

MÔ PHỎNG BỘ KHỞI ĐỘNG MỀM ĐỘNG CƠ ĐIỆN XOAY CHIỀU BA PHA SIMULATE SOFT - STARTER FOR AC MOTORS

Phạm Tâm Thành¹, Vũ Ngọc Minh²

^{1,2}Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
phamtamthanh@vimaru.vn

Tóm tắt: Bài báo nghiên cứu cấu trúc khởi động mềm và phát triển một mô hình mô phỏng khởi động mềm dựa trên phần mềm PSIM. Các kết quả mô phỏng thể hiện tính chính xác và hiệu quả của mô hình được xây dựng. Những kết quả nghiên cứu của bài báo là cơ sở cho việc triển khai các phần mềm khởi động mềm trong các nhiệm vụ thiết thực và có ý nghĩa với việc đào tạo nguồn nhân lực ngành kỹ thuật điều khiển và tự động hóa.

Từ khóa: Bộ khởi động mềm, động cơ không đồng bộ rotor lồng sóc, mô hình hóa.

Chỉ số phân loại: 2.2

Abstract: The paper studied the soft-starter structure and developed a soft-starter simulation model based on the PSIM software. Simulation results show the accuracy and effectiveness of the model. The research results of the paper are the basis for the deployment of soft start software in practical and meaningful tasks in the training of human resources in the field of control engineering and automation.

Keywords: Soft-starter, induction motor, simulation.

Classification number: 2.2

1. Giới thiệu

Khi khởi động trực tiếp dòng khởi động của động cơ lớn, gây phát nhiệt lớn trên cuộn dây động cơ, mô men khởi động lớn ảnh hưởng đến kết cấu cơ khí của động cơ và toàn hệ truyền động, gây sự cố sụt áp trong điều kiện công suất nguồn hữu hạn (hệ thống điện trên tàu thủy) và gây nguy hại đến các tải nhạy cảm.

Đối với các động cơ điện công suất lớn thường sử dụng phương pháp khởi động gián tiếp: Đồi nối sao - tam giác, sử dụng cuộn kháng khởi động, dùng điện trở khởi động... đảm bảo lưới điện không bị sập. Các phương pháp khởi động gián tiếp này chưa đáp ứng được yêu cầu vì:

- + Dòng điện khởi động vẫn còn lớn, vẫn gây ảnh hưởng đến chất lượng nguồn điện;
- + Dòng điện khởi động vẫn còn lớn, vẫn gây ảnh hưởng đến chất lượng nguồn điện;
- + Mô men khởi động vẫn còn đập mạch lớn, nhất là đối với phương pháp khởi động sao - tam giác;
- + Đặc tính khởi động của hệ truyền động trong quá trình khởi động không tối ưu, khó tự động hóa quá trình khởi động trong hệ thống gồm nhiều cụm động cơ cần khởi động cùng một thời điểm. Thời gian khởi

động và dừng máy dài, trong một số ứng dụng là không thể chấp nhận được;

- + Không thể điều khiển được quá trình dừng máy tối ưu, hệ thống sử dụng các bộ khởi động truyền thống chỉ có thể dừng tự do (phụ thuộc vào ma sát của hệ truyền động);

- + Kích cỡ của các bộ khởi động truyền thống rất nặng và cồng kềnh;

Khi khởi động động cơ sử dụng bộ khởi động mềm có các ưu điểm nổi trội:

- + Các bộ khởi động mềm hoạt động theo nguyên lý điều khiển giảm điện áp đặt vào stator của động cơ cần khởi động. Nói một cách khác, dòng điện bơm vào động cơ trong quá trình khởi động được điều khiển thông qua việc điều chỉnh điện áp đặt lên các cuộn stator của động cơ. Do vậy, giảm được dòng khởi động xuống chỉ còn ba đến bốn lần dòng định mức của động cơ, đồng thời mô men khởi động cũng được giới hạn, chỉ dao động trong một phạm vi hẹp (từ 1.5 đến 2.5 lần mô men định mức);

- + Quy luật điều chỉnh điện áp có thể lập trình bằng phần mềm, do đó có thể linh hoạt chọn được những đặc tính khởi động, dừng máy tối ưu và “mềm” cho từng loại tải truyền động, như: Khởi động với gia tốc không đổi hoặc khởi động với dòng không đổi, khởi động cho loại tải máy bơm, quạt

gió... Đặc biệt, giảm được hiệu ứng “búa nước” đối với tải máy bơm trong quá trình dừng máy;

