

**THIẾT KẾ CHUYỂN MẠCH CHO BIẾN TẦN MA TRẬN  
TRỰC TIẾP 3 PHA – 4 DÂY**

**IMPLEMENTING COMMUTATION FOR THREE-PHASE  
FOUR-LEG DIRECT MATRIX CONVERTER-TFDMC**

**PGS.TS. BÙI QUỐC KHÁNH**

*Khoa Điện, Trường Đại học Bách Khoa Hà nội*

**ThS. ĐẶNG HỒNG HẢI, KS. ĐOÀN VĂN TUẤN**

*Khoa Điện – ĐTTB, Trường ĐHHH*

**Tóm tắt**

Biến tần ma trận đang được quan tâm nghiên cứu nhiều hơn do có nhiều ưu điểm. Các khóa bán dẫn hai chiều sử dụng trong biến tần ma trận yêu cầu quá trình chuyển mạch tương đối phức tạp. Bài báo đề cập đến các phương pháp chuyển mạch và thiết kế chuyển mạch bốn bước theo chiều dòng điện cho biến tần ma trận trực tiếp 3 pha 4 dây. Quá trình chuyển mạch của TFDMC được mô phỏng trên công cụ phần mềm Matlab\State Flow để kiểm chứng. Ngôn ngữ VHDL được sử dụng để lập trình việc thực hiện logic chuyển mạch bốn bước theo chiều dòng điện của TFDMC trên CPLD (Complex Programmable Logic Device). Các kết quả nhận được đã chứng tỏ phương pháp được áp dụng là thích hợp.

**Abstract**

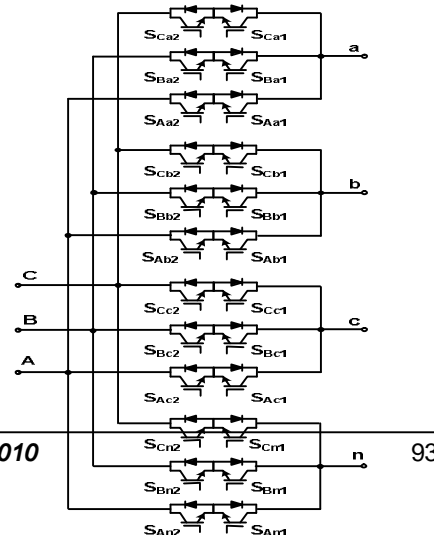
The matrix converter is being more interested in the study due to many advantages. However, bidirectional switches used in matrix converter requires complicated commutation. This paper presents some commutation methods and four-step commutation with the sign of load current for three-phase four-leg direct matrix converter. The TFDMC commutation is modeled on software tools Matlab\State Flow to verify its feasibility. VHDL language is used to implement the TFDMC four-step switching sequence logic on CPLD (Complex Programmable Logic Device). The obtained results verified the operation of proposed method.

**1. Đặt vấn đề**

Biến tần ma trận (Matrix Converter – MC) là bộ biến đổi trực tiếp AC-AC, có nhiều ưu điểm như trao đổi công suất theo hai chiều, dòng điện đầu vào có dạng hình sin, hệ số công suất đầu vào gần bằng một [1]. Biến tần ma trận trực tiếp 3 pha - 4 dây (TFDMC) được chỉ ra trên hình 1, đầu vào có ba nhánh, đầu ra có bốn nhánh, ba nhánh cho ba pha một nhánh cho dây trung tính, cấu trúc này đáp ứng được các yêu cầu cho các phụ tải cần sử dụng dây trung tính.

Chuyển mạch là quá trình chuyển dòng điện từ một van bán dẫn đang dẫn bị khóa lại sang một van khác vừa mở ra. Khác với biến tần truyền thống, các van bán dẫn hai chiều trong biến tần ma trận yêu cầu quá trình chuyển mạch tương đối phức tạp. Quá trình chuyển mạch trong biến tần ma trận tuân thủ theo hai quy tắc, đó là không được ngắt mạch phía lưới và không được hở mạch phía tải. Quy tắc thứ nhất đảm bảo không xảy ra ngắn mạch phía điện áp lưới gây ra xung dòng điện lớn phá hủy van. Quy tắc thứ hai đảm bảo không gây ra hiện tượng hở mạch phía tải gây ra quá điện áp, đánh thủng các van bán dẫn. Nhiều phương pháp chuyển mạch đã được nghiên cứu và áp dụng cho biến tần ma trận, chuyển mạch bốn bước [2], chuyển mạch hai bước [3], chuyển mạch một bước, chuyển mạch thông minh [2].

