

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TIN HỌC CÔNG NGHIỆP ỨNG DỤNG TRONG CƠ CẤU NÂNG CẦN TRỤC DẪN ĐỘNG ĐIỆN

ThS. Đồng Xuân Khang

Khoa Cơ khí Xây dựng

Trường Đại học Xây dựng

Tóm tắt: Cùng với sự phát triển của khoa học kỹ thuật, các thiết bị và dây chuyền công nghệ máy xây dựng cũng không ngừng được cải tiến nhằm tăng năng suất lao động, nâng cao tính an toàn và độ tin cậy của các thiết bị đồng thời hướng tới vấn đề tiết kiệm năng lượng và bảo vệ môi trường. Việc nghiên cứu chế tạo các bộ biến đổi điện luôn đi đôi với công nghệ bán dẫn và các kỹ thuật điều khiển. Một trong những phương pháp nghiên cứu hiệu quả là có sự hỗ trợ của máy tính kết hợp với việc sử dụng các phần mềm tin học công nghiệp chuyên dụng. Nghiên cứu dưới đây đưa ra một mô hình mô phỏng trên máy tính hệ biến tần ma trận - động cơ không đồng bộ ba pha dùng trên cơ cấu nâng vật nhằm bước đầu khẳng định khả năng áp dụng các tiến bộ công nghệ trong việc giải quyết các yêu cầu mà thực tế đặt ra.

Summary: Along with the development of science and technology, building machines and production lines in the field of civil engineering are continuously improved in order to increase labour productivity, enhance the safety and reliability of equipments and then aim at energy saving and environment preserving. Research and development (R&D) of electrical energy converters are always accompanied with semiconductor technology and control engineering. The use of computers and specialised industrial informatics software tools is one of the effective ways in research.

1. Đặt vấn đề

Máy nâng hạ được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp và trong đời sống hàng ngày. Trong công nghiệp, máy nâng thường là cầu trục, cần trục, thang máy... Trong đời sống hàng ngày, thang máy được sử dụng phổ biến để vận chuyển người và hàng hóa. Tùy vào từng ứng dụng cụ thể mà có các yêu cầu chất lượng truyền động khác nhau. Nếu như thang máy sử dụng vào việc vận chuyển bệnh nhân trong các bệnh viện có yêu cầu chất lượng điều khiển (gia tốc và độ giật) rất nghiêm ngặt thì thang máy vận chuyển hàng hóa và các thiết bị trong các nhà máy công nghiệp thường có yêu cầu chất lượng điều khiển không cao.

Trên các máy nâng dẫn động điện, ngoài chuyển động chính là nâng hạ vật theo phương đứng do cơ cấu nâng đảm nhận còn có các chuyển động trong mặt phẳng ngang do các cơ cấu di chuyển, quay, thay đổi tầm với thực hiện. Trong các cơ cấu công tác kể trên, cơ cấu nâng có đặc điểm làm việc tương đối đặc biệt:

- Trong quá trình nâng tải, động cơ dẫn động nhận năng lượng từ lưới điện nhằm duy trì một lực cần thiết để nâng tải với một tốc độ mong muốn.

- Trong quá trình hạ tải, động cơ thực hiện chức năng ngược lại là giải phóng năng lượng do quá trình hạ tải gây ra. Nói một cách khác là động cơ làm việc như một máy phát điện phát ra năng lượng điện tỷ lệ thuận với trọng lượng và tốc độ hạ tải.

Các bộ biến đổi điện thông thường hiện nay áp dụng trong cơ cấu nâng, năng lượng tạo nên khi hạ tải thường được biến thành nhiệt năng tiêu tán trên các điện trở, không tận dụng được năng lượng này. Việc nghiên cứu tận dụng được năng lượng gây ra trong quá trình hạ tải sử dụng các tiến bộ của công nghệ bán dẫn công suất và kỹ thuật xử lý tín hiệu số để dẫn năng lượng này tái sinh về lưới sẽ có ý nghĩa rất lớn trong điều kiện loài người phải tiết kiệm năng lượng như hiện nay. Nghiên cứu dưới đây đưa ra một mô hình mô phỏng trên máy tính hệ biến tần ma trận - động cơ không đồng bộ ba pha dùng trên cơ cấu nâng vật nhằm bước đầu khẳng định khả năng áp dụng các tiến bộ công nghệ trong việc giải quyết các yêu cầu mà thực tế đặt ra.

