

# NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO BIẾN TẦN BA PHA SVPWM TRÊN CÔNG NGHỆ ARM

STUDY ON MANUFACTURE THREE-PHASE INVERTER SVPWM WITH ARM TECHNOLOGY

Đặng Sơn Tùng<sup>1</sup>, Quách Đức Cường<sup>2,\*</sup>

## TÓM TẮT

Trong các hệ thống truyền động điện xoay chiều ba pha hiện đại thường sử dụng biến tần để điều khiển động cơ. Vấn đề khó khăn khi thiết kế biến tần là phải tạo ra dạng sóng hình sin với sóng hài nhỏ nhất. Phương pháp thiết kế biến tần dựa trên nguyên lý điều chế vector không gian (Space Vector Pulse Width Modulation - SVPWM) đã phần nào giải quyết được vấn đề khó khăn trên. Trong bài báo này chúng tôi giới thiệu sử dụng vi điều khiển số thiết kế biến tần ba pha theo nguyên lý điều chế vector không gian. Các kết quả của quá trình thực nghiệm được kiểm chứng trên mô hình phần cứng sử dụng chip ARM - 32bit Digital Signal Controller.

**Từ khoá:** SVPWM, DSPIC30F4011, biến tần, vi điều khiển.

## ABSTRACT

In modern three-phase AC systems, inverters are often used to drive motors. The difficulty of designing the inverter is to create the sine wave with the smallest harmonics. The method of designing the inverter based on the principle of space vector modulation (Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM) has partly solved the above problem. In this paper we introduce the use of numerical microcontrollers to design three-phase inverters based on the principle of spatial vector modulation. The results of the experimental process are verified on hardware models using ARM chips - 32bit Digital Signal Controller.

**Keywords:** SVPWM, DSPIC30F4011, inverter, microcontroller.

<sup>1</sup>Lớp Tự động hóa 3 - K10, Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup>Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: quachcuong304@gmail.com

## 1. GIỚI THIỆU

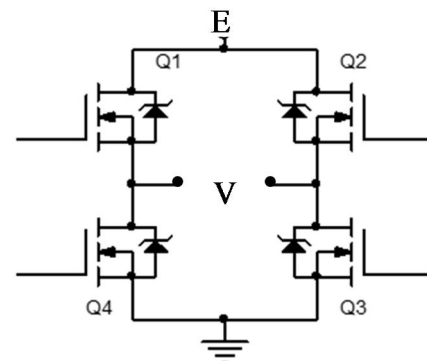
Thiết bị biến tần ba pha ngày nay thường sử dụng phương pháp điều chế vector không gian SVPWM. Ưu điểm của phương pháp chính là có thể tạo ra điện áp hình sin với sóng hài nhỏ. Ngoài chức năng điều chỉnh tần số có độ mịn cao phương pháp này còn cho phép trực tiếp điều chỉnh biên độ điện áp ba pha đầu ra của biến tần một cách dễ dàng. Cùng với sự phát triển của lý thuyết SVPWM, công nghệ chế tạo linh kiện điện tử công suất cũng có những bước tiến vượt bậc, đã đưa ra thị trường những van bán dẫn có công suất cao, hiệu suất lớn. Những yếu tố đó đã đưa công nghệ chế tạo biến tần bước sang một giai đoạn mới - giai đoạn của biến tần SVPWM. Những năm gần đây chúng ta có thể thấy các biến tần SPWM trong các sản

phẩm của các tập đoàn như Siemen, Mitsubishi, Omron... với tên gọi biến tần tích hợp công nghệ điều chế vector. Kịp thời cập nhật những xu hướng mới trong nguyên lý, công nghệ chế tạo biến tần, các hãng sản xuất chip cũng nhanh chóng cho ra đời những loại chip có tích hợp sẵn những module chức năng dành cho thiết kế biến tần điều khiển hệ truyền động điện xoay chiều ba pha như: chip vi xử lý DSP56F80x của Motorola, họ TMS320F2xxx của Texas Instruments và họ PIC18Fxx3x, dsPIC30Fx01x, Microchip...

