

- [3] Jean-Marie Monier. Giáo trình Toán - Tập 1. Giải tích 1 (người dịch: Lý Hoàng Tú). Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội, 2000.
- [4] Võ Giang Giai - Nguyễn Ngọc Thu. Một số bài toán về dãy số. Nhà Xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội, 2008.

Người phản biện : TS. Phạm Văn Minh

ĐIỀU CHẾ VECTOR KHÔNG GIAN CHO BỘ NGHỊCH LƯU BỐN NHÁNH SPACE VECTOR MODULATION FOR A FOUR-LEG VOLTAGE SOURCE INVERTER

TS. TRẦN ANH DŨNG; KS. ĐOÀN VĂN TUÂN
Khoa Điện- ĐTTB, Trường ĐHHH

Tóm tắt

Bộ nghịch lưu bốn nhánh được sử dụng trong các hệ thống 3 pha – 4 dây. Ngoài khả năng cung cấp thêm dây trung tính, bộ nghịch lưu 4 nhánh cho phép đạt được các yêu cầu của bộ nguồn trong điều kiện tải mất đối xứng. Phương pháp điều chế vector không gian 3D là phương pháp phổ biến và mang lại chất lượng tốt cho các bộ nghịch lưu 4 nhánh. Nội dung bài báo nghiên cứu phương pháp điều chế vector không gian 3D trên hệ trục $\alpha\beta\gamma$ cho bộ nghịch lưu bốn nhánh. Các kết quả mô phỏng được sử dụng để đánh giá tính đúng đắn của phương pháp điều chế.

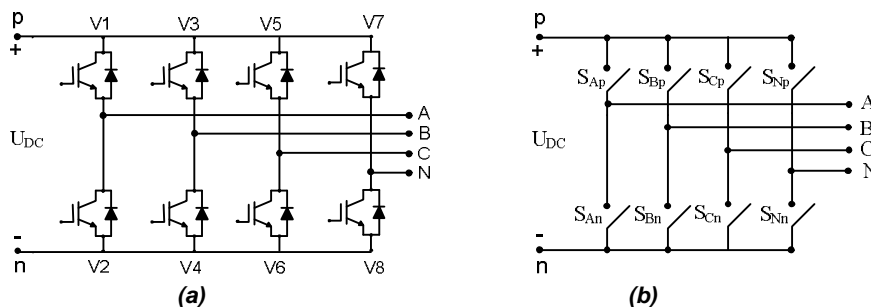
Abstract

The four-leg voltage source inverter is used in the 3 phase - 4 wire system. In addition to providing neutral line, the four-leg VSI achieves the requirements of the power converter under unbalanced load conditions. The three dimensional space vector modulation (3D SVM) is most popular and offers good quality for the four-leg VSI. The contents of the article studies the 3D space vector modulation in $\alpha\beta\gamma$ coordinates for the four-leg VSI. The simulation results are used to evaluate the accuracy of the modulation method.

1. Đặt vấn đề

Cấu trúc bộ nghịch lưu 4 nhánh trên hình 1(a) được phát triển từ cấu trúc nghịch lưu 3 pha thông thường với nhánh thứ tư nhằm cung cấp điểm trung tính cho phía đầu ra. Bằng việc thêm nhánh thứ tư, cấu trúc này đáp ứng được yêu cầu về dây trung tính cho các tải trong hệ thống 3 pha – 4 dây. Ngoài ra, do có khả năng điều khiển dòng trung tính, bộ nghịch lưu 4 nhánh còn đáp ứng tốt các yêu cầu của bộ nguồn trong điều kiện tải mất đối xứng [1],[2].

Đối với các bộ nghịch lưu, phương pháp điều chế vector không gian được xem là phương pháp hiệu quả nhất, với các ưu điểm: tỉ số truyền áp cao, giảm độ méo phi tuyến đầu ra, và giảm tổn thất chuyển mạch [1], [2], [3]. Tuy nhiên, với cấu trúc như trên hình 1(a), số trạng thái đóng cắt của bộ nghịch lưu (tương ứng với số vector chuẩn) tăng lên 16 trạng thái, quỹ đạo của vector điện áp nằm trong không gian 3 chiều... dẫn tới những khó khăn trong quá trình áp dụng phương pháp điều chế vector không gian cho bộ nghịch lưu bốn nhánh. Giải quyết những vấn đề đó nhằm thực hiện phương pháp điều chế vector không gian cho bộ nghịch lưu bốn nhánh là nội dung chính của bài báo này.