Về cơ bản, có thể chia máy nâng dẫn động điện thành một số loại sau:

a. Thang máy, được sử dụng để vận chuyển con người hay hàng hóa lên xuống theo các độ cao khác nhau và chủ yếu được sử dụng trong các tòa nhà, công trường xây dựng hay trong các nhà máy công nghiệp.

b. Cầu trục, được sử dụng rộng rãi trong các nhà máy công nghiệp. Loại này bao gồm ba cơ cấu dẫn động thực hiện các chuyển động trong mặt phẳng đứng và mặt phẳng ngang. Tải được nâng hạ bởi động cơ chính thông qua một dây cáp, khi đó cơ cấu tải - dây cáp đóng vai trò như một con lắc, chiều dài dây cáp thay đổi liên tục trong suốt quá trình nâng/hạ tải. Các chuyển động ngang và chuyển động chính có thể được hiện lần lượt hay đồng thời.

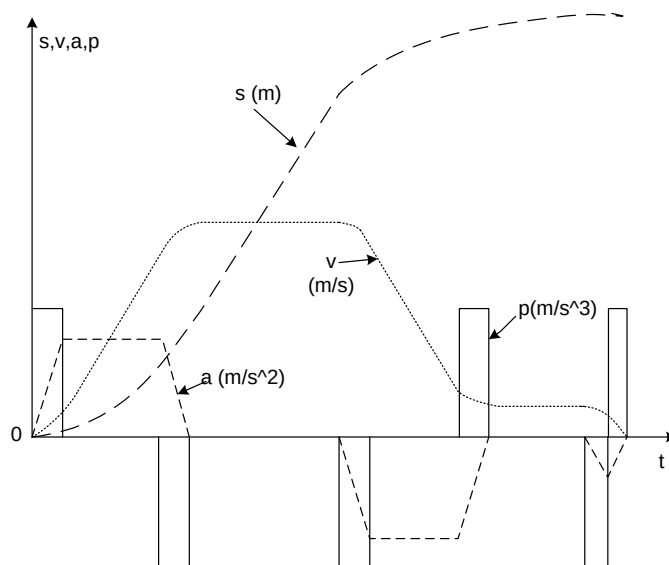
c. Càn trục, có thể chia thành hai loại là càn trục tháp và càn trục chuyên dụng. Trong đó, loại càn trục tháp thường được sử dụng phục vụ trong các công trường xây dựng, còn loại càn trục chuyên dụng được sử dụng trong ngành hàng hải trên các tàu biển để bốc dỡ hàng hóa hoặc trong các nhà máy thủy điện.

Vấn đề điều khiển:

Thang máy: Thang máy là một hệ thống có yêu cầu về an toàn rất nghiêm ngặt cũng như các yêu cầu kỹ thuật khác. Một trong những yêu cầu cơ bản đối với hệ dẫn động thang máy là phải đảm bảo cho buồng thang chuyển động êm, các thông số chính đặc trưng cho chế độ làm việc của thang máy là: Tốc độ di chuyển (m/s), gia tốc (m/s^2) và độ giật (m/s^3). Hình 1 là đồ thị đặc tính điều khiển tốc độ của thang máy.

Trên đồ thị đặc tính điều khiển tốc độ của thang máy trên hình 1 được chia thành 4 giai đoạn: Giai đoạn mở máy, giai đoạn ổn định tốc độ, giai đoạn hãm xuống tốc độ thấp và giai đoạn hãm dừng.

Tốc độ di chuyển của buồng thang quyết định năng suất của thang máy, có ý nghĩa đặc biệt quan trọng, đặc biệt khi chiều cao nâng hạ lớn. Tốc độ di chuyển trung bình của thang máy có thể tăng bằng cách giảm thời gian mở máy và hãm máy (gia tốc). Tuy nhiên, khi gia tốc lớn sẽ gây ra cảm giác khó chịu cho hành khách hay không đảm bảo điều kiện vận chuyển. Một đại lượng nữa ảnh hưởng tới sự di chuyển êm của buồng thang là tốc độ tăng/ giảm của gia tốc khi mở/dừng máy.



