

DESIGN OF EXPERIMENTAL MODEL FOR STARTUP AND POWER FACTOR CONTROL OF LARGE-CAPACITY SYNCHRONOUS MOTOR

Duong Quoc Hung^{1*}, Nguyen Huu Cong², Nguyen Van Lien³, Le Dinh Son⁴, Nguyen The Cuong²

¹TNU - University of Technology, ²Thai Nguyen University

³Hanoi University of Science and Technology, ⁴ASO Mechatronics joint stock company

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 12/8/2021	Synchronous motor has many advantages in efficiency, torque and working stability, so it is often applied in large power transmission systems. However, the rotor side of the synchronous motor needs a variable excitation device, so the control of the synchronous motor is complicated. This exciter must perform two tasks. When start up, it must determine exactly when to apply the excitation source to the rotor windings so that the stator's magnetic field "catches" the rotor's magnetic field and rotates synchronously. In the working mode, the excitation controller must automatically adjust the excitation source to stabilize the power factor of motor to the setpoint. This paper presents the design of an experimental model to "catch" synchronously at start-up and control the power factor when working of a large-capacity synchronous motor. The Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm is applied to optimize the parameters of the PID controller to control the excitation with the set power factor.
Revised: 14/10/2021	
Published: 15/10/2021	
KEYWORDS	
Synchronous motor	
Excitation system	
Ziegler nichols method	
Trial and error method	
Particle Swarm Optimization	

THIẾT KẾ MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM ĐỂ KHỞI ĐỘNG VÀ ĐIỀU KHIỂN HỆ SỐ CÔNG SUẤT CỦA ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ CÔNG SUẤT LỚN

Dương Quốc Hưng^{1*}, Nguyễn Hữu Công², Nguyễn Văn Liên³, Lê Đình Sơn⁴, Nguyễn Thế Cường²

¹Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐH Thái Nguyên, ²Đại học Thái Nguyên

³Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, ⁴Công ty cổ phần cơ điện tử ASO

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 12/8/2021	Động cơ đồng bộ với nhiều ưu điểm về hiệu suất, mô-men và sự ổn định khi làm việc, do đó nó thường được ứng dụng trong các hệ truyền động công suất lớn. Tuy nhiên, do phía rotor của động cơ đồng bộ luôn cần một thiết bị kích từ có thể thay đổi được trị số nên việc điều khiển động cơ đồng bộ khá phức tạp. Thiết bị kích từ này phải thực hiện 2 nhiệm vụ. Khi khởi động, nó phải xác định được chính xác thời điểm cấp nguồn kích từ vào cuộn dây rotor để từ trường của stato "bắt" được từ trường rotor và quay đồng bộ. Ở chế độ làm việc, bộ điều khiển kích từ phải tự động điều chỉnh được nguồn kích thích để ổn định được giá trị hệ số công suất $\cos\varphi$ theo lượng đặt. Bài báo này trình bày việc thiết kế một mô hình thực nghiệm để "bắt" đồng bộ khi khởi động và điều khiển hệ số công suất $\cos\varphi$ ở chế độ làm việc của động cơ đồng bộ công suất lớn. Thuật toán tối ưu bầy đàn (Particle Swarm Optimization – PSO) được áp dụng để tối ưu hóa các tham số của bộ điều khiển PID nhằm điều khiển hệ thống kích từ bám hệ số công suất đặt.
Ngày hoàn thiện: 14/10/2021	
Ngày đăng: 15/10/2021	
TỪ KHÓA	
Động cơ đồng bộ	
Hệ thống kích từ	
Phương pháp Ziegler nichols	
Phương pháp thử sai số	
Tối ưu bầy đàn	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.4889>

* Corresponding author. Email: quochungkd@tnut.edu.vn

1. Giới thiệu

Nhiệm vụ của hệ thống kích từ động cơ đồng bộ công suất lớn được thể hiện qua hai giai đoạn: Giai đoạn 1 – “Bắt” và hòa đồng bộ, giai đoạn này được thực hiện trong quá trình khởi động. Giai đoạn 2 – Điều chỉnh giá trị kích từ để ổn định hệ số công suất $\cos\varphi$ hoặc mô-men nhằm ổn định chế độ làm việc của động cơ. Với giai đoạn 1, ban đầu nguồn kích từ chưa được cấp vào cuộn dây rotor, động cơ được khởi động như một động cơ không đồng bộ. Khi đủ điều kiện cấp kích từ, nguồn kích từ sẽ được cấp vào cuộn dây rotor, từ trường của rotor “bắt” được từ trường của stator ở thời điểm thuận lợi nhất giúp cho động cơ chạy với tốc độ đồng bộ. Việc “bắt” đồng bộ bằng phương pháp đo tốc độ của động cơ được đề cập đến ở các nghiên cứu [1]-[5], với điều kiện khi tốc độ động cơ gần đạt tốc độ đồng bộ (khoảng 95 – 98% tốc độ đồng bộ). Hoặc đo tần số của dòng điện cảm ứng trong rotor khi khởi động [6]-[8], khi còn khoảng (3-5)Hz. Một số nghiên cứu khác [19], [10] tìm thấy thời điểm “bắt” đồng bộ khi giá trị trung bình của dòng điện stator trong quá trình khởi động vào khoảng $(2 - 2,5)I_{dm}$. Ưu điểm của những phương pháp này là đơn giản, nhưng nhược điểm là nó còn phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm và chưa xác định được thời điểm cực đại của từ trường cảm ứng trong rotor. Phương pháp sử dụng biến tần trung thể phía stator để khởi động được [11] sử dụng để khởi động cho động cơ đồng bộ, nguồn kích từ được đưa vào cuộn dây rotor khi dòng điện phía stator đạt giá trị min. Kết thúc khởi động, máy cắt bypass được đóng vào để loại biến tần ra. Phương pháp này giảm được dòng khởi động phía stator, tuy nhiên chi phí đầu tư tốn kém, khi chỉ dùng với mục đích khởi động. Kết quả nghiên cứu chỉ dừng lại ở mô phỏng mà chưa thử nghiệm trên mô hình thiết bị thực.