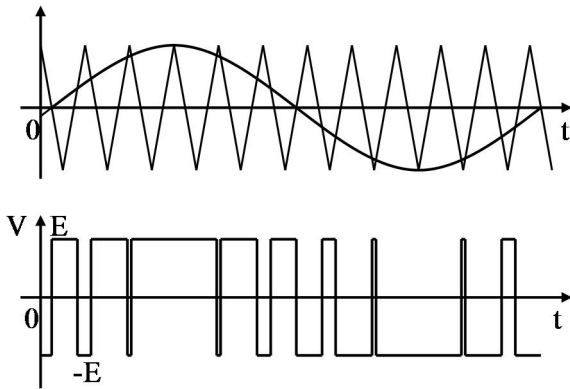
## 2. ĐIỀU BIẾN VECTOR KHÔNG GIAN CHO BIẾN TẦN NGUỒN ÁP

### 2.1. Nguyên lý điều biến độ rộng xung cho dạng sóng hình sin

Hình 1 là sơ đồ mạch động lực của biến tần một pha. Trong một thời điểm chỉ có một cặp van  $Q_1, Q_3$  hoặc  $Q_2, Q_4$  dẫn. Để tạo ra điện áp  $V$  hình sin người ta sẽ điều khiển các cặp van  $Q_1, Q_3$  và  $Q_2, Q_4$  đóng ngắt theo dựa trên giản đồ so sánh hình 2. Một tín hiệu sóng sin có tần số cần điều biến được so sánh với một chùm xung tam giác có tần số từ 5 - 50kHz. Nếu biên độ sóng sin lớn hơn biên độ sóng tam giác thì cặp van  $Q_1, Q_3$  được dẫn (cặp van  $Q_2, Q_4$  ngắt) và ngược lại nếu biên độ sóng sin nhỏ hơn biên độ sóng tam giác thì cặp van  $Q_2, Q_4$  dẫn và  $Q_1, Q_3$  ngắt. Như vậy điện áp  $V$  ở đầu ra là chùm xung vuông với độ rộng điều biến tỉ lệ với biên độ sóng sin. Nếu tần số sóng mang lớn, mạch có thêm bộ lọc L-C thì dòng điện trong mạch công suất sẽ có dạng hình sin. Áp dụng nguyên lý này kết hợp với phân tích vector không gian của điện áp ba pha người ta điều biến cho mạch điện ba pha gọi là phương pháp SVPWM [1, 2, 3].

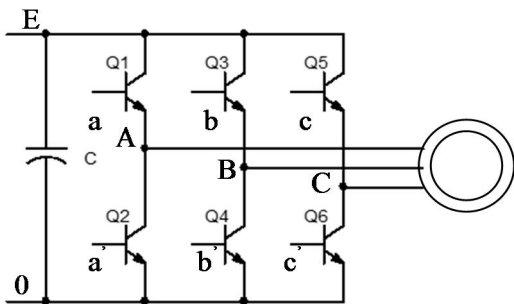


Hình 1. Biến tần một pha



Hình 2. Giản đồ điều chế sóng sin

**2.2. Nguyên lý điều biến vector không gian PWM cho biến tần ba pha**



Hình 3. Mạch động lực của biến tần

Sơ đồ mạch động lực của biến tần ba pha như trên hình 3. Gọi  $V_a, V_b$  và  $V_c$  là tín hiệu điện áp pha,  $V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}$  là điện áp dây của biến tần. Từ  $Q_1$  đến  $Q_6$  là sáu van công suất, các van này được điều khiển đóng mở bởi các tín hiệu  $a, a', b, b', c$  và  $c'$ . Khi một van ở dãy trên mở ( $a, b$  hoặc  $c$  có mức logic là 1) thì các van phía dưới cùng dãy với nó sẽ khóa ( $a', b'$  hoặc  $c'$  sẽ có mức logic là 0). Để tạo ra điện áp  $V_a, V_b$  và  $V_c$  hình sin người ta sẽ điều chỉnh đóng mở các van theo một chu trình xác định. Mỗi quan hệ giữa vector logic điều khiển  $[a \ b \ c]^T$  và điện áp đầu ra cho bởi phương trình (1) và (2).

