

KHOẢNG ĐỘNG ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU KÍCH TỪ ĐỘC LẬP BẰNG PHƯƠNG PHÁP THAY ĐỔI ĐIỆN ÁP PHẦN ỨNG

STARTING SEPARATELY EXCITED DIRECT CURRENT MOTOR BY VARYING ARMATURE VOLTAGE

Đoàn Quang Vinh¹, Đoàn Đức Tùng², Bùi Văn Vũ²

¹Đại học Đà Nẵng; dqvinh@ac.udn.vn

²Trường Đại học Quy Nhơn; ddtung@ftt.edu.vn, vanvudkt31@gmail.com

Tóm tắt - Trong bài báo này, tác giả tiến hành phân tích phương pháp khởi động động cơ điện một chiều kích từ độc lập bằng cách thay đổi điện áp phần ứng. Đây là phương pháp khởi động hiện đang được sử dụng rộng rãi, thực hiện bằng cách tăng điện áp phần ứng một cách hợp lý để có được một giá trị dòng điện khởi động theo mong muốn và nằm trong giới hạn cho phép, thông qua bộ chỉnh lưu có điều khiển. Với phương pháp khởi động này, dòng điện và mô-men của động cơ sẽ ít biến thiên và đảm bảo được độ lớn theo yêu cầu trong suốt quá trình khởi động. Đồng thời, tác giả cũng tiến hành so sánh phương pháp khởi động này với phương pháp khởi động qua điện trở phụ. Các kết quả đạt được cho thấy rằng, phương pháp khởi động này có ưu điểm hơn phương pháp khởi động qua điện trở phụ như độ tin cậy cao, hệ thống ít cồng kềnh, thời gian khởi động bé, ít rung lắc lúc khởi động và tổn hao năng lượng lúc khởi động bé.

Từ khóa - động cơ điện một chiều; khởi động; điện trở phụ; chỉnh lưu cầu ba pha; thay đổi điện áp phần ứng.

Abstract - In this paper, the authors analyze how to start a separately excited direct current motor (DC motor) by varying armature voltage. This is a starting method that is being used widely and is implemented by increasing the armature voltage sensibly to obtain an expected starting current value within the allowed limit by using three – phase bridge rectifier. With this starting method, the value of motor's current and motor's mome is less variable during the time of starting motor. In addition, the authors also compare this starting method with the method using additional resistors. Results show that this starting method has more advantages than the other method thanks to its higher reliability, more simple system, shorter starting time, less motor vibration and lower power loss at the time of starting.

Key words - direct current motor (DC motor); start; additional resistors; three - phase bridge rectifier; vary armature voltage.

1. Đặt vấn đề

Để các động cơ, đặc biệt là các động cơ có công suất vừa và lớn có thể làm việc được thì ta phải có phương pháp khởi động động cơ hợp lý để nâng cao tuổi thọ của động cơ, và tránh ảnh hưởng xấu của quá trình khởi động đến lưới điện cung cấp. Hiện nay, chương trình giảng dạy của các trường đại học trong nước thường nhấn mạnh và trình bày khá kỹ về phương pháp khởi động động cơ điện một chiều kích từ độc lập, bằng cách mắc thêm điện trở vào mạch phần ứng [1]. Một số giáo trình truyền động điện hoặc điều khiển máy điện có trình bày sơ lược về phương pháp khởi động bằng cách thay đổi điện áp phần ứng [2]. Mặc dù đây là phương pháp đang được sử dụng rộng rãi hiện nay, phương pháp này chưa được trình bày cụ thể và dẫn giải một cách chi tiết. Mục tiêu chính của bài báo này là đi vào phân tích và dẫn giải một cách chi tiết phương pháp khởi động, bằng cách thay đổi điện áp phần ứng thông qua bộ chỉnh lưu có điều khiển. Để thấy được những ưu điểm của phương pháp khởi động này so với phương pháp khởi động động cơ điện một chiều kích từ độc lập sử dụng các điện trở phụ mắc nối tiếp vào mạch phần ứng, phương pháp khởi động động cơ điện một chiều kích từ độc lập sử dụng 2 cấp điện trở phụ cũng được khảo sát trong bài báo.

