

# ĐIỀU KHIỂN THÔNG MINH CẦU NGHỊCH LƯU BA PHA LOẠI BỎ DÒNG TRÙNG DẪN VỚI LUẬT CHUYỂN MẠCH 180°

## INTELLIGENT CONTROL OF THREE TRAFFIC DEMAND FOR REMOVERING INSTRUCTOR LINES WITH CIRCUIT SWITCH 180°

Lê Văn Anh

*Khoa Điện, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp*

Đến Tòa soạn ngày 25/03/2020, chấp nhận đăng ngày 20/05/2020

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày thuật điều khiển thông minh các khóa chuyển mạch cầu nghịch lưu ba pha ở luật chuyển mạch 180° để điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha nhằm loại bỏ dòng điện trùng dẫn. Các kết quả được khảo sát đánh giá bằng mô hình mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink. Mô hình cho phép đánh giá so sánh chất lượng điện áp được điều chế giữa phương pháp cải tiến và cổ điển, đồng thời chỉ ra rằng với luật chuyển mạch cầu nghịch lưu ba pha cải tiến đã loại bỏ được dòng điện trùng dẫn trong các nhánh của cầu nghịch lưu so với luật chuyển mạch cổ điển.

**Từ khóa:** Cầu nghịch lưu, luật chuyển mạch 180°, động cơ không đồng bộ ba pha.

**Abstract:** The paper presents the intelligent control technique of three-phase inverted circuit switches in the 180° switching rule to control a three-phase asynchronous motor to eliminate conductive current. The results were surveyed and evaluated using simulation model on Matlab-Simulink software. The model allows a comparative evaluation of the quality of the modulated voltage between classical and improved methods, and shows that with the three-phase reverse-circuit switching rule of the improved algorithm, the overlapping current has been eliminated. lead in the branches of the inverter versus the classical algorithm.

**Keywords:** Inverter, 180-degree rule, asynchronous motor.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Những năm gần đây, truyền động điện tự động số với các biến đổi bán dẫn có tính ứng dụng thực tế to lớn trong nhiều lĩnh vực khoa học kỹ thuật chuyên dụng như: kỹ thuật hàng không, chế tạo ô tô, luyện kim, chế tạo máy công cụ, công nghiệp hóa chất, kỹ thuật robot, kỹ thuật điều khiển vũ khí và nhiều lĩnh vực đặc thù khác. Xu hướng phát triển hiện nay của các thiết bị truyền động điện tự động chuyển sang các hệ số với các bộ biến đổi bán dẫn tranzito lưỡng cực như BJT, IGBT hay tranzito trường MOSFET. Các hệ truyền động điện số có các ưu điểm vượt trội như dễ dàng điều chỉnh giá trị điện áp và tần số của nguồn điện cấp cho

động cơ [3], kích thước và khối lượng nhỏ gọn, tính ổn định của các đặc tính, khả năng tác động nhanh, dễ dàng tối ưu hóa các tham số nhờ các bộ vi điều khiển và vi xử lý. Cải tiến thuật toán điều khiển chuyển mạch các khóa bán dẫn là một trong những yêu cầu cấp thiết nhằm nâng cao chất lượng điện áp đầu ra và đảm bảo an toàn cũng như nâng cao tuổi thọ cho thiết bị linh kiện bán dẫn và đơn giản hóa mạch phần cứng. Với các luật chuyển mạch các cầu nghịch lưu điều chế độ rộng xung hiện tại, trong các cột của cầu nghịch lưu thường xuất hiện dòng điện trùng dẫn, để loại bỏ nó thông thường trong bộ vi điều khiển phải tích hợp thêm công cụ bán thời gian chết

(deat time) làm phức tạp thuật toán lập trình, vì vậy bài toán loại bỏ dòng trùng dẫn chỉ bằng cải tiến luật chuyển mạch góp phần làm đơn giản cấu trúc bộ vi điều khiển cũng như dễ dàng thiết lập kiểm soát từng trạng thái của cầu nghịch lưu.

Trong điều khiển số truyền động điện, như ở [3], [7], để loại bỏ dòng trùng dẫn này, người ta đưa ra các luật chuyển mạch tuần tự tiết kiệm năng lượng hoặc với các hệ thống biến logic phức tạp, để tổng hợp các hệ biến này cũng cần am hiểu sâu sắc kiến thức giải các phương trình và hệ phương trình logic nhiều biến. Trong thực tế không phải ai cũng làm tốt điều đó. Vì vậy, với sự phát triển mạnh mẽ của các ngôn ngữ lập trình hiện đại được tích hợp cho các thiết bị vi điều khiển, việc nghiên cứu điều khiển thông minh các khóa bán dẫn cầu nghịch lưu ba pha để loại bỏ dòng trùng dẫn ngay trong thuật toán lập trình có ý nghĩa to lớn, nó góp phần làm đơn giản hóa quá trình thiết kế hệ thống điều khiển các cầu nghịch lưu ba pha trong các hệ thống truyền động điện, mà không cần phải có bộ đếm deat time hay đưa ra các hệ biến logic phức tạp trong thiết kế phần cứng của hệ điều khiển số. Nội dung nghiên cứu của bài báo đã đưa ra phương pháp bổ sung các trạng thái trung gian khi chuyển mạch cầu nghịch lưu ba pha trong luật chuyển mạch  $180^\circ$  để loại bỏ dòng trùng dẫn, với phương thức này không cần sử dụng deat time hay đưa ra biến logic mới trong phương pháp điều khiển số thông thường.