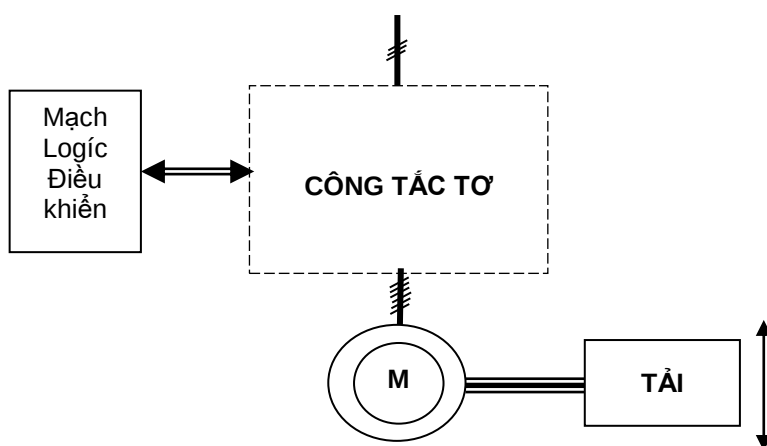
Hình 1. Đồ thị đặc tính điều khiển của thang máy

Trong thực tế máy nâng được sử dụng để di chuyển tải kiểu điểm - điểm trong một thời gian ngắn nhất mà vẫn đảm bảo hiện tượng lắc hay rung giật là nhỏ nhất. Để giải quyết vấn đề này, nhiều nghiên cứu đã đưa ra các thuật toán điều khiển để vận hành tự động các cơ cấu máy nâng.

Tuy nhiên, hiện nay đa số cầu trục và cần trục, hệ thống điều khiển thường có mức độ tự động hoá không cao hoặc được điều khiển trực tiếp từ người vận hành, vì vậy chất lượng điều khiển không cao, độ an toàn thấp.

2. Các hệ truyền động điện tiêu biểu cho cơ cấu nâng hạ sử dụng động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc

2.1. Điều khiển 2 cấp tốc độ bằng hệ thống đóng cắt công tắc tơ (hình 2)

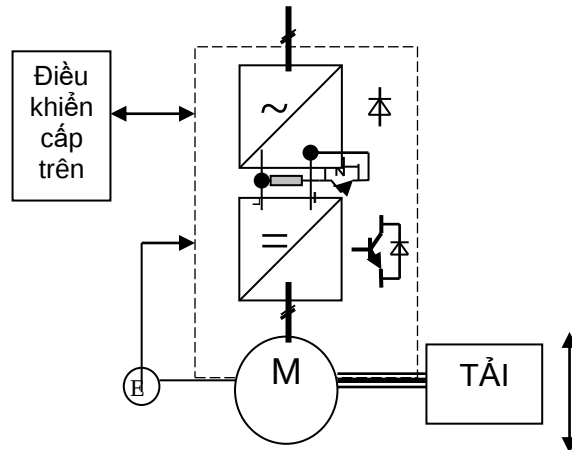


Hình 2. Sơ đồ điều khiển động cơ bằng hệ thống đóng cắt công tắc tơ

Động cơ dẫn động cơ cấu nâng hạ là động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc hai cấp tốc độ có hai bộ dây quấn stato độc lập. Nâng cao độ chính xác khi dừng bằng cách chuyển từ tốc độ cao sang tốc độ thấp.

Hạn chế dòng trong quá trình chuyển đổi tốc độ động cơ (động cơ làm việc ở chế độ máy phát thực hiện hãm tái sinh) từ tốc độ cao sang tốc độ thấp được thực hiện bằng cách đưa thêm điện trở phụ R vào trong một pha của dây quấn stato động cơ.

2.2. Sử dụng biến tần gián tiếp kết hợp với hệ thống điện trở hãm (hình 3)



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc hệ thống sử dụng biến tần gián tiếp

a. Khi cơ cấu nâng hạ không sử dụng đối trọng: Trong quá trình nâng, động cơ làm việc ở chế độ động cơ. Trong quá trình hạ tải (hãm) động cơ làm việc ở chế độ máy phát với nguồn năng lượng phát là thế năng của tải, khi đó tần số góc quay ω trên trục động cơ lớn hơn tần số góc quay ω_1 của điện áp đặt lên cuộn dây stato, tốc độ hạ tải tỷ lệ thuận với năng lượng tiêu tán trên điện trở hãm.

b. Khi cơ cấu nâng hạ có sử dụng đối trọng (đt):

- Khi nâng ($\omega > 0$):

+ $M > M_{dt} \Rightarrow M_t = M - M_{dt} > 0, \Rightarrow M_t \cdot \omega > 0$. Động cơ làm việc ở chế độ động cơ.

+ $M < M_{dt} \Rightarrow M_t = M - M_{dt} < 0, \Rightarrow M_t \cdot \omega < 0$. Động cơ làm việc ở chế độ máy phát.