2. Phương pháp khởi động động cơ điện một chiều qua điện trở phụ

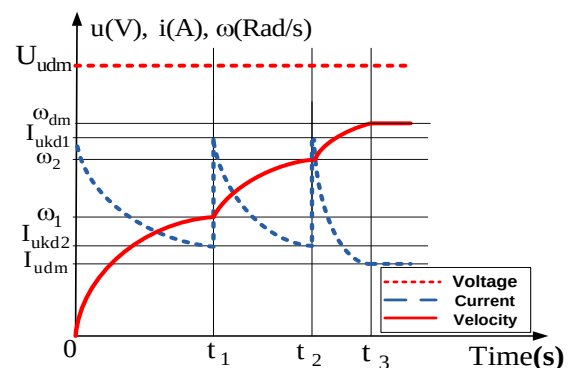
2.1. Nguyên lý

Khi khởi động qua điện trở phụ, do có thêm điện trở phụ nên dòng điện khởi động lúc này được tính [3]:

$$I_{ukd} = \frac{U_{udm} - E_u}{R_u + R_f} \quad (1)$$

Trong đó, U_{udm} là điện áp định mức của động cơ, R_u là điện trở cuộn dây phần ứng, R_f là giá trị điện trở phụ tổng mắc nối tiếp với cuộn dây phần ứng lúc khởi động, E_u là suất điện động phần ứng của động cơ.

Giá trị điện trở phụ phải được chọn sao cho dòng điện khởi động của động cơ khoảng $(2 \div 2.5)I_{udm}$ để đảm bảo an toàn cho động cơ, và dòng điện mở máy cũng không được quá nhỏ khiến cho mô-men khởi động của động cơ M_{kd} nhỏ hơn mô-men cần. Phương pháp xác định giá trị các điện trở phụ được trình bày rất chi tiết trong [3].



Hình 1. Hình vẽ dạng điện áp, dòng điện và tốc độ của động cơ khi khởi động động cơ qua 2 cấp điện trở phụ

Quá trình mở máy động cơ điện một chiều qua 2 cấp điện trở phụ được thể hiện ở hình 1. Sau khi tính toán và tìm được giá trị của hai điện trở phụ, hai điện trở này được mắc nối tiếp với mạch phần ứng của động cơ. Tại thời điểm $t = 0$, ta cấp điện cho động cơ, có dòng điện phần ứng và có từ thông nên sẽ sinh ra mô-men. Nếu mô-men sinh ra

lớn hơn mô-men cản thì tốc độ động cơ sẽ tăng dần. Khi tốc độ động cơ tăng lên, thì dòng điện phản ứng của động cơ sẽ giảm dần từ $I_{ukd1} = (2 \div 2.5)I_{udm}$ về $I_{ukd2} = (1 \div 1.3)I_{udm}$ theo biểu thức [3]:

$$I_{ukd} = \frac{U_{udm} - K\Phi\omega}{R_u + R_f} \quad (2)$$

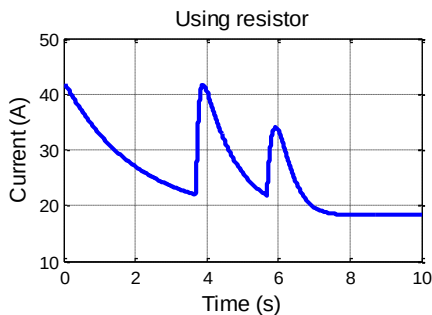
$$\text{Với } K = \frac{pN}{2\pi a}$$

Trong đó, p là số đôi cực từ chính, N là số thanh dẫn tác dụng của cuộn dây phản ứng, a là số đôi mạch nhánh song song của cuộn dây phản ứng, Φ là từ thông kích từ dưới một cực từ, ω là tốc độ góc của động cơ.

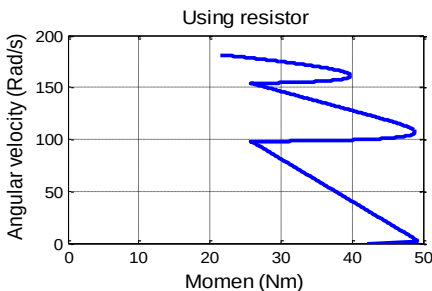
Tại thời điểm $t = t_1$, dòng điện của động cơ giảm về giá trị $I_{ukd2} = (1 \div 1.3)I_{udm}$, ta sẽ ngắt mạch điện trở thứ nhất ra khỏi mạch phản ứng. Dòng điện phản ứng biến thiên đột ngột đạt giá trị I_{ukd1} dẫn đến mô-men và tốc độ động cơ cũng biến thiên (xem hình 1). Do dòng điện phản ứng của động cơ tăng nên mô-men động cơ sẽ tăng, dẫn đến tốc độ động cơ cũng tăng. Bởi vì tốc độ động cơ tăng nên dòng điện phản ứng sẽ lại giảm dần xuống theo (2). Quá trình cứ tiếp tục như vậy cho đến khi điện trở phụ thứ 2 được cắt ra khỏi mạch phản ứng và động cơ đạt giá trị dòng điện định mức và tốc độ định mức.