Trong chế độ làm việc, bộ điều khiển kinh điển [12], [13] được sử dụng để điều khiển kích từ rotor của động cơ đồng bộ, tham số của bộ điều khiển được xác định bằng Ziegler-Nichols. Kết quả cho thấy, hệ thống vẫn tồn tại sự dao động ở trạng thái xác lập do chưa xác định được chính xác tham số của bộ điều khiển. Với sự phát triển của lý thuyết điều khiển hiện đại, [14] sử dụng bộ điều khiển mờ động, kết quả mô phỏng cho thấy, bộ điều khiển mờ cho chất lượng điều khiển tốt hơn bộ điều khiển PI khi tăng tải đột ngột, nhưng độ trễ lớn. Cũng với điều khiển mờ [15] mô phỏng với tải không thay đổi, ở chế độ xác lập hệ số công suất ổn định và không dao động, nhưng có độ trễ lớn, bài báo cũng chưa có sự đánh giá chất lượng của đáp ứng với sự thay đổi của tín hiệu đặt hoặc sự thay đổi của nhiễu phụ tải.

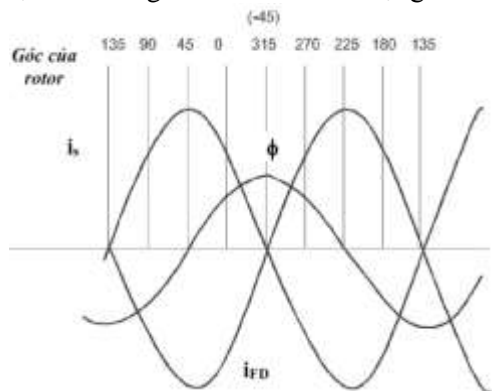
Từ những nghiên cứu trên ta thấy, điều kiện “bắt” đồng bộ vẫn chủ yếu thực hiện với một điều kiện là tốc độ nên phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm và chưa tận dụng được thời điểm cực đại của từ trường cảm ứng trong rotor. Ở chế độ làm việc, các kết quả mô phỏng đã cho thấy việc sử dụng lý thuyết điều khiển hiện đại đã đem lại hiệu quả cao hơn, tuy nhiên việc thực nghiệm trong công nghiệp với bộ điều khiển mờ vẫn gặp nhiều khó khăn về thiết bị thực. Bộ điều khiển kinh điển PID rất phù hợp với những ứng dụng trong thực tế, việc tối ưu hóa bộ điều khiển này đã có nhiều phương pháp khác nhau, có thể kể đến như phương pháp thử sai số (Trial and error) [16 - 18], phương pháp dùng thuật toán tối ưu bầy đàn PSO (Particle Swarm Optimization) [19 - 21]. Bài báo này trình bày việc xây dựng một mô hình thực nghiệm để điều khiển kích từ cho động cơ đồng bộ 500kW. Mạch điện tử với chip vi xử lý tốc độ cao được sử dụng để xác định chính xác thời điểm mà từ trường cảm ứng của rotor đạt cực đại khi “bắt” đồng bộ. Trong chế độ làm việc, bộ điều khiển PID, với thuật toán tối ưu PSO để tối ưu hóa tham số của bộ điều khiển đã được áp dụng để điều khiển nguồn kích từ nhằm ổn định hệ số công suất bám giá trị đặt.

2. Cơ sở lý thuyết

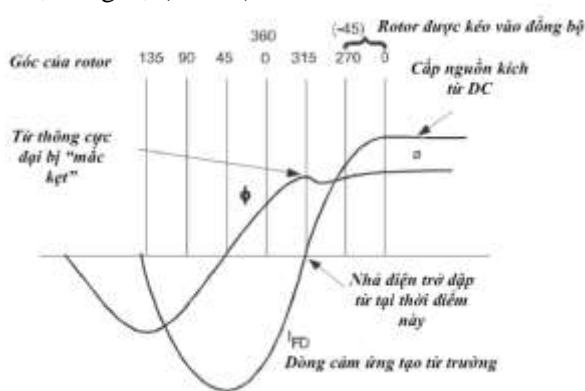
2.1. Điều kiện “bắt” đồng bộ ở chế độ khởi động