Điện áp pha:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} E \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (1)$$

Điện áp dây:

$$\begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \\ V_{ca} \end{bmatrix} = E \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (2)$$

Trong đó E là nguồn cấp một chiều cho biến tần. Từ phương trình (1) ta có thể tạo ra 8 trạng thái điều khiển logic tương ứng sẽ có 8 vector điện áp chuẩn  $V_0, V_1, \dots, V_7$  như trong bảng 1 (điện áp pha sẽ bằng hệ số trong bảng 1 nhân với E). Các vector điện áp chuẩn có độ lớn  $2E/3$ , lệch nhau  $60^\circ$  và phân chia không gian vector thành 6 vùng

( $S_1, \dots, S_6$ ) như trên hình 4, những vector chuẩn này được sử dụng để điều chế điện áp ba pha.

Bảng 1. Vector điện áp chuẩn

Voltage vector	Tín hiệu điều khiển			Hệ số điện áp pha		
	a	b	c	$V_a$	$V_b$	$V_c$
$V_0$	0	0	0	0	0	0
$V_1$	1	0	0	$2/3$	$-1/3$	$-1/3$
$V_2$	1	1	0	$1/3$	$1/3$	$-2/3$
$V_3$	0	1	0	$-1/3$	$2/3$	$-1/3$
$V_4$	0	1	1	$-2/3$	$1/3$	$1/3$
$V_5$	0	0	1	$-1/3$	$-1/3$	$2/3$
$V_6$	1	0	1	$1/3$	$-2/3$	$1/3$
$V_7$	1	1	1	0	0	0

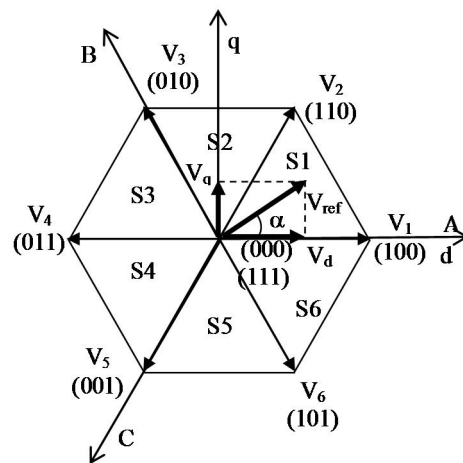
Ba vector điện áp hình sin lệch nhau một góc  $2\pi/3$  sẽ tạo ra một vector điện áp  $V_{ref}$  quay với tốc độ  $\omega$ , ( $\omega$  là tần số góc điện áp xoay chiều  $\omega = 2\pi f$ ). Để thực hiện thuật toán SVPWM ta đưa vào hệ trục tọa độ cố định d-q (hình 4), trục d trùng với trục pha A [1, 2]. Quan hệ chuyển đổi điện áp 3 pha sang hệ trục tọa độ cố định d-q cho bởi (3):

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

$V_{ref}$  được xác định như sau:

$$V_{ref} = \sqrt{V_d^2 + V_q^2} \quad (4)$$

$$\alpha = \omega t = 2\pi f t = \tan^{-1} \left( \frac{V_q}{V_d} \right) \quad (5)$$



