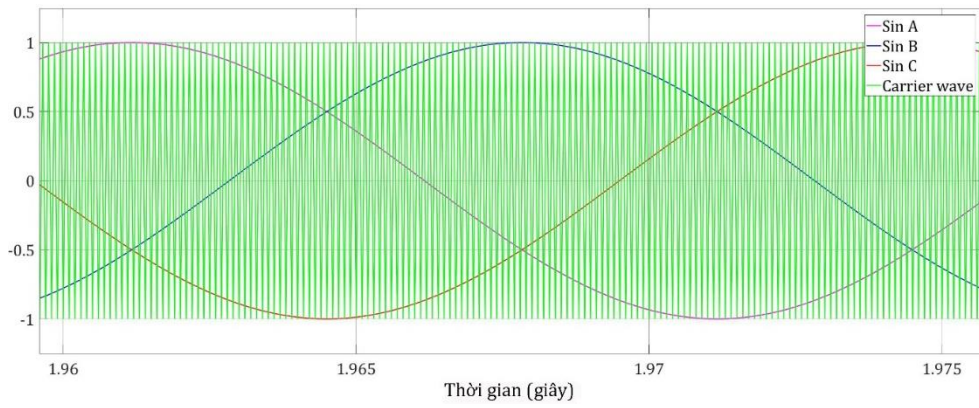
Trong giai đoạn giảm tốc từ 1500 vòng/phút về 1200 vòng/phút, bộ điều khiển PI Fuzzy tiếp tục thể hiện khả năng bám theo tốc độ tham chiếu tốt hơn, ít độ trễ và ít dao động hơn PI truyền thống. Hình 5a và Hình 5b trình bày phương pháp điều chế độ rộng xung Sin. Tín hiệu điện áp điều khiển 3 pha được so sánh với sóng mang tần số 10kHz. Sau đó tạo ra các xung chuyển mạch cho biến tần theo từng cặp: S1-S4, S3-S6, S5-S2 như Hình 5c và Hình 5d. Ở trường hợp 1, tác giả đưa mô-men tải vào động cơ với dạng hàm nấc từ 0 lên 25 Nm, mục đích để kiểm chứng tính hiệu quả về đáp ứng tốc độ của bộ điều khiển PI Fuzzy khi tải đột ngột thay đổi. Tuy nhiên để đánh giá được tính ứng dụng thực tế, cần xét đặc tính mô-men tải theo thực tế. Trong giáo trình [16] đề cập đến các đường đặc tính giữa mô-men tải và tốc độ động cơ. Trong số đó, có đường đặc tính mô-men tỉ lệ với bình phương tốc độ. Đường đặc tính này thường ứng dụng cho các loại động cơ như quạt, máy bơm, máy thổi khí.

Do đó trường hợp mô phỏng 2, tác giả đặt giả định ứng dụng vào thực tế và mô phỏng động cơ hoạt động với mô-men tải thay đổi theo tốc độ như Hình 6. Khi động cơ tăng tốc, đồng nghĩa lúc này mô-men cũng tăng tỉ lệ thuận với tốc độ. Ban đầu tải tăng nhanh từ 0 lên 20Nm trong vòng 1 giây, sau đó mô-men tải được giữ không đổi 20Nm từ 1 đến 5 giây và cuối cùng giảm còn 15Nm. Bộ điều khiển PI Fuzzy tiếp tục cho thấy sự hiệu quả khi tốc độ rotor bám sát tốc độ tham chiếu với trường hợp tải biến thiên.

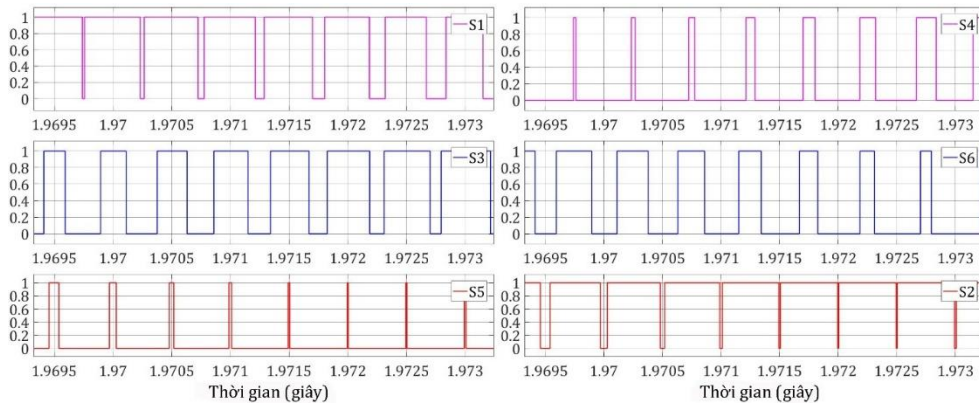
a)