Khi khởi động, nguồn lưới 6kVac được cấp vào các cuộn dây stator, động cơ đồng bộ được khởi động như một động cơ không đồng bộ. Điện trở đập từ được nối song song với cuộn dây rotor để đập sức điện động tự cảm trong nó, đồng thời tăng mô-men cho động cơ khi khởi động. Khi tốc độ động cơ gần đạt đồng bộ hệ số trượt bằng hằng số, nếu gọi i_s là dòng điện stator và i_{FD}

là dòng điện cảm ứng trong cuộn rotor, dòng điện này ngược pha 180° so với dòng statro và từ thông cảm ứng (ϕ) trong rotor sẽ chậm hơn 90° so với i_{FD} . Thời điểm của từ thông cảm ứng đạt giá trị tối đa xảy ra khi hệ số trượt đã bằng hằng số và dòng rotor i_{FD} đi qua 0 từ âm sang dương (hình 1). Điều này làm cho mô-men xoắn tăng lên, đó là thời điểm thuận lợi cho hiệu quả tối đa để đưa nguồn kích từ DC vào cuộn dây rotor. Nếu như lúc này, điện trở dập từ được ngắt ra, từ trường rotor sẽ bị “mắc kẹt”. Nguồn kích từ DC được đưa vào để tận dụng tối đa sự tồn tại của từ trường cực đại này, lúc này các cực của từ trường stator vừa đi qua và ở vị trí thuận lợi “bắt” được từ trường của rotor và kéo động cơ vào chế độ đồng bộ (hình 2).



Hình 1. Sự biến đổi về dòng điện và từ trường rotor khi hệ số trượt bằng hằng số



Hình 2. Thời điểm tối ưu cấp nguồn kích từ để “bắt” đồng bộ trong chế độ khởi động

Từ phân tích trên ta thấy, thời điểm thuận lợi để nhà điện trở dập từ và thực hiện “bắt” đồng bộ là:

Tốc độ động cơ đạt khoảng 95 - 98% tốc độ đồng bộ.

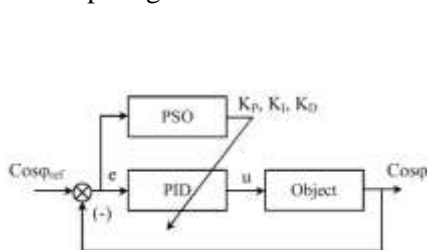
Dòng điện cảm ứng tức thời của rotor = 0 ($i_{FD} = 0$).

Đạo hàm của dòng điện cảm ứng rotor có giá trị dương ($di_{FD}/dt > 0$).

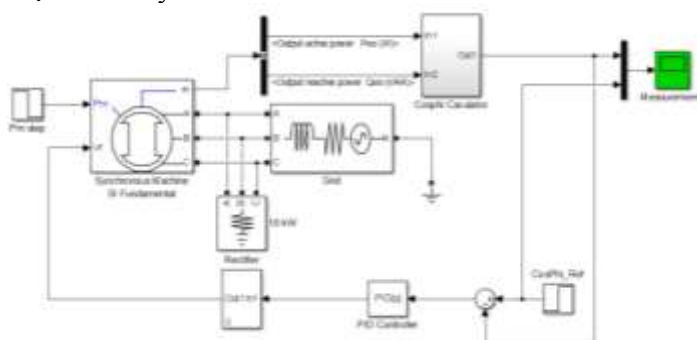
Lúc này, từ trường của rotor có giá trị lớn nhất và dễ “bắt” kịp từ trường stator để vào đồng bộ.

2.2. Điều khiển hệ số công suất $\cos\phi$ ở chế độ làm việc

Trong nghiên cứu này, bộ điều khiển PID được sử dụng để điều khiển kích từ nhằm ổn định hệ số công suất $\cos\phi$ cho động cơ. Tham số ban đầu của bộ điều khiển được xác định bằng phương pháp Ziegler-Nichols, Sau đó sử dụng thuật toán PSO [22] để tối ưu hóa các tham số K_P , K_I và K_D . Các hệ số này là 3 thành phần của biến tối ưu thiết lập cho thuật toán PSO (Hình 3). Sơ đồ mô phỏng trên Matlab – Simulink được trình bày như hình 4.



Hình 3. Sơ đồ tối ưu bộ điều khiển PID bằng PSO



Hình 4. Sơ đồ mô phỏng trên Matlab – Simulink

Hàm mục tiêu được lựa chọn theo tiêu chuẩn tích phân trị tuyệt đối của sai lệch điều khiển:

$$\text{fitness} = \sum_{k=1}^n |e(k)| \rightarrow \min \tag{1}$$

Trong đó: $e(k)$ là mẫu dữ liệu sai lệch tại chu kỳ mô phỏng thứ k , n là tổng số mẫu dữ liệu của một lần chạy chương trình mô phỏng.

Trong Toolbox của Matlab, hàm `particleswarm()` đã được hỗ trợ cho tối ưu theo thuật toán PSO. Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng hàm `particleswarm()` sẵn có và thực hiện theo thuật toán trên hình 5. Sau khi chạy chương trình tối ưu ta được kết quả các tham số của bộ điều khiển PID như bảng 1.