Hình 4. Không gian vector

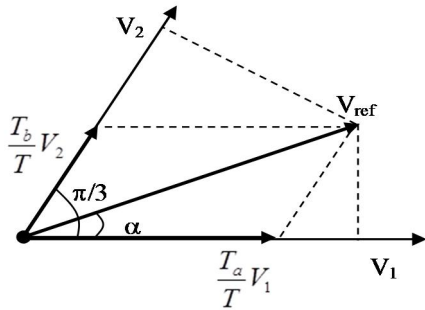
Cần chú ý rằng vector điện áp  $V_0$  và  $V_7$  tương ứng với các trường hợp toàn bộ 3 van trên  $Q_1, Q_3, Q_5$  hoặc 3 van dưới  $Q_2, Q_4, Q_6$  của biến tần khóa hoàn toàn, nên  $V_0 = V_7 = 0$  trùng với gốc tọa độ. Thực chất của việc tạo ra điện áp xoay chiều ba pha là quá trình đóng ngắt sáu van  $Q_1, Q_2, \dots, Q_6$  hình thành nên vector điện áp  $V_{ref}$ . Quá trình điều chế vector  $V_{ref}$

từ 6 vector chuẩn  $V_1, V_2, \dots, V_6$  như sau. Giả sử vector  $V_{ref}$  nằm ở góc phần sáu đầu tiên  $S_1$  (khoảng giữa hai vector  $V_1$  và  $V_2$ ). Để thực hiện  $V_{ref}$  trong một thời gian  $T$ , ta có thể thực hiện  $V_1$  trong thời gian  $T_a$  và thực hiện  $V_2$  trong thời gian  $T_b$ , [1, 3, 4].

$$\int_0^T V_{ref} dt = \int_0^{T_a} V_1 dt + \int_{T_a}^{T_a+T_b} V_2 dt + \int_{T_a+T_b}^{T-T_a-T_b} V_0 dt \text{ (or } V_7 dt)$$

$$TV_{ref} = T_a V_1 + T_b V_2 + T_0 V_0 \text{ (or } T_0 V_7)$$

Với  $T = T_a + T_b + T_0$



Hình 5. Điều chế vector  $V_{ref}$  trong vùng  $S_1$

$T_0$  là khoảng thời gian ngưng dẫn các van, tương ứng với vector điện áp  $V_0(000)$  hoặc  $V_7(111)$  trong bảng 1, do  $V_0$  và  $V_7$  có biên độ bằng không cho nên:

$$V_{ref} = \frac{T_a}{T} V_1 + \frac{T_b}{T} V_2$$

Từ hình 5 và phương trình (7) ta có:

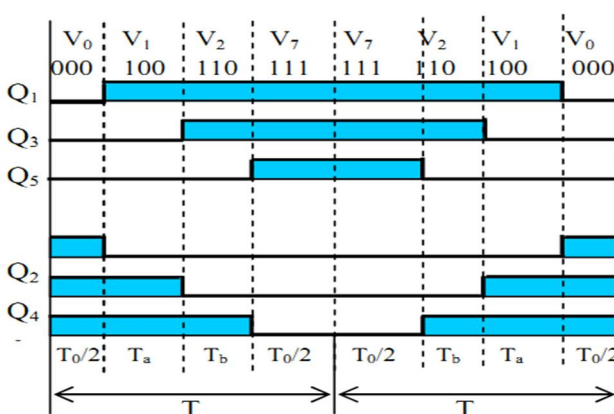
$$V_{ref} \sin(\alpha) = \frac{T_b}{T} V_2 \sin\left(\frac{\pi}{3}\right)$$

$$V_{ref} \sin\left(\frac{\pi}{3} - \alpha\right) = \frac{T_a}{T} V_1 \sin\left(\frac{\pi}{3}\right)$$

Thay  $V_1 = V_2 = 2E/3$

$$T_a = T \frac{\sqrt{3}V_{ref}}{E} \sin\left(\frac{\pi}{3} - \alpha\right)$$

$$T_b = T \frac{\sqrt{3}V_{ref}}{E} \sin(\alpha)$$



Hình 6. Giải đồ đóng cắt trong vùng  $S_1$

Công thức tổng quát tính  $T_a, T_b$  cho tất cả các miền  $S$ :