2.2. Mô phỏng

Phương pháp khởi động động cơ qua 2 cấp điện trở, sử dụng nguồn một chiều lý tưởng không điều khiển được có điện áp $U = 240$ (V) cũng được đưa ra phân tích. Thông số động cơ được thể hiện trong bảng 1.



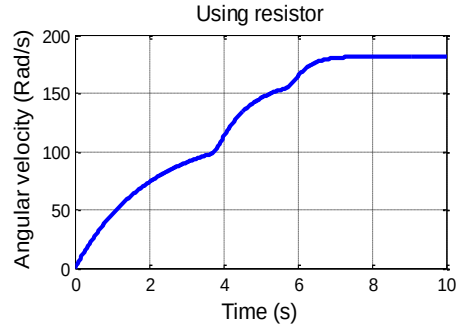
Hình 2. Mô phỏng dòng điện khởi động của động cơ trong trường hợp mở máy qua điện trở phụ



Hình 3. Mô phỏng đặc tính cơ của động cơ trong trường hợp mở máy qua điện trở phụ

Hình 2 là kết quả mô phỏng dòng điện của động cơ khi khởi động qua điện trở phụ. So sánh hình 1 và hình 2 ta thấy ở hình 2, tại các thời điểm cắt các điện trở phụ ra khỏi

mạch phản ứng, dòng điện của động cơ không tăng lên đến giá trị dòng khởi động tính toán ban đầu $I_{ukd1} = 2.5I_{udm}$ như hình 1. Điều này là do ảnh hưởng của điện cảm trong cuộn dây phản ứng động cơ L_u . Vì khi tính toán tìm giá trị các điện trở phụ, ta tính ở chế độ xác lập, không xét đến ảnh hưởng của thành phần điện cảm này. Vì nguyên nhân trên nên mô-men của động cơ tại các thời điểm cắt các điện trở phụ cũng bị ảnh hưởng nên đặc tính cơ của động cơ có dạng như hình 3.



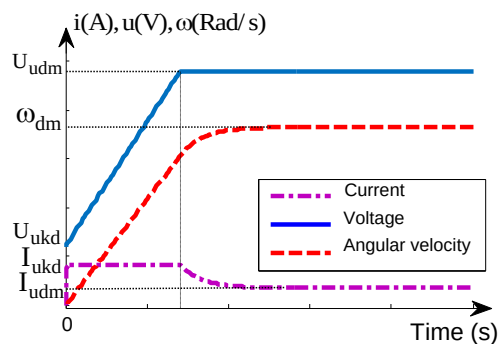
Hình 4. Mô phỏng tốc độ của động cơ trong trường hợp khởi động theo phương pháp dùng điện trở phụ

Nhìn hình 2 ta thấy, tại các thời điểm cắt các điện trở phụ ra khỏi dây quấn phản ứng của động cơ, dòng điện của động cơ bị biến thiên đột ngột, dẫn đến mô-men (xem hình 3) và vận tốc của động cơ (xem hình 4) cũng bị biến thiên rất lớn. Điều này sẽ làm động cơ bị rung lắc lúc khởi động và làm giảm tuổi thọ của động cơ. Đồng thời việc sử dụng điện trở phụ làm gia tăng tổn thất của hệ thống. Việc dùng các điện trở phụ cùng các trang thiết bị điện phục vụ cho việc đóng, cắt chúng làm hệ thống có kích thước lớn, độ tin cậy không cao.

3. Phương pháp khởi động động cơ điện một chiều bằng cách thay đổi điện áp phản ứng.

3.1. Nguyên lý

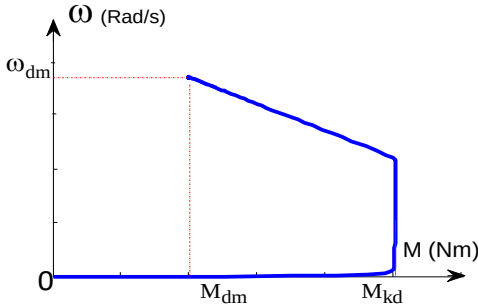
Nguyên lý của phương pháp khởi động động cơ điện một chiều bằng cách thay đổi điện áp phản ứng là tính toán để tìm ra tốc độ tăng điện áp hợp lý cấp cho động cơ điện một chiều lúc khởi động, sao cho trong quá trình khởi động, dòng điện khởi động của động cơ là ít biến thiên và nằm trong giới hạn cho phép. Giá trị này là bé hơn hoặc bằng 2,5 lần giá trị dòng định mức của động cơ. Quá trình khởi động của phương pháp khởi động này được thể hiện ở hình 5.



