

KHỞ ĐỘNG ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ CÔNG SUẤT LỚN BẰNG PHƯƠNG PHÁP TỐC ĐỘ

Dương Quốc Hưng^{1*}, Nguyễn Hữu Công², Nguyễn Thế Cường³

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

²Đại học Thái Nguyên, ³Công ty cổ phần cơ điện tử ASO

TÓM TẮT

So với máy điện không đồng bộ có cùng công suất, máy điện đồng bộ có nhiều ưu điểm vượt trội, tuy nhiên do có cấu tạo phức tạp, đặc biệt có thêm mạch kích từ phía Rotor nên việc điều khiển nó khi khởi động cũng như trong quá trình làm việc sẽ gặp nhiều khó khăn. Trong quá trình khởi động, việc xác định được thời điểm đưa dòng kích từ DC vào cuộn kích từ Rotor để từ trường quay của Stator “bắt” được từ trường của Rotor là rất quan trọng. Bài báo này giới thiệu mô hình và mô phỏng quá trình khởi động động cơ đồng bộ công suất lớn theo phương pháp tốc độ. Thời điểm “bắt” đồng bộ được xác định khi tốc độ của động cơ đạt xấp xỉ tốc độ đồng bộ. Kết quả được mô phỏng kiểm chứng trên phần mềm Matlab – Simulink.

Từ khóa: Động cơ đồng bộ; khởi động động cơ đồng bộ; mô hình toán; Matlab Simulink; “bắt” đồng bộ

Ngày nhận bài: 17/02/2020; Ngày hoàn thiện: 22/5/2020; Ngày đăng: 25/5/2020

STARTING THE LARGE SYNCHRONOUS MOTOR BY SPEED METHOD

Duong Quoc Hung^{1*}, Nguyen Huu Cong², Nguyen The Cuong³

¹TNU - University of Technology, ²Thai Nguyen University

³ASO Mechatronics joint stock company

ABSTRACT

Compared with asynchronous machines with the same capacity, synchronous machines have many advantages, However, it has a complicated structure, especially with the excitation circuit at Rotor side, so controlling it at startup and work will be difficult. During start-up, it is very important to determine the time when the DC current is applied to the rotor side so that the Stator's magnetic field "getting" the Rotor's magnetic field. This article introduces the model and simulates the process of starting the large synchronous motor according to the speed method. The synchronous "getting" time is determined when the motor speed reaches approximately the synchronous speed. The simulation results were verified on Matlab - Simulink software.

Keywords: Synchronous motor; starting synchronous motor; Mathematical model; Matlab Simulink; "getting" synchronous

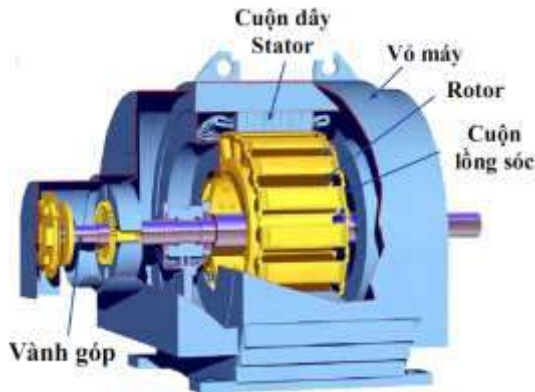
Received: 17/02/2020; Revised: 22/5/2020; Published: 25/5/2020

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

1. Giới thiệu

Động cơ đồng bộ công suất lớn chủ yếu được ứng dụng trong các nhà máy điện, các trạm bơm, các máy nén khí cao áp trong ngành công nghiệp hoá chất (hình 1). Ưu điểm của nó so với động cơ không đồng bộ có cùng công suất là:

- + Có hiệu suất cao hơn, có khả năng hoạt động ở $\cos\phi \approx 1$, điều này cho phép nâng cao hệ số $\cos\phi$ của lưới điện nhà máy và giảm kích thước, trọng lượng bản thân động cơ do dòng nhỏ hơn.
- + Độ nhạy với dao động điện áp nguồn thấp hơn do mômen cực đại tỷ lệ bậc nhất với điện áp.
- + Tần số quay không đổi và ít phụ thuộc vào dao động tải (trong một giới hạn cho phép nào đó) trên trục Rotor.