Hình 1. Cấu trúc bộ nghịch lưu 4 nhánh (a) và mô hình dạng chuyển mạch (b).

2. Phương pháp điều chế vector không gian 3D

Phương pháp điều chế vector không gian 3D cho bộ nghịch lưu bốn nhánh tuân theo các bước giống như điều chế vector không gian thông thường (2D SVM), bao gồm ba bước:

- (i) Xác định vị trí vector không gian.
- (ii) Tính toán thời gian biến đổi.
- (iii) Sắp xếp trật tự thực hiện vector trong một chu kỳ chuyển mạch.

2.1. Xác định vị trí vector không gian của bộ nghịch lưu bốn nhánh

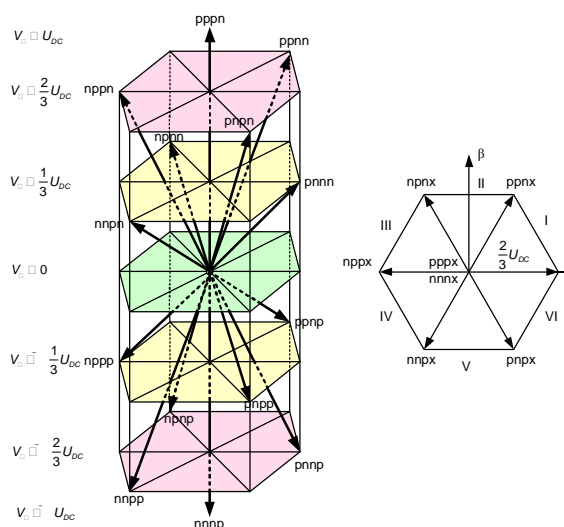
2.1.1. Các vector chuẩn của bộ nghịch lưu bốn nhánh

Mô hình dạng chuyển mạch của bộ nghịch lưu được thể hiện như trên hình 1(b), trong đó mỗi van bán dẫn được thể hiện bằng một khóa lý tưởng. Tại mỗi thời điểm, các van được điều khiển nhằm đảm bảo 2 quy luật: (i) không được ngắn mạch đầu vào, (ii) không được hở mạch phía tải. Hai quy luật này tạo nên 16 trạng thái đóng cắt của bộ nghịch lưu 4 nhánh, mỗi trạng thái đóng cắt được thể hiện bằng vector trạng thái $[S_A S_B S_C S_N]$, trong đó S_i ($i = A, B, C, N$) sẽ nhận một trong hai giá trị: n – nếu pha i nối xuống âm của khâu 1 chiều và nhận giá trị p – nếu pha i được nối vào dương của khâu 1 chiều. Mỗi trạng thái đóng cắt của bộ nghịch lưu 4 nhánh sẽ tương ứng với các giá trị điện áp đầu ra xác định, được thể hiện bằng 1 vector cố định trong không gian và được gọi là vector chuẩn. Có tất cả 16 vector chuẩn, được thể hiện trong bảng 1, trong đó có 14 vector có độ lớn, chiều xác định trong không gian và 2 vector có độ lớn bằng 0 gọi là vector không.

Bảng 1. Các vector chuẩn của bộ nghịch lưu bốn nhánh

Điện áp	Tổ hợp van							
	pppp	nnnp	pnnp	ppnp	npnp	nppp	nnpp	pnpp
V_A	0	$-V_{DC}$	0	0	$-V_{DC}$	$-V_{DC}$	$-V_{DC}$	0
V_B	0	$-V_{DC}$	$-V_{DC}$	0	0	0	$-V_{DC}$	$-V_{DC}$
V_C	0	$-V_{DC}$	$-V_{DC}$	$-V_{DC}$	$-V_{DC}$	0	0	0
	pppn	nnnn	pnnn	ppnn	npnn	nppn	nnpn	pnpn
V_A	V_{DC}	0	V_{DC}	V_{DC}	0	0	0	V_{DC}
V_B	V_{DC}	0	0	V_{DC}	V_{DC}	V_{DC}	0	0
V_C	V_{DC}	0	0	0	0	V_{DC}	V_{DC}	V_{DC}

Trong điều kiện tải mất đối xứng, các đại lượng ba pha có quan hệ độc lập với nhau $X_a + X_b + X_c \neq 0$, vì vậy quỹ đạo của vector không gian biểu diễn trong hệ trục vuông góc sẽ là hệ không gian 3 chiều $\alpha\beta\gamma$, thay vì chuyển động trong mặt phẳng $\alpha\beta$ như trong các bộ nghịch lưu 3 nhánh. Chính vì lý do này, nên phương pháp điều chế vector không gian cho bộ nghịch lưu 4 nhánh có tên là 3D SVM (three dimensional space vector modulation). Việc chuyển tọa độ được thực hiện theo công thức (1), (2).

