

# MỘT SỐ GIẢI THUẬT ĐIỀU CHẾ ĐƠN GIẢN, HIỆU QUẢ CHO NGHỊCH LƯU ÁP ĐA BẬC

• Nguyễn Văn Nhờ

Phạm Xuân Hồ

## ABSTRACT

*This paper proposes a modulation strategy for multilevel inverters, which selects voltage vectors that generate minimum common mode voltage in the load, working at low switching frequency. The total harmonic distortion, the number of commutations and the linearity are also studied. Experimental results confirm that the proposed method is the simplest, highly effective and highly suited inverters with a every number of levels.*

## I. GIỚI THIỆU:

Trong những năm gần đây những nghiên cứu về nghịch lưu đa bậc phát triển nhanh chóng và đã mang lại nhiều cải tiến trong phương pháp điều chế. Nhiều kỹ thuật điều chế đơn giản và linh hoạt [1][3][4][6] hơn so với phương pháp điều chế vector không gian cổ điển.[5] Do sự hạn chế của phương pháp SVPWM cổ điển phải lập trình phức tạp các vector quay trong hệ trục tọa độ, xác định vị trí và thời gian vector tác động cũng như việc xác định chọn lọc vector redundant thích hợp và do vậy trong quá trình điều chế cần nhiều bảng tra. Những phương pháp cải tiến sau này đã giải quyết các khó khăn trên bằng việc sử dụng mối tương quan của phương pháp SVPWM với kỹ thuật cơ bản điều chế sóng mang, để giải quyết các khoảng cách tồn tại giữa 2 phương pháp trên các nhà nghiên cứu đã đưa vào các hàm offset cộng thêm với tín hiệu điều chế. Hiểu về mối quan hệ tương đồng giữa SVPWM và CPWM một cách sâu sắc thì mới có thể thiết kế các hàm offset thích hợp và hiệu quả. Những phân tích lý thuyết và mối tương quan giữa SVPWM và CPWM hầu như đã được giải quyết trọn vẹn bởi việc dùng các hàm offset làm cho việc điều chế theo phương pháp SVPWM được thực hiện dễ dàng và đơn giản hơn trên sóng mang và tín hiệu điều chế, giảm nhẹ việc tính toán và không cần tra bảng trong quá trình điều chế.[4]

Mặc dù có nhiều ưu điểm của PWM như cho đặc tính điều chế tuyến tính, nhưng các phương pháp này tồn tại khuyết điểm chung là tổn hao đóng ngắt lớn và tỷ lệ hài cao. Với mục đích giảm tổn hao đóng ngắt và tỷ lệ hài THD phương pháp điều chế SVC (Space Vector Control) điều chế gián đoạn 1 vector ra đời [1][2]. Tuy nhiên thực hiện phương pháp SVC trên hệ thống vector quay trong hệ tọa độ phức vẫn còn rất nhiều phức tạp trong lập trình điều khiển.