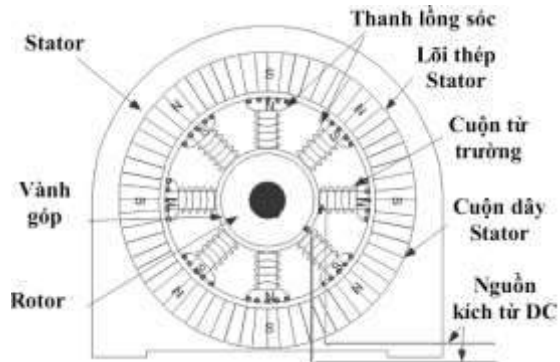


Hình 1. Động cơ đồng bộ

Xong nó cũng tồn tại nhược điểm: Vì Rotor có cuộn kích từ và các mạch điện liên quan như mạch khởi động, mạch diệt từ, mạch góp điện... Đặc biệt việc khởi động và điều khiển động cơ đồng bộ phức tạp hơn so với động cơ không đồng bộ do phải xác định được chính xác thời điểm để bơm dòng kích từ vào Rotor (Thời điểm "bắt" và hòa đồng bộ trong quá trình khởi động) và trong quá trình làm việc phải điều chỉnh dòng kích từ này sao cho ổn định được hệ số công suất $\cos\phi$ ở giá trị tối ưu để dòng Stator có giá trị nhỏ nhất, tổn hao ít nhất, an toàn cho động cơ và đem lại hiệu suất làm việc cao nhất. Nên động cơ đồng bộ yêu cầu chi phí vận hành cao hơn so với động cơ không đồng bộ. Tuy nhiên, trong các nhà

máy công nghiệp, với tải đặc biệt đòi hỏi động cơ điện dẫn động công suất lớn (đôi khi lên đến hàng trăm, thậm chí hàng nghìn kW) thì việc sử dụng động cơ không đồng bộ là không cho phép.

Động cơ đồng bộ sử dụng phổ biến hiện nay là loại cực lồi với các thanh lồng sóc đặt ở mặt ngoài các cực lồi của Rotor, Các thanh lồng sóc này cho phép mômen tăng tốc hình thành trong Rotor khi dòng xoay chiều của stator vừa tạo ra dòng cảm ứng trong các thanh lồng sóc, do đó khi bắt đầu khởi động nó làm việc như một động cơ không đồng bộ, cấu tạo của động cơ đồng bộ cực lồi trình bày như hình 2.

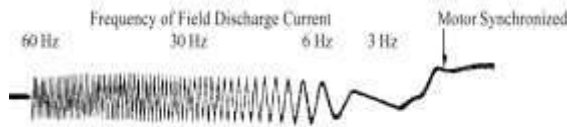


Hình 2. Cấu tạo động cơ đồng bộ

Khi bắt đầu khởi động, người ta không đưa dòng một chiều vào các cuộn kích từ của Rotor, Nếu toàn bộ dòng kích từ được bơm vào Rotor trong suốt quá trình khởi động thì động cơ không thể tăng tốc lên được, đồng thời thành phần dao động có giá trị lớn trong mômen tại tần số trượt tạo bởi cuộn từ trường có thể gây hại đối với động cơ. Việc bơm dòng một chiều vào cuộn Rotor thường được trì hoãn cho đến khi Rotor động cơ đạt tới vận tốc có thể tự cuốn vào chế độ đồng bộ mà không xảy ra hiện tượng trượt. Theo [1]-[3], thời điểm thích hợp để đưa dòng kích từ vào là khi tần số Rotor còn khoảng 2,5 đến 4 Hz (hình 3); hoặc dòng Stator còn khoảng 2 đến 2,5 lần dòng định mức [4]-[6].