$$T_a = T \frac{\sqrt{3}V_{ref}}{E} \sin\left(\frac{n}{3}\pi - \alpha\right)$$

$$T_b = T \frac{\sqrt{3}V_{ref}}{E} \sin\left(\alpha - \frac{n-1}{3}\pi\right)$$

Trong đó,  $n = 1, 2, \dots, 6$  tương ứng với các vùng  $S_1, S_2, \dots, S_6$ . Thông thường sóng mang để điều chế  $V_{ref}$  có dạng đối xứng, một chu kỳ cập nhật dữ liệu  $T_a, T_b$  cho điều chế  $V_{ref}$  bằng hai chu kỳ  $T$  như trên hình 6. Căn cứ vào vị trí các vùng điều chế, thứ tự các vector điều chế, điện áp trong từng vùng lập được bảng 2 diễn tả thời gian đóng cắt của các van công suất.

Bảng 2. Thời gian đóng cắt van trên các vùng

Vùng	Cụm van trên ( $Q_1, Q_3, Q_5$ )	Cụm van dưới ( $Q_2, Q_4, Q_6$ )
S1	$Q_1 = T_a + T_b + T_0/2$	$Q_4 = T_0/2$
	$Q_3 = T_b + T_0/2$	$Q_6 = T_a + T_0/2$
	$Q_5 = T_0/2$	$Q_2 = T_a + T_b + T_0/2$
S2	$Q_1 = T_a + T_0/2$	$Q_4 = T_b + T_0/2$
	$Q_3 = T_a + T_b + T_0/2$	$Q_6 = T_0/2$
	$Q_5 = T_0/2$	$Q_2 = T_a + T_b + T_0/2$
S3	$Q_1 = T_0/2$	$Q_4 = T_a + T_b + T_0/2$
	$Q_3 = T_a + T_b + T_0/2$	$Q_6 = T_0/2$
	$Q_5 = T_b + T_0/2$	$Q_2 = T_a + T_0/2$
S4	$Q_1 = T_0/2$	$Q_4 = T_a + T_b + T_0/2$
	$Q_3 = T_a + T_0/2$	$Q_6 = T_b + T_0/2$
	$Q_5 = T_a + T_b + T_0/2$	$Q_2 = T_0/2$
S5	$Q_1 = T_b + T_0/2$	$Q_4 = T_a + T_0/2$
	$Q_3 = T_0/2$	$Q_6 = T_a + T_b + T_0/2$
	$Q_5 = T_a + T_b + T_0/2$	$Q_2 = T_0/2$
S6	$Q_1 = T_a + T_b + T_0/2$	$Q_4 = T_0/2$
	$Q_3 = T_0/2$	$Q_6 = T_a + T_b + T_0/2$
	$Q_5 = T_a + T_0/2$	$Q_2 = T_b + T_0/2$

**Các bước điều chế vector PWM**

**Bước 1:** Căn cứ vào yêu cầu của điện áp ba pha  $V_a, V_b$  và  $V_c$  tính  $V_d, V_q, V_{ref}$  cùng góc quay  $\alpha$

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

$$V_{ref} = \sqrt{V_d^2 + V_q^2}$$

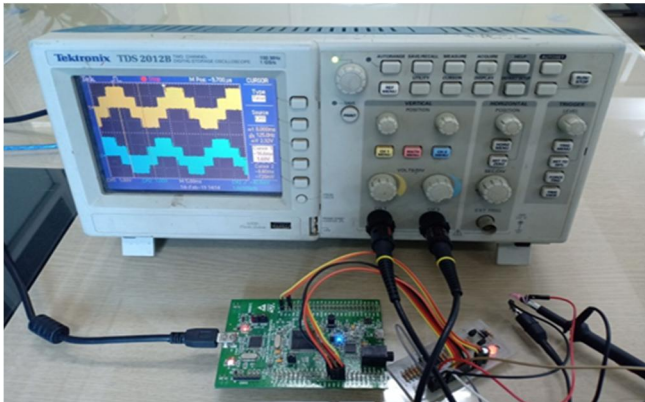
$$\alpha = \omega t = 2\pi f t = \tan^{-1}\left(\frac{V_q}{V_d}\right)$$

**Bước 2:** Từ góc quay  $\alpha$  xác định vị trí vector  $V_{ref}$  đang thuộc vùng điều chế nào. Tính  $T_a, T_b$  theo công thức (12) và (13).