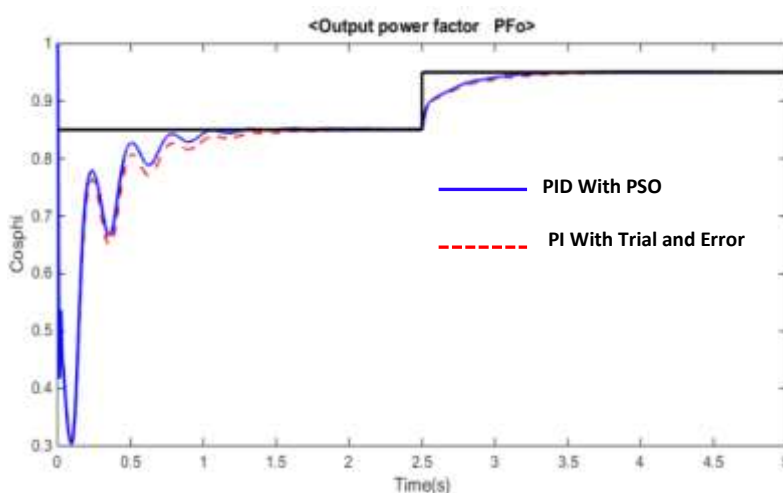
Bảng 1. Tham số tối ưu của bộ điều khiển PID tìm được bằng PSO

Bộ điều khiển PID	Kp	Ki	Kd
	0.548964	5.9924	0.5

Kết quả mô phỏng được trình bày như trong hình 6 và được so sánh với trường hợp sử dụng bộ điều khiển PI, tham số bộ điều khiển PI được xác định bằng Ziegler-Nichols kết hợp phương pháp thử sai số [23].



Hình 5. Sơ đồ tối ưu bộ điều khiển PID bằng PSO



Hình 6. Đáp ứng khi giá trị đặt $\cos\phi_a$ thay đổi từ 0,85 \rightarrow 0,95

Kết quả mô phỏng cho thấy, Với việc sử dụng thuật toán PSO để tối ưu hóa tham số bộ điều khiển PID cho kết quả tốt hơn bộ điều khiển PI, thời gian quá độ và thời gian để xác lập nhanh hơn. Ở chế độ xác lập, cả 2 bộ điều khiển đều cho sai số khá nhỏ.

3. Xây dựng mô hình thực nghiệm

3.1. Các thành phần chính của mô hình thực nghiệm

Mô hình thực nghiệm được thử nghiệm trên động cơ đồng bộ công suất 500kW, tải của động cơ là máy bơm. Thông số của động cơ như bảng 2.

Bảng 2. Thông số kỹ thuật của động cơ đồng bộ trong mô hình thực nghiệm

STT	Thông số kỹ thuật	Giá trị	STT	Thông số kỹ thuật	Giá trị
1	Mã Hiệu	βCĐH-16-41-20T	6	Tốc độ đồng bộ	300v/p
2	Công suất	500kW	7	Cosφ	0,9
3	Điện áp định mức stator	6kVac	8	Điện áp kích từ rotor	57Vdc
4	Dòng điện định mức stator	58,3A	9	Dòng kích từ rotor	227A
5	Tần số dòng điện stator	50Hz	10	Số đôi cực từ	10

Sơ đồ nguyên lý điều khiển hệ thống thực nghiệm được trình bày như hình 7. Hình ảnh thực nghiệm tủ điều khiển kích từ được trình bày như hình 8. Tủ máy biến áp kích từ và điện trở dập từ như hình 9. Phần mềm SCADA và động cơ đồng bộ 500 kW như hình 10.

Hệ thống thực nghiệm bao gồm các thành phần cơ bản sau đây:

Tủ điều khiển kích từ: Có chức năng đo lường và chuẩn hóa tín hiệu phản hồi, xác định thời điểm “bắt” đồng bộ khi khởi động và cấp nguồn kích từ cho động cơ ở chế độ làm việc. Nó bao gồm các khối chức năng:

Bộ điều khiển trung tâm: Được lập trình để điều khiển hệ thống khi động cơ khởi động và làm việc.

Bộ chỉnh lưu cầu Thyristor: Tạo nguồn kích từ DC. Trong mô hình thực nghiệm có 2 bộ, trong đó có 1 bộ hoạt động và một bộ dự phòng.

Khối đồng bộ hóa và tạo xung: Khối này bao gồm các biến áp đồng bộ và mạch tạo xung cho Thyristor. Trong mô hình thực nghiệm cũng có 2 bộ, trong đó một bộ hoạt động và một bộ dự phòng.

Modul đo lường và chuẩn hóa tín hiệu: Có chức năng thu thập và chuẩn hóa các tín hiệu đo lường để gửi về bộ điều khiển trung tâm.

Modul “bắt” đồng bộ: Xác định thời điểm “bắt” đồng bộ khi khởi động. Khi đủ điều kiện “bắt” đồng bộ nó sẽ gửi tín hiệu về bộ điều khiển trung tâm để ngắt điện trở dập từ và cấp kích từ cho cuộn dây rotor.