Việc "bắt" đồng bộ bằng cách đo tần số, biên độ dòng điện Rotor phụ thuộc nhiều vào thiết bị đo và việc đo sẽ phức tạp hơn đo tốc độ. Bài báo đề xuất phương pháp "bắt" đồng bộ

bằng đo tốc độ động cơ. Thời điểm thích hợp để “bắt” đồng bộ là khi tốc độ gần đạt tốc độ đồng bộ, dòng điện tạo ra từ trường của Rotor bắt đầu ổn định, dòng qua điểm 0 theo chiều dương, và từ trường của Rotor có giá trị lớn, ổn định. Lúc này ta bơm dòng kích từ DC vào, từ trường của Stator đi qua và “bắt” được từ trường của Rotor, cuộn động cơ vào chế độ đồng bộ.



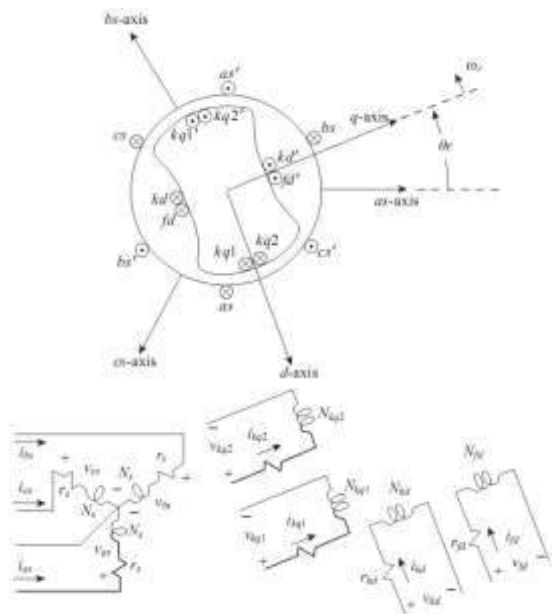
Hình 3. Tần số Rotor khi "bắt" đồng bộ

Kết quả mô phỏng trên Matlab Simulink đã chứng minh sự đơn giản nhưng hợp lý của phương pháp.

2. Mô hình toán học động cơ đồng bộ

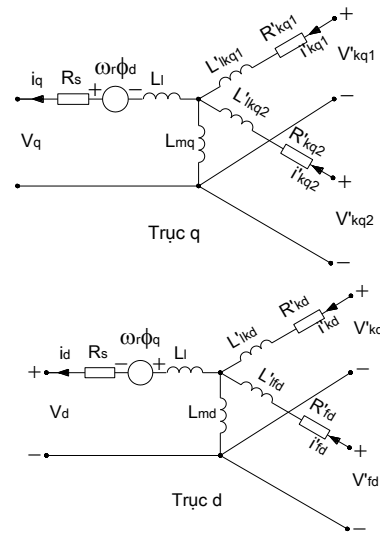
2.1. Hệ phương trình cân bằng điện và từ trường của động cơ đồng bộ

Sơ đồ nguyên lý của động cơ đồng bộ 3 pha cực lồi, cuộn dây Stator nối Y được trình bày như hình 4 [7].



Hình 4. Sơ đồ nguyên lý của động cơ đồng bộ

Theo [8], sơ đồ mạch điện thay thế của động cơ đồng bộ mô tả trên hệ trục d, q được trình bày như hình 5.



Hình 5. Sơ đồ mạch điện thay thế

Các thông số được định nghĩa ngắn gọn như sau:

d, q: Các thông số trong hệ tọa độ d, q

R, s: Các thông số của Rotor, Stator

l, m: Các thông số cuộn dây Stator, lõi thép

f, k: Các thông số của cuộn kích từ và cuộn lồng sóc

N: Số vòng của cuộn dây.

Theo [8], ta có hệ phương trình cân bằng điện áp và từ trường như sau:

