



Hệ thống điều khiển truyền động điện xoay chiều sử dụng phương pháp hiện đại

Control system of three-phase AC drive with model method

Lê Văn Tâm*

Khoa Điện-Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Từ khóa:

Động cơ cảm ứng
Hệ thống truyền
động điện xoay
chiều ba pha
Bộ điều khiển PID
Bộ điều khiển logic
mờ
Bộ điều khiển mờ lai

TÓM TẮT

Điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp, và việc kiểm soát chất lượng điều khiển chúng có thể làm giảm chi phí nhưng cũng ảnh hưởng đến hiệu suất và hiệu quả của máy móc. Trong thực tế rằng những hệ thống truyền động điện xoay chiều ba pha sử dụng bộ điều khiển PID được sử dụng rộng rãi trước đây đơn giản, hoạt động tin cậy nhưng chất lượng không cao. Do đó cần phải có các phương pháp điều khiển khác bổ sung cho bộ điều khiển PID để bù lại những khiếm khuyết của nó. Bài báo này đề xuất một phương pháp điều khiển hiện đại là ứng dụng logic mờ vào điều khiển. Kết quả của nghiên cứu cho thấy bộ điều khiển truyền động điện khi ứng dụng phương pháp trên đã được cải thiện chất lượng, tăng độ chính xác đáng kể mà không cần khảo sát đến các yếu tố phi tuyến. Các kết quả được đã kiểm nghiệm tính xác thực và hiệu quả trong môi trường MATLAB/Simulink.

Keywords:

Induction motor.
Three-phase AC
drive systems
PID Controller
Fuzzy logic
Sugeno Controller

ABSTRACT

Control of induction motor is more important because most of the industry used the induction motor, and control in the cost of decrease the efficiency and performance of the machine. It is a fact that three-phase alternating current drive systems using the classical PID controller, which were widely used in the past, are simple, reliable, but of low quality. Since they significantly impact control quality, it is necessary to have additional control methods to complement the PID controller to compensate for its shortcomings. This paper proposes a modern control method that is widely applied today, which is the application of fuzzy logic in control. The results of the study show that the three-phase alternating current drive system, when applying the above method, has improved quality and significantly increased control accuracy without needing to consider nonlinear factors. Simulations were conducted in the MATLAB/Sim environment.

* Lê Văn Tâm. Khoa Điện-Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email: lamlv.ddt@vamaru.edu.vn

[https://www.doi.org/10.55228/JTST.14\(3\).62-71](https://www.doi.org/10.55228/JTST.14(3).62-71)

Ngày nhận bài: 8/03/2025; Ngày nhận bài sửa: 14/04/2025; Ngày chấp nhận đăng: 23/04/2025

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/05/2025

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

1. Giới thiệu

Động cơ xoay chiều được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp và phát huy được nhiều ưu điểm trong truyền động điện xoay chiều đó là: cấu tạo đơn giản, dễ chế tạo, giá thành rẻ, vận hành tin cậy, an toàn và chi phí bảo dưỡng thấp [1], [2], [3]. Tuy nhiên chất lượng điều khiển, độ ổn định của hệ thống, tiết kiệm năng lượng... là một vấn đề đáng được quan tâm và cần có nhiều giải pháp nghiên cứu mới được đưa ra nhằm khắc phục những nhược điểm của chúng.

Trong những năm gần đây, sự phát triển mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật trong các lĩnh vực công nghệ chế tạo, công nghệ vật liệu mới và công nghệ thông tin cho ra đời các bộ vi xử lý mạnh, kích cỡ nhỏ gọn, tiêu thụ điện năng thấp và giá thành hạ. Và sự phát triển của khoa học và công nghệ, lý thuyết điều khiển hiện đại có vai trò hết sức quan trọng để giải quyết nhiều vấn đề đã nêu trên [4], [5], [6], [7].

Để điều khiển động cơ cảm ứng với mục tiêu chính là duy trì hiệu suất và hiệu năng của máy, trong nghiên cứu [8], [9] nhóm tác giả sử dụng bộ điều khiển PI để điều khiển động cơ cảm ứng nhằm giảm sai số giữa tốc độ rotor và tốc độ tham chiếu với cơ chế thay đổi tần số của bộ biến tần nguồn điện (VSI) để duy trì tỷ lệ V/f không đổi.

Các tác giả trong tài liệu [10] đề xuất một phương pháp điều khiển một bộ điều khiển Volts-per-Hertz (V/f) vòng hở được cải tiến nhằm tăng cường từ thông kích từ của động cơ cảm ứng khi hoạt động dưới tần số định mức, phương pháp này rút ra một tỷ lệ V/f mới từ mô hình trạng thái ổn định chính xác hơn, có xem xét đến tổn thất cũng như sụt áp stato.

Công bố [11], [12] nêu phương pháp kỹ thuật điều chế vectơ không gian trong các ứng dụng truyền động công nghiệp nhằm

cải thiện sóng hài và nâng cao chất lượng nguồn DC BUS. Tài liệu [13] giới thiệu ứng dụng bộ điều khiển PID để điều khiển tốc độ động cơ với Biến tần nguồn Z với cơ chế kiểm soát tốc độ tốt hơn.