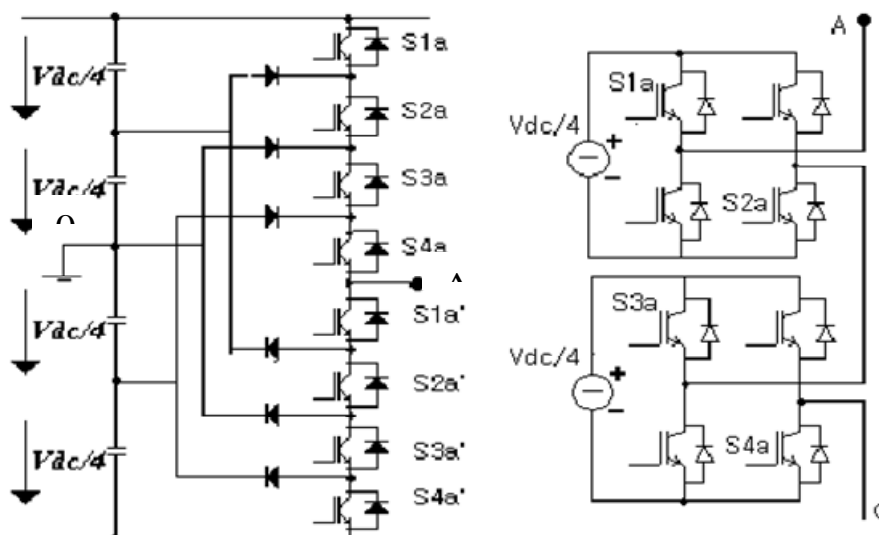
Bài báo này trình bày một đề nghị về chiến lược điều chế đơn giản dễ thực hiện cũng dựa theo phương pháp điều chế gián đoạn 1 vector nhưng mang lại hiệu quả cao trong điều khiển động cơ, giảm tổn hao đóng ngắt, giảm tỷ lệ hài và ảnh hưởng của điện áp common mode. Các vấn đề về cấu trúc mạch nghịch lưu sẽ trình bày cụ thể trong phần II. Phần III sẽ đề cập các nguyên lý cơ bản của giải thuật đề nghị. Sự tương quan trong giải pháp điều chế so với phương pháp SVC. Các kết quả điều chế và phân tích thực hiện bằng mô phỏng trong phần mềm PSIM sẽ trình bày trong phần IV. Phần V trình bày kết quả mô phỏng điều khiển động cơ bằng giải pháp nghịch lưu đề nghị. Cuối cùng là những kết luận nhận xét của người thực hiện nghiên cứu.

## II. CẤU TRÚC MẠCH NGHỊCH LƯU ÁP ĐA BẬC:

Cấu trúc mạch nghịch lưu áp đa bậc thường sử dụng trong nghiên cứu và thử nghiệm là 2 dạng cơ bản Cascade và Diode Clamped.

Trong giới hạn bài báo này chưa xem xét tới sự cân bằng nguồn. Nhưng để thuận tiện theo dõi và tương đồng kết quả điện áp ra sau nghịch lưu, so sánh các kết quả mô phỏng ở đây có sự thống nhất cho cách đặt tên các khóa ngắt dẫn trong 1 pha và nguồn DC (như Hình 1).

### III. CHIẾN LƯỢC ĐIỀU CHẾ ĐỀ NGHỊ

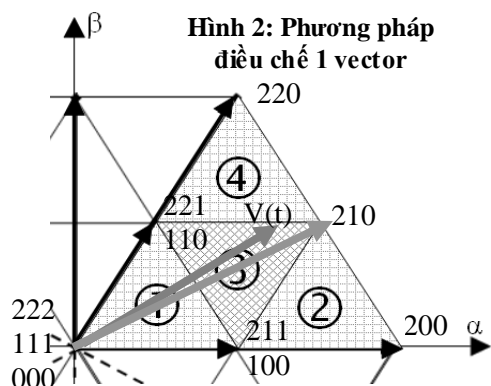


Hình 1: Sự thống nhất tên các khóa và nguồn DC trong pha a nghịch lưu 5 bậc

Vector  $V(t)$  thể hiện trong hệ tọa độ phức được xem là tổng hợp 3 vector điện áp pha:

$$V(t) = \frac{2}{3} [v_{AN}(t) + a.v_{BN}(t) + a^2.v_{CN}(t)]$$

(AN, BN, CN là điện áp các pha so với trung tính) (3-1).



Hình 2: Phương pháp điều chế 1 vector

Điều này cho thấy thực hiện 1 trạng thái  $V(t)$  quay trong mặt phẳng phức tương đương

Trong quá trình điều chế gián đoạn một vector, vector tham khảo  $V(t)$  quay trong mặt phẳng phức chứa tập hợp các vector cơ bản và các trạng thái redundant của nghịch lưu đa bậc. Khi vector  $V(t)$  đến gần vector cơ bản nào nhất nó sẽ chọn vector đó làm đại diện và thực hiện theo trạng thái redundant phù hợp nhất của vector này.

thực hiện trạng thái đồng thời của 3 vector pha lệch nhau 120 độ có biên độ liên quan trong công thức (3-1).