Do quá trình chuyển mạch diễn ra rất nhanh nên logic chuyển mạch thường được thực hiện trên các thiết bị phần cứng như là CPLD, FPGA. Logic của quá trình chuyển mạch rất phức tạp nên để đảm bảo tính chính xác của các trạng thái logic, trước khi thử



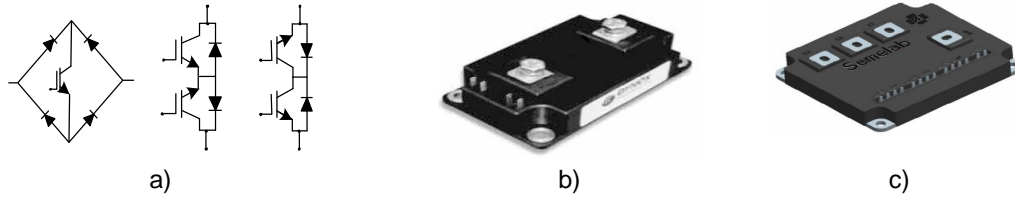
**Hình 1. Biến tần ma trận trực tiếp 3 pha- 4 dây.**

nghiệm trên phần cứng cần phải tiến hành mô phỏng để kiểm chứng.

## 2. Chuyển mạch trong biến tần ma trận

### 2.1. Khóa bán dẫn hai chiều

Khóa bán dẫn hai chiều (BDS) sử dụng cho biến tần ma trận được xây dựng trên cơ sở các van bán dẫn điều khiển hoàn toàn với các sơ đồ như được thể hiện trên hình 2a.

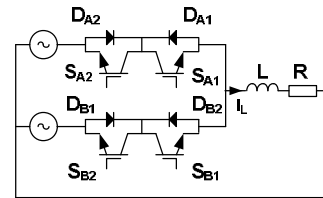


Hình 2. Khóa bán dẫn hai chiều.

Sơ đồ sử dụng cầu diot, gồm một IGBT và bốn diot, dạng khóa hai chiều này không yêu cầu điều khiển quá trình chuyển mạch. Tuy nhiên nhược điểm của BDS này là dòng điện chảy qua ba phần tử nên gây tổn thất khá lớn. Sơ đồ sử dụng hai IGBT mắc song song ngược theo kiểu chung emitter hoặc chung collector và các diot. Các diot sử dụng trong khóa hai chiều phải là các diot có thời gian đóng cắt nhanh. Hai kiểu sơ đồ sau đã được chế tạo thử nghiệm thành modul, hình 2b, 2c.

### 2.2. Các phương pháp chuyển mạch trong biến tần ma trận

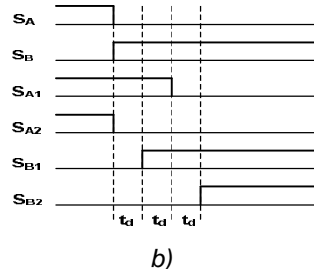
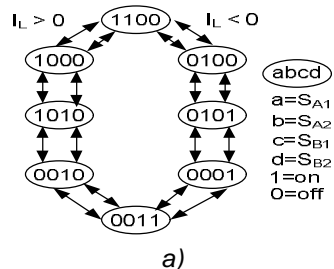
Nguyên lý của chuyển mạch được làm rõ qua việc xét trường hợp chuyển mạch từ pha A sang pha B, biểu diễn trên hình 3. Giả thiết pha A đang dẫn dòng, pha B khoá và dòng tải có chiều theo hình 3. Hai khóa  $S_{A1}$  và  $S_{A2}$  đều mở để đảm bảo dòng điện có thể chảy theo hai chiều, tuy nhiên tại thời điểm xét chỉ thực sự có khóa  $S_{A1}$  và  $D_{A2}$  đang dẫn dòng. Khi có lệnh chuyển sang pha B, logic của quá trình chuyển mạch có thể diễn ra theo bốn bước, hai bước hoặc một bước theo chiều dòng điện.