Nhóm các tác giả của nghiên cứu [14] nêu ứng dụng công cụ MATLAB/Simulink trong giám sát và nâng cao chất lượng bộ điều khiển.

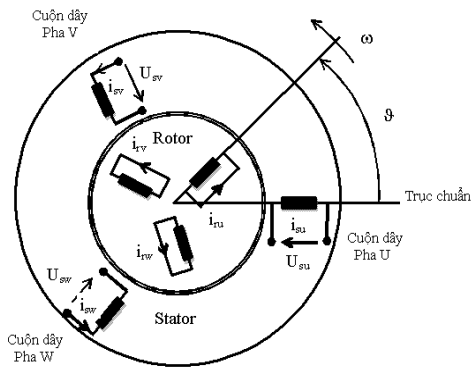
Trong thực tế rằng những hệ thống sử dụng bộ điều khiển kinh điển PID được sử dụng rộng rãi trước đây đơn giản, hoạt động tin cậy nhưng chất lượng không cao. Do đó khi chúng trở nên có tác động đáng kể đến chất lượng điều khiển thì cần phải có các phương pháp điều khiển khác bổ xung cho bộ điều khiển PID để bù lại những khiếm khuyết của bộ điều khiển này.

Để nâng cao chất lượng điều khiển cho hệ truyền động dưới ảnh hưởng của yếu tố chưa xác định trong mô hình của hệ và các nhiễu loạn tải mang tính chất ngẫu nhiên, trong bài báo đưa ra phương án xây dựng độ điều khiển mờ lai, có nghĩa là kết hợp bộ điều khiển kinh điển PID với logic mờ. Bộ điều khiển mờ được đưa ra là loại SUGENO. Đây là bộ điều khiển nằm trong nhóm mờ ron – mờ, kết hợp nguyên lý điều khiển mờ với mạng mờ ron.

2. Tổng hợp và xây dựng mô hình

Do tính chất phức tạp mô hình toán của máy điện dị bộ viết ở hệ trục cố định gây nhiều khó khăn cho quá trình mô phỏng như Hình 1, cho nên ta tìm cách đưa mô hình toán học của máy điện dị bộ về một mô hình mới viết ở hệ trục vuông góc (d, q) gắn liền với từ trường quay Rotor.

Hệ này gồm hai trục d và q vuông góc với nhau quay cùng với tốc độ quay rotor. Mô hình mô tả toàn bộ tính chất của hệ thống ở trạng thái quá độ và ổn định [15].



Hình 1. Mô hình đơn giản của động cơ dị bộ rotor lồng sóc.

Để xây dựng, thiết kế bộ điều chỉnh hoặc làm các phương pháp nghiên cứu trên động cơ không đồng bộ cần phải có mô hình mô tả chính xác đến mức tối đa động cơ không đồng bộ. Mô hình toán học thu được cần phải thể hiện rõ các đặc tính thời gian của đối tượng điều chỉnh. Tuy nhiên mô hình ở đây chỉ phục vụ cho việc xây dựng mô phỏng thuật toán điều chỉnh. Điều đó dẫn đến các điều kiện giả thiết trong khi lập mô hình [15].

Sau khi xây dựng vector không gian cho các đại lượng dòng, áp, từ thông động cơ và chuyển các vector đó sang quan sát trên hệ tọa độ từ thông, ta thu được quan hệ đơn giản sau đây giữa moment quay, từ thông và các thành phần của vector dòng stator [5].

$$\begin{cases} \Psi_{rd} = \frac{L_m}{1 + T_r \cdot s} i_{sd} \\ m_M = \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_r} p_c \Psi_{rd} i_{sq} \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó:

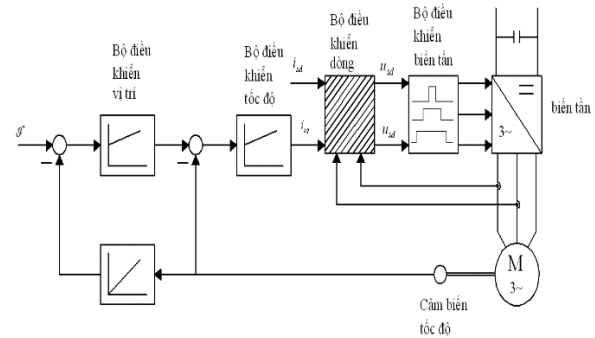
rd: phần tử của véctơ từ thông rôto.

isd, isq: phần tử d và q của vectơ từ thông stato.

Pc: số đôi cực của động cơ.

P: toán tử Laplace.

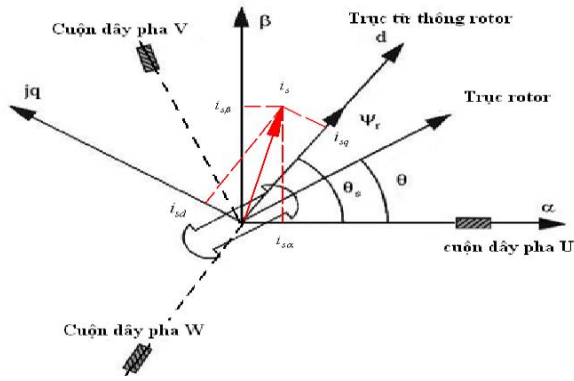
Như vậy, theo phương trình (1) với việc tách vector dòng điện stator thành hai thành phần isd và isq, ta hoàn toàn có thể điều khiển từ thông và momen của máy một cách độc lập như với máy điện một chiều bằng cách điều chỉnh tương ứng hai thành phần dòng điện này. Các đặc tính trên cho phép ta xây dựng cấu trúc điều khiển hệ thống như Hình 2.