Mỗi trạng thái cơ bản của vector điều khiển  $V(t)$  là tập hợp trạng thái 3 vector 3 pha thành phần. Các trạng thái vector cơ bản và redundant trong nghịch lưu đa bậc kế cận nhau có thể xem là sự thay đổi của 1 trong 3 trạng thái pha (thí dụ: 211 sang 210 là thay đổi trạng thái pha C, 211 sang 221 là thay đổi trạng thái pha B). Sự thay đổi trạng thái kế cận cũng chính là số bậc dẫn của 1 trong số 3 pha của mạch nghịch lưu.

Chọn mức so sánh chuyển trạng thái dẫn là giá trị trung bình DC giữa 2 bậc điều chế kế cận trên 1 pha ta có thể thu được kết quả điều chế gần sát với quá trình điều chế SVC (Single Vector Control)

Chiến lược điều chế có thể mô tả như sau:

Tín hiệu Sin các pha có biên độ tính từ quan hệ công thức (3-1) với vector tham khảo được đưa vào bộ so sánh với các giá trị trung bình DC của các bậc điều chế để cho ra tín hiệu điều chế. Tín hiệu điều chế thu được sử dụng điều chế các khóa ngắt dẫn theo quy luật điều chế của mạch nghịch lưu.

Biên độ tín hiệu Sin các pha được tính cho các pha nghịch lưu n bậc như sau:

$$V_A = m \cdot \frac{n-1}{\sqrt{3}} \cos(2\omega t) \quad (3-2a)$$

$$V_B = m \cdot \frac{n-1}{\sqrt{3}} \cos(2\omega t - 120^\circ) \quad (3-2b)$$

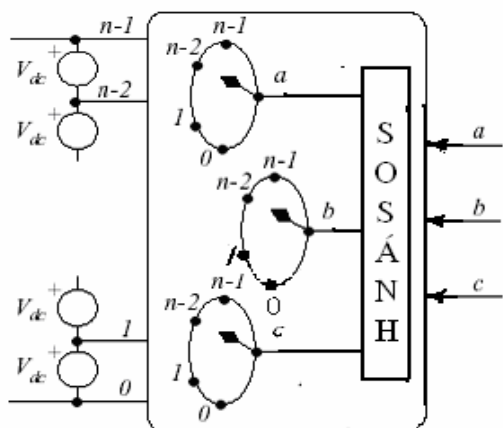
$$V_C = m \cdot \frac{n-1}{\sqrt{3}} \cos(2\omega t - 240^\circ) \quad (3-2c)$$

Trong đó:

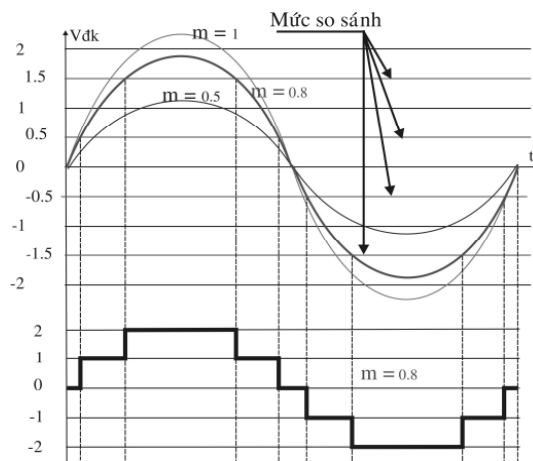
n: là số bậc của nghịch lưu đa bậc;

m: là chỉ số điều chế biên độ của vector tham khảo  $V(t)$

Mô tả hoạt động điều chế ở nghịch lưu 5 bậc như Hình 3 sau:



Hình 3a: Hoạt động của chiến lược điều chế đề nghị



Hình 3b: Hoạt động điều chế so sánh 1 pha của chiến lược điều chế đề nghị

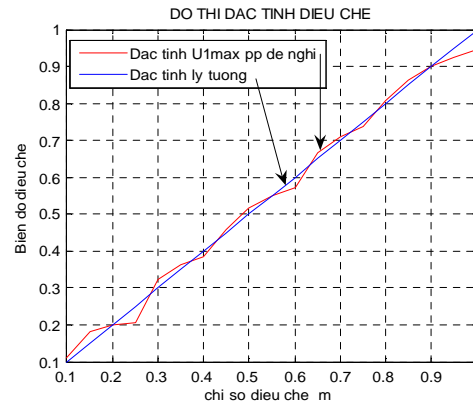
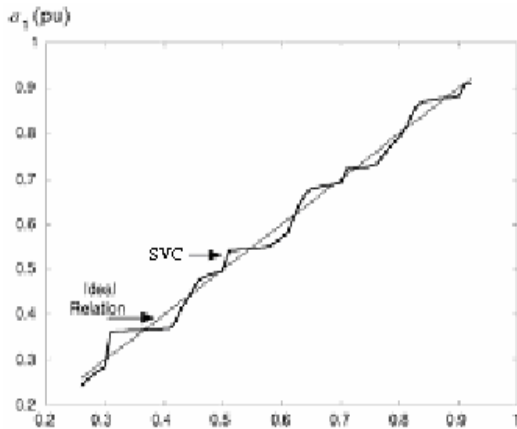
#### IV. MÔ HÌNH VÀ KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Chiến lược điều chế đề nghị được thực hiện mô hình mô phỏng trên phần mềm PSIM với mạch nghịch lưu dạng Diode Clamped. Kết quả cho thấy đặc tính điều chế không thể tuyến tính vì bản chất của điều chế một vector nhưng đặc tính của phương pháp đề nghị ít bão hòa hơn so với PP SVC. Khi số bậc càng cao thì đặc tính càng gần tuyến tính hơn và có khả năng điều chế chỉ số điều chế ở biên độ nhỏ cũng như tỷ lệ hài cao

$$\left( THD = \frac{\sqrt{V_{rms}^2 - V_1^2}}{V_1} \right)$$
 ít hơn. Để thuận tiện so sánh sau đây cùng thống nhất dùng

$$1V_{pu} = \frac{V_{DC}}{\sqrt{3}}$$
 khi tính biên độ điện áp

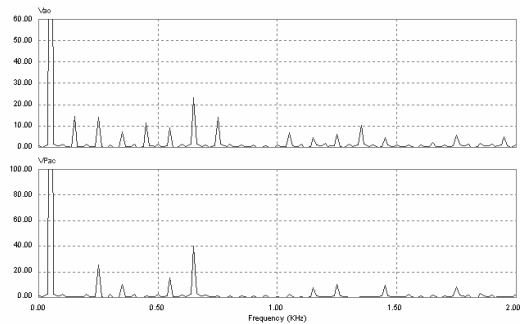
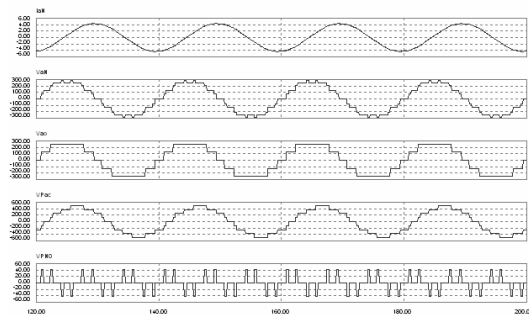
pha tải và chỉ số điều chế 
$$m = \frac{V(t) \cdot \sqrt{3}}{V_{DC}}$$



**Hình 4 : Đặc tính điều chế của pp SVC và pp nghịch lưu đề nghị 11 bậc**

Kết quả mô phỏng trên PSIM với  $U_{DC} = 500V$  tải  $R = 10\Omega$ ;  $L = 0.2 H$ ;  $m = 0.9$  của nghịch lưu đề nghị 5 bậc. Các dạng sóng dòng  $I_A$ ; Điện áp pha tải  $V_{AN}$ ; Điện áp pha

$V_{A0}$ ; Điện áp dây  $V_{AC}$ ; Điện áp Common Mode  $V_{CM}$ , cùng phân tích phổ hài của  $V_{A0}$  và  $V_{AC}$  trong vùng 20% hài cơ bản (Hình 5).