Hình 3. Chuyển mạch giữa hai pha.

#### 2.2.1. Chuyển mạch bốn bước

Logic của quá trình chuyển mạch diễn ra theo bốn bước như sau: Ngắt tín hiệu điều khiển tới van không dẫn  $S_{A2}$ , điều khiển mở van  $S_{B1}$ , ngắt tín hiệu điều khiển van  $S_{A1}$ , điều khiển mở van  $S_{B2}$ . Trong trường hợp dòng điện có chiều ngược lại thì trình tự chuyển mạch sẽ được thực hiện ngược lại. Đồ hình trạng thái logic cho các van bán dẫn tham gia chuyển mạch được chỉ ra trên hình 4a. Đồ thị tín hiệu điều khiển các van bán dẫn theo thời gian được thể hiện trên hình 4b. Thời gian để hoàn tất một quá trình chuyển mạch phụ thuộc vào thời gian khóa ( $t_d$ ) của IGBT được sử dụng.



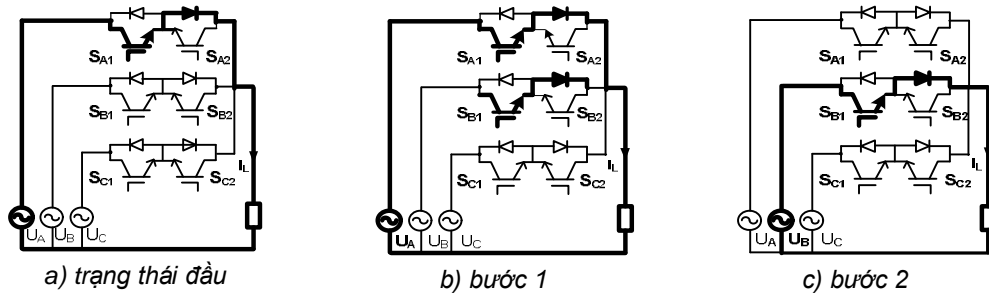
Hình 4. a) Đồ hình trạng thái logic các van, b) Đồ thị tín hiệu điều khiển chuyển mạch.

#### 2.2.2. Chuyển mạch hai bước

Hạn chế của phương pháp chuyển mạch bốn bước là phải qua bốn bước mới chuyển mạch xong, phải có thông tin chính xác về điện áp chuyển mạch hay chiều dòng điện đồng thời không có

sự thay đổi chiều dòng điện trong suốt quá trình chuyển mạch. Có thể nhận thấy rằng khi đã biết chính xác trước chiều dòng điện thì không cần phát tín hiệu cho van bán dẫn không dẫn dòng trong khóa hai chiều, do đó bốn bước chuyển mạch chỉ còn lại hai bước.

Trong phương pháp chuyển mạch theo hai bước, khi chiều dòng điện đã được xác định rõ ( $I > 0$  hoặc  $I < 0$ ) thì chỉ điều khiển cho một van dẫn đang thực sự dẫn dòng, khi chiều dòng điện chưa được xác định rõ, đang trong quá trình đổi chiều, lúc này nó đang nằm trong ngưỡng quanh giá trị không, để tránh trường hợp hở mạch dòng tải phải điều khiển mở cả hai IGBT trong khóa hai chiều đang dẫn dòng. Trên hình 5 chỉ ra quá trình chuyển mạch hai bước giữa hai pha A và B, nét đậm là đường đi của dòng điện.