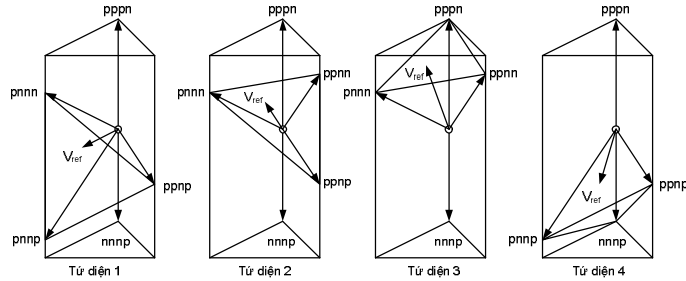


Hình 2. Biểu diễn hình học các vector chuẩn trong hệ tọa độ $\alpha\beta\gamma$.

$$\begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} = \mathbf{T} \cdot \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Biểu diễn hình học 16 vector chuẩn trong hệ tọa độ $\alpha\beta\gamma$, ta thu được hình lục lăng, thể hiện trên hình 2. Hình lục lăng này được chia nhỏ thành 6 lăng trụ (đánh số từ I đến VI), mỗi lăng trụ được chia nhỏ hơn thành 4 tứ diện (hình 3). Như vậy, không gian $\alpha\beta\gamma$ được chia thành 24 tứ diện.



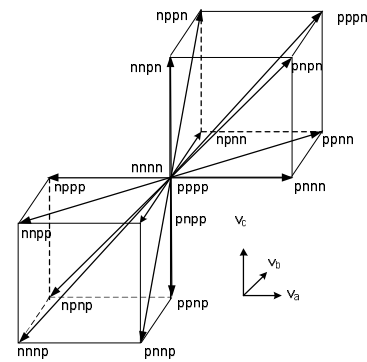
Hình 3. Vị trí các tứ diện trong lăng trụ I

2.1.2. Xác định vị trí vector không gian

Thuật toán xác định tứ diện chứa vector điện áp chia làm 2 bước nhỏ: (i) xác định lăng trụ chứa vector điện áp (dựa vào xét các thành phần $V_\alpha, V_\beta, V_\gamma$ - thể hiện trong bảng 2), (ii) xác định tứ diện chứa vector điện áp trong mỗi lăng trụ (dựa vào xét dấu các vector thành phần của vector không gian \mathbf{V}_{ref} trên trục a, b, c - thể hiện trên hình 4).

Bảng 2. Thuật toán xác định lăng trụ chứa vector điện áp

Lăng trụ	Góc phần tư	$V_a V_b$	V_b	$ V_a > \sqrt{3} V_b $	$ V_a \leq \sqrt{3} V_b $
I	1	+	+		X
II	1	+	+	X	
	2	-			
III	2	-	+		X
IV	3	+	-		X
V	3	+	-	X	
	4	-			
VI	4	-	-		X



Hình 4. Biểu diễn hình học các vector chuẩn trong hệ tọa độ abc.

2.2. Tính toán thời gian điều biến

Sau khi xác định được tứ diện chứa vector điện áp, vector điện áp ra \mathbf{V}_{ref} được tổng hợp từ các vector chuẩn. Nhằm đảm bảo méo phi tuyến đầu ra và tổn thất chuyển mạch nhỏ nhất, vector điện áp ra được tổng hợp nên từ 3 vector chuẩn nằm trên 3 cạnh của tứ diện đang chứa vector điện áp ra (là 3 vector chuẩn gần vector \mathbf{V}_{ref} nhất), kết hợp với 2 vector không của bộ nghịch lưu.

$$\mathbf{V}_{ref} = d_1 \cdot \mathbf{V}_1 + d_2 \cdot \mathbf{V}_2 + d_3 \cdot \mathbf{V}_3 \quad (3)$$

$$d_z = 1 - d_1 - d_2 - d_3 \quad (4)$$

trong đó: $\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2, \mathbf{V}_3$ là các vector chuẩn thuộc tứ diện đang xét;

d_1, d_2, d_3, d_z là các tỉ số điều biến tương ứng cho các vector V_1, V_2, V_3, V_0 ;

$$\begin{bmatrix} V_{ref_a} \\ V_{ref_b} \\ V_{ref_g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{1_a} & V_{2_a} & V_{3_a} \\ V_{1_b} & V_{2_b} & V_{3_b} \\ V_{1_g} & V_{2_g} & V_{3_g} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