- Khi hạ ($\omega < 0$)

+ $M > M_{dt} \Rightarrow M_t = M - M_{dt} > 0, \Rightarrow M_t^* \cdot \omega < 0$. Động cơ làm việc ở chế độ máy phát.

+ $M < M_{dt} \Rightarrow M_t = M - M_{dt} < 0, \Rightarrow M_t^* \cdot \omega > 0$. Động cơ làm việc ở chế độ động cơ.

2.3. Sử dụng bộ biến tần bốn góc phần tư (hình 4)

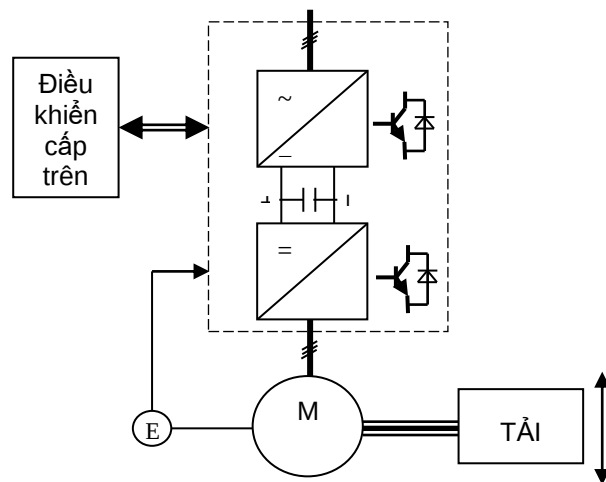
Đặc điểm cấu tạo:

- Bộ lọc đầu vào: Boost (nâng) áp, lọc thành phần sóng hài.

- Chỉnh lưu: Chỉnh lưu tích cực, sử dụng các van bán dẫn điều khiển hoàn toàn (như IGBT, GTO,...).

- Khâu một chiều (DC-Link): Tụ hóa

- Nghịch lưu: Nghịch lưu 3 nhánh van.



Hình 4. Sơ đồ cấu trúc hệ thống sử dụng biến tần 4Q

Đặc điểm làm việc:

- Dòng điện đầu vào hình sin
- Hệ số $\cos(\varphi)$ có thể điều chỉnh được tới gần bằng 1.
- Năng lượng có thể được truyền theo cả hai chiều do vậy rất thích hợp khi làm việc với tải nâng hạ.

2.4. Các ưu điểm từ việc sử dụng biến tần ma trận cho cơ cấu nâng hạ

Về cấu tạo:

Cấu trúc thuần bán dẫn, không sử dụng khâu một chiều trung gian do đó biến tần kiểu ma trận có kích thước nhỏ gọn và tuổi thọ cao.

Về đặc điểm làm việc:

- Dòng điện đầu vào hình Sin.
- Hệ số $\cos(\varphi)$ có thể điều chỉnh được tới gần bằng 1.
- Năng lượng có thể được truyền theo cả hai chiều do vậy rất thích hợp khi làm việc với tải nâng hạ.
- Sử dụng các phương pháp điều khiển động cơ không đồng bộ như đối với việc sử dụng biến tần gián tiếp như: U/F, FOC, DTC
- Khi cơ cấu nâng hạ không có yêu cầu cao về chất lượng truyền động (độ rung, giật, chính xác) thì có thể dễ dàng sử dụng biến tần ma trận với phương pháp điều khiển U/F dạng vòng hở, điều này rất có ý nghĩa cả về mặt kinh tế và kỹ thuật.

3. Xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống điều khiển trên máy tính hệ biến tần ma trận động cơ không đồng bộ (KĐB) - Cơ cấu nâng hạ

3.1. Yêu cầu kỹ thuật

Sơ đồ bộ biến tần ma trận (Matrix Converter - MC) đảm bảo:

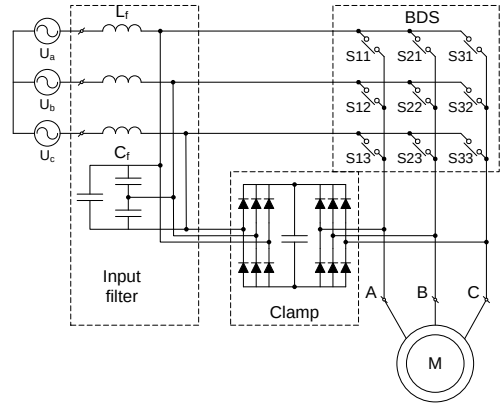
- Tổng hợp điện áp đầu ra có dạng sin từ các điện áp đầu vào với tần số theo yêu cầu, dưới và trên tần số điện áp lưới.