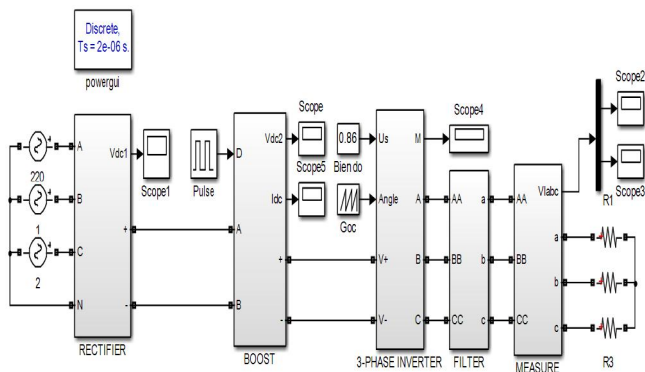
**Bước 3:** Dựa trên giá trị  $\alpha$  xác định vị trí vector  $V_{ref}$ . Từ đó lựa chọn van đóng mở theo chu trình phân bố thời gian trên bảng 2.

**3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM**

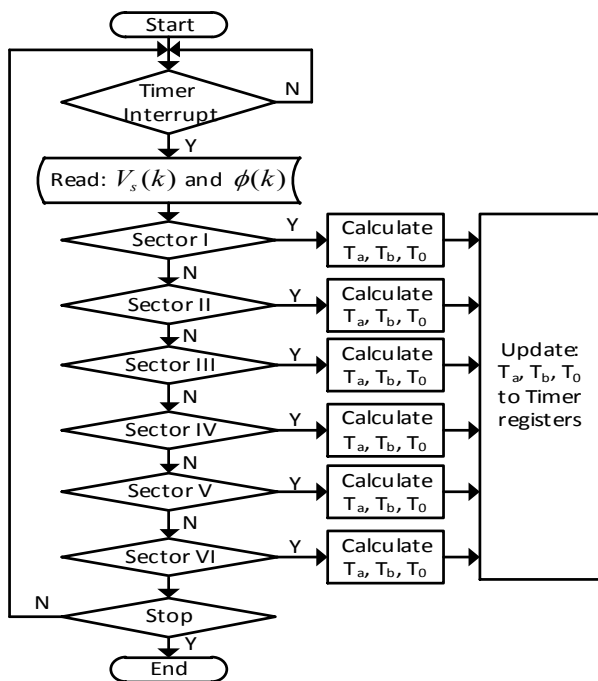
**3.1. Mô hình phần cứng**



Hình 7. Mô hình thực nghiệm điều chế SVPWM cho biến tần ba pha hai mức



Hình 8. Mô phỏng biến tần trên MATLAB&SIMULINK



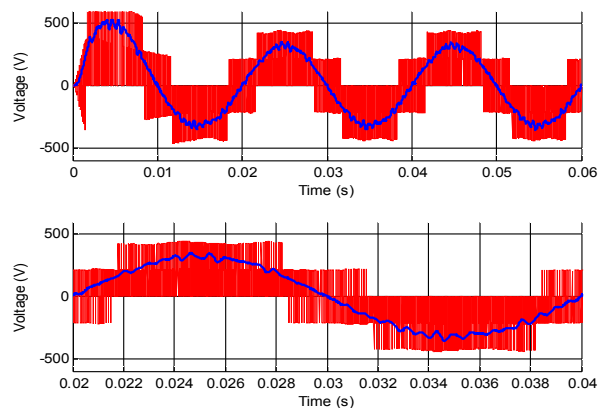
Hình 9. Giải thuật điều chế SVPWM

Mô hình thực nghiệm sử dụng chip ARM - 32bit Digital Signal Controller, đây là bộ điều khiển số (Digital Signal Controller) 32-bit của hãng ST. Trên lõi chip ARM - 32bit Digital Signal Controller tích hợp 48 Kbytes Flash ROM chương trình, 2 Kbytes RAM và 1 Kbytes EEPROM dữ liệu, tốc độ tính toán lên tới 30 MIPS [5]. Ngoài ra trên chip cũng tích hợp sẵn các module chức năng dành cho điều khiển, và giao tiếp như: PWM, QEI, ADC, TIMER, UART, CAN, I2C, SPI...[8]. Chip được cài đặt hoạt động với tốc độ 20 MIPS và điện áp nguồn nuôi 5VDC.