+ Nhờ khả năng điều chỉnh bằng phần mềm nên các bộ khởi động mềm có thể tích hợp vào hệ thống tự động hóa, điều khiển tự động được quá trình khởi động và dừng máy, như: Đặt trước thời gian khởi động hoặc dừng máy, phù hợp theo yêu cầu công nghệ của hệ thống;

+ Cho phép khởi động cùng lúc nhiều động cơ có chung đặc tính tải mà không gây nhiễu loạn nguồn điện của hệ thống. Đặc biệt thích hợp trong các hệ thống nguồn có công suất hữu hạn trên tàu thủy;

+ Được chế tạo dựa trên công nghệ van công suất bán dẫn (Thyristor hoặc IGBT) nên tuổi thọ cao, kích cỡ nhỏ và tổn hao khởi động thấp.

Rất nhiều các công trình nghiên cứu về bộ khởi động mềm [1-13]. Trong đó công trình [4], [7] tập trung kỹ thuật khởi động theo dòng.

Bài báo này tập trung mô phỏng bộ khởi động mềm, là cơ sở cho việc triển khai chế tạo bộ khởi động mềm trong thực tiễn.

2. Cấu trúc bộ khởi động mềm

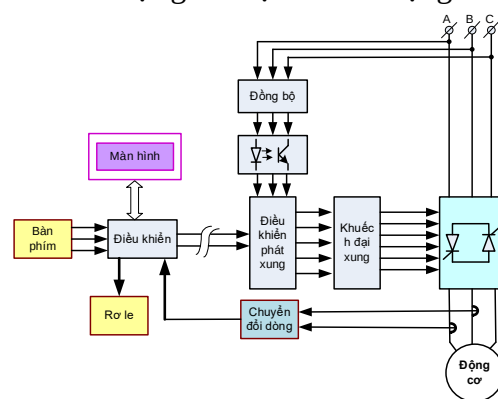
Bộ khởi động mềm gồm bốn phần chính như hình 1 :

+ Mạch lực: Bộ phận làm việc chính của khởi động mềm. Mạch lực của hệ thống khởi động mềm được xây dựng trên ứng dụng điều áp xoay chiều ba pha với ba cặp Thyristor song song đầu ngược. Nguyên lý hoạt động của khởi động mềm dựa trên điều chỉnh trị số hiệu dụng điện áp. Từ đó gián tiếp thay đổi dòng điện khởi động, mô men khởi động. Quy luật điều chỉnh điện áp này được thực hiện trong khi khởi động động cơ hoặc dừng mềm nhờ thay đổi góc mở của 3 cặp van Thyristor trong mạch lực (hình 2);

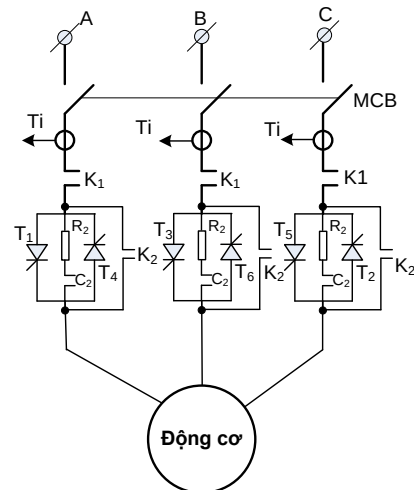
+ Mạch điều khiển phát xung: Có nhiệm vụ nhận điện áp điều khiển từ mạch vi điều khiển để tạo ra góc mở van phù hợp;

+ Mạch vi điều khiển: Gồm các chức năng đo lường, tạo điện áp điều khiển theo quy luật khởi động cũng như dừng mềm của khởi động mềm, chức năng đóng cắt, bảo vệ;

+ Giao diện người dùng: Chế độ vận hành bằng tay thông qua bàn phím và màn hình hiển thị ngoài mặt tủ khởi động mềm.



Hình 1. Cấu trúc chung của bộ khởi động mềm.



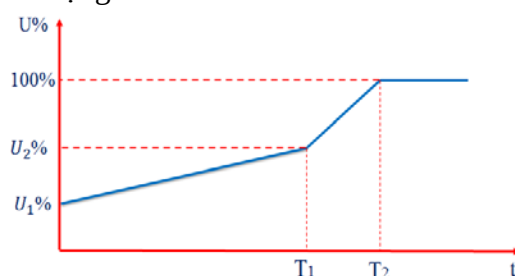
Hình 2. Sơ đồ mạch lực của bộ khởi động mềm dùng Thyristor.