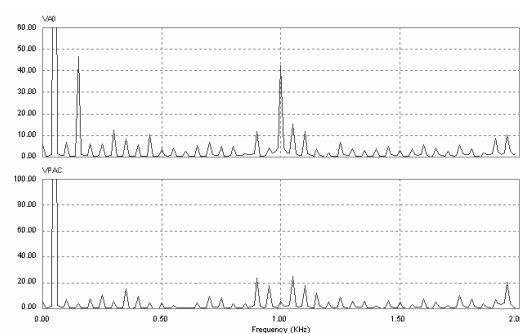
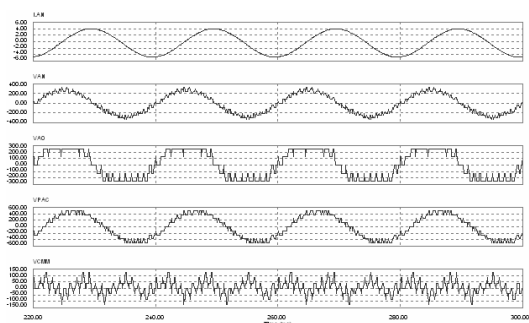


**Hình 5a: Các dạng sóng dòng điện  $I_A$ ; điện áp  $V_{AN}$ ;  $V_{A0}$ ;  $V_{AC}$ ;  $V_{CM}$ ;**

**Hình 5b: phân tích phổ điện áp pha  $V_{A0}$  và điện áp dây  $V_{AC}$  nghịch lưu 5 bậc đề nghị**

So sánh kết quả mô phỏng với phương pháp Carrier based SVPWM Common Mode cực

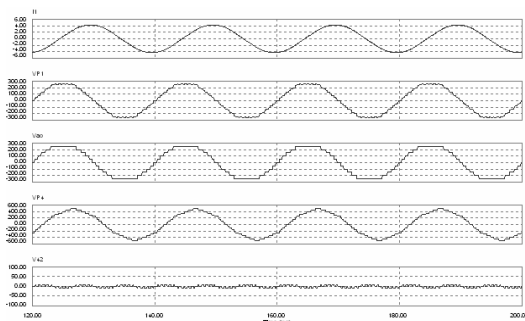
tiểu (Hình 6) với cùng điều kiện như phương pháp đề nghị.



**Hình 6a: Các dạng sóng dòng điện  $I_A$ ; điện áp  $V_{AN}$ ;  $V_{A0}$ ;  $V_{AC}$ ;  $V_{CM}$ ;**

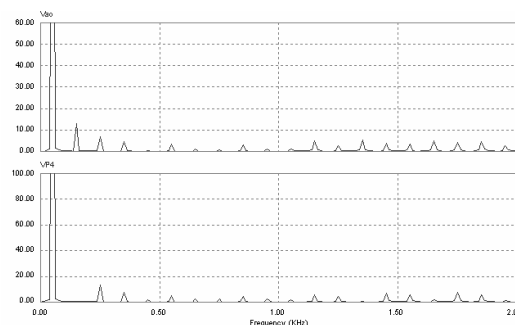
**Hình 6b: Phân tích phổ điện áp pha  $V_{A0}$  và điện áp dây  $V_{AC}$  Nghịch lưu SVPWM CM cực tiểu 5 bậc**

Rõ ràng với phương pháp điều chế đề nghị tỉ lệ cũng như biên độ các hài bậc cao giảm rõ rệt. Hài bậc cao càng giảm khi số bậc càng



**Hình 7a:** Các dạng sóng dòng điện  $I_A$ ; điện áp  $V_{AN}$ ;  $V_{A0}$ ;  $V_{AC}$ ;  $V_{CM}$

cao (như Hình 7). Xem xét ở 11 bậc với cùng điều kiện, điện áp Commom Mode cũng rất nhỏ.