đặt $M = \begin{bmatrix} V_{1_a} & V_{2_a} & V_{3_a} \\ V_{1_b} & V_{2_b} & V_{3_b} \\ V_{1_g} & V_{2_g} & V_{3_g} \end{bmatrix}$ (6)

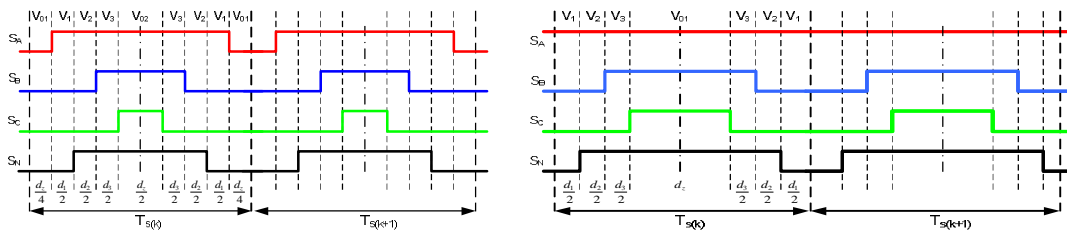
Tỉ số điều biến cho các vector được xác định theo biểu thức (7)

$$\mathbf{d} = \frac{1}{V_{DC}} \cdot \mathbf{M}^{-1} \cdot \mathbf{V}_{ref} \quad (7)$$

với $\mathbf{d} = [d_1 \ d_2 \ d_3]^T$ (8)

Như vậy, với vector V_{ref} cho trước thì các giá trị d_1, d_2, d_3 là hoàn toàn xác định. Tỉ số điều biến d_1, d_2, d_3 của 24 tử điện xác định theo (7) với việc thay ma trận M^{-1} tương ứng với từng tử điện.

2.3. Trật tự thực hiện các vector chuẩn



a, PWM1 (giảm thiểu méo sóng hài)

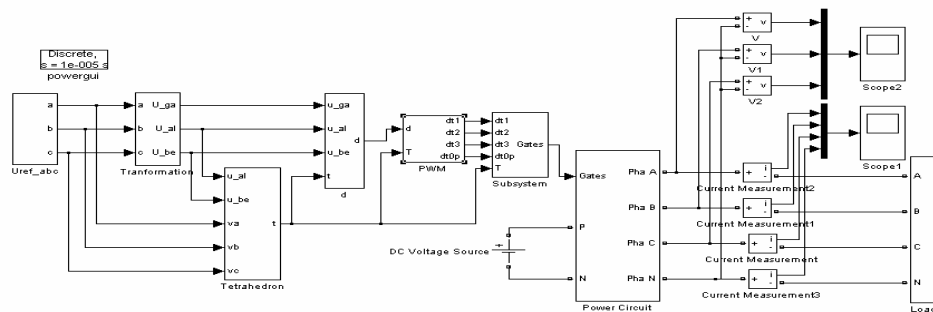
b, PWM2 (giảm tổn thất chuyển mạch)

Hình 5. Phương pháp chuyển mạch PWM đối xứng.

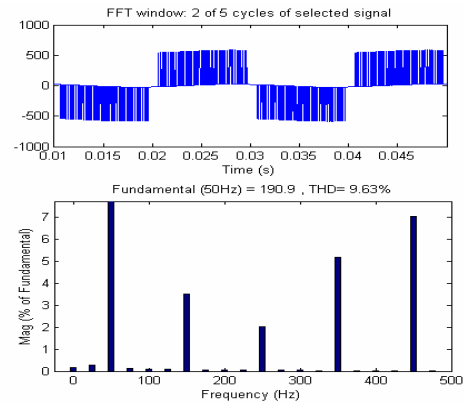
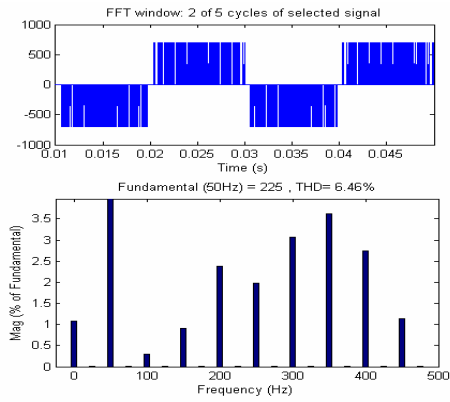
Về nguyên tắc, thứ tự thực hiện các vector chuẩn trong 1 chu kỳ chuyển mạch PWM có thể tùy ý. Để đảm bảo méo phi tuyến đầu ra và tổn thất chuyển mạch là nhỏ nhất, mỗi lần chuyển mạch chỉ có 1 van thay đổi trạng thái [1]. Phương pháp chuyển mạch cho độ méo nhỏ nhất là phương pháp PWM đối xứng có trật tự thực hiện thể hiện trên hình 5.