$$\begin{cases}
 V_d = -i_d r_s - \omega \psi_q + \frac{d\psi_d}{dt} \\
 V_q = -i_q r_s + \omega \psi_d + \frac{d\psi_q}{dt} \\
 V_0 = -i_0 r_0 + \frac{d\psi_0}{dt} \\
 V_{fd} = \frac{d\psi_{fd}}{dt} + r_{fd} i_{fd} \\
 0 = \frac{d\psi_{kd}}{dt} + r_{kd} i_{kd} \\
 0 = \frac{d\psi_{kq1}}{dt} + r_{kq1} i_{kq1} \\
 0 = \frac{d\psi_{kq2}}{dt} + r_{kq2} i_{kq2}
 \end{cases} \quad (1)$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} \psi_d \\ \psi_{kd} \\ \psi_{fd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{md} + L_l & L_{md} & L_{md} \\ L_{md} & L_{lkd} + L_{fd} + L_{md} & L_{fd} + L_{md} \\ L_{md} & L_{fd} + L_{md} & L_{lkd} + L_{fd} + L_{md} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -i_d \\ i_{kd} \\ i_{fd} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \psi_q \\ \psi_{kq1} \\ \psi_{kq2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{mq} + L_l & L_{mq} & L_{mq} \\ L_{mq} & L_{mq} + L_{kq1} & L_{mq} \\ L_{mq} & L_{mq} & L_{md} + L_{kq2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -i_q \\ i_{kq1} \\ i_{kq2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.2. Thông số phía Stator và mạch từ

Theo [8], ta có các thông số Stator như sau:

$$V_s = \frac{V_n \sqrt{2}}{\sqrt{3}}; I_s = \frac{P_n \sqrt{2}}{\sqrt{3}}; Z_s = \frac{V_s}{I_s} = \frac{V_n^2}{P_n}; \quad (3)$$

$$\omega = 2\pi f_n; L_s = \frac{Z_s}{\omega}$$

Trong đó: V_s, I_s : Lần lượt là biên độ điện áp và dòng điện Stator; Z_s : Tổng trở; V_n : Điện áp dây hiệu dụng Stator. Các thông số Stator (pu)

$$R_{pu}^s = \frac{R_s}{Z_s}; L_{pu}^s = \frac{L_s}{L_s}; L_{md}^s = \frac{L_{md}}{L_s}; L_{mq}^s = \frac{L_{mq}}{L_s};$$

Với: R_s, L_s, L_{md}, L_{mq} : Lần lượt là điện trở, điện cảm cuộn dây Stator; điện cảm lõi thép theo trục d và q.

2.3. Thông số phía Rotor

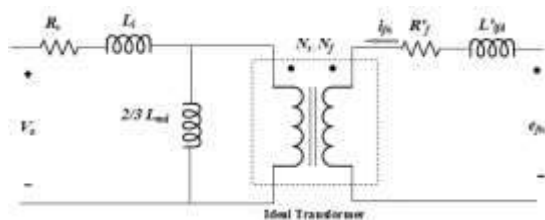
Theo [8], khi cấp điện 3 pha vào các cuộn dây Stator và Rotor chưa cấp kích từ thì điện cảm Stator là L_{md} . Tuy nhiên nếu một pha được cấp điện và Rotor chưa cấp kích từ thì điện cảm là $2/3L_{md}$ và sơ đồ thay thế một pha cuộn Stator và cuộn từ trường được trình bày như hình 6. Trong đó:

R_f, L_{fd} : Điện trở và điện cảm cuộn từ trường
 N_s, N_f : Số vòng cuộn Stator và cuộn từ trường
 i_{fn} : Dòng điện cuộn dây từ trường cảm ứng bởi điện áp đặt lên cuộn Stator ở chế độ không tải.

Điện cảm hồ cảm giữa cuộn Stator và cuộn từ trường sẽ là: $L_{sid} = \frac{2}{3} L_{md} \frac{N_f}{N_s} = \frac{V_s}{i_{fn} \omega}$

$$\frac{N_s}{N_f} = \frac{2}{3} L_{md} \frac{i_{fn} \omega}{V_s} = \frac{I_f}{I_s}$$

Với: $I_f = i_{fn} L_{pu}^m; V_f = \frac{P_n}{I_f}; Z_f = \frac{V_f}{I_f}; L_f = \frac{Z_f}{\omega}$



Hình 6. Sơ đồ thay thế một pha cuộn Stator và cuộn từ trường

Các thông số Rotor (pu): $R_{pu}^f = \frac{R_f}{Z_f}; L_{pu}^{fd} = \frac{L_{fd}}{L_f}$