Hình 2. Cấu trúc điều khiển động cơ dị bộ rotor lồng sóc.

Để thực hiện phương pháp điều khiển vector, mô hình động cơ dị bộ phải được miêu tả ở hệ tọa độ từ thông rotor dq để có được đặc tính giống động cơ một chiều. Tuy nhiên trong hệ thống thực, nguồn điện cung cấp cho động cơ là nguồn hình sin ba pha. Do đó phải thực hiện phép chuyển đổi giữa các hệ tọa độ.

Việc quan sát mô hình toán của động cơ dị bộ xoay chiều ba pha được thực hiện trên các hệ tọa độ khác nhau bao gồm: hệ tọa độ cố định trên stator (hệ tọa độ $\alpha\beta$), hệ tọa độ tựa theo từ thông rotor (hệ tọa độ dq), hệ tọa độ tựa theo từ thông stator, hệ tọa độ cố định trên rotor như Hình 3.

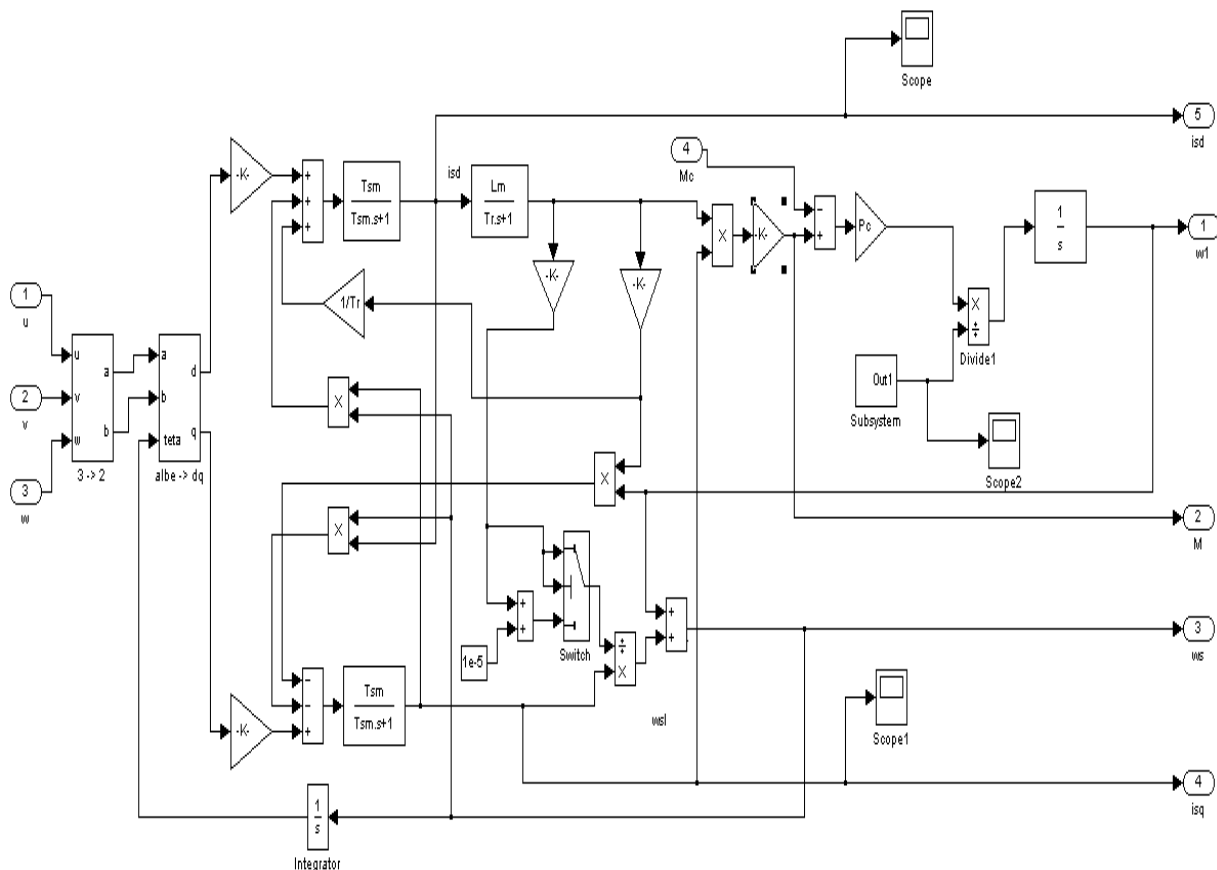


Hình 3. Biểu diễn vectơ không gian trên hệ tọa độ $\alpha\beta$, hệ tọa độ dq .