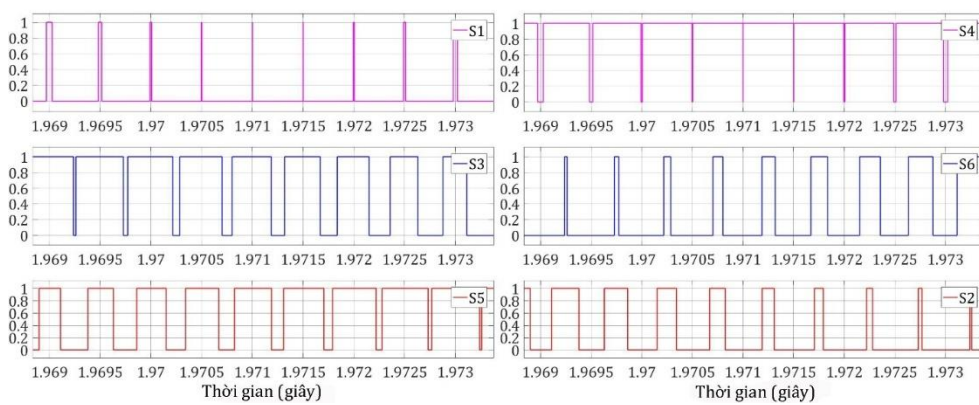
b)

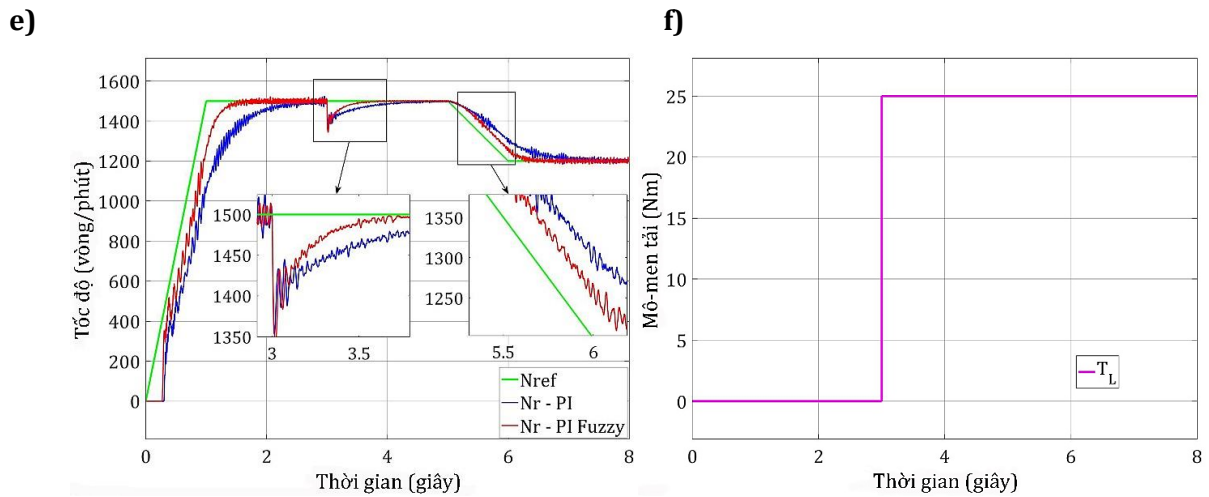


c)