- Dòng điện đầu vào có dạng sin.

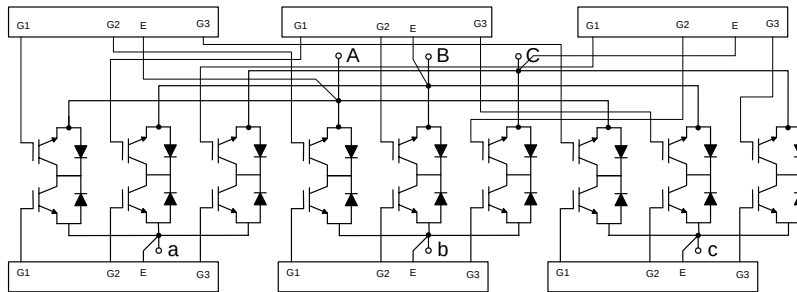
- Năng lượng có thể trao đổi giữa tải với lưới theo cả hai chiều.

- Hệ số công suất đầu vào có thể điều chỉnh được.

Ma trận khoá đóng cắt hai chiều (BDS) được xây dựng trên sơ đồ 2 IGBT mắc song song ngược theo kiểu chung collector và 2 Diode, với 6 nguồn điều khiển cách ly (hình 6).



Hình 5. Cấu hình cơ bản của MC



Hình 6. Sơ đồ mạch lực MC 3 pha dùng IGBT mắc C chung.

3.2. Xác định các vector không gian trong MC

Vector điện áp ra trong hệ tọa độ vuông góc $0\alpha\beta$ biểu diễn theo:

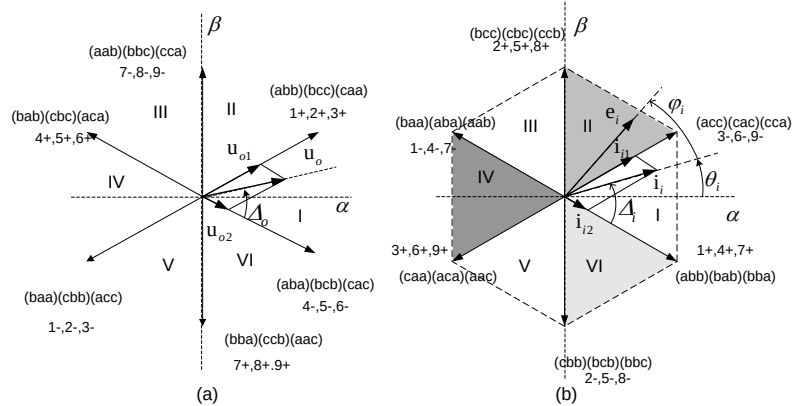
$$\bar{u}_o = \frac{2}{3} (u_{AB} + au_{BC} + a^2 u_{CA}); \quad a = e^{j2\pi/3} \quad (1)$$

u_{AB}, u_{BC}, u_{CA} : điện áp dây 3 pha đầu ra.

Một vector đang ở trong một góc phần sáu nào đó, có thể được tổng hợp từ hai vector biên chuẩn của góc phần sáu đó. Ví dụ, trên hình 7: $\bar{u}_o = \bar{u}_{o1} + \bar{u}_{o2}$; $\bar{i}_i = \bar{i}_{i1} + \bar{i}_{i2}$. Mỗi vector thành phần này lại được điều chế nhờ hai vector cùng hướng nhưng ngược chiều nhau. Kết hợp với yêu cầu cần điều chỉnh hai vector điện áp $\bar{u}_{o1}, \bar{u}_{o2}$ với hai vector dòng điện $\bar{i}_{i1}, \bar{i}_{i2}$ cần dùng 4 vector ứng với các tổ hợp van acc, caa, abb và baa theo các biểu thức (2), (3).

$$\begin{aligned} U_{o1} &= d_1 u_{ab} \frac{2}{\sqrt{3}} - d_3 u_{ca} \frac{2}{\sqrt{3}} & I_{i1} &= d_3 i_A \frac{2}{\sqrt{3}} - d_6 i_B \frac{2}{\sqrt{3}}; \\ U_{o2} &= d_4 u_{ab} \frac{2}{\sqrt{3}} - d_6 u_{ca} \frac{2}{\sqrt{3}} & I_{i2} &= d_1 i_A \frac{2}{\sqrt{3}} - d_4 i_B \frac{2}{\sqrt{3}} \end{aligned} \quad (1.2); \quad (2)$$

d_1, d_3, d_4, d_6 : các hệ số biến điệu hay thời gian có mặt của các vector tương ứng.