Hệ phương trình vi phân số 2 cho động cơ không đồng bộ trên hệ trục tọa độ từ thông rotor được viết như sau (do trục d trùng với trục từ thông rotor nên thành phần từ thông $\psi'_{rq} = 0$) [6], [15].

$$\begin{cases} \frac{di_{sd}}{dt} = -\left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right)i_{sd} + \omega_s i_{sq} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\psi'_{rd} + \frac{1-\sigma}{\sigma}\omega\psi'_{rq} + \frac{1}{\sigma L_s}U_{sd} \\ \frac{di_{sq}}{dt} = -\omega_s i_{sd} - \left(\frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\right)i_{sq} - \frac{1-\sigma}{\sigma}\omega\psi'_{rd} + \frac{1-\sigma}{\sigma T_r}\psi'_{rq} + \frac{1}{\sigma L_s}U_{sq} \\ \frac{d\psi'_{rd}}{dt} = \frac{1}{T_r}i_{sd} - \frac{1}{T_r}\psi'_{rd} \\ 0 = \frac{1}{T_r}i_{sq} - (\omega_s - \omega)\psi'_{rd} \\ m_M = \frac{3}{2}p_p \frac{L_m}{L_r}\psi'_{rd}i_{sq} \end{cases} \quad (2)$$

Thực hiện chuyển hệ tọa độ, ta dễ dàng xây dựng được cấu trúc mô hình mô phỏng động cơ dị bộ xoay chiều ba pha trên hệ tọa độ dq như Hình 4.



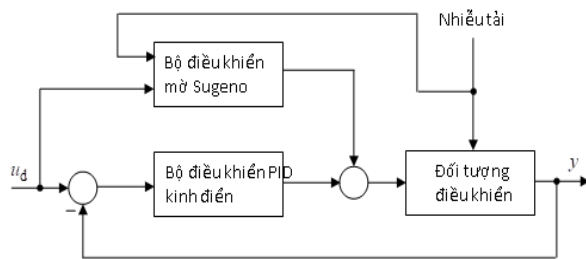
Hình 4. Mô hình mô phỏng động cơ không đồng bộ trên hệ trục (d, q) .

3. Xây dựng cấu trúc điều khiển, Mô phỏng hệ thống trên MATLAB/Simulink và kết quả điều khiển

Để nâng cao chất lượng điều khiển cho hệ truyền động dưới ảnh hưởng của yếu tố chưa xác định trong mô hình của hệ và các nhiễu loạn tải mang tính chất ngẫu nhiên,

trong bài báo đưa ra phương án xây dựng bộ điều khiển mờ lai, có nghĩa là kết hợp bộ điều khiển kinh điển PID với logic mờ. Bộ điều khiển mờ được đưa ra là loại SUGENO là bộ điều khiển nằm trong nhóm mờ – mờ, kết hợp nguyên lý điều khiển mờ với mạng mờ [4], [6].

Bộ điều khiển PID khi đưa vào đối tượng đã không cho chất lượng tốt, thậm chí còn có thể làm mất ổn định hệ thống. Điều đó dẫn đến phải đưa thêm vào bộ điều khiển mờ (trong trường hợp này là bộ điều khiển mờ Sugeno) để nâng cao chất lượng điều khiển. Theo [5] ta xây dựng được cấu trúc chung bộ điều khiển mờ lai điều khiển tốc độ hệ truyền động điện xoay chiều có dạng như Hình 5.



Hình 5. Cấu trúc của hệ mờ lai.

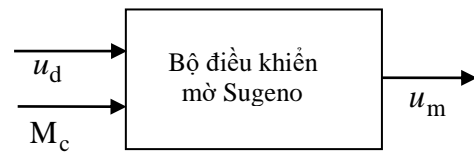
Ở đây bộ điều khiển mờ lai đóng vai trò như khâu bù nhiễu, tức là lấy chính nguyên nhân gây ra sai lệch hệ thống điều khiển đưa về phản hồi, thông qua bộ điều khiển tác động lên đối tượng để bù sai lệch đó. Các bộ điều khiển PID và Sugeno đều được thiết kế làm việc trên thời gian thực.

Để xây dựng mô phỏng, trong mô hình vật lý hệ thống truyền động điện gồm một bộ biến tần có nhiệm vụ cấp nguồn cho động cơ ba pha lai tải là phanh dòng điện xoay. Các bộ điều khiển được xây dựng trên phần mềm Matlab-Simulink và kết nối với thiết bị qua card ghép nối Advantech mã hiệu PCI-1711.

Động cơ thực hiện với dữ liệu như Bảng 4 của phụ lục.

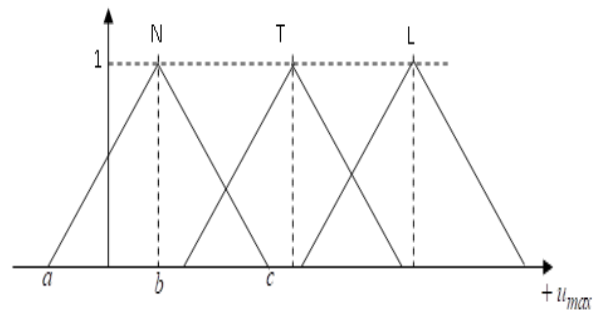
Để xây dựng bộ điều khiển mờ sugeno trong phần mềm matlab có công cụ chuyên dụng ANFIS và bộ điều khiển được luyện trong chế độ off-line.