Hình 5. Hình vẽ dạng điện áp, dòng điện và tốc độ của động cơ khi khởi động theo phương pháp thay đổi điện áp phản ứng

Lúc khởi động, ta cấp điện áp được tính toán này cho

động cơ. Trong khoảng thời gian điện áp cấp cho phản ứng của động cơ tăng từ điện áp khởi động U_{ukd} đến giá trị điện áp định mức của động cơ, thì dòng điện khởi động của động cơ gần như là không đổi và nằm trong giới hạn cho phép. Đến khi điện áp cấp cho động cơ tăng lên bằng điện áp định mức thì không tăng nữa, dòng điện khởi động giảm dần từ giá trị dòng điện khởi động I_{ukd} về giá trị dòng điện tải. Với mô-men tải là định mức thì sẽ là giá trị dòng điện định mức, tốc độ động cơ đạt giá trị tốc độ định mức ω_{dm} , kết thúc quá trình khởi động. Dạng điện áp, dòng điện và tốc độ của động cơ khi khởi động theo phương pháp thay đổi điện áp phản ứng được thể hiện ở hình 5.



Hình 6. Hình vẽ dạng đặc tính cơ của động cơ trong trường hợp khởi động theo phương pháp thay đổi điện áp phản ứng

Khi sử dụng phương pháp này để khởi động động cơ điện một chiều kích từ độc lập, dòng điện phản ứng của động cơ trong suốt quá trình khởi động sẽ ít biến thiên, nên mô-men của động cơ cũng sẽ ít biến thiên và vận tốc của động cơ cũng sẽ tăng đều trong quá trình khởi động. Vì vậy, ta sẽ có đặc tính cơ của động cơ như hình 6.

3.2. Xác định điện áp khởi động

Từ ý tưởng trên, ta tính toán để tìm tốc độ tăng điện áp một cách hợp lý để có được một giá trị dòng điện khởi động theo mong muốn và nằm trong giới hạn cho phép. Ta có phương trình mô tả mối quan hệ giữa các đại lượng trong động cơ điện một chiều kích từ độc lập [3]:

$$u_u(t) = R_u i_u(t) + L_u \frac{di_u(t)}{dt} + E_u(t) \quad (3)$$

Trong đó, R_u là điện trở cuộn dây phản ứng, L_u là điện cảm cuộn dây phản ứng, $E_u(t)$ là suất điện động phản ứng của động cơ.

Suất điện động phản ứng của động cơ được xác định bằng công thức sau [4]:

$$E_u(t) = K\Phi\omega(t) \quad (4)$$

Mô-men điện từ của động cơ được xác định [4]:

$$M(t) = K\Phi i_u(t) \quad (5)$$

$$M(t) - M_c = J \frac{d\omega(t)}{dt}$$

$$\Rightarrow \omega(t) = \int \left(\frac{M(t) - M_c}{J} \right) dt \quad (6)$$

Trong đó, J là mô-men quán tính quy đổi về trục động cơ, M_c là mô-men cản, $M(t)$ là mô-men điện từ động cơ.

Từ các công thức (3), (4), (5), (6) ta có được công thức

(7):

$$u_u(t) = R_u i_u(t) + L_u \frac{di_u(t)}{dt} + \frac{K\Phi}{J} \int (K\Phi i_u(t) - M_c) dt \quad (7)$$

Dùng phép biến đổi Laplace hai vế của (7), ta được:

$$U_u(p) = \left(R_u + L_u p + \frac{(K\Phi)^2}{Jp} \right) I_u(p) - \frac{K\Phi M_c}{Jp^2} \quad (8)$$

Trong nghiên cứu này, tác giả mong muốn dòng điện của động cơ trong quá trình tăng điện áp phản ứng cấp cho động cơ là gần như không đổi và có giá trị:

$$i_{ukd}(t) = I_{ukd} = K_{kd} I_{udm} \quad (9)$$

Trong đó, K_{kd} là hệ số dòng điện khởi động của động cơ, I_{udm} là dòng điện định mức của động cơ.