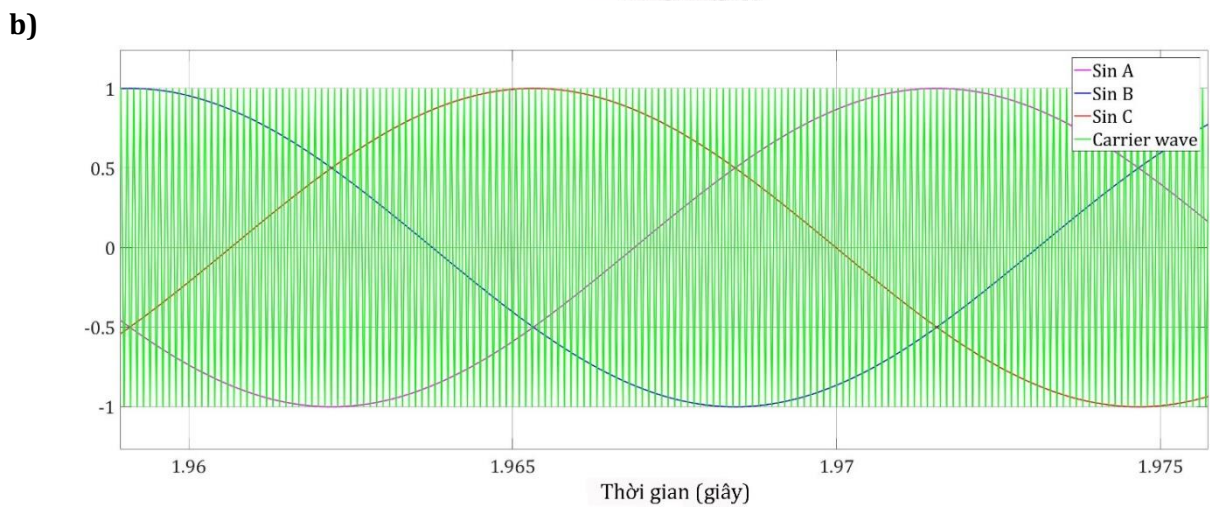
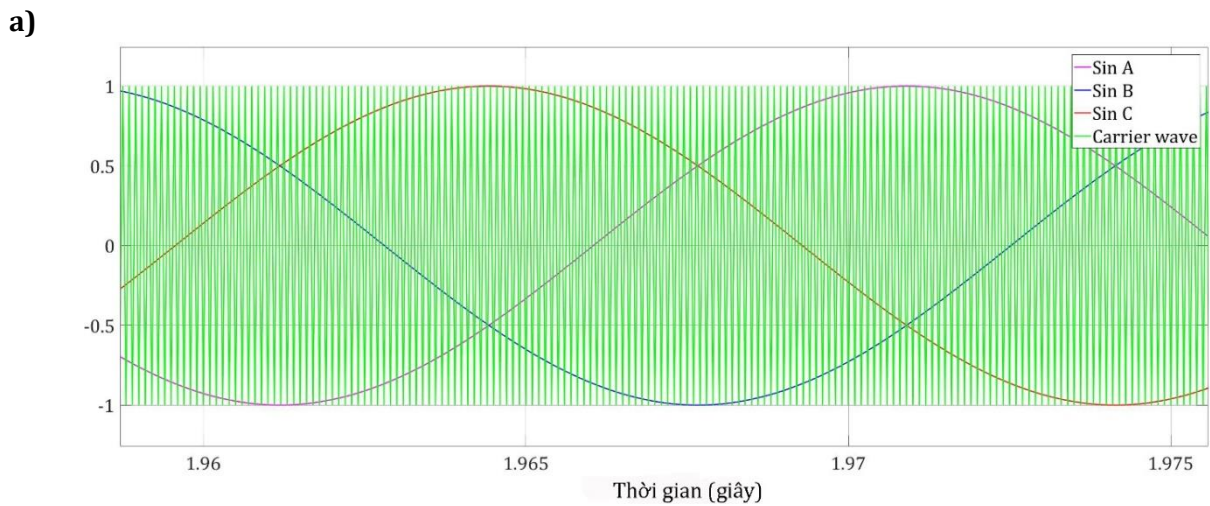


d)