Các đầu vào bộ điều khiển mờ là tín hiệu đặt tốc độ (u_d) và mô men tải (M_c) đo bằng thiết bị đo mô men của phanh dòng điện xoay. Đầu ra duy nhất của bộ điều khiển mờ (u_m) tham gia tác động lên đối tượng như Hình 6.



Hình 6. Bộ điều khiển mờ với 2 đầu vào.

Cấu hình bộ điều khiển mờ sugeno được chọn như sau: Mỗi đầu vào (biến ngôn ngữ) có 3 hàm thuộc dạng hình tam giác với các giá trị ngôn ngữ Nhỏ (N), Trung bình (T), Lớn (L) và tọa độ các đỉnh tam giác kí hiệu là a, b, c như Hình 7.

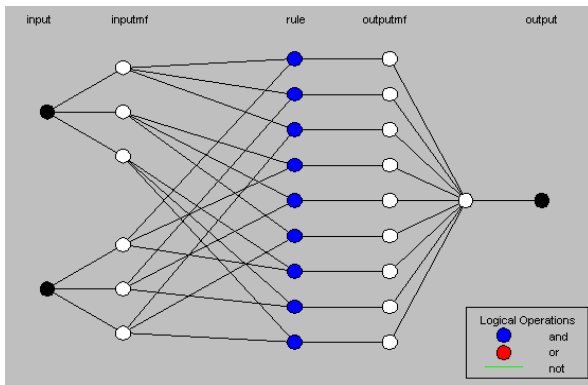


Hình 7. Các hàm thuộc cho mỗi đầu vào.

Cấu hình mạng của bộ điều khiển có 2 đầu vào sẽ có $2*3=6$ nút ở lớp thứ 2, $3*3=9$ nút ở lớp thứ 3 và $2*3*3=18$ liên kết giữa lớp 2 và lớp 3. Lớp thứ 4 và lớp thứ 5 cũng có 9 nút như lớp 3. Các thông số của lớp 5 bằng các hệ số của phương trình tuyến tính bậc nhất của r các biến đầu vào dạng phương trình số 3.

$$f = b_0 + b_1u_1 + b_2u_2 \quad (3)$$

Cấu hình mạng của bộ điều khiển mờ sugeno trong công cụ ANFIS được trình bày ở Hình 8.



Hình 8. Cấu trúc bộ điều khiển sugeno trong ANFIS.

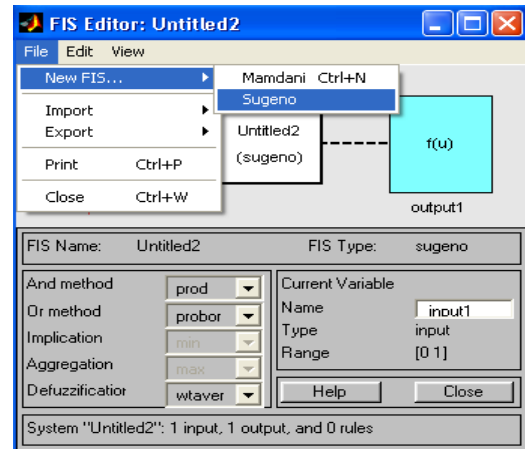
Dữ liệu dùng để luyện bộ điều khiển mờ sugeno nhận được thông qua thực nghiệm theo cách sau: Ứng với từng giá trị của tín hiệu đặt tốc độ và mô men tải thì đầu ra của bộ điều khiển phải tác động lên đối tượng một lượng là bao nhiêu để duy trì tốc độ động cơ không đổi. Quá trình thực nghiệm trên đối tượng thực đưa ra bộ dữ liệu dùng để luyện như Bảng 1.

Bộ dữ liệu luyện cùng với cấu trúc mạng đưa ra ở trên được đưa vào công cụ luyện mạng ANFIS, xây dựng ma trận theo Bảng 1, tạo thành một File dữ liệu cho quá trình luyện.

Bảng 1. Bộ dữ liệu luyện.

Giá trị đặt (ω_d)	Mô men tải (M_c)	Đầu ra (U_m)
0	0	0
0.84	0.10	0
0.84	0.64	0.06
0.84	2.16	0.28
0.84	3.16	0.65
1.69	0.12	0
1.69	0.71	0.08
1.69	2.07	0.30
1.69	3.70	0.90
2.53	0.12	0
2.53	0.6	0.08
2.53	2.12	0.28
2.53	4.06	0.82
3.39	0.17	0

3.39	0.75	0.05
3.39	2.43	0.25
3.39	4.59	0.79

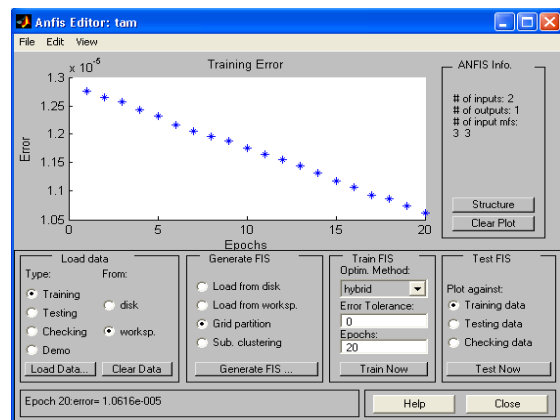


Hình 9. Chọn mô hình điều khiển SUGENO.