Các thông số Rotor quy đổi về Stator [10]

$$V_f = \frac{N_s}{N_f} V_f'; I_f = \frac{2}{3} \frac{N_f}{N_s} I_f'; R_f = \frac{3}{2} R_f' \left(\frac{N_s}{N_f}\right)^2;$$

$$L_{fd} = \frac{3}{2} L_{fd}' \left(\frac{N_s}{N_f}\right)^2$$

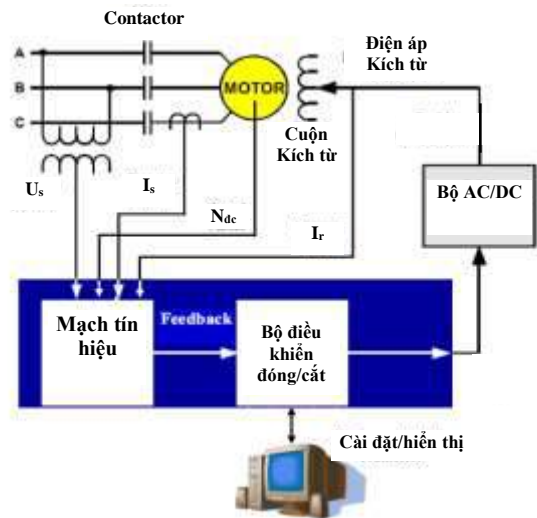
Trong trường hợp không biết dòng từ trường, nhưng biết điện trở và điện cảm (pu) thì có thể tính được R_f và L_{fd} như sau:

$$R_f = R_{pu}^f Z_s; L_{fd} = L_{pu}^{fd} L_s; e_{fn} = R_f' i_{fn}; L_{fd} = L_{pu}^{fd} L_s$$

3. Kết quả mô phỏng

Sơ đồ cấu trúc điều khiển được trình bày như hình 7.

Theo sơ đồ nguyên lý điều khiển như trên, tốc độ của động cơ được đo lường thông qua Encoder gắn ở đầu trục và đưa về so sánh với lượng đặt. Khi đạt giá trị, bộ điều khiển sẽ ra lệnh đóng nguồn kích từ vào cuộn kích từ để thực hiện quá trình bất đồng bộ.



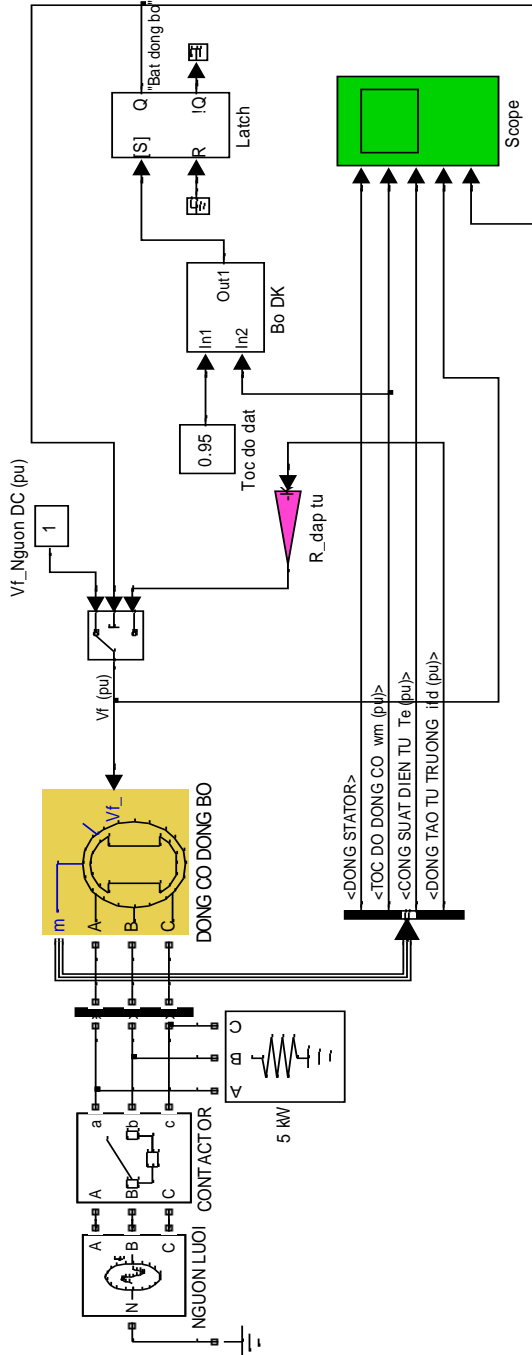
Hình 7. Sơ đồ cấu trúc điều khiển quá trình khởi động

Từ sơ đồ cấu trúc, ta xây dựng sơ đồ mô phỏng như hình 8.