Hình 7. (a) Vector điện áp ra; (b) Vector dòng điện vào.

Thời gian đóng điện của các vector trong mỗi chu kỳ lấy mẫu T_s :

$$t_{abb} = |d_1|T_s; t_{acc} = |d_3|T_s; t_{aba} = |d_4|T_s; t_{aca} = |d_6|T_s. \quad (3)$$

Các hệ số phải thỏa mãn điều kiện $|d_1| + |d_3| + |d_4| + |d_6| \leq 1$. Từ đây suy ra giới hạn của tỷ số truyền áp trong MC là $\sqrt{3}/2 \approx 0.866$.

$$\begin{aligned} d_1 &= m \sin \Delta_o \sin \left(\frac{\pi}{3} - \Delta_i \right); d_2 = m \sin \Delta_o \sin \Delta_i; \\ d_3 &= m \sin \left(\frac{\pi}{3} - \Delta_o \right) \sin \left(\frac{\pi}{3} - \Delta_i \right); d_4 = m \sin \left(\frac{\pi}{3} - \Delta_o \right) \sin \Delta_i; \\ d_6 &= 1 - (d_1 + d_2 + d_3 + d_4). \end{aligned} \quad (4)$$

Gọi $m = U_o / (U_i \sqrt{3}/2)$ là hệ số truyền áp, $0 < m < 1$. Đánh số lại các hệ số biến điệu liên tục, có thể tính toán $d_1, \dots, d_4$ theo (4). Đây chính là một trong những ưu điểm của phương pháp này, có thể xác định các hệ số biến điệu chỉ phụ thuộc m mong muốn mà không cần tính toán (hay trong thực tế là không cần đo) các giá trị biên độ U_o, U_i .

3.3. Các kết quả mô phỏng trên máy tính

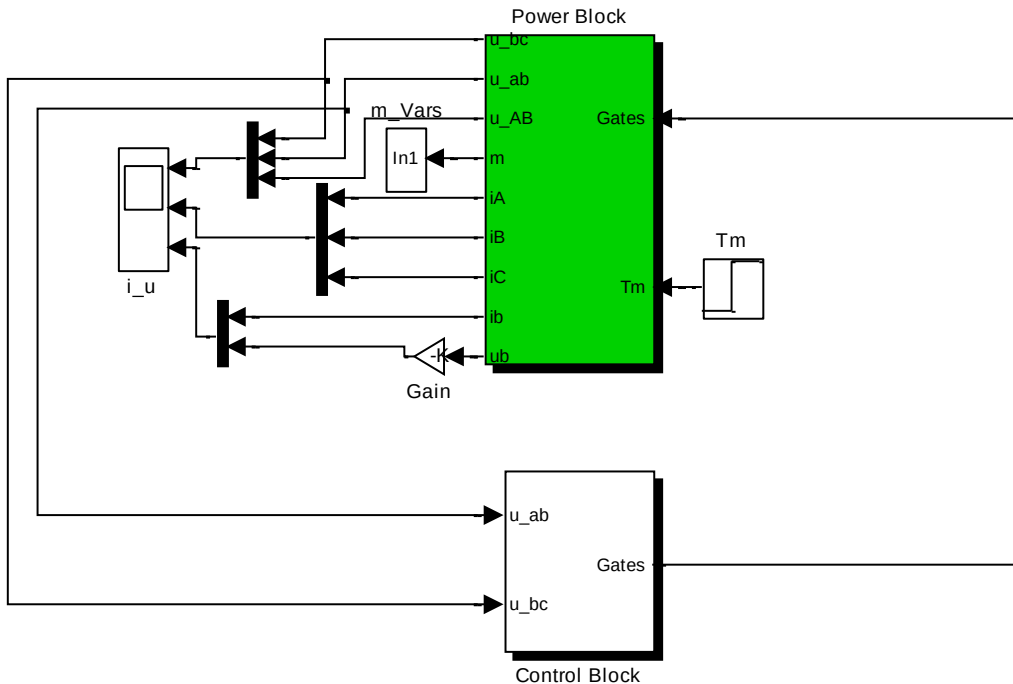
Mô hình mô phỏng điều khiển động cơ không đồng bộ rô to lồng sóc bằng biến tần kiểu ma trận sử dụng phương pháp điều chế vector không gian trực tiếp (SVM) được thực hiện trên phần mềm Matlab (hình 8, hình 9).