Lập mới bộ điều khiển SUGENO, ta mở cửa sổ hộp công cụ ANFIS, thực hiện các bước sau như Hình 9:

- Chọn mô hình điều khiển SUGENO;
- Chọn số lượng và xác định miền vật lý cho các biến vào/ra;
- Xây dựng luật điều khiển.

Mở cửa sổ ANFIS/edit/ANFIS sẽ xuất hiện cửa sổ luyện, chọn Workspace/ load data, chọn Grid partition/generate FIS, Chọn thuật toán kép để luyện (hybrid) và số lần luyện (Epochs), sau đó cho chạy qua trình luyện (Train now). Hình ảnh của nó được trình bày trên Hình 10.



Hình 10. Công cụ luyện mạng ANFIS.

Kết quả luyện thông số của lớp 2 (tọa độ các hàm thuộc hình tam giác) và lớp 5 (hệ số

của các phương trình tuyến tính bậc nhất) được đưa ra Bảng 2 và Bảng 3.

Bảng 2. Kết quả luyện thông số lớp 2.

U_d	a	b	c
N	-1.25	-0.0028	1.232
T	0.0073	1.248	2.494
L	1.258	2.501	3.75
M_c	a	b	c
N	-1.635	-0.001	1.628
T	0.0035	1.634	3.27
L	1.636	3.27	4.905

Bảng 3. Kết quả luyện thông số lớp 5.

f	b_0	b_1	b_2
f_1	2.001	0.8334	0.0002
f_2	0.2082	0.7762	-0.9975
f_3	-0.0777	0.604	-1.387
f_4	1.867	0.5674	-2.168
f_5	-0.0909	0.5144	-0.2869
f_6	-0.0714	0.4727	-0.7169
f_7	1.932	0.6022	-4.547
f_8	-0.1776	0.4469	0.177
f_9	-0.1093	0.2434	0.3076

Từ những dữ liệu, cấu trúc thu được ở trên, ta tiến hành xây dựng trong Matlab hệ mờ lai điều khiển tốc độ hệ truyền động điện xoay chiều như Hình 11. Các khối hiển thị tốc độ đều được vẽ đồ thị trong chế độ thực.

Mô hình vật lý và sơ đồ kết nối hệ điều khiển hệ thống như Hình 12 và Hình 13.

Trên các Hình 14 và Hình 15 là các kết quả thực nghiệm ở các chế độ làm việc khác

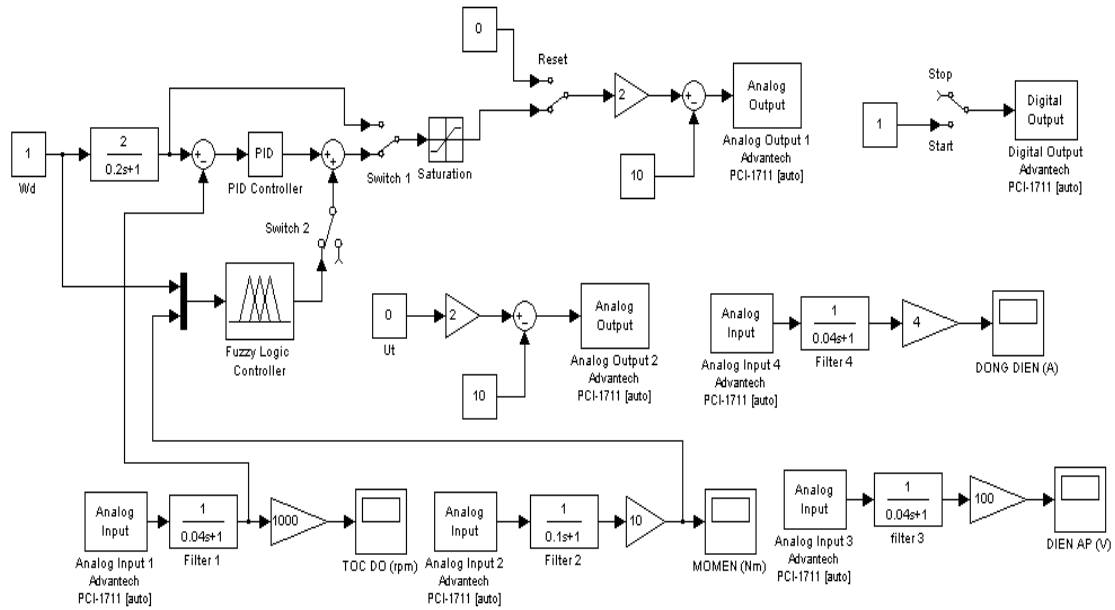
nhau trên mô hình thời gian thực lấy ra từ các đồ thị của chương trình điều khiển ứng với tốc độ 1000v/ph và 2000v/ph.