Động cơ sử dụng trong mô phỏng là động cơ đồng bộ (60KVA, 380Vac, 50Hz) với A, B, C - Nguồn cấp 3 pha 380Vac, 50Hz; V_f - Điện áp kích từ DC; m - Các thông số đầu ra của động cơ (dòng điện, tốc độ, mômen điện từ...). Trong sơ đồ mô phỏng, có sử dụng điện

trở dập từ đề dập sức điện động tự cảm sinh ra trong cuộn kích từ khi bắt đầu khởi động (chưa cấp nguồn kích từ) và dập từ dư trong cuộn dây này khi ngừng kích từ và hãm động cơ.

Các thông số cần thiết cho quá trình mô phỏng như hình 9.



Hình 8. Sơ đồ mô phỏng quá trình khởi động và “bắt” động bộ theo phương pháp tốc độ của động cơ đồng bộ trên Simulink

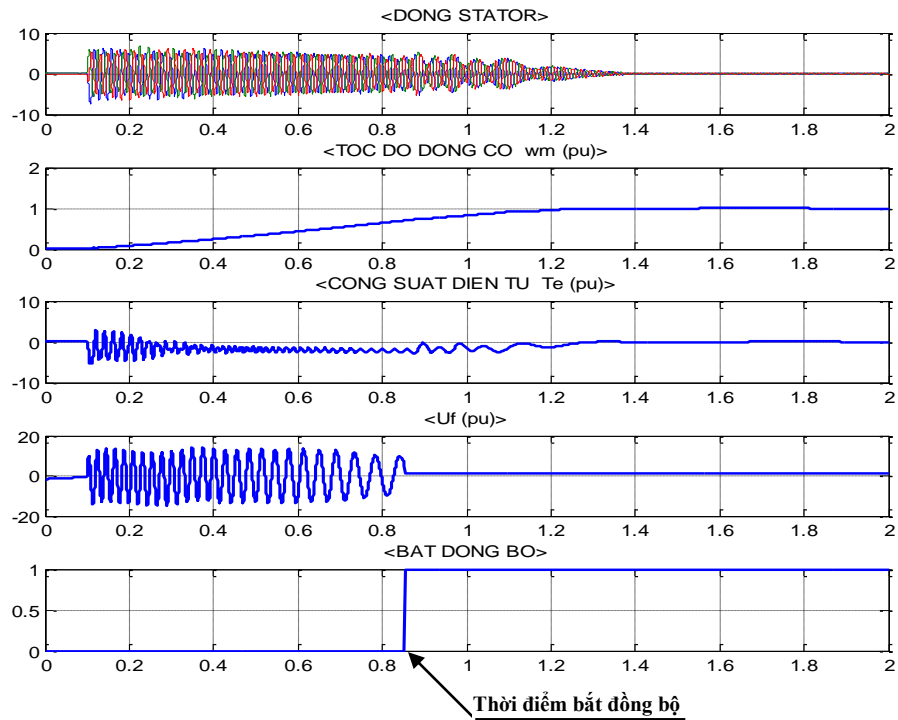


Hình 9. Các thông số mô phỏng

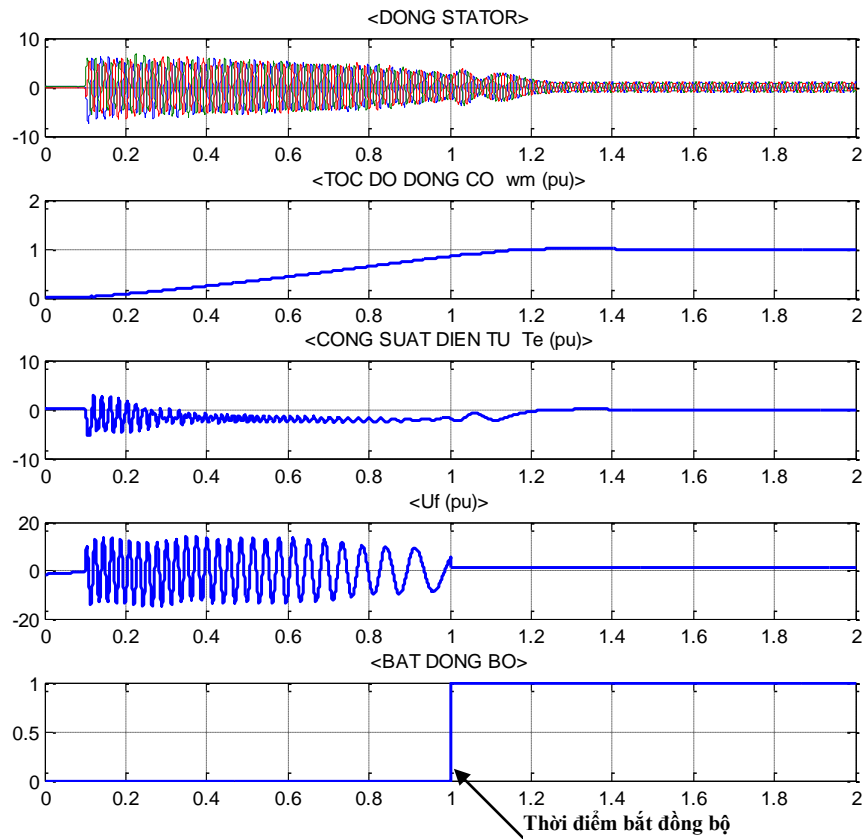