3. Các chế độ làm việc của bộ khởi động mềm

3.1. Chế độ mode 1: Start Ramp

Đây là chế độ tăng dần điện áp đặt vào động cơ từ điện áp ban đầu được cài đặt trước (tùy loại động cơ bơm được sử dụng). Quá trình tăng điện áp chia làm ba giai đoạn:

+ Giai đoạn 1: Từ thời điểm bắt đầu khởi động tới thời điểm T1:



Hình 3. Điện áp đặt lên động cơ trong quá trình khởi động với chế độ 1.

Điện áp đặt vào động cơ sẽ được tăng chậm trong giai đoạn này mục đích để thắng được mô men cản ban đầu của động cơ. Việc tăng chậm này giúp giảm đáng kể dòng điện khởi động.

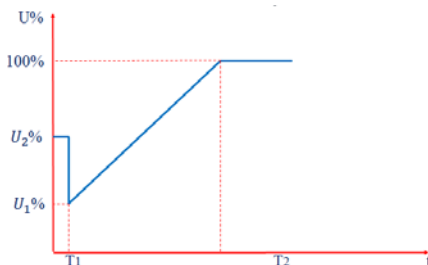
+ Giai đoạn 2: Từ thời điểm T1 tới T2:

Điện áp đặt vào động cơ sẽ tăng nhanh trong giai đoạn này do mô men của động cơ đã tăng đáng kể. Vì vậy việc tăng nhanh điện áp đặt vào động cơ cho tới giá trị định mức sẽ nhanh chóng đạt được chế độ làm việc xác lập.

+ Giai đoạn 3: Điện áp tải đạt định mức:

Lúc này động cơ đã hoạt động ở chế độ xác lập với tốc độ định mức, động cơ sẽ được đóng thẳng vào lưới nhờ contactor bypass đồng thời ngắt xung điều khiển van.

3.2. Chế độ mode 2: Kick Start



Hình 4.
Điện áp đặt lên động cơ trong quá trình khởi động với chế độ 2.

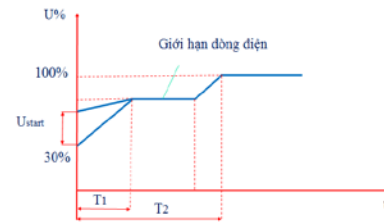
Với một số động cơ có quán tính lớn thì cách khởi động theo mode 1 sẽ không đủ để thắng được mô men cản ban đầu của động cơ. Vì vậy cần phải dùng tới chế độ 2 kick start để thực hiện khởi động động cơ ở dạng này. Quá trình khởi động động cơ gồm:

+ Trước hết là cấp vào động cơ điện áp ban đầu lớn đủ để thắng được mô men cản ban đầu của động cơ trong thời gian T1 (đủ nhỏ);

+ Tại thời điểm T1 thì giảm điện áp cấp vào động cơ ở mức tương tự như chế độ 1. Sau đó trong khoảng thời gian T1 tới T2 ta tăng dần đều điện áp để động cơ khởi động với mô men tăng dần;

+ Sau khi khởi động xong động cơ hoạt động ở chế độ xác lập thì tương tự như chế độ 1 ta cũng đóng contactor bypass đồng thời ngắt xung điều khiển van.

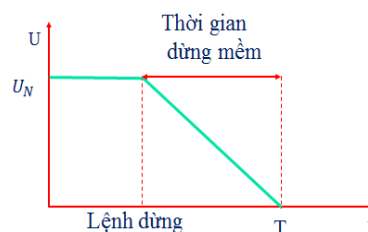
3.3. Chế độ mode 3: Khởi động có giám sát dòng



Hình 5. Điện áp đặt lên động cơ trong quá trình khởi động với chế độ 3.