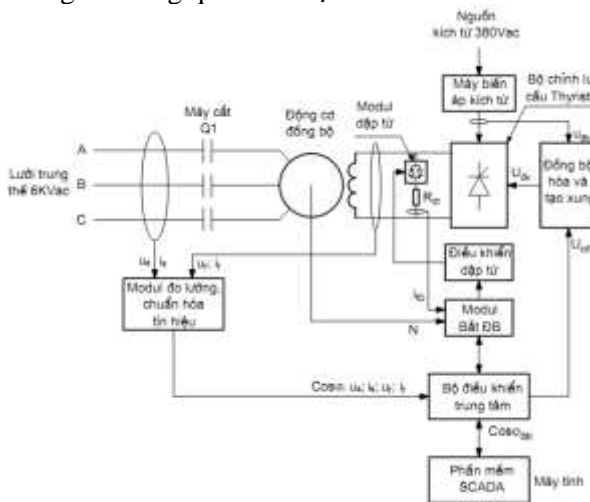
Tủ biến áp kích từ và điện trở dập từ: Bao gồm

Máy biến áp kích từ: Để hạ điện áp từ 380Vac xuống cấp điện áp thích hợp để đưa vào bộ chỉnh lưu cầu Thyristor.

Điện trở dập từ, mạch điều khiển dập từ và modul dập từ: Dập sức điện động tự cảm khi khởi động động cơ, đồng thời tăng mô-men khi khởi động.

Các biến dòng đo lường, biến áp đo lường phía stator, rotor: Chuyển đổi các thông số động lực thành các giá trị phù hợp để đưa về mạch đo lường và chuẩn hóa tín hiệu. Đồng thời các tín hiệu ra của chúng cũng được đưa vào role kỹ thuật số để bảo vệ phía stator của động cơ.

Phần mềm SCADA: Để thiết lập các thông số điều khiển, các chế độ làm việc và hiển thị các thông tin trong quá trình vận hành.



Hình 7. Sơ đồ nguyên lý điều khiển hệ thống kích từ



Hình 8. Các thành phần của tủ điều khiển kích từ động cơ đồng bộ

3.2. Thiết kế Modul “bắt” đồng bộ

Modul “bắt” đồng bộ được thiết kế bằng các linh kiện điện tử và vi điều khiển. Phương pháp dò tìm điểm từ trường cảm ứng rotor đạt cực đại khi tốc độ động cơ gần đạt tốc độ đồng bộ được áp dụng để lập trình cho vi điều khiển. Khi có lệnh chạy, bộ điều khiển trung tâm sẽ phát lệnh tới

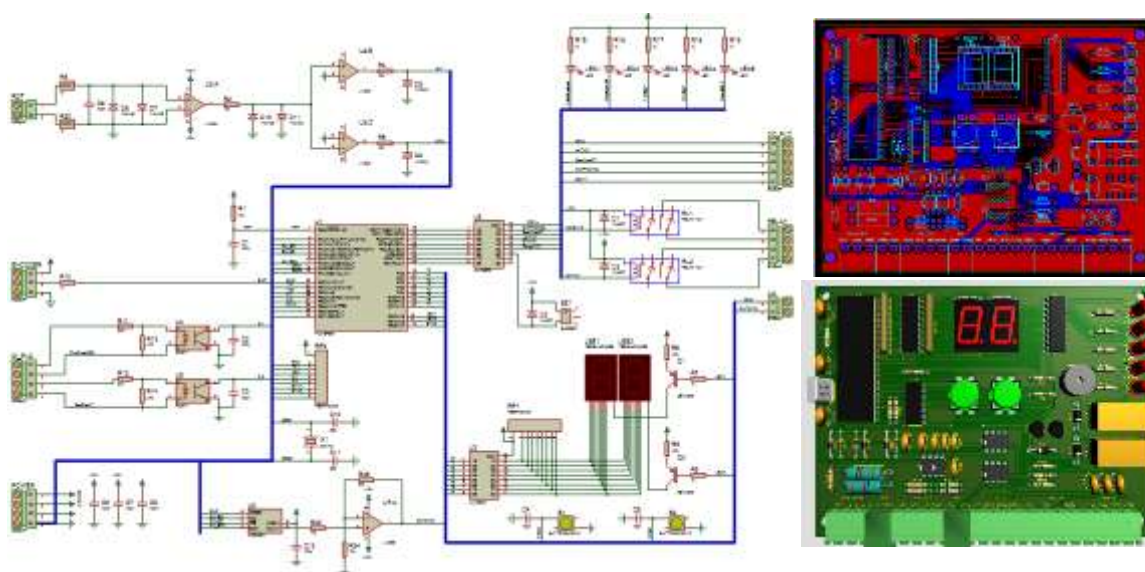
modul này để nó điều khiển đóng điện trở dập từ, giúp giải phóng sức điện động tự cảm và tăng được mô-men khởi động. Tốc độ của động cơ được đo bằng Encoder, khi đạt khoảng (95 - 98%) tốc độ đồng bộ, Modul “bắt” đồng bộ sẽ dò tìm thời điểm dòng cảm ứng i_D đi qua điểm 0 theo chiều dương, đây là thời điểm thuận lợi để “bắt” đồng bộ (như đã trình bày tại mục 2.2.1). Lúc này, modul sẽ điều khiển để loại điện trở dập từ ra, đồng thời gửi tín hiệu đến bộ điều khiển trung tâm để phát lệnh cho mạch phát xung mở bộ chỉnh lưu, cấp nguồn kích từ vào cuộn dây rotor. Từ trường của stator “bắt” được từ trường rotor và động cơ vào chế độ đồng bộ. Sơ đồ nguyên lý đi dây, sơ đồ mạch in và hình ảnh modul “bắt” đồng bộ được trình bày như hình 11.