Lúc bắt đầu khởi động, sức điện động tự cảm phía cuộn dây Rotor rất lớn, có thể gây hại cho động cơ, lúc này điện trở dập từ được đưa vào để dập sức điện động tự cảm, đồng thời không đưa nguồn 1 chiều vào. Động cơ được khởi động như 1 động cơ không đồng bộ nhờ cuộn lồng sóc.

Khi tốc độ gần đạt tốc độ đồng bộ, nguồn kích từ DC được đưa vào, đồng thời điện trở dập từ được loại ra, động cơ được cuốn vào chế độ đồng bộ và đạt tốc độ định mức, quá trình khởi động kết thúc. Kết quả mô phỏng được trình bày như các hình 10, 11, 12. Kết quả mô phỏng cho thấy: Khi khởi động, ở thời điểm mà tốc độ động cơ còn cách xa tốc độ đồng bộ (70%), nếu đã cấp dòng kích từ vào Rotor (Hình 10), từ trường Rotor bị dao động, phải mất 1 khoảng thời gian từ trường Stator mới bắt được từ trường Rotor. Dòng điện Rotor và dòng điện kích từ DC chưa phù hợp về biên độ, nên xảy ra xung đột tại thời điểm bắt đồng bộ, làm cho dòng điện Stator và mômen điện từ bị dao động mạnh.