Một quá trình khởi động dài với dòng điện khởi động lớn sẽ dẫn tới vấn đề phát nhiệt ảnh hưởng tới động cơ. Chế độ 3 là giới hạn dòng điện khởi động nhằm tránh tác hại này. Tại chế độ này thì ban đầu điện áp đặt vào động cơ sẽ tương tự như chế độ 1 đồng thời tăng dần điện áp này. Nhưng điểm khác so với chế độ 1 là trong quá trình tăng điện áp thì dữ liệu dòng điện sẽ được phản hồi về bộ xử lý để so sánh với một giá trị tới hạn đã được cài đặt. Nếu dòng điện trả về lớn hơn giá trị tới hạn thì bộ điều khiển sẽ điều chỉnh mở van Thyristor sao cho điện áp đặt vào động cơ sẽ giữ nguyên ở giá trị đó và sẽ được giữ nguyên cho tới khi nào dữ liệu dòng điện gửi về có cường độ nhỏ hơn giá trị tới hạn thì điện áp này sẽ tiếp tục tăng theo qui luật cho đến khi khởi động xong. Cũng tương tự như hai chế độ trước thì ở chế độ này sau khi khởi động xong thì động cơ sẽ được đóng thẳng vào lưới thông qua contactor bypass đồng thời ngắt xung điều khiển mở van Thyristor.

3.4. Chế độ dừng mềm



Hình 6. Điện áp trong quá trình dừng mềm.

Một số loại tải có quán tính lớn, việc cắt trực tiếp nguồn cấp khởi động cơ gây ra các tác hại về cơ khí tính năng dừng mềm để hạn chế vấn đề trên. Nguyên lý điều khiển hoạt động của tính năng này là từ từ giảm dần điện áp đặt vào động cơ trong thời gian t sau khi có lệnh dừng. Từ đó tốc độ động cơ giảm dần cho tới giá trị xác định có mô men nhỏ rồi tiến hành ngắt nguồn điện ra khỏi động cơ. Khi có lệnh dừng thiết bị sẽ thực hiện

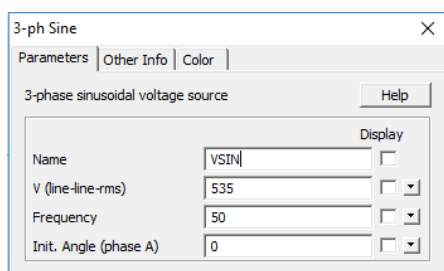
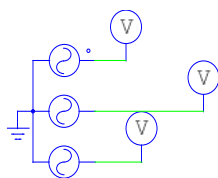
phát xung điều khiển Thyristor đồng thời ngắt contactor bypass. Xung điều khiển sẽ điều khiển điện áp đặt vào động cơ.

4. Mô phỏng bộ khởi động mềm và kết quả

4.1. Cấu trúc mô phỏng

Bộ khởi động mềm mô phỏng sử dụng phần mềm PSIM. PSIM do hãng Powersim Inc sản xuất, là phần mềm chuyên dụng cho thiết kế và mô phỏng điện tử công suất, điều khiển động cơ, mô phỏng các hệ thống động lực. PSIM dễ sử dụng, giao diện đơn giản, thân thiện, dễ thao tác, tốc độ mô phỏng nhanh, được thiết kế để mô phỏng cả tín hiệu tương tự và tín hiệu số, khả năng phân tích dạng sóng và phân tích nhiệt tốt. PSIM là công cụ mô phỏng mạnh mẽ cho việc phân tích các bộ biến đổi điện tử công suất, thiết kế vòng điều khiển hở và kín, phù hợp để mô tả các hệ thống truyền động điện. Trong phần này, các tác giả tập trung thiết kế mô phỏng hoạt động của bộ khởi động mềm, từ đó kiểm nghiệm, đánh giá hoạt động của bộ khởi động mềm. Kết quả mô phỏng sẽ giúp tính toán, hiệu chỉnh tham số của các linh kiện trước khi chế tạo thực nghiệm.

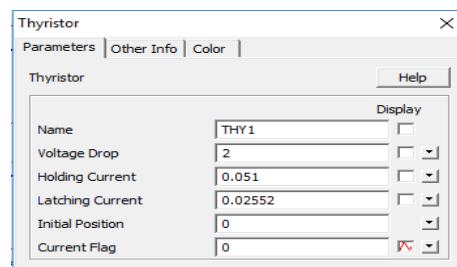
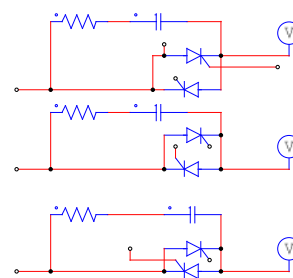
+ Khối nguồn ba pha: Trong PSIM có ký hiệu như trên hình 7. Thông số kỹ thuật được nhập vào bảng. Điện áp hiệu dụng nguồn mô phỏng có giá trị 380V tương ứng với điện áp định là 535V.