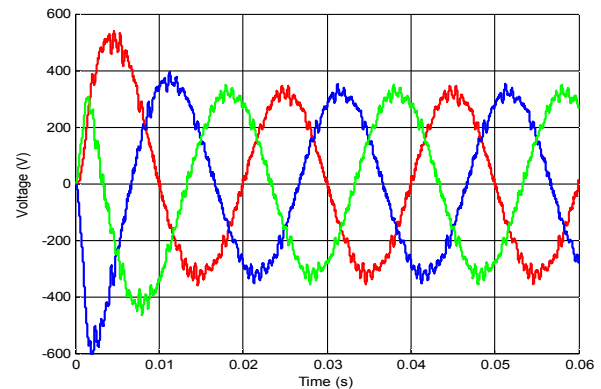
Module dành cho điều khiển biến tần là PWM, PWM module bao gồm 3 kênh - 6 đường điều khiển để điều khiển 6 van công suất của biến tần. Tần số sóng mang lên tới hàng chục kHz, hình dạng của sóng mang có thể cài đặt ở dạng đối xứng hoặc phi đối xứng. Độ phân giải lên tới 16 bit. Cho phép lập trình thời gian ngưng dẫn khi chuyển đổi trạng thái logic trên một nhánh van. Trong quá trình thực nghiệm, thời gian ngưng dẫn được cài đặt 1 $\mu$ s.

**3.2. Kết quả thí nghiệm trên chip ARM - 32bit Digital Signal Controller**

Hình 10 thể hiện điện áp pha ứng với tần số điều biến 50 Hz, tần số sóng mang 1kHz, tải điện trở. Trường hợp 10a là giảm độ điện áp không sử dụng bộ lọc và 10b có sử dụng bộ lọc L-C. Tín hiệu điện áp ra của biến tần dạng chùm xung với độ rộng được điều biến tỷ lệ với biên độ điện áp hình sin. Khi sử dụng bộ lọc L-C cho thấy sóng hài đã giảm đáng kể.



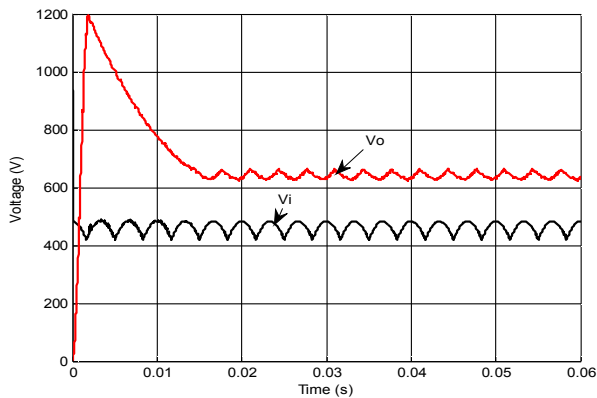
Hình 10. Sóng điện áp pha khi sử dụng bộ lọc và khi không sử dụng bộ lọc