4. Kết luận

Từ các kết quả thực nghiệm ta thấy rằng, ở chế độ hở (không có phản hồi) sai số tĩnh của hệ rất lớn khi tăng tải, điều này phù hợp với đường đặc tính cơ của máy điện dị bộ. Ở chế độ làm việc ứng dụng bộ PID thiết kế, dù tác giả đã thiết kế bộ PID để loại trừ tín hiệu tích phân ban đầu khi điều chỉnh nhưng sai số tĩnh có giảm, tuy nhiên nó vẫn tồn tại một lượng sai số tương đối do đối tượng là thành phần phi tuyến; ở chế độ ứng dụng bộ điều khiển mờ sugeno sai số tĩnh đã bị triệt tiêu, tốc độ động cơ duy trì được khi thay đổi tải ở các cấp tốc độ khác nhau.

Trong ứng dụng bộ điều khiển mờ sugeno, tính tác động nhanh của hệ thống không bị suy giảm do vẫn giữ lại bộ PID, bên cạnh đó việc đưa vào bộ điều khiển mờ sugeno đã làm tăng độ chính xác hơn khoảng 2% trong điều khiển mà không cần khảo sát đến các yếu tố phi tuyến và các yếu tố không xác định khác của đối tượng.

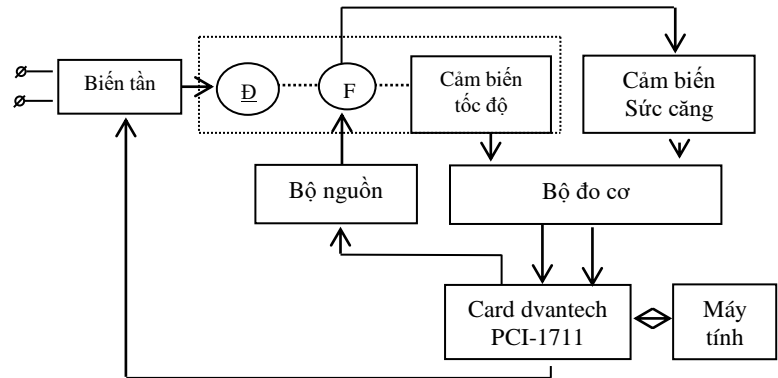
Hướng phát triển tiếp theo là dựa vào tính chất có thể luyện được trong bộ điều khiển mờ sugeno, chúng ta tiếp tục nghiên cứu, lựa chọn các thông số để cho hệ thống hoạt động tối ưu nhất, xây dựng chương trình điều khiển vào vi xử lý để điều khiển đối tượng, tránh phụ thuộc vào máy tính công kênh.



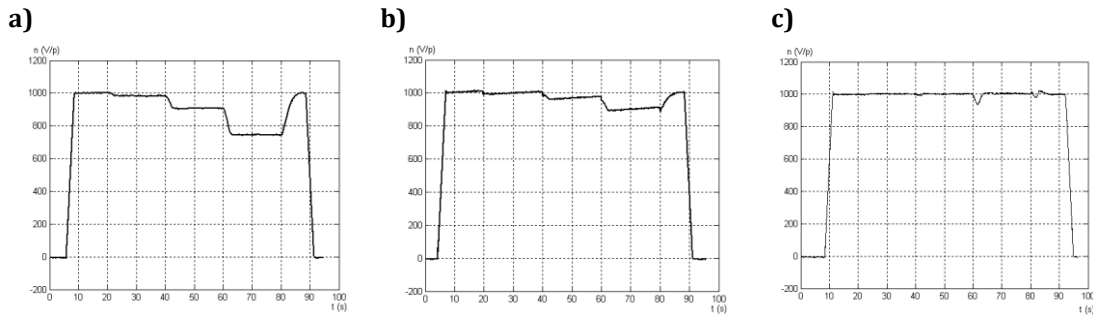
Hình 11. Hệ mờ lai điều khiển truyền động xoay chiều trong miền thời gian thực.



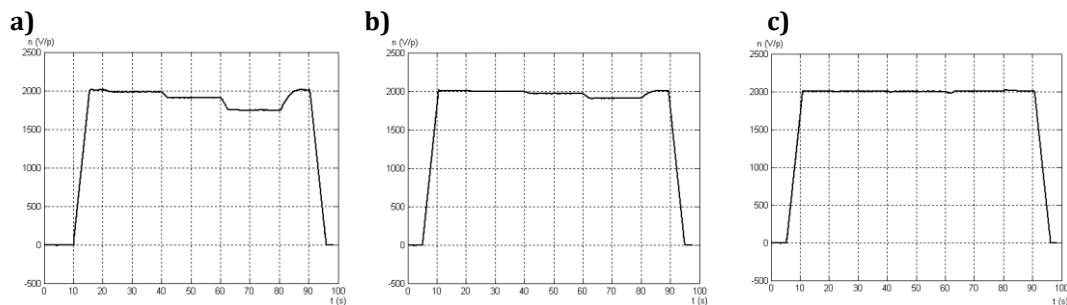
Hình 12. Mô hình vật lý hệ thống.



Hình 13. Sơ đồ kết nối của mô hình vật lý.