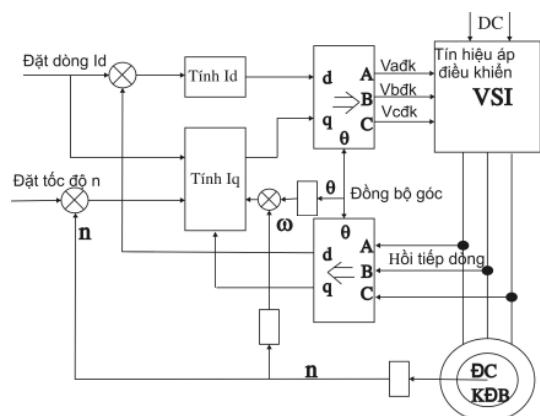
**Hình 7b:** Phân tích phổ điện áp pha  $V_{A0}$  và điện áp dây  $V_{AC}$  nghịch lưu áp đề nghị 11 bậc

### V. MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ KĐB XOAY CHIỀU 3 PHA:

Để kiểm chứng chi tiết mạch nghịch lưu áp đa bậc đề nghị, tác giả vận dụng mạch điều khiển trên hệ truyền động động cơ không đồng bộ 3 pha dựa trên phương thức điều khiển từ thông (Flux Vector Control).

(Phương thức điều khiển từ thông xác định theo mô hình ở hình 8)

Với phương thức điều khiển theo từ thông, hệ thống điều khiển động cơ KĐB



**Hình 8:** Sơ đồ khối truyền động

xoay chiều 3 pha cũng có thể điều khiển độc lập từ 2 thành phần là dòng tạo từ thông và dòng tạo moment thông qua việc chuyển đổi từ vector dòng 3 pha quay về 2 thành phần vector trên hệ trục tọa độ không gian. Do vậy việc điều khiển động cơ không đồng bộ

xoay chiều 3 pha sẽ được tính toán tương tự như điều khiển động cơ một chiều.

Phương trình chuyển đổi dòng 3 pha ( $I_A, I_B, I_C$ ) sang dòng tạo từ thông  $I_d$  và dòng tạo moment  $I_q$  trong hệ trục không gian dq như sau:

$$I_d = \frac{2}{3} (\cos(\theta)I_A + \cos(\theta - 2\pi/3)I_B + \cos(\theta + 2\pi/3)I_C)$$

$$I_q = \frac{2}{3} (\sin(\theta)I_A + \sin(\theta - 2\pi/3)I_B + \sin(\theta + 2\pi/3)I_C)$$

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_A + I_B + I_C)$$

Phương trình chuyển đổi dòng tạo từ thông  $I_d$  và dòng tạo moment  $I_q$  sang tín hiệu áp điều khiển nghịch lưu như sau:

$$V_A = \cos(\theta)I_d + \sin(\theta)I_q + I_0$$

$$V_B = \cos(\theta - 2\pi/3)I_d + \sin(\theta - 2\pi/3)I_q + I_0$$

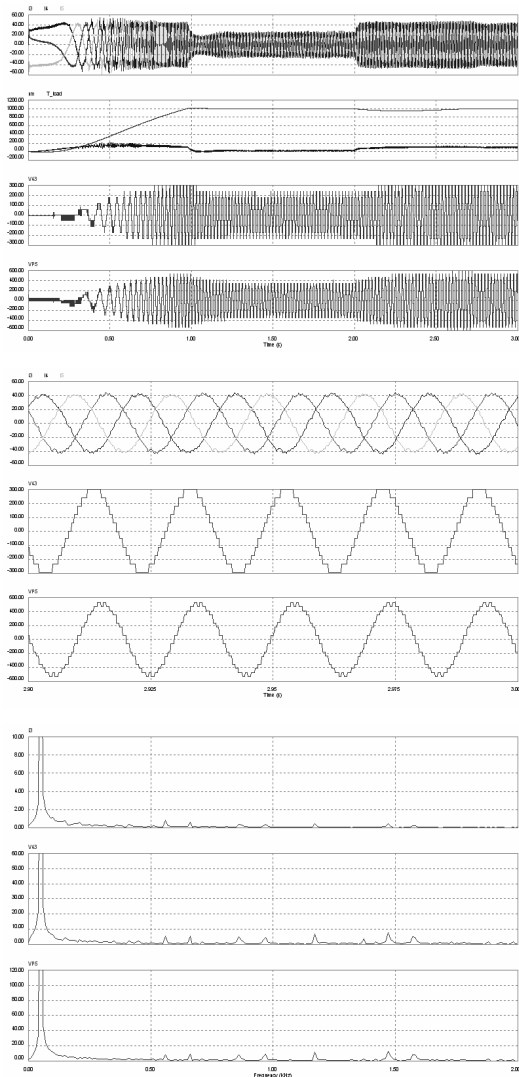
$$V_C = \cos(\theta + 2\pi/3)I_d + \sin(\theta + 2\pi/3)I_q + I_0$$

Kết quả thu được từ mô hình mô phỏng trên phần mềm PSIM với số liệu mô phỏng như sau:  $U_{DC} = 600V$ ;  $I_d$  đặt = 16A; n đặt = 1000V/ph.

Thông số ĐCKĐB:  $U_{dm} = 220V$ ;  $f_{dm} = 50Hz$ ;  $R_s = 0.294\Omega$ ;  $L_s = 0.00139H$ ;  $R_r = 0.159\Omega$ ;  $L_r = 0.00074H$ ;  $L_m = 0.041H$ ;  $P = 6$ ;  $J = 0.01 \text{ kg.m}^2$ .

Thông số tải: 20Nm sau 2s chuyển sang 100Nm.  $J_{load} = 0.8 \text{ kg.m}^2$

Các kết quả về dạng sóng dòng điện 3 pha, điện áp pha  $V_{A0}$  điện áp dây  $V_{AC}$  và đặc tính tốc độ và đặc tính moment và kết quả phân tích hài vùng 20% hài cơ bản (Hình 9).



**Hình 9: Kết quả thu được từ hệ truyền động động cơ NL 11 bậc**

## VI. KẾT LUẬN:

Qua kết quả mô phỏng và thực nghiệm cho thấy phương pháp điều chế đề nghị phát huy

được ưu điểm là đơn giản dễ thực hiện điều chế cho mọi bậc của nghịch lưu áp đa bậc. Nó còn chứng tỏ rằng tổn hao đóng ngắt, điện áp Common Mode và tỉ lệ hài THD giảm xuống rất thấp, nhất là khi số bậc tăng. Phạm vi ứng dụng trong truyền động điều khiển động cơ là thực tế, phát triển ứng dụng phương pháp này vào thực hiện các nghịch lưu áp đa bậc dùng cho các bộ truyền động sẽ mang lại hiệu quả cao.

## VII. TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. José Rodríguez “A New Modulation Method to Reduce Common Mode Voltages in Multilevel Inverter” IEEE Vol 51 No 4 August 2004
2. José Rodríguez “A Vector Control Technique for Medium Voltage Multilevel Inverter” IEEE Vol 49 No 4 August 2002.
3. José Rodríguez, S.Kouro, J.Rebolledo and J.Pontt “A Reduced Switching Frequency Modulation Algorithm for High Power Multilevel Inverter” IEEE 4/05/2005.
4. NVNho, M J Youn “An comprehensive study on SVPWM - Carrier based PWM correlation for multilevel inverters”. IEEE Proceedings Electric Power Applications. 2005 (in press).
5. Nikola Celanovic “Space Vector Modulation and Control of Multilevel Converters” Ph.D dissertation University Virginia.
6. Vladimir Blasko “A hybrid PWM strategy combining modified space vector and triangle comparison method” Proc Conf PESC. Pp 1872-1878. 1996.