Các tham số chính của mô hình mô phỏng:

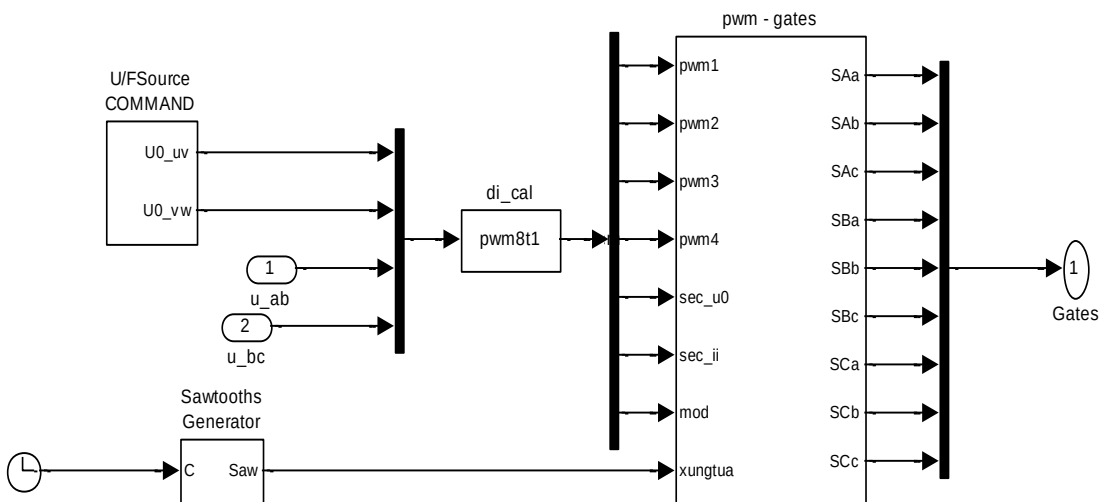
- Động cơ: 3kW/6.5A/380VAC/50Hz
- Lọc đầu vào biến tần: LC (3mH/3.3uF)
- Nguồn điện lưới: 3 x 380VAC/50Hz
- Chu kỳ trích mẫu: 400us
- PWM: 2.5kHz, đối xứng
- Bước chuyển mạch giữa các van BDS: $T_d = 2us$.

Kết quả mô phỏng trên máy tính được trình bày trên hình 10 và hình 11 cho thấy những ưu điểm chính của bộ biến tần ma trận:

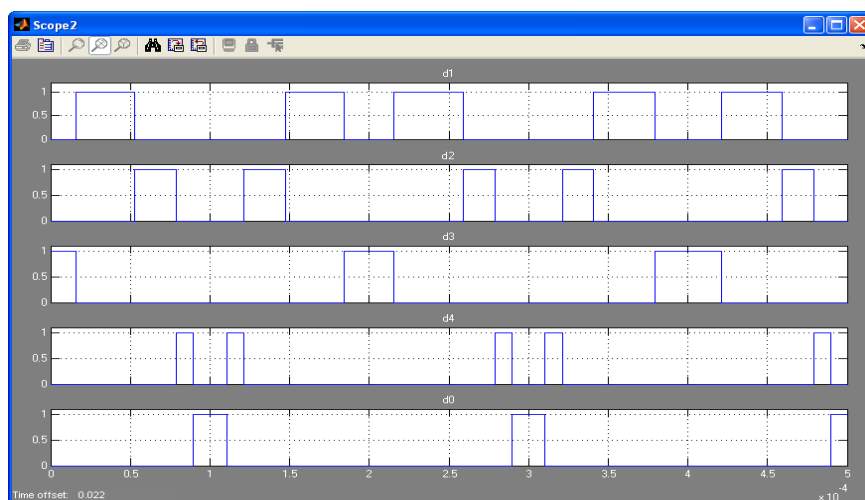
- Các điện áp, dòng điện đầu vào, ra có dạng hình sin.
- Dòng điện, điện áp pha đầu vào có dạng hình sin và trùng pha nhau, chứng tỏ có khả năng điều chỉnh hệ số $\cos(\varphi)$ của hệ thống tới gần bằng 1.