Hình 7. Khối nguồn và thông số nguồn.

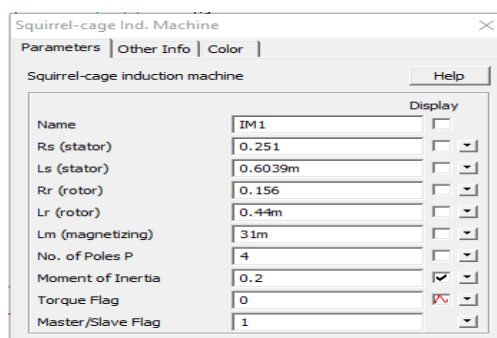
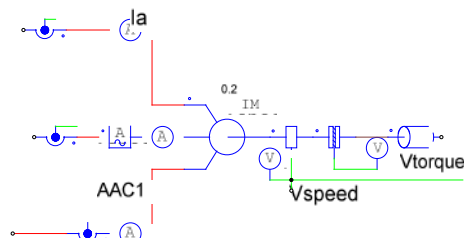
+ Khối van công suất: Bộ khởi động mềm được thiết kế sử dụng sáu van Thyristor mắc song song ngược được mô tả như hình 8. Các thông số kỹ thuật của van

được lựa chọn dựa trên van thực tế của nhà sản xuất.



Hình 8. Van công suất và thông số van.

+ Khối động cơ, tải: Động cơ không đồng bộ rotor lồng sóc với công suất 100kW được lựa chọn như trên hình 9. Tải phục vụ cho động cơ là tải quạt gió, bơm nước.



Hình 9. Động cơ, tải, cảm biến đo dòng

Phương trình mô tả tải có dạng:

$$T_{load} = T_c + k_1 \omega + k_2 \omega^2$$

Trong đó:

T_c : Mô men cản tĩnh (ma sát đầu trục);

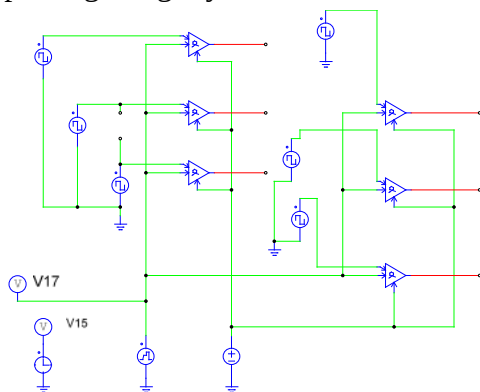
k_1 : Hệ số cản tải tuyến tính;

k_2 : Hệ số cản tải bình phương (Tải bơm nước, quạt gió).

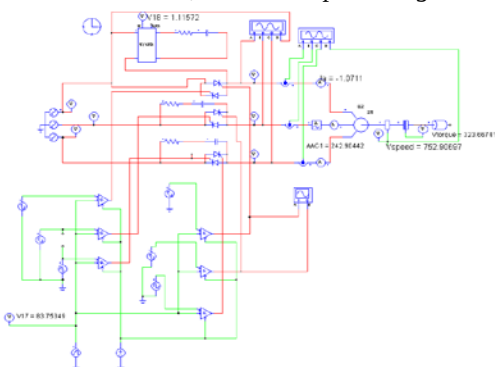
+ Khối điều khiển phát xung: Được xây dựng như trên hình 10. Góc điều khiển được giảm dần theo thời gian. Sáu bộ phát xung tương ứng điều khiển mở sáu van công suất trong sơ đồ hình 8. Thời điểm phát xung được chỉnh định trong quá trình mô phỏng. Nguyên lý điều khiển thẳng đứng tuyến tính.

+ Khối đo, hiển thị dạng sóng: Dòng điện, điện áp trên tải, trên van được quan sát thông qua bộ hiển sóng.

+ Sơ đồ mạch khởi động mềm: Hình 11 trình bày sơ đồ mạch bộ khởi động mềm hoàn thiện theo nguyên tắc điều khiển vòng hở, luật điều khiển góc mở theo phương pháp thẳng đứng tuyến tính.