3. Kết quả mô phỏng

Mô hình mô phỏng bộ nghịch lưu 4 nhánh được xây dựng trên Simulink và công cụ Sim Power System của phần mềm Matlab nhằm đánh giá tính đúng đắn của thuật toán 3D SVM. Các kết quả với trường hợp tải 3 pha đối xứng được thể hiện trên hình 7. Có thể thấy điện áp pha đầu ra có hệ số méo THD nhỏ (THD = 6,46% với phương pháp PWM1 và THD = 9,63% với phương pháp PWM2), dòng điện có dạng sin chỉ dưới tác dụng lọc của tải, dòng trung tính có giá trị nhỏ.

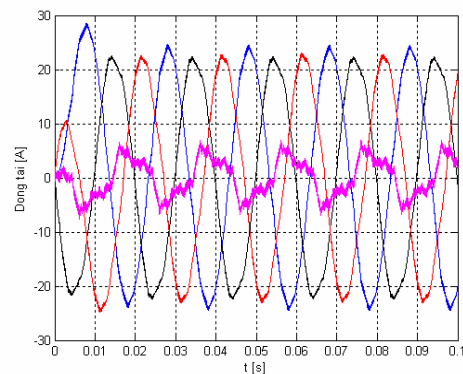
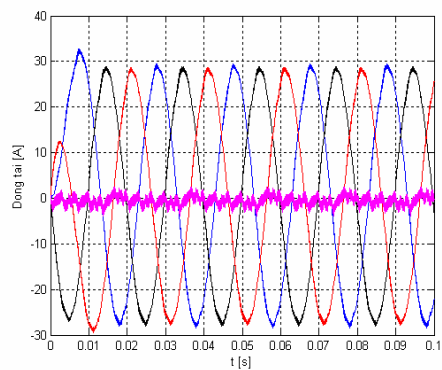


Hình 6. Mô hình mô phỏng bộ nghịch lưu 4 nhánh trên phần mềm Matlab.



a, Điện áp pha A theo phương pháp PWM1

b, Điện áp pha A theo phương pháp PWM2



c, Dòng điện tải theo phương pháp PWM1

d, Dòng điện tải theo phương pháp PWM2

Hình 7. Kết quả mô phỏng với $R = 5 \Omega$, $L = 0,02 \text{ H}$, $f = 50 \text{ Hz}$.

4. Kết luận

Bộ nghịch lưu 4 nhánh có khả năng cung cấp dây trung tính và điều khiển dòng trung tính, do đó cấu trúc này đáp ứng được các yêu cầu của hệ thống 3 pha – 4 dây và trong điều kiện tải mất đối xứng. Phương pháp điều chế vector không gian 3D được phát triển từ phương pháp điều chế vector không gian thông thường (2D SVM), do đó chúng kế thừa đầy đủ các ưu điểm của phương pháp SVM. Các kết quả mô phỏng cho thấy phương pháp 3D SVM áp dụng cho bộ nghịch lưu 4 nhánh đem lại hiệu quả tốt, tuy có một số vấn đề phức tạp về mặt thuật toán điều khiển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Richard Zhang – *High performance power converter systems for nonlinear and unbalanced load/source* - Blacksburg, Virginia, November 17, 1998.
- [2] Manuel A. Peralest, M. M. Prats, Ramón Portillo - *Three dimensional space vector modulation for four-leg inverters using natural coordinates* – IEEE, 2004.
- [3] Leopoldo Garcia Franquelo – *Three-dimensional space vector modulation algorithm for four-leg multilevel converters using abc coordinates* – IEEE, 2006.

Người phản biện: TS. Hoàng Đức Tuấn