Dùng phép biến đổi Laplace 2 vế của công thức (9) ta được:

$$I_{ukd}(p) = \frac{K_{kd} I_{udm}}{p} \quad (10)$$

Từ công thức (8) và (10), ta có được:

$$U_u(p) = \frac{L_u K_{kd} I_{udm} J p^2 + R_u K_{kd} I_{udm} J p}{J p^2} + \frac{(K\Phi)^2 K_{kd} I_{udm} - K\Phi M_c}{J p^2} \quad (11)$$

Dùng phép biến đổi Laplace ngược 2 vế của biểu thức (11) ta được:

$$u_u(t) = \frac{(K\Phi)^2 K_{kd} I_{udm} - K\Phi M_c}{J} t + R_u K_{kd} I_{udm} + L_u K_{kd} I_{udm} \delta(t)$$

$$\Rightarrow u_u(t) = \frac{(K\Phi)^2 I_{ukd} - K\Phi M_c}{J} t + R_u I_{ukd}$$

Hay:

$$u_u(t) = at + b \quad (12)$$

Trong đó,

$$a = \frac{(K\Phi)^2 I_{ukd} - K\Phi M_c}{J},$$

$$b = U_{ukd} = I_{ukd} R_u$$

Công thức (12) biểu diễn dạng điện áp cần cấp cho động cơ lúc khởi động, để giữ cho dòng điện khởi động của động cơ ít biến thiên trong quá trình khởi động.

Sau khi điện áp cấp vào động cơ đạt giá trị điện áp định mức của động cơ, điện áp cấp cho động cơ không tăng nữa nên thời gian tăng điện áp cấp cho phản ứng của động cơ được xác định theo công thức:

$$t_u = (U_{udm} - R_u I_{ukd}) \frac{J}{(K\Phi)^2 I_{ukd} - K\Phi M_c} \quad (13)$$

Đối với hệ thống truyền động Động cơ điện một chiều – Chính lưu cầu 3 pha thì giá trị điện áp một chiều tại đầu

ra của bộ chỉnh lưu sẽ được tính [1]:

$$U_d = U_{d0} \cdot \cos \alpha = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_2 \cos \alpha \quad (14)$$

Trong đó, α là góc mở của thyristor tính từ thời điểm chuyển mạch tự nhiên, U_{d0} là điện áp chỉnh lưu lớn nhất ứng với trường hợp $\alpha = 0^\circ$.

$$U_{d0} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_2$$

Trong đó, U_2 là giá trị điện áp pha hiệu dụng cấp cho bộ chỉnh lưu cầu ba pha.

Trong hệ thống truyền động Động cơ điện một chiều - Chỉnh lưu cầu ba pha, để có thể ứng dụng được phương pháp khởi động này thì ta phải tính được mối quan hệ giữa tốc độ tăng điện áp trên và sự thay đổi của góc α :

$$\alpha = \arccos\left(\frac{\pi(at+b)}{3\sqrt{6}U_2}\right)$$

Khi điện áp cấp cho phản ứng của động cơ tăng đến giá trị điện áp định mức, thì ta không tăng nữa, do đó:

$$\alpha(t) = \begin{cases} \arccos\left(\frac{\pi(at+b)}{3\sqrt{6}U_2}\right), t \leq t_u \\ \arccos\left(\frac{\pi U_{udm}}{3\sqrt{6}U_2}\right), t > t_u \end{cases} \quad (15)$$

Nếu ta không xét đến máy biến áp và điện trở đẳng trị xét đến phần sụt áp do hiện tượng chuyển mạch giữa các thyristor, dựa vào (3) và (15), ta sẽ có được phương trình vi phân biểu diễn mối quan hệ điện từ giữa việc điều chỉnh điện áp đầu ra của bộ chỉnh lưu cầu 3 pha với các thông số của động cơ lúc khởi động, theo phương pháp thay đổi điện áp phản ứng như sau [1]:

$$U_{d0} \cdot \cos(\alpha(t)) = R_u i_u(t) + L_u \frac{di_u(t)}{dt} + K\Phi\omega(t) \quad (16)$$

Dòng điện khởi động của động cơ khi khởi động theo phương pháp thay đổi điện áp phản ứng được thể hiện trong phương trình vi phân sau:

$$R_u i_u(t) + L_u \frac{di_u(t)}{dt} = U_{d0} \cdot \cos(\alpha(t)) - K\Phi\omega(t) \quad (17)$$

Từ (5) và (17), ta cũng có được mô-men khởi động của động cơ khi khởi động theo phương pháp thay đổi điện áp phản ứng được thể hiện trong phương trình vi phân sau:

$$R_u M(t) + L_u \frac{dM(t)}{dt} = K\Phi U_{d0} \cdot \cos(\alpha(t)) - (K\Phi)^2 \omega(t) \quad (18)$$

Tốc độ của động cơ khi khởi động theo phương pháp thay đổi điện áp phản ứng cũng được biểu diễn bằng phương trình sau:

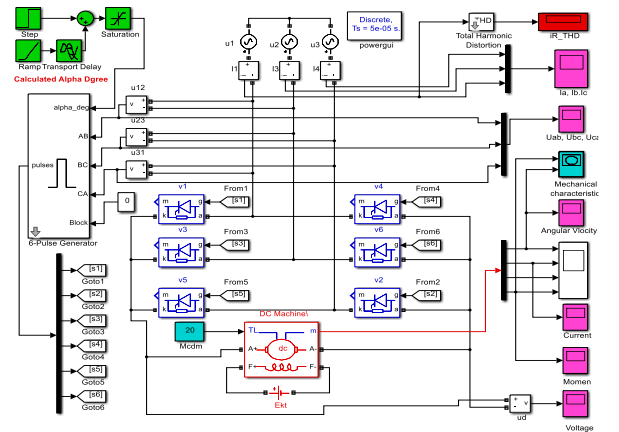
$$\omega(t) = U_{d0} \cdot \cos(\alpha(t)) - R_u i_u(t) + L_u \frac{di_u(t)}{dt} \quad (19)$$

3.3. Các kết quả mô phỏng

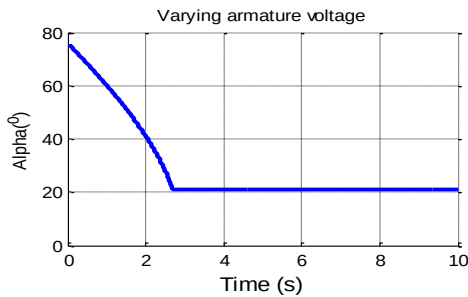
Bảng 1. Bảng thông số mô phỏng

STT	Ký hiệu	Giải thích ký hiệu	Thông số
1	P (Hp)	Công suất động cơ	5
2	u_{udm} (V)	Điện áp phản ứng định mức	240
3	ω_{dm} (Rad/s)	Tốc độ định mức	183
4	L_u (H)	Điện cảm cuộn dây phản ứng	0.2
5	R_u (Ohm)	Điện trở cuộn dây phản ứng	1.5
6	L_{kt} (H)	Điện cảm cuộn dây kích từ	156
7	R_{kt} (Ohm)	Điện trở cuộn dây kích từ	281.3
8	L_m (H)	Điện kháng hồ cảm	1.10
9	U_2 (V)	Điện áp pha của lưới điện	110
10	U_{kt} (V)	Điện áp kích từ của động cơ	300
11	K_{kd}	Hệ số dòng điện khởi động	2.5
12	J (kg.m ²)	Mô men quán tính quy đổi về trục động cơ	0.5

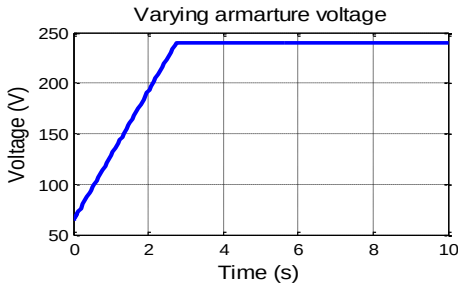
Từ thông số của hệ thống (bảng 1), dựa vào (12) ta sẽ tính được tốc độ thay đổi điện áp cấp cho phản ứng của động cơ để giữ cho dòng điện ít biến thiên trong suốt quá trình khởi động. Sau khi tìm được tốc độ biến thiên điện áp cần tìm lúc khởi động đó, ta có được tốc độ biến thiên của góc mở van α tương ứng với tốc độ biến thiên của điện áp đó dựa vào (15). Tiến hành mô phỏng quá trình khởi động hệ thống truyền động động cơ điện một chiều kích từ độc lập dựa vào các thông số đã tính toán được [5], [6]. Sơ đồ mô phỏng hệ thống thể hiện ở hình 7.



Hình 7. Sơ đồ mô phỏng quá trình khởi động động cơ sử dụng phương pháp thay đổi điện áp phản ứng

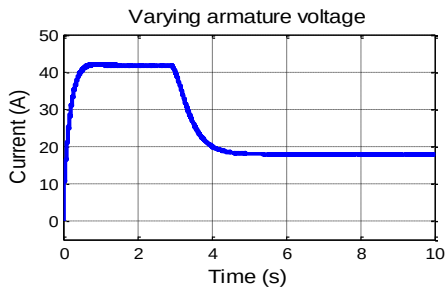


Hình 8. Mô phỏng đặc tính điều chỉnh góc mở các van bán dẫn khi khởi động bằng phương pháp thay đổi điện áp phản ứng