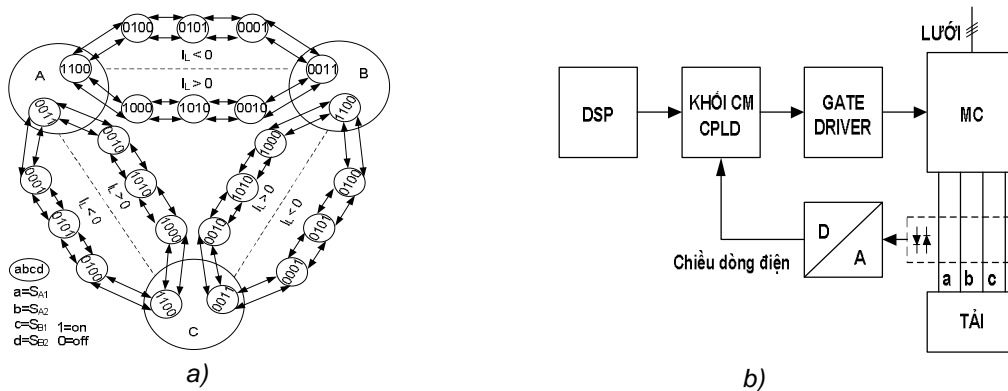
Hình 5. Chuyển mạch từ pha A sang pha B khi  $I_L > 0$ .

2.2.3. Chuyển mạch một bước

Theo sơ đồ trên hình 3, khi cần chuyển mạch giữa hai pha đầu vào A và B, nếu biết được chính xác dấu của điện áp  $U_{AB}$  và chiều dòng điện  $I_L$  thì quá trình chuyển mạch chỉ cần một bước. Tín hiệu điều khiển sẽ chuyển từ một IGBT đang dẫn dòng sang một IGBT ở pha khác có cùng chiều dẫn dòng. Thời gian cần thiết cho chuyển mạch một bước là rất ngắn, tuy nhiên phương pháp này lại đòi hỏi phải xác định chính xác dấu của điện áp, chiều của dòng điện và chịu ảnh hưởng mạnh từ các nhiễu loạn của điện áp lưới.

3. Thiết kế chuyển mạch TFDMC

Biến tần ma trận trực tiếp 3 pha 4 dây chỉ ra trên hình 1, sử dụng hai IGBT mắc emitter chung làm khóa bán dẫn hai chiều. Phương pháp chuyển mạch bốn bước được áp dụng cho TFDMC. Quá trình chuyển mạch giữa các pha đầu vào trong biến tần ma trận trực tiếp 3 pha 4 dây là hoàn toàn độc lập với nhau, do đó quá trình chuyển mạch giữa các pha đầu vào cho một pha đầu ra sẽ bao gồm ba đồ hình trạng thái logic như hình 4a kết hợp lại với nhau và được biểu diễn trên hình 6a. Với cấu trúc này, hệ thống chuyển mạch sẽ bao gồm bốn đồ hình trạng thái logic như hình 6a tương ứng với bốn nhánh đầu ra a, b, c, n của biến tần. Logic chuyển mạch của biến tần ma trận trực tiếp 3 pha - 4 dây được chỉ ra trong bảng 1, trong đó trạng thái logic thứ nhất ứng với việc chuyển từ A→B, B→C, C→A, trạng thái logic thứ hai ứng với việc chuyển từ B→A, C→B, A→C.



Hình 6. a) Đồ hình trạng thái logic của chuyển mạch ba pha, b) cấu trúc điều khiển của TFDMC.

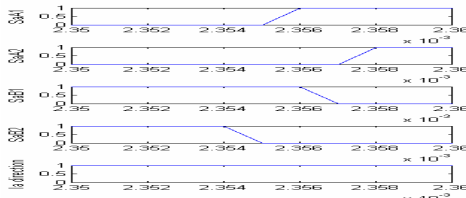
Trên hình 6b chỉ ra vị trí của khối chuyển mạch (CM) trong cấu trúc điều khiển của biến tần ma trận trực tiếp 3 pha 4 dây. Do quá trình chuyển mạch diễn ra rất nhanh và logic chuyển mạch phức tạp, nên chip logic lập trình được có độ tích hợp cao CPLD được sử dụng để thực hiện logic chuyển mạch. CPLD đảm nhận hai chức năng, mã hóa, lựa chọn các tổ hợp van trong bảng trật tự thực hiện các vector chuẩn và thực hiện logic chuyển mạch bốn bước. Tín hiệu vào của CPLD bao gồm các hệ số điều biến di được tính trong khối DSP, cung cấp thông tin cho việc lựa chọn các tổ hợp van tương ứng với các vector chuẩn đã được ấn định, tín hiệu xác định chiều dòng điện được gửi về từ phần đo lường, cung cấp thông tin cho quá trình chuyển mạch. CPLD gửi ra cho khối Gate driver 24 tín hiệu cho 12 khóa bán dẫn hai chiều. Ngôn ngữ VHDL được sử dụng để lập trình thực hiện logic chuyển mạch bốn bước trên CPLD. Lưu đồ thuật toán cho việc lập trình điều khiển chuyển mạch từ pha A sang pha B được chỉ ra trên hình 8a. Từ trạng thái ban đầu, kiểm tra dấu của dòng điện tải, nếu  $I_L > 0$  thì thực hiện chuyển mạch theo trình tự LOGIC1, nếu  $I_L < 0$  thì thực hiện chuyển mạch theo trình tự LOGIC2, thực hiện tương tự cho trường hợp còn lại.