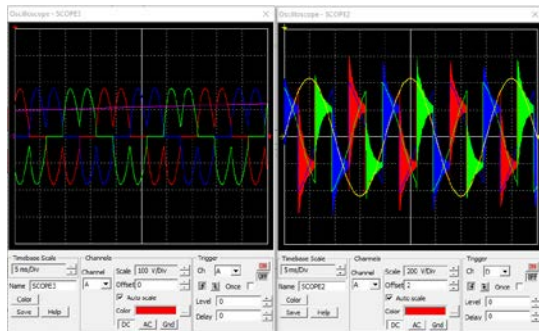
Hình 10. Bộ điều khiển phát xung



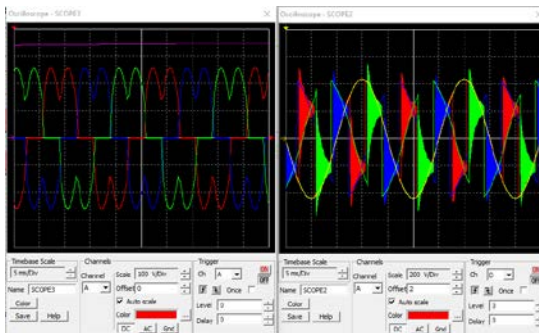
Hình 11. Sơ đồ mạch mô phỏng bộ khởi động mềm

4.2. Kết quả mô phỏng

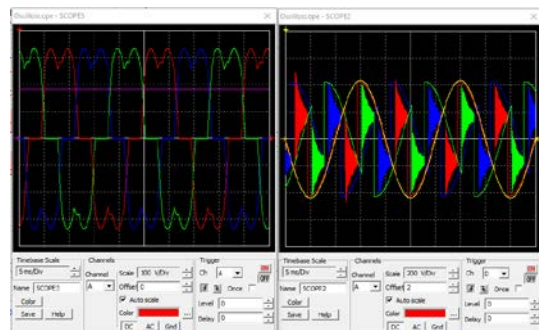
Hình 12 là kết quả mô phỏng bộ khởi động mềm hoạt động ở thời điểm góc mở $\alpha=110^\circ$. Scope 2 biểu diễn dòng điện tải 3 pha. Scope 2 biểu diễn điện áp trên động cơ



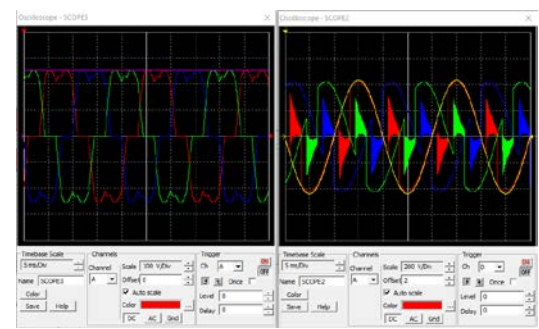
Hình 12. Góc mở $\alpha=110^\circ$.



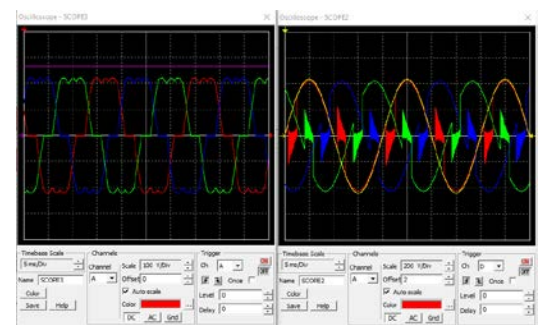
Hình 13. Góc mở $\alpha=100^\circ$.



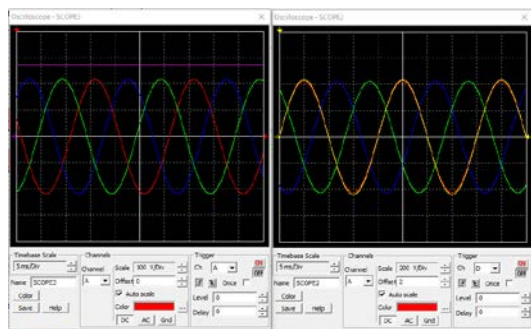
Hình 14. Góc mở $\alpha=80^\circ$



Hình 15. Góc mở $\alpha=60^\circ$



Hình 16. Góc mở $\alpha=45^\circ$.