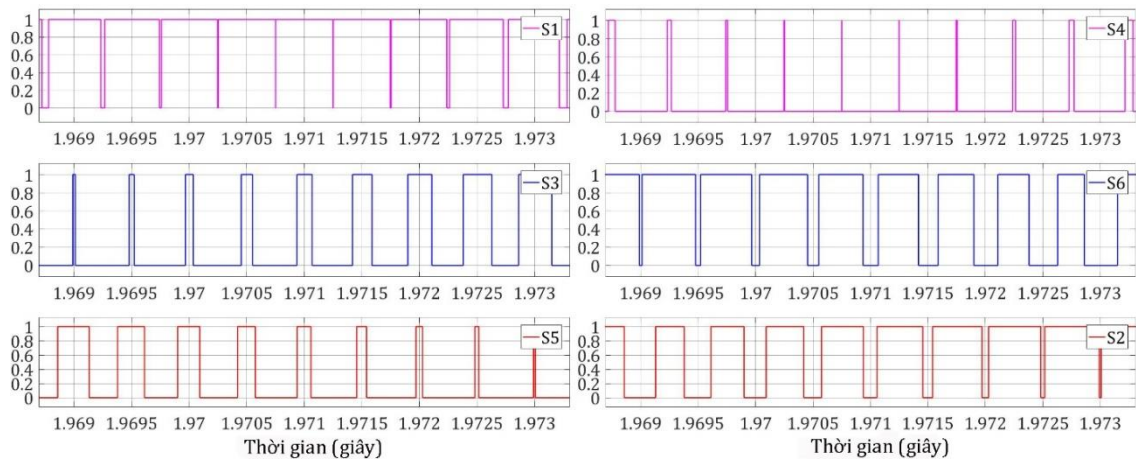




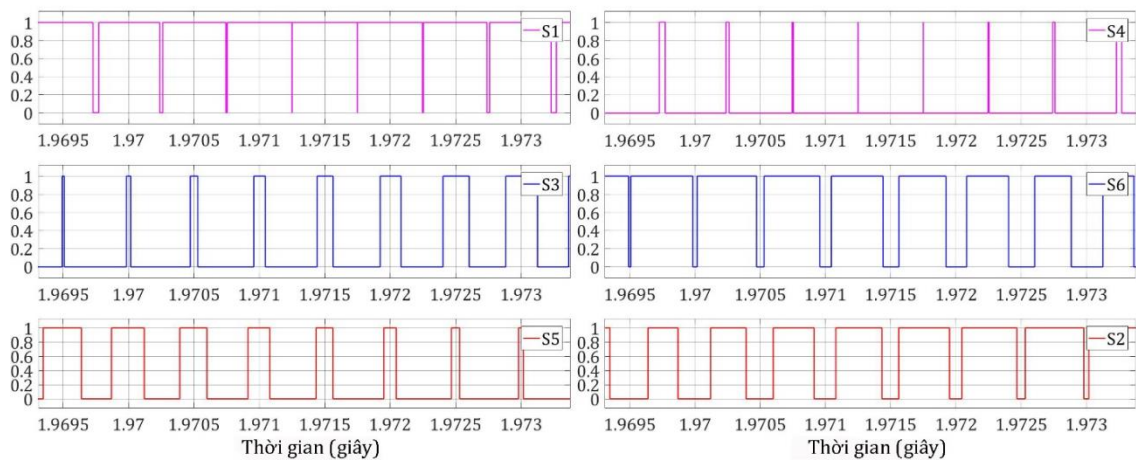
**Hình 5.** Kết quả mô phỏng ứng với trường hợp 1. (a) Điều chế độ rộng xung Sin khi sử dụng PI, (b) Điều chế độ rộng xung Sin khi sử dụng PI Fuzzy, (c) Tín hiệu phát xung chuyển mạch khi sử dụng PI, (d) Tín hiệu phát xung chuyển mạch khi sử dụng PI Fuzzy, (e) So sánh đáp ứng tốc độ của động cơ khi sử dụng PI và PI Fuzzy, (f) Mô-men tải thay đổi tại thời điểm 3s.