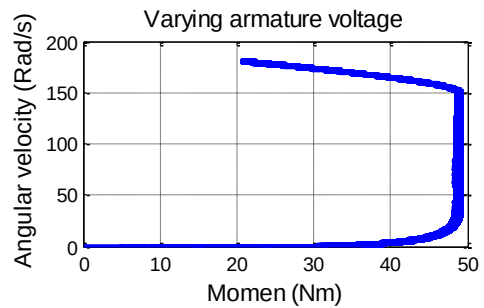
Hình 9. Mô phỏng điện áp trung bình tại đầu ra của bộ chỉnh lưu khi khởi động bằng phương pháp thay đổi điện áp phản ứng

Hình 8 thể hiện đặc tính điều chỉnh góc mở các van bán dẫn khi khởi động bằng phương pháp thay đổi điện áp phản ứng, được tính bởi công thức (15). Ứng với đặc tính điều chỉnh góc mở các van bán dẫn như hình 8, ta sẽ có được điện áp đầu ra như hình 9. Đặc tính điện áp này giống với đặc tính điện áp ở hình 5.

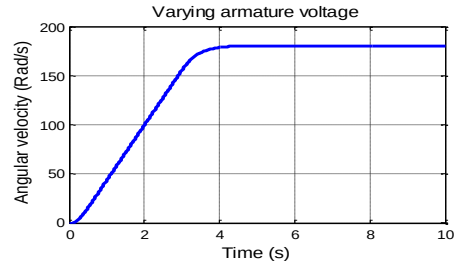


Hình 10. Mô phỏng dòng điện khởi động của động cơ trong trường hợp sử dụng phương pháp thay đổi điện áp phản ứng

Hình 10 là kết quả mô phỏng dòng điện của động cơ khi khởi động theo phương pháp thay đổi điện áp phản ứng. Xem hình 9 và hình 10, ta thấy nhờ vào tính toán ban đầu nên trong thời gian điện áp cấp cho động cơ tăng từ điện áp khởi động đến điện áp định mức, dòng điện của động cơ sẽ tăng nhanh đến bằng dòng điện khởi động mong muốn ($I_{ukd} = K_{kd} I_{udm}$) và gần như không thay đổi cho đến khi điện áp cấp cho động cơ tăng lên bằng điện áp định mức của động cơ. Khi điện áp cấp cho phản ứng của động cơ đạt giá trị định mức, dòng điện khởi động sẽ giảm từ giá trị $I_{ukd} = K_{kd} I_{udm}$ về giá trị dòng điện định mức, tốc độ động cơ đạt giá trị tốc độ định mức, kết thúc quá trình khởi động. Do đó, khi khởi động theo phương pháp thay đổi điện áp phản ứng, mô-men của động cơ lúc khởi động sẽ ít biến thiên. Điều này được thể hiện trong đặc tính cơ của động cơ (hình 11). Với phương pháp khởi động này, tốc độ của động cơ lúc khởi động cũng sẽ tăng đều chứ không bị biến thiên lớn (xem hình 12).



Hình 11. Mô phỏng đặc tính cơ của động cơ khi khởi động bằng phương pháp thay đổi điện áp phản ứng



Hình 12. Mô phỏng tốc độ của động cơ trong trường hợp khởi động theo phương pháp thay đổi điện áp phản ứng

So sánh hình 5 và hình 10, ta thấy đặc tính dòng điện của hai hình này có đôi chút khác nhau. Sự khác nhau này thể hiện ở chỗ, trong đặc tính dòng điện ở hình 5, trong khoảng thời gian điện áp cấp cho động cơ tăng từ giá trị điện áp khởi động đến điện áp định mức, ngay khi điện áp bắt đầu tăng thì dòng điện của động cơ sẽ tăng đến dòng điện khởi động mong muốn và gần như không thay đổi cho đến khi điện áp cấp cho động cơ đạt giá trị định mức. Còn trong kết quả mô phỏng dòng điện khởi động ở hình 10, phải mất một khoảng thời gian nhỏ thì dòng điện khởi động mới tăng lên bằng giá trị dòng điện khởi động mong muốn và gần như không thay đổi cho đến khi điện áp cấp cho động cơ đạt giá trị định mức. So sánh hình 9 và hình 10 ta cũng thấy, khi điện áp cấp cho động cơ đạt giá trị dòng điện định mức, cũng mất một khoảng thời gian nhỏ sau thì dòng điện của động cơ mới bắt đầu giảm dần từ $I_{ukd1} = 2.5 I_{udm}$ về dòng định mức chứ không giảm ngay như đặc tính dòng điện trong hình 5. Có những sự khác nhau này là do ảnh hưởng của điện cảm trong cuộn dây phản ứng của động cơ. Điện cảm này không cho dòng điện biến thiên đột ngột nên khi điện áp thay đổi, dòng điện sẽ biến thiên từ từ chứ không thể thay đổi đột ngột.