**Bảng 1. Logic chuyển mạch của biến tần ma trận trực tiếp 3 pha 4 dây.**

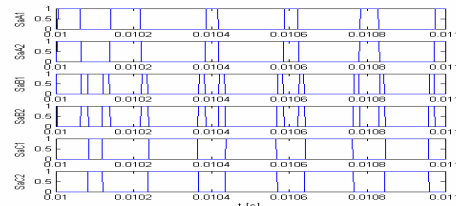
		$S_{A1}.S_{A2} - S_{B1}.S_{B2} - S_{C1}.S_{C2}$		$S_{A1}$	$S_{A2}$	$S_{B1}$	$S_{B2}$	$S_{C1}$	$S_{C2}$	Bước
A	↔	11 - 00 - 00 ↑↓	$I_L > 0$	10	00	01	00			1
				11	00	11	00			2
				01	00	10	00			3
				01	01	11	11			4
B	↔	00 - 11 - 00 ↑↓	$I_L < 0$	00	10	00	01			1
				00	11	00	11			2
				00	01	00	10			3
				01	01	10	10			4
B	↔	00 - 11 - 00 ↑↓	$I_L > 0$			10	00	01	00	1
						11	00	11	00	2
						01	00	10	00	3
						01	01	11	11	4
C	↔	00 - 00 - 11 ↑↓	$I_L < 0$			00	10	00	01	1
						00	11	00	11	2
						00	01	00	10	3
						01	01	10	10	4
C	↔	00 - 00 - 11 ↑↓	$I_L > 0$	10	00			01	00	1
				11	00			11	00	2
				01	00			10	00	3
				01	01			11	11	4
A	↔	11 - 00 - 00 ↑↓	$I_L < 0$	00	10			00	01	1
				00	11			00	11	2
				00	01			00	10	3
				01	01			10	10	4

#### 4. Mô phỏng chuyển mạch TFDMC

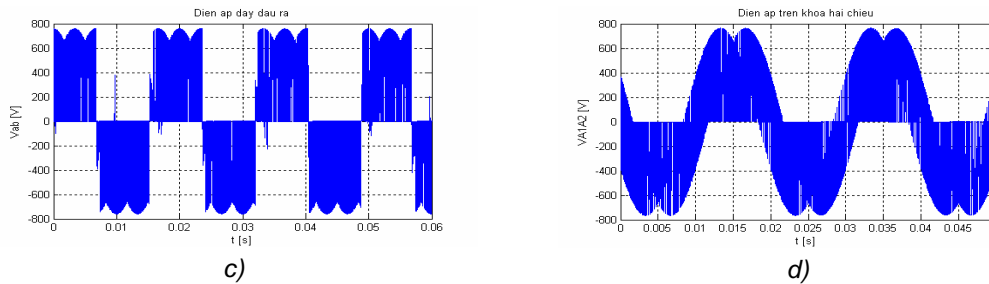
Mô phỏng TFDMC được thực hiện trên phần mềm Matlab, trong đó phần logic chuyển mạch bốn bước theo chiều dòng điện được thực hiện trên công cụ State Flow, kết quả mô phỏng được chỉ ra trên hình 7 với tải R-L có thông số  $R = 10 \text{ Ohm}$ ,  $L = 0,2\text{H}$ . Ngôn ngữ phần cứng VHDL được lựa chọn để lập trình và mô phỏng việc thực hiện logic chuyển mạch bốn bước theo chiều dòng điện của TFDMC trên CPLD, kết quả mô phỏng được chỉ ra trên hình 8b.