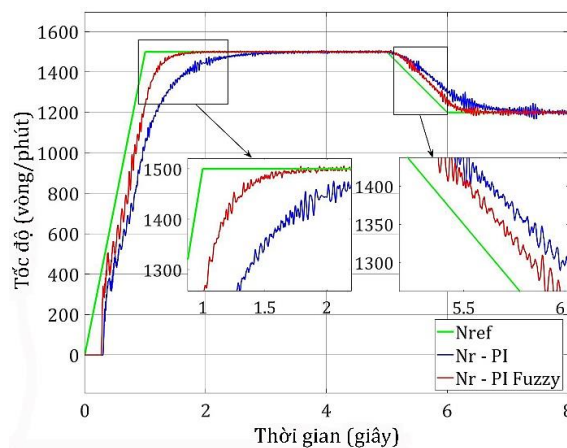
c)



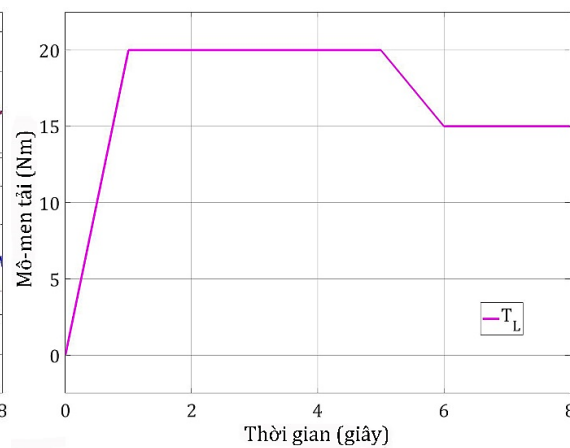
d)



e)



f)



**Hình 6.** Kết quả mô phỏng ứng với trường hợp 2. (a) Điều chế độ rộng xung Sin khi sử dụng PI, b) Điều chế độ rộng xung Sin khi sử dụng PI Fuzzy, (c) Tín hiệu phát xung chuyển mạch khi sử dụng PI, (d) Tín hiệu phát xung chuyển mạch khi sử dụng PI Fuzzy, (e) So sánh đáp ứng tốc độ của động cơ khi sử dụng PI và PI Fuzzy, (f) Mô-men tải thay đổi theo tốc độ.

## 5. Kết luận

Bộ điều khiển PI Fuzzy được thiết kế dựa trên hệ suy luận mờ với hai đầu vào là sai số tốc độ và biến thiên sai số tốc độ, đầu ra là hai hệ số  $K_p$  và  $K_i$  được điều chỉnh biến thiên theo thời gian. Kết quả mô

phỏng cho thấy, ứng dụng kỹ thuật PI Fuzzy cho thời gian đáp ứng nhanh hơn, giảm hiện tượng quá điều chỉnh và giảm sai số xác lập ở trạng thái ổn định so với bộ điều khiển PI truyền thống. Hệ thống điều khiển giữ được khả năng bám tốc độ tham chiếu ngay

cả khi tải thay đổi đột ngột như trường 1 hay tải biến thiên theo tốc độ như trường hợp 2. Độ vọt lố ở giai đoạn quá độ thấp hơn so với phương pháp Ziegler-Nichols đã được đề cập ở phần giới thiệu. Bên cạnh đó, chứng minh bộ luật suy luận mờ phù hợp với hệ thống đang nghiên cứu và điều chỉnh  $K_p$ ,  $K_i$  theo thời gian thực.

Kết quả đạt được khẳng định tính khả thi của phương pháp đề xuất PI Fuzzy khi kết hợp với cấu trúc điều khiển V/f đơn giản, cụ thể trong các ứng dụng không yêu cầu độ chính xác và ổn định quá cao, giúp tối ưu hóa chi phí đầu tư phần cứng. Trong tương lai, tác giả có thể mở rộng sang các cấu trúc điều khiển không cảm biến hoặc ứng dụng cấu trúc này để điều khiển cho một ứng dụng tải thực tế.

### Phụ lục 1: Giải thích các kí hiệu

$V_{e,RMS}$  : Điện áp cảm ứng hiệu dụng trên mỗi pha (V).

$f$  : Tần số cung cấp (Hz).

$N$  : Số vòng dây.

$\Psi_s$  : Độ lớn từ thông liên kết với cuộn dây stator (Wb).