Hình 17. Góc mở $\alpha=30^\circ$

Các hình 12 đến 17 biểu diễn dòng điện, điện áp ở các thời điểm khác nhau. Nhìn các đồ thị ta thấy điện áp lớn nhất trên van $\approx 600\text{V}$. Dòng điện trên tải không có biến động bất thường, dòng tải lớn nhất $\approx 250\text{A}$. Khi góc điều khiển giảm về 30° dòng tải liên tục, điện áp trên động cơ hoàn toàn là điện áp nguồn cấp, khoảng góc mở α từ $0 - 30^\circ$ không cần điều khiển.

5. Kết luận

Bài báo đã phân tích cấu trúc chung của bộ khởi động mềm và ứng dụng phần mềm PSIM để mô phỏng bộ khởi động mềm. Các kết quả mô phỏng của bài báo đã phản ánh đúng hoạt động của khởi động mềm, đó là dẫn dắt được điện áp đặt vào động cơ trong quá trình khởi động thông qua góc điều khiển α nhằm giảm dòng trong quá trình khởi động $\square$

Tài liệu tham khảo

- [1] Chia-Chou Yeh, and N.A.O. Demerdash. 2009. "Fault-Tolerant Soft Starter Control of Induction Motors With Reduced Transient Torque Pulsations." *IEEE Transactions on Energy Conversion* 24(4): 848–59. <http://ieeexplore.ieee.org/document/5291768/>.
- [2] Corral-Hernandez, Jesus A. et al. 2015. "Transient-Based Rotor Cage Assessment in Induction Motors Operating With Soft Starters." *IEEE Transactions on Industry Applications* 51(5): pp. 3734–3742.
- [3] Damjanovic, Aleksandar. 2016. "Protection of Medium Voltage SCR Driven Soft-Starter from High-Frequency Switching Transients." *IEEE Transactions on Industry Applications* 52(6): pp.4652–4655.
- [4] Deraz, Said A., and Haitham Z. Azazi. 2017. "Current Limiting Soft Starter for Three Phase Induction Motor Drive System Using PWM AC Chopper." *IET Power Electronics* 10(11): pp.1298–1306. <http://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-pel.2016.0762>.
- [5] Meshcheryakov, Victor N, Alexei M Evseev, and Andrei I Boikov. 2018. "Active Energy Filter for Compensation of Harmonic Distortion in Motor Soft Starter." 2018 17th International Ural Conference on AC Electric Drives (ACED): pp. 0–4.
- [6] Mohammadi, Mohammad, Javad Shokrollahi Moghani, Sajad Arab Ansari, and Jafar Milimonfared. 2018. "Fuzzy Logic Based Sensorless Soft Starter for Constant Frequency Wind Power Plants." 9th Annual Power Electronics, Drives Systems and Technologies Conference (PEDSTC): pp.538–543.
- [7] Nied, Ademir et al. 2010. "Soft Starting of Induction Motor with Torque Control." *IEEE Transactions on Industry Applications* 46(3): pp.1002–1010.
- [8] Nwachukwu, C O, and M I Ajumuka. 2017. "Asynchronous Machine Response to Transients." 2017 IEEE 3rd International Conference on Electro-Technology for National Development (NIGERCON).
- [9] Pires, Igor A. 2017. "Mitigation of Electric Arc Furnace Transformer Inrush Current Using Soft-Starter- Based Controlled Energization." *IEEE Transactions on Industry Applications* 9994(c): pp.1–12.
- [10] Pumps, Arge, and Compressors I N T H E Mega-. "Adjustable-Speed Systems for Multiple Megawatt Rated Motors." : pp.27–37.
- [11] Solveson, Mark G., Behrooz Mirafzal, and Nabeel A O Demerdash. 2006. "Soft-Started Induction Motor Modeling and Heating Issues for Different Starting Profiles Using a Flux Linkage ABC Frame of Reference." *IEEE Transactions on Industry Applications* 42(4): pp.973–982.
- [12] Starter, Fcma Soft. 2017. "Design Of Solar Water Pumping System With FCMA Soft Starter." *Proceedings of the IEEE 2017 International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC) (Iccmc)*: pp.951–954.
- [13] Volle, Fabien, Suresh V. Garimella, and Mark A. Juds. 2010. "Thermal Management of a Soft Starter: Transient Thermal Impedance Model and Performance Enhancements Using Phase Change Materials." *IEEE Transactions on Power Electronics* 25(6): pp.1395–1405.

Ngày nhận bài: 2/7/2018

Ngày chuyển phản biện: 5/7/2018

Ngày hoàn thành sửa bài: 26/7/2018

Ngày chấp nhận đăng: 2/8/2018