Hình 14. Kết quả ứng dụng với các chế độ điều khiển với vòng quay 1000 RPM. (a) Mạch hở (không có phản hồi), (b) Mạch điều khiển PID, (c) Ứng dụng bộ điều khiển SUGENO.



Hình 15. Kết quả ứng dụng với các chế độ điều khiển với vòng quay 2000 RPM. (a) Mạch hở (không có phản hồi), (b) Mạch điều khiển PID, (c) Ứng dụng bộ điều khiển SUGENO.

Phụ lục

1. Phụ lục A- Bảng thông số

Bảng 4. Thông số động cơ thực hiện.

Thông số	Giá trị	Đ. vị
Công suất	1.1	KW
Điện áp	220	V
Tần số	50	Hz
Tốc độ	2820	RPM
Điện trở stato	2	Ω
Điện trở rôto	0.976292	Ω
Hỗ cảm giữa stato và rôto	0.17636	H
Điện cảm phía stato	0.1825148	H
Điện cảm phía rôto	0.1858366	H

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

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 không được cung cấp theo yêu cầu.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số DT24-25.54.

1st Lê Văn Tâm*. *Khoa Điện-Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam*

*Corresponding author: lamlv.ddt@vamaru.edu.vn

Tài liệu tham khảo

- [1] T.F. Chan, K. Shi, *Applied Intelligent Control of Induction Motor Drives*, John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, 2011. Doi:10.1002/9780470825587.
- [2] Uralde, Jokin, O. Barambones, E. Artetxe, I. Calvo, and A. del Rio, "Model Predictive Control Design and Hardware in the Loop Validation for an Electric Vehicle Powertrain Based on Induction Motors," *Electronics*, Vol. 12, no. 21, pp. 4516, Art 2023, doi: 10.3390/electronics12214516.
- [3] M. I. Mosaad, "Application of Energy-Saving for an inverter feeds three-phase induction motor," *Yanbu Journal of Engineering and Science*, vol. 18, no. 1, pp. 55-62. doi: 10.53370/001c.29146.
- [4] TS Huỳnh Thái Hoàng, *Hệ thống điều khiển thông minh*, NXB Đại học Quốc gia TP HCM, 2006.
- [5] Nguyễn Phùng Quang, *Điều khiển tự động truyền động điện xoay chiều ba pha*, Nhà xuất bản giáo dục, 1996.
- [6] Phan Xuân Minh, Nguyễn Doãn Phước, *Lý thuyết điều khiển mờ*, Nhà xuất bản KH&KT, 2006.
- [7] Bùi Công Cường, Nguyễn Doãn Phước, *Hệ mờ - Mạng nơ ron và ứng dụng*, Nhà xuất bản KH&KT, 2001.
- [8] R. Bharti, M. Kumar, B.M. Prasad, "V/F Control of Three Phase Induction Motor," *2019 International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking (ViTECoN)*, 30-31 Mar 2019 (IEEE), pp. 1-4, doi: 10.1109/VITECON.2019.8899420.
- [9] Z. Zhang, Y. Liu and A. M. Bazzi, "An improved high-performance open-loop V/f control method for induction machines," *2017 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 26-30 March 2017, pp. 615-619, doi: 10.1109/APEC.2017.7930757.
- [10] U. Sowmmiya; V. Jamuna, "Voltage control scheme for three phase SVM inverter fed induction motor drive systems," *2011 1st International Conference on Electrical Energy Systems*, 03-05 January 2011, doi: 10.1109/ICEES.2011.5725329.
- [11] M. H. V. Reddy, V. Jegathesan, "Open loop V/f control of induction motor based on hybrid PWM with reduced torque ripple," *2011 International Conference on Emerging Trends in Electrical and Computer Technology*, 23 Mar 2011 (IEEE), pp. 331-336, doi: 10.1109/ICETECT.2011.5760138.
- [12] J. Jacob; A Chitra; R. V. Thomas; E. Rakesh; S. Jacob; M. Baby, "Space vector pulse width modulation for a seven level inverter applied to an induction motor drive," *2017 International Conference on Innovations in Electrical, Electronics, Instrumentation and Media Technology (ICEEIMT)*, 03-04 February 2017, doi: 10.1109/ICEEIMT.2017.8116818.
- [13] C. M. Mathew, R. P. Thomas, A. M. Kottalil, "SV PWM Controlled ZSI Drive for Speed Control of 3 Phase Induction Motor using PID Controller," *International Journal of Engineering Research &*

- Technology*, vol. 03, no. 02, Feb 2014, doi: [10.17577/IJERTV3IS20555](https://doi.org/10.17577/IJERTV3IS20555).
- [14] V. B. Koreboina, S. J. Magajikondi, A. B. Raju, "Modeling, simulation and PC based implementation of a closed-loop speed control of VSI fed induction motor drive," *India International Conference on Power Electronics 2010 (IICPE2010)*, pp. 28-30, Jan 2011, doi: [10.1109/IICPE.2011.5728065](https://doi.org/10.1109/IICPE.2011.5728065).
- [15] Nguyễn Phùng Quang, *MATLAB & Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động*, Nhà xuất bản KH&KT, 2003.