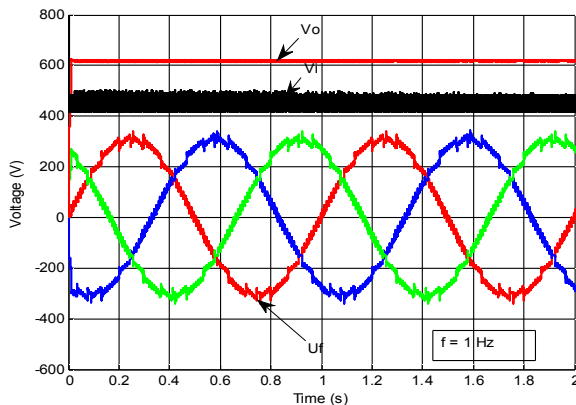
Hình 11. Điện áp 3 pha

Hình 11 là khâu nghịch lưu SVPWM có các tham số: tần số băm xung 10kHz; hệ số điều chế 0,86 (điều chế dạng sóng sin); tải 3 pha  $3 \times 300\Omega$ ; sử dụng bộ lọc công suất LCL có các tham số 3mH-3uF-3mH. Kết quả đáp ứng sóng điện áp pha như trên hình 11.

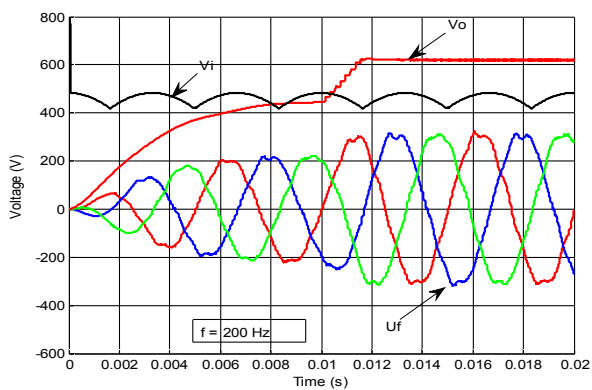
Hình 12 mô phỏng tính năng bộ tăng áp một chiều, hệ thống thử nghiệm với các tham số: điện trở tải  $R = 360\Omega$ ; hệ số điều chế 0,26; nguồn điện xoay chiều ở mức thấp nhất  $U_f = 220 \times 0,9 = 198V$ .



Hình 12. Điện áp vào và điện áp ra của khâu tăng áp DC



Hình 13. Thử nghiệm khi tần số điện áp ba pha là 1Hz



Hình 14. Thử nghiệm khi tần số điện áp ba pha là 200Hz

#### 4. KẾT LUẬN

Biến tần SVPWM có chất lượng sóng hài nhỏ nếu tần số sóng mang cao và bộ lọc L-C có công suất đủ lớn. Nguyên lý SVPWM không chỉ cho phép điều chỉnh tần số mà còn trực tiếp điều khiển biên độ điện áp đầu ra của biến tần thông qua việc đặt giá trị  $V_{ref}$ . Tuy nhiên để đảm bảo sóng hài trong phạm vi cho phép thì mức độ điều chỉnh biên độ điện áp này cũng phải nằm trong giới hạn nhất định.

Vi điều khiển số 32 bit ARM - 32bit Digital Signal Controller của hãng ST có đủ tính năng cần thiết cho thiết kế biến tần chuyên dụng, với tốc độ cao, độ phân giải PWM lớn, tích hợp nhiều chức năng ADC, QEI... rất phù hợp với thiết kế các biến tần điều khiển động cơ xoay chiều ba pha.

Bài báo chỉ phân tích và thực hiện giải thuật SVPWM trên chip ARM - 32bit Digital Signal Controller, một số chức năng đầy đủ của một biến tần hoàn chỉnh như độ an toàn, độ tin cậy, tính tương thích với hệ thống công nghiệp... chưa được đề cập đến.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Quách Đức Cường, Nguyễn Văn Đoàn 2019. Điều chế vectơ không gian cho biến tần ba pha hai mức trên hệ thống nhúng ARM Cortex. Hội nghị khoa học HaUI lần thứ III (5/2019)
- [2]. Trần Trọng Minh. Điện tử công suất. Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [3]. Nguyễn Bình. Điện tử công suất.
- [4]. Nguyễn Văn Nhờ. Giáo trình Điện tử công suất.