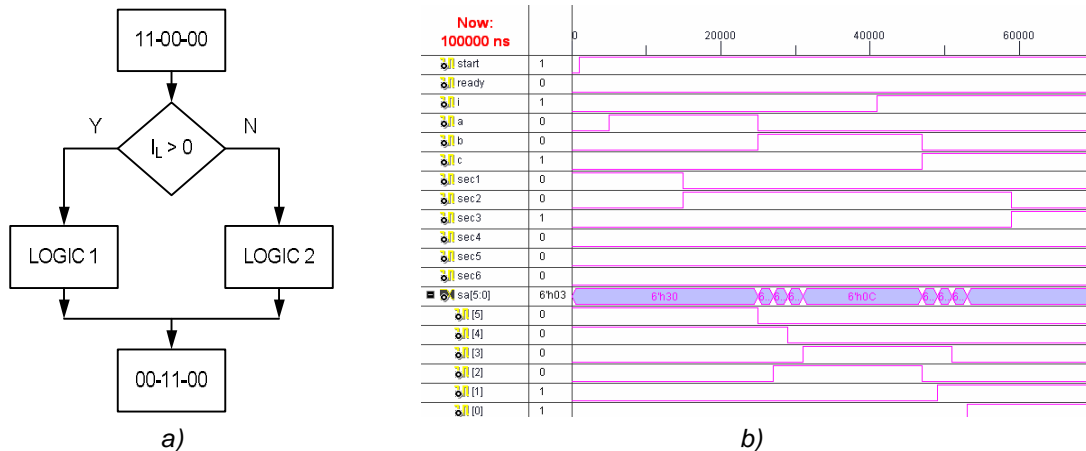
a)



b)



Hình 7. a) Chuyển mạch bốn bước của tín hiệu điều khiển, b) Tín hiệu điều khiển cho các van IGBT của pha a đầu ra, c) điện áp dây đầu ra, d) điện áp rơi trên khóa bán dẫn hai chiều.



Hình 8. a) Lưu đồ thuật toán khi chuyển mạch từ pha A sang pha B, b) kết quả mô phỏng trên ngôn ngữ VHDL.

### 5. Kết luận

Bài báo đã khái quát các phương pháp chuyển mạch cho biến tần ma trận và thiết kế chuyển mạch cho biến tần ma trận trực tiếp 3 pha 4 dây. Việc áp dụng phương pháp chuyển mạch bốn bước cho biến tần ma trận trực tiếp 3 pha 4 dây đã nhận được kết quả tích cực. Các kết quả nhận được từ việc mô phỏng quá trình chuyển mạch trên State Flow cho thấy logic chuyển trạng thái của các van bán dẫn đúng trình tự và rõ ràng, không có sự quá điện áp trên các van bán dẫn và điện áp đầu ra. Việc thực hiện logic chuyển mạch trên CPLD đảm bảo được tích chất đóng cắt nhanh của các van bán dẫn trong quá trình chuyển mạch. Kết quả mô phỏng trên ngôn ngữ VHDL là cơ sở để triển khai chuyển mạch của biến tần ma trận trực tiếp 3 pha 4 dây trong thực tế.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bùi Quốc Khánh, Đặng Hồng Hải, Đoàn Văn Tuấn, “Điều biến vector không gian cho biến tần ma trận gián tiếp 3 pha – 4 dây”, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Hàng hải, số 22, trang 27-33, 2010.
- [2] Trần Trọng Minh, “Luận án tiến sĩ kỹ thuật”, Hà nội, 2007.
- [3] Ziegler, M.; Hofmann, W., “Implementation of a two steps commutated matrix converter”, Power Electronics Specialists Conference, 1999. PESC 99. 30th Annual IEEE , Volume: 1 , 27 June-1 July 1999. Page(s): 175 -180 vol.1.

Người phản biện: TS. Trần Sinh Biên