$\xi$  : Hệ số dạng sóng.

$u_{(t)}$  : Tín hiệu đầu ra của bộ PI - tần số điều khiển  $f$ .

$e_{(t)}$  : Tín hiệu đầu vào của bộ PI - hiệu giữa tốc độ tham chiếu và tốc độ rotor.

$K_p$  : Hệ số tỉ lệ.

$K_i$  : Hệ số tích phân.

**Bảng 2.** Kí hiệu tập mờ hóa.

Kí hiệu	Mô tả
NB	Negative Big
NS	Negative Small
ZE	Zero
PS	Positive Small
PB	Positive Big

**Bảng 3.** Kí hiệu tập giải mờ.

Kí hiệu	Mô tả
DB	Decrease Big
DS	Decrease Small
ZE	Zero
IS	Increase Small
IB	Increase Big

**Bảng 4.** Bộ luật suy luận Fuzzy.

STT	Điều kiện $e$ và $\Delta e$	$K_p$	$K_i$
1	PB và PB	DS	DB
2	PB và ZE	IS	ZE
3	PB và NB	IB	IS
4	ZE và ZE	ZE	ZE
5	NS và NB	IS	IB
6	NB và NB	DB	DS
7	ZE và PB	IS	ZE
8	NS và PS	IS	DS
9	NB và PB	ZE	IS
10	PS và NS	IS	ZE

### Phụ lục 2: Bảng thông số

**Bảng 5.** Thông số động cơ không đồng bộ ba pha.

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Công suất	4	KW
Điện áp	400	V
Tần số	50	Hz
Điện trở stator	1.405	$\Omega$
Điện trở rotor	1.395	$\Omega$
Hỗ cảm	0.1722	H
Điện cảm stator	0.178039	H
Điện cảm rotor	0.178039	H

### Đóng góp của các tác giả trong bài báo

**Trương Chí Trung:** Đề xuất ý tưởng nghiên cứu, phân tích và đánh giá kết quả mô phỏng. **Trần Đình Cường:** Định hướng nghiên cứu tổng thể, thành lập cơ sở lý thuyết, quản lý dữ liệu. **Phan Trần Đăng Khoa:** Xây dựng mô hình điều khiển, viết bản thảo và phản hồi ý kiến phản biện. **Đỗ Thành Đạt, Diệp Tư Quân:** Thu thập và xử lý dữ liệu mô phỏng, chỉnh sửa bản thảo.

## Tuyên bố không xung đột lợi ích và cam kết bản quyền

Các tác giả tuyên bố về sự không xuất hiện những xung đột tiềm ẩn từ nghiên cứu này, và cam kết bài báo chưa từng được công bố trước đây.

## Chia sẻ dữ liệu theo yêu cầu

Dữ liệu sẽ được cung cấp theo yêu cầu.

## Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Tôn Đức Thắng.

1<sup>st</sup> Trương Chí Trung. *Electrical Testing Laboratory, Quality Assurance and Testing Center 3*

2<sup>nd</sup> Trần Đình Cường. *Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Ton Duc Thang University*

3<sup>rd</sup> Phan Trần Đăng Khoa\*. *Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Ton Duc Thang University*

4<sup>th</sup> Đỗ Thành Đạt. *Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Ho Chi Minh City University of Industry and Trade*

5<sup>th</sup> Diệp Tư Quân. *Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Ho Chi Minh City University of Industry and Trade*