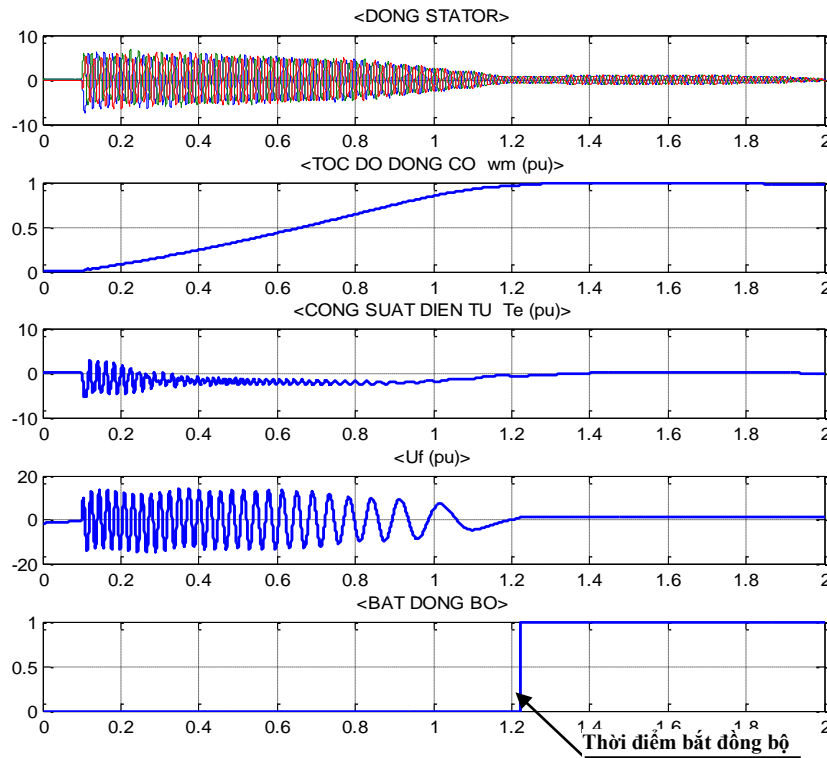
Khi tốc độ đạt 85% tốc độ đồng bộ (hình 11) ta bơm dòng kích từ vào Rotor, quá trình “bắt” đồng bộ đã êm hơn, sự xung đột đã giảm đi. Khi tốc độ đạt 95% tốc độ đồng bộ (hình 12) nguồn kích từ và nguồn tự cảm của Rotor đã phù hợp hơn về biên độ và hòa vào nhau, không xảy ra xung đột, dòng điện Stator nhỏ, hệ thống khởi động trơn êm, mômen điện từ có giá trị lớn và không bị dao động.



Hình 10. “Bắt” đồng bộ khi tốc độ đạt 70% tốc độ đồng bộ



Hình 11. “Bắt” đồng bộ khi tốc độ đạt 85% tốc độ đồng bộ



Hình 12. “Bắt” đồng bộ khi tốc độ đạt 95% tốc độ đồng bộ

4. Kết luận

Động cơ đồng bộ có nhiều ưu điểm vượt trội so với động cơ không đồng bộ, tuy nhiên do có cấu tạo phức tạp, nên việc điều khiển nó trong cả quá trình khởi động và làm việc đều khó khăn hơn. Bài báo đã phân tích, mô hình hóa và mô phỏng quá trình khởi động động cơ bằng phương pháp xác định tốc độ để “bắt” đồng bộ. Kết quả mô phỏng cho thấy, ở tốc độ 90 – 95 % tốc độ đồng bộ là thời điểm thích hợp để đưa dòng kích từ vào, với những động cơ khác nhau, thông số khác nhau, công suất khác nhau, thì thời điểm “bắt” đồng bộ cũng khác nhau. Việc “Bắt” đồng bộ chính xác, giúp cho động cơ khởi động trơn êm, giảm các xung dòng điện phía Stator, nâng cao tuổi thọ của động cơ và các kết cấu cơ khí.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

[1]. Matwork, *Model the dynamics of three-phase round-rotor or salient-pole synchronous machine*, 2010.
 [2]. A. K. Datta, M. Dubey, and S. Jain, “Modelling and Simulation of Static

Excitation System in Synchronous Machine Operation and Investigation of Shaft Voltage,” *Advances in Electrical Engineering*, vol. 2014, pp. 727295, 2014.
 [3]. E. V. Gilliland, *Synchronous Motor*. Kilowatt classroom, LLC, 2004.
 [4]. J. Parrish, S. Moll, and R. C. Schaefer, “Plant efficiency benefits resulting from the use of synchronous motors,” *IEEE industry applications magazine*, MAR|APR 2006, pp. 61-70, 2006.
 [5]. WEG group, “The ABC’s of Synchronous Motors”, 2012. [Online]. Available: www.electrimachinery.com. [Accessed March, 2020].
 [6]. B. Horvath, *Synchronous Motors & Sync Excitation Systems*. Western Mining Electrical Association; TM GE Automation Systems, 2009
 [7]. Y. Zhang, “Advanced synchronous machine modeling,” *Teses and Dissertations-- Electrical and Computer Engineering*; University of Kentucky, 11/2018.
 [8]. IEEE Guide for Synchronous Generator Modeling Practices and Applications in Power System Stability Analyses. *IEEE Std 1110-2002* (Revision of IEEE Std 1110-1991 [2003]), pp. 1–72.