Mối quan hệ giữa dòng điện và mô-men của động cơ được thể hiện trong công thức (5) mà ở đây ta đang xét động cơ một chiều kích từ động lập ($K\Phi$ là hằng số) nên nguyên nhân trên cũng chính là nguyên nhân kết quả mô phỏng đặc tính cơ của động cơ (hình 11) cũng có đôi chút khác nhau so với hình vẽ đặc tính cơ của động cơ trong hình 5.

Bên cạnh đó, ta cũng thấy đặc tính dòng điện (hình 10) và đặc tính cơ của động cơ (hình 11) bị nhấp nhô chứ không bằng phẳng như đặc tính dòng điện và đặc tính cơ trong hình 5. Điều này là do nguồn cấp cho động cơ là sóng điện áp chỉnh lưu, có chứa thành phần xoay chiều nên những đại lượng này cũng có chứa các thành phần xoay chiều tương ứng.

So sánh phương pháp khởi động này với phương pháp khởi động bằng cách dùng điện trở phụ, ta thấy phương pháp khởi động này có ưu điểm hơn. Thứ nhất, dòng điện khởi động của động cơ khi khởi động theo phương pháp thay đổi điện áp phản ứng sẽ ít biến thiên hơn rất nhiều so với phương pháp khởi động động cơ qua điện trở phụ. Điều này được thể hiện rất rõ ở hình 2 và hình 10. Bởi vì dòng điện khởi động khi khởi động theo phương pháp thay đổi điện áp phản ứng ít biến thiên, nên tốc độ và mô-men của động cơ khi khởi động theo phương pháp này cũng ít biến thiên hơn phương pháp dùng điện trở phụ (xem hình 3 và hình 11). Hay nói cách khác, khi khởi động theo phương pháp này, động cơ sẽ ít bị rung lắc lúc khởi động hơn. Động cơ không bị rung lắc lúc khởi động sẽ không gây ảnh hưởng xấu đến kết cấu cơ khí và góp phần nâng cao tuổi thọ động cơ. Thêm vào đó, khi khởi động theo phương pháp thay đổi điện áp phản ứng, tốc độ động cơ tăng trơn hơn và thời gian khởi động động cơ cũng giảm đáng kể so với phương pháp khởi động qua điện trở phụ. Điều này được thể hiện rõ trong hình 4 và hình 12.

Việc không sử dụng các điện trở phụ và các trang thiết bị phục vụ cho việc đóng/cắt chúng cũng làm cho hệ thống giảm tổn thất, kích thước và nâng cao độ tin cậy của hệ thống.

4. Kết luận

Trong bài báo này, tác giả tiến hành phân tích kỹ phương pháp khởi động động cơ điện một chiều kích từ độc lập bằng cách thay đổi điện áp cấp cho phản ứng động cơ thông qua bộ chỉnh lưu có điều khiển. So với phương pháp khởi động qua điện trở phụ, phương pháp khởi động này giúp cho động cơ khởi động êm hơn, thời gian khởi động động cơ cũng ngắn hơn và hiệu suất khi khởi động cao hơn. Đồng thời hệ thống trở nên gọn nhẹ hơn và độ tin cậy cao hơn. Nội dung của bài báo cũng sẽ là một đóng góp cho việc giảng dạy học phần Truyền động điện tại các trường đại học tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bùi Đình Tiểu, *Giáo trình truyền động điện*, NXB Giáo dục, 2007.
- [2] Đặng Văn Đào, Trần Khánh Hà, Nguyễn Hồng Thanh, *Giáo trình máy điện*, NXB Giáo dục, Hà Nội, 2003.
- [3] Bùi Quốc Khánh, Nguyễn Văn Liễn, Nguyễn Thị Hiền, *Truyền động Điện*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2004.
- [4] Bùi Đức Hùng, Triệu Việt Linh, *Máy điện (Tập 2)*, NXB Giáo dục, Hà Nội, 2007.
- [5] Nguyễn Phùng Quang, *Matlab và Simulink*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2006.
- [6] Ned Mohan, *Power electronics: a first course*, Wiley, 2012.

(BBT nhận bài: 07/12/2016, hoàn tất thủ tục phản biện: 21/02/2017)