\*Corresponding author:  
phantrandangkhoa@tdtu.edu.vn

## Tài liệu tham khảo

- [1] S. Pati, M. Patnaik, and A. Panda, "Comparative performance analysis of fuzzy PI, PD and PID controllers used in a scalar controlled induction motor drive," in *Proc. 2014 Int. Conf. Circuits, Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, Nagercoil, India, Mar. 2014, pp. 910–915, doi: 10.1109/ICCPCT.2014.7054799.
- [2] C. D. Tran, T. X. Nguyen, and P. D. Nguyen, "A field-oriented control method using the virtual currents for the induction motor drive," *Int. J. Power Electron. Drive Syst. (IJPEDS)*, vol. 12, pp. 2095–2102, 2021, doi: 10.11591/ijpeds.v12.i4.pp2095-2102.
- [3] G. Buja, D. Casadei, and G. Serra, "Direct torque control of induction motor drives," in *Proc. IEEE Int. Symp. Industrial Electronics (ISIE'97)*, Guimarães, Portugal, Jul. 1997, vol. 1, pp. TU2–TU8, doi: 10.1109/ISIE.1997.651717.
- [4] N. El Ouanjli, A. Derouich, A. El Ghzizal, S. Motahhir, A. Chebabhi, Y. El Mourabit, and M. Taoussi, "Modern improvement techniques of direct torque control for induction motor drives – a review," *Prot. Control Mod. Power Syst.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–12, 2019, doi: 10.1186/s41601-019-0125-5.
- [5] I. M. Alsofyani and N. R. N. Idris, "A review on sensorless techniques for sustainable reliability and efficient variable frequency drives of induction motors," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 24, pp. 111–121, Aug. 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.03.051.
- [6] Y. K. Sahu, K. Quraishi, S. Rajwade, and P. Choudhary, "Comparative analysis of PI & fuzzy logic controller based induction motor drive," in *Proc. 2016 Int. Conf. Electrical Power and Energy Systems (ICEPES)*, Bhopal, India, Dec. 2016, pp. 210–214, doi: 10.1109/ICEPES.2016.7915932.
- [7] S. V. Ustun and M. Demirtas, "Optimal tuning of PI coefficients by using fuzzy-genetic for V/f controlled induction motor," *Expert Systems with Applications*, vol. 34, no. 4, pp. 2714–2720, Apr. 2008, doi: 10.1016/j.eswa.2007.05.029.
- [8] G. Kohlrusz and D. Fodor, "Comparison of Scalar and Vector Control Strategies of Induction Motors," *Hungarian Journal of Industrial Chemistry Veszprém*, vol. 39, no. 2, pp. 265–270, 2011.
- [9] A. W. Aditya, R. M. Utomo, N. R. Alham, and H. Hilmansyah, "The Industrial IoT Control Design of Three Phase Induction Motor using Conventional V/F Method," *Elkha*, vol. 15, no. 1, p. 67, 2023, doi: 10.26418/elkha.v15i1.63817.
- [10] J. M. Pena and E. V. Diaz, "Implementation of V/f scalar control for speed regulation of a three-phase induction motor," in *Proceedings of the 2016 IEEE ANDESCON, ANDESCON 2016*, 2017, doi: 10.1109/ANDESCON.2016.7836196.
- [11] Y. N. Dementyev, N. V. Kojain, A. D. Bragin, and L. S. Udut, "Control system with sinusoidal PWM three-phase inverter with a frequency scalar control of induction motor," in *2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 - Proceedings*, 2015, doi: 10.1109/SIBCON.2015.7147008.
- [12] A. Idir and M. Kidouche, "Real-Time Simulation of V / F Scalar Controlled Induction Motor using RT-Lab Platform for Educational purpose," in *Proceedings of the 2013 International Conference on Systems, Control and Informatics Real-Time*, 2013, pp. 189–192.

- [13] K. A. M. Annuar, M. R. M. Sapiee, R. M. Nor, M. S. M. Azali, M. B. N. Shah, and S. M. Rozali, "Squirrel cage induction motor scalar control constant V/F analysis," *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 17, no. 1, pp. 417–424, 2019, doi: 10.12928/telkomnika.v17i1.8818.
- [14] D. T. Tran, H. B. Dinh, and D. C. Tran, "Speed sensorless control method using improving MRAS technique for three-phase induction motor drive," *Journal of Technical Education Science*, vol. 19, no. 05, pp. 60–70, 2024, doi: 10.54644/jte.2024.1560.
- [15] C. D. Tran, M. Kuchar, V. Sotola, and P. D. Nguyen, "Fault-tolerant control based on current space vectors against total sensor failures," *Sensors*, vol. 24, no. 11, p. 3558, 2024, doi: 10.3390/s24113558.
- [16] S. H. Kim, *Electric Motor Control: DC, AC, and BLDC Motors*. Oxford, U.K.: Elsevier, 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-812138-2.00001-5.