Hình 9. Tủ biến áp kích từ và điện trở dập từ



Hình 10. Phần mềm SCADA, tủ điều khiển và động cơ đồng bộ

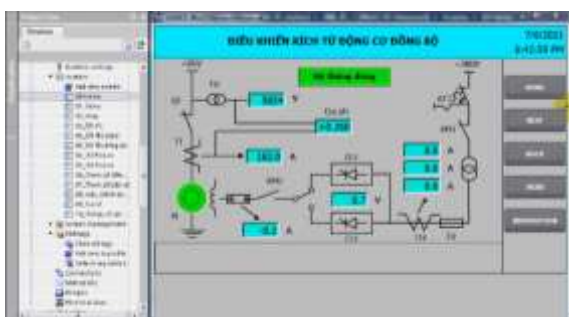


Hình 11. Sơ đồ nguyên lý đi dây, sơ đồ mạch in và hình ảnh modul “bắt” đồng bộ

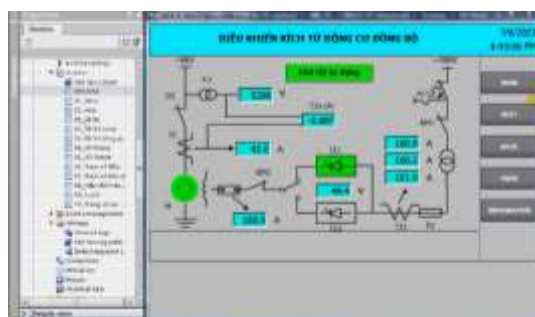
3.4. Kết quả thực nghiệm và thảo luận

3.4.1. Kết quả “bắt” đồng bộ

Khi bắt đầu khởi động, dòng stator tăng lên khoảng $2,5I_{dm}$. Dòng khởi động khoảng (160 – 165)A, điện áp giảm từ 6200V xuống 5800V. Động cơ khởi động như một động cơ không đồng bộ, hệ số công suất giảm ($\cos\varphi = 0.26$), động cơ tiêu thụ công suất phản kháng của lưới (hình 12). Khi vừa vào đồng bộ, dòng điện stator giảm xuống còn khoảng (43- 45)A (hình 13), điện áp khôi phục dần trở lại và không có sự đột biến trong dòng stator tại thời điểm “bắt” đồng bộ.

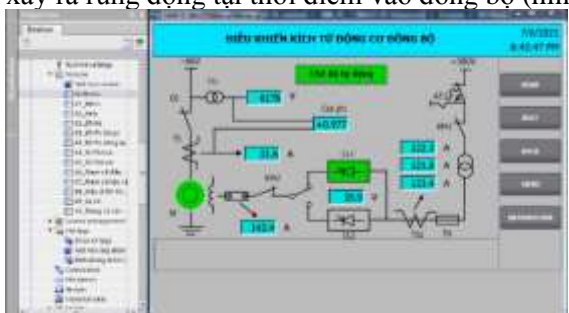


Hình 12. Dòng điện, điện áp stator, $\cos\varphi$ của hệ thống khi vừa khởi động

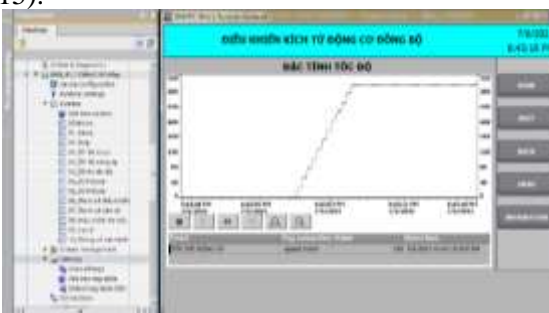


Hình 13. Dòng điện, điện áp, $\cos\varphi$ của hệ thống khi “bắt” đồng bộ

Do quá trình “bắt” đồng bộ phải gia cường kích từ, nên động cơ phát thừa kích từ để tạo mô men. $\cos\varphi$ tại thời điểm này sẽ chuyển từ dương sang âm (hình 13). Kết thúc quá trình khởi động và đi vào chế độ làm việc, dòng điện tiếp tục giảm xuống còn khoảng (30 – 33)A (hình 14). Động cơ khởi động êm, thời gian “bắt” đồng bộ từ 2 đến 4 giây. Tốc độ động cơ tăng dần đều, không xảy ra rung động tại thời điểm vào đồng bộ (hình 15).



Hình 14. Dòng điện, điện áp stator, $\cos\varphi$ của hệ thống khi bắt đầu khởi động



Hình 15. Dòng điện, điện áp stator, $\cos\varphi$ của hệ thống khi bắt đầu khởi động

Như vậy, ngoài việc đo tốc độ của động cơ, bằng việc thêm các đầu vào cho điều kiện bắt đồng bộ. Kết quả thực nghiệm quá trình khởi động cho thấy:

Không xảy ra việc “bắt” đồng bộ nhầm, ít xảy ra lỗi trong chế độ khởi động, mạch điện tử trong modul “bắt” đồng bộ làm việc ổn định và tin cậy.