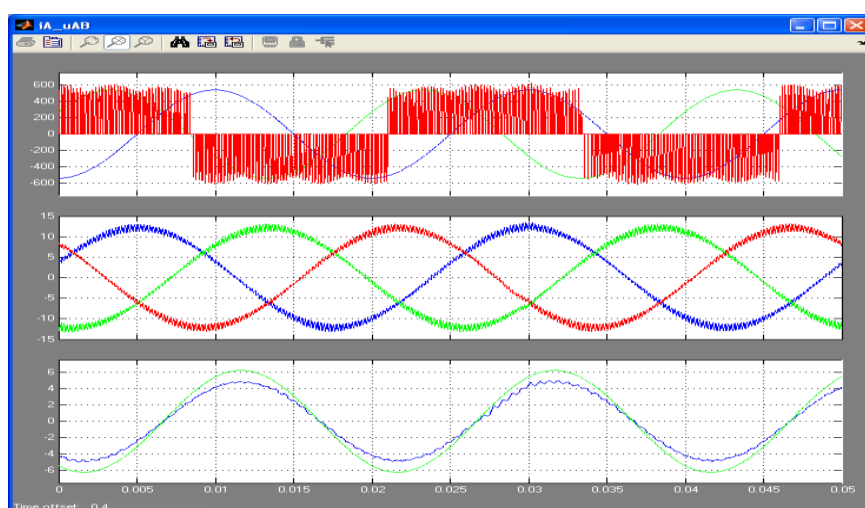
Hình 8. Mô hình mô phỏng MC - Động cơ KĐB theo phương pháp SVM



Hình 9. Mô hình mô phỏng khối điều khiển (Control Block)



Hình 10. Các khoảng thời gian dẫn d0 – d4



Hình 11. Đặc tính dòng điện và điện áp đầu vào/ đầu ra MC, tính từ trên xuống:
Điện áp dây đầu ra và điện áp dây đầu vào; dòng điện đầu ra;
dòng điện / điện áp pha đầu vào biến tần

4. Kết luận

Bài báo trình bày nghiên cứu ứng dụng biến tần kiểu ma trận cho truyền động cơ cấu nâng hạ dùng trên máy nâng, xây dựng hệ mô phỏng và thí nghiệm ghép nối với máy tính. Biến tần ma trận có cấu trúc gọn nhẹ, trao đổi năng lượng với lưới cả hai chiều, dòng đầu vào hình sin và hệ số công suất điều chỉnh được, giảm thiểu ảnh hưởng xấu của bộ biến đổi đối với lưới điện. Kết quả nghiên cứu cho thấy bộ biến tần ma trận tuy chưa phải là một thiết bị công nghiệp phổ biến nhưng đã chứng minh các đặc tính vượt trội nhất là khả năng áp dụng vào việc điều khiển tốc độ các thiết bị cơ cấu nâng hạ, mang lại hiệu quả kinh tế kỹ thuật của loại biến tần này.

Các kết quả nghiên cứu có thể mở rộng khả năng ứng dụng của hệ thống trong thực tiễn sản xuất, là cơ sở để xây dựng các mô hình thực phục vụ công tác nghiên cứu và thực nghiệm chuyên ngành về thiết bị và dây chuyền công nghệ máy xây dựng.

Tài liệu tham khảo

1. Đồng Xuân Khang, (2010), *Nghiên cứu mô phỏng và xây dựng mô hình thực hệ thống điều khiển tin học công nghiệp ứng dụng trong thiết bị và dây chuyền công nghệ máy xây dựng*, Báo cáo tổng kết đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ - mã số B2007-03-23.
2. Bùi Quốc Khánh, Nguyễn Văn Liễn, Phạm Quốc Hải, Dương Văn Nghi, (2002), *Tự động điều chỉnh truyền động điện*, NXB Khoa học và Kỹ thuật.
3. Trần Trọng Minh, (2007), *Nghiên cứu xây dựng biến tần kiểu ma trận*, Luận văn Tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Bách khoa Hà Nội.
4. Nguyễn Phùng Quang, (1996), *Điều khiển tự động truyền động điện xoay chiều ba pha*, NXB Giáo dục, Hà Nội.
5. Adamck, J.; Hofmann, W.; Ziegler, M., (2003), *Fast commutation process and demand of bidirectional switches in matrix converters*, PESC '03. IEEE 34th Annual Conference on, Volume: 3, Page(s): 1281-1286.
6. Apap, M.; Clare, J.C.; Wheeler, P.W.; Bradley, K.J. (2003), *Analysis and comparison of ac-ac matrix converter control strategies*, PESC '03. IEEE 34th Annual Conference on, Volume: 3, Page(s): 1287-1292.