Thời gian “bắt” đồng bộ khá nhanh.

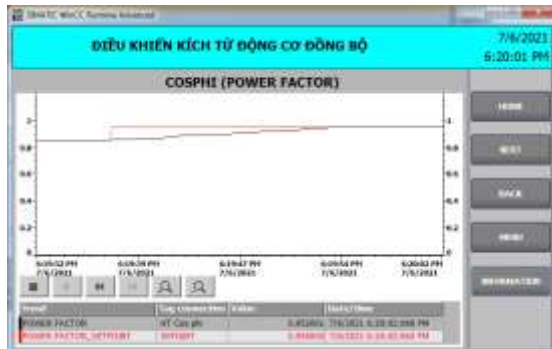
Động cơ khởi động êm, không có sự tăng dòng trở lại ở phía stator do sự ngược pha của dòng tạo từ trường cảm ứng rotor và dòng điện kích từ đưa vào tại thời điểm cấp kích từ.

3.4.2. Kết quả thực nghiệm điều khiển hệ số công suất $\cos\varphi$

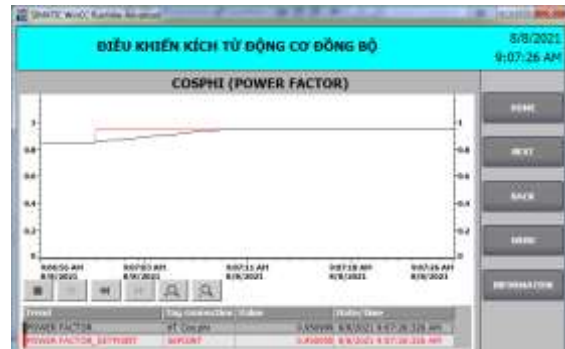
Bộ điều khiển PI: Tham số ban đầu của bộ điều khiển được thực hiện bằng phương pháp Ziegler-Nichols 2 và kết hợp thêm phương pháp dò tìm theo kinh nghiệm dựa trên đặc tính bộ điều khiển PI. bước tiếp theo là ứng dụng phương pháp thử sai số để tìm tham số làm việc của bộ điều khiển. Kết quả chạy thực nghiệm với bộ điều khiển PI được trình bày như hình 16.

Bộ điều khiển PID: Tham số ban đầu của bộ điều khiển được sử dụng từ bộ điều khiển PI ở trên, sau đó sử dụng thuật toán PSO để tối ưu hóa bộ tham số K_p ; K_i ; K_d . Kết quả chạy thực nghiệm với bộ điều khiển PID được trình bày như hình 17.

Từ kết quả thực nghiệm cho thấy sự ưu việt của thuật toán. Bộ điều khiển PID được tối ưu bằng PSO cho tốc độ đáp ứng nhanh hơn, sai lệch nhỏ hơn so với bộ điều khiển PI. Do tải của động cơ trong mô hình thực nghiệm là tải bơm, hơn nữa động cơ đang vận hành với lưới điện 6kV nên việc thử nghiệm thay đổi tải hoặc điện áp cấp cho Stator chưa thể thực hiện được.



Hình 16. Đáp ứng của hệ số công suất $\text{Cos}\varphi$ khi sử dụng bộ điều khiển PI với phương pháp Ziegler-Nichols 2 kết hợp thử sai số



Hình 17. Đáp ứng của hệ số công suất $\text{Cos}\varphi$ khi sử dụng bộ điều khiển PID với thuật toán PSO tối ưu hóa tham số bộ điều khiển

Ziegler-Nichols là phương pháp thực nghiệm, hiệu quả với những đối tượng không cần biết mô hình toán mà vẫn có thể xác định được tham số của bộ điều khiển, với sai số đáp ứng ở mức chấp nhận được, tuy nhiên giá trị tham số này chưa tối ưu. Để tối ưu hóa tham số của bộ điều khiển nhằm nâng cao chất lượng đáp ứng của hệ thống, thuật toán PSO được áp dụng cho bộ điều khiển kinh điển PID trong hệ thống điều khiển kích từ và đã đem lại hiệu quả.

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày cơ sở lý thuyết của vấn đề “bắt” đồng bộ ở chế độ khởi động và điều chỉnh kích từ ở chế độ làm việc để bám giá trị hệ số công suất đặt. Từ đó xây dựng một mô hình thực nghiệm hệ thống điều khiển kích từ cho động cơ đồng bộ công suất 500kW và thử nghiệm tại trạm bơm. Kết quả thực nghiệm cho thấy, việc thêm các điều kiện đầu vào để xác định thời điểm từ trường cảm ứng đạt cực đại đã giúp cho việc vào đồng bộ được chính xác hơn. Khi làm việc, bộ điều khiển PID với thuật toán PSO để tối ưu tham số, đã tự động điều chỉnh nguồn kích từ để ổn định giá trị hệ số công suất $\text{cos}\varphi$ theo giá trị đặt, từ đó ổn định được chế độ làm việc của động cơ. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm đã chứng minh tính đúng đắn của phương pháp. Kết quả thực nghiệm tạo ra một mô hình thực nghiệm được chế tạo từ các linh kiện điện tử và các bộ điều khiển hiện đại có tốc độ xử lý nhanh, từng bước làm chủ công nghệ và thiết bị trong lĩnh vực điều khiển kích từ động cơ đồng bộ công suất lớn, thúc đẩy sự phát triển khoa học công nghệ nước nhà.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] D. P. Kothari and I. J. Nagrath, *Electric machine*. TMH Publishers second edition, 1998.
- [2] M. G. Say, *Performance and design of ac machine*. CBS Publishers third edition, 2002.
- [3] I. L. Kosow, *Electric machinery and Transformer*. PHI Learning private ltd, second edition, 2008.
- [4] Q. H. Duong, H. C. Nguyen, and T. C. Nguyen, “Starting of high power synchronous motor by speed method,” (in Vietnamese), *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 225, no. 06, pp. 311-317, 2020.
- [5] Q. K. Bui, Q. V. Doan, Q. D. Pham, and Q. D. Nguyen, *Industrial electric drive control*. Scientific and technical Publishers, 2020 .
- [6] WEG group, “The ABC’s of Synchronous Motors,” 2011. [Online]. Available: https://www.electricmachinery.com/files/LR10012.gb.01-11.01_SynchMotors_Mining.pdf. [Accessed June 15, 2021].
- [7] E. C. Bortoni and J. A. Jardini; “A Standstill Frequency Response Method for Large Salient Pole Synchronous Machines,” *IEEE Trans on E.C*, vol. 19, no. 4, pp. 687-691, December 2004.
- [8] ASO Mechatronics Joints stock company, “Digital exciter system for generator AEG500”, 2012. [Online]. Available: http://aso.com.vn/index.php?option=com_content&view=article&id=102:h-thng-

- [kich-t-cho-ng-c-ng-b-va-may-phat-ng-b&catid=55:dieu-khien-truyen-dong&Itemid=110](#). [Accessed June 15, 2021].
- [9] DR. P. S. Bimbrha, *Electrical Machinery*. Khanna Publisher seventh edition, 2009.
- [10] B. Horvath, "Synchronous Motors & Sync Excitation Systems," Western Mining Electrical Association; TM GE Automation Systems, 2009. [Online]. Available: <https://silo.tips/download/synchronous-motors-excitation-control>. [Accessed June 20, 2021].
- [11] M. Hyla, "Start – up of large power synchronous motor with the 6kV voltage source inverter and microprocessor - controller unit for excitation supply," *Journal electrical engineering*, vol. 69, no. 2, pp. 156-162, 2018.
- [12] S. Pengpradern, K. Kraikitrat, and S. Ruangsinchaiwanich, "Automatic control of synchronous motor using PI controller for improving power factor," *Journal of Thai Interdisciplinary Research*, vol. 12, no. 5, pp. 35-41, 31 October 2017.
- [13] M. F. Al-Kababji, A. Nasser, and B. Al-Sammakm, "Modeling & simulation of synchronous machine controlled by PID control for the reactive power compensation," *The 6th Jordanian International Electrical & Electronics Engineering conference JIEEEEC*, 2005.
- [14] Arş. Gör. E. Kılıç, and I. H. Altaş, "Power Factor Correction of Synchronous Motor Using Fuzzy Logic," *Mathematical and Computational Applications*, vol. 1, no. 1, pp. 66-72, 1996.
- [15] A. Gani, Ö. F. Keçecioglu, H. Açıkgöz, C. Yıldız, and M. Şekkel, "Simulation Study on Power Factor Correction Controlling Excitation Current of Synchronous Motor with Fuzzy Logic Controller," *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, ISSN: 2147-6799, IJISAE, vol. 4, Special Issue, pp. 229-233, 2016.
- [16] J. G. Ziegler and N. B. Nichols, "Optimum settings for automatic controllers," *Transactions of the ASME*, no. 64, pp. 759-768, 1942.
- [17] M. Brenna, F. Foadelli, and D. Zaninelli, "New stability analysis for tuning PI controller of power converters in railway application," *IEEE Transactions on Industry Electronics*, vol. 58, no. 2, pp. 533-543, 2011.
- [18] M. Gani, S. Islam, and M. A. Ullah, "Optimal PID tuning for controlling the temperature of electric furnace by genetic algorithm," *SN Applied Sciences*, vol. 1, p. 880, 2019, doi: 10.1007/s42452-019-0929-y.
- [19] Kennedy J, Eberhart R. "Particle swarm optimization" *Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks*, 4, Perth, WA, Australia:1942-1948. 1995
- [20] H. Ali, A. Albagul, and A. Algitta, "Optimization of PID parameters based on Particle Swarm optimization for ball and beam system," *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*, vol. 5, no. 9, pp. 59-69, 2018, doi: 10.5281/zenodo.1443549.
- [21] D. C. Huynh, H. P. Dao, and N. T. Nguyen, "Research and select the solution to optimize PID parameters from the PSO algorithm for industrial systems," *Lac Hong Science Journal*, Special Issue (11/2017), pp. 1-5, 2017
- [22] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," *Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks*, 4, Perth, WA, Australia, 1995.
- [23] Q. H. Duong, H. C. Nguyen, T. C. Nguyen, and D. S. Le, "Design of the experimental model for excitation controll system of large-power synchronous motor in working mode", *The 6th vietnam international conference and exhibition on control and automation*, 2021.