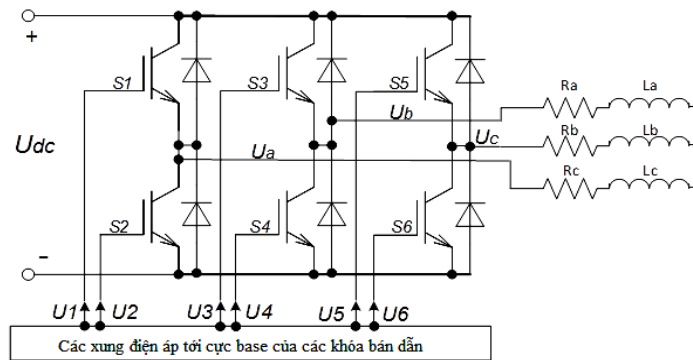
## **2. LUẬT CHUYỂN MẠCH $180^\circ$**

### **2.1. Sơ đồ đấu nối cầu nghịch lưu ba pha**

Để điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha theo phương pháp điều chỉnh tần số - điện áp, có nhiều phương án sử dụng các dạng cầu nghịch lưu khác nhau. Tuy nhiên, sử dụng nghịch lưu cầu áp ba pha có nhiều ưu điểm

vượt trội so với các dạng nghịch lưu còn lại như số lượng các khóa bán dẫn, nguồn thứ cấp và các đầu ra của động cơ ít, dễ dàng loại bỏ các hài bậc cao của điện áp đầu ra [5], vì vậy, trong giới hạn nội dung nghiên cứu này, chúng ta sẽ phân tích và cải tiến luật chuyển mạch điều chế độ rộng xung để điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha khi sử dụng cầu nghịch lưu áp ba pha.

Có nhiều phương pháp điều chế độ rộng xung khác nhau, tuy nhiên, có thể phân loại làm hai phương pháp là điều chế độ rộng xung vô hướng và có hướng. Ý tưởng cơ bản của các phương pháp điều chế độ rộng xung vô hướng là phương thức điều khiển rời rạc hóa nhằm tạo ra các chuỗi xung tần số cao mà độ rộng của chúng trên từng chu kỳ được thay đổi theo một quy luật chuyển mạch nhất định. Các phương pháp điều chế độ rộng xung vô hướng thông dụng như: luật chuyển mạch  $180^\circ$  hoặc  $120^\circ$ , điều chỉnh rộng xung SIR, điều chế độ rộng xung theo luật sin (SPWM), điều chế độ rộng xung theo luật sin với tiên xử lý hài bậc ba... Phương pháp có hướng là phương pháp điều khiển số để điều chế độ rộng xung qua các vector biểu diễn trong mặt phẳng hoặc không gian, mà trong đó độ lớn và hướng các vector này đặc trưng cho độ lớn và hướng biên độ điện áp, đồng thời cũng đặc trưng cho độ rộng các xung, được gọi là phương pháp vector không gian điều chế độ rộng xung SVPWM (Space vector pulse width modulation) [5]. Trong giới hạn nội dung nghiên cứu này sẽ phân tích và cải tiến điều khiển thông minh các khóa chuyển mạch của cầu nghịch lưu theo luật chuyển mạch  $180^\circ$  nhằm loại bỏ dòng điện trùng dẫn điều chế độ rộng xung điều khiển cầu nghịch lưu áp ba pha trong sơ đồ điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha ở chế độ điều chỉnh độ rộng xung theo phương pháp điều khiển tần số - điện áp có dạng như hình 1.

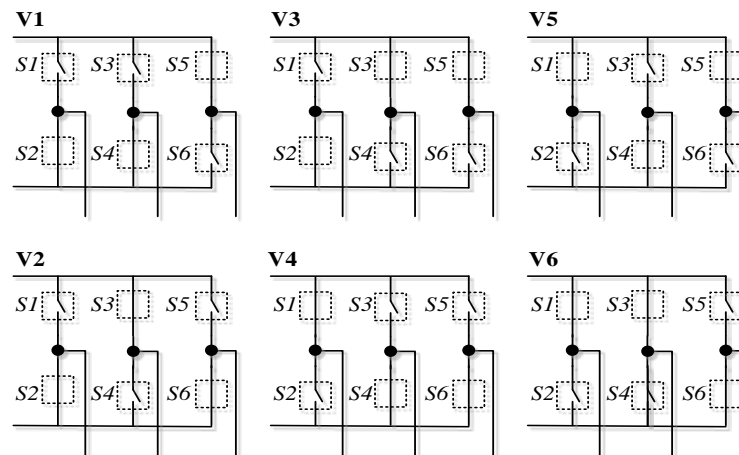


Hình 1. Sơ đồ đấu nối nghịch lưu cầu ba pha

## 2.2. Luật chuyển mạch 180°

Đây là phương pháp tạo xung điện áp ra đơn giản, cả ba cuộn dây của động cơ đồng thời được cấp nguồn, trong một chu kỳ điện áp pha mỗi một khóa chuyển mạch sẽ được mở trong khoảng  $\pi$ . Ở phương pháp này các xung điều

khiển các khóa chuyển mạch phía trên và dưới mỗi cột tương ứng của bộ nghịch lưu sẽ đảo nhau. Khi đó sẽ có sáu trạng thái của bộ nghịch lưu cầu ba pha được sử dụng như hình vẽ 2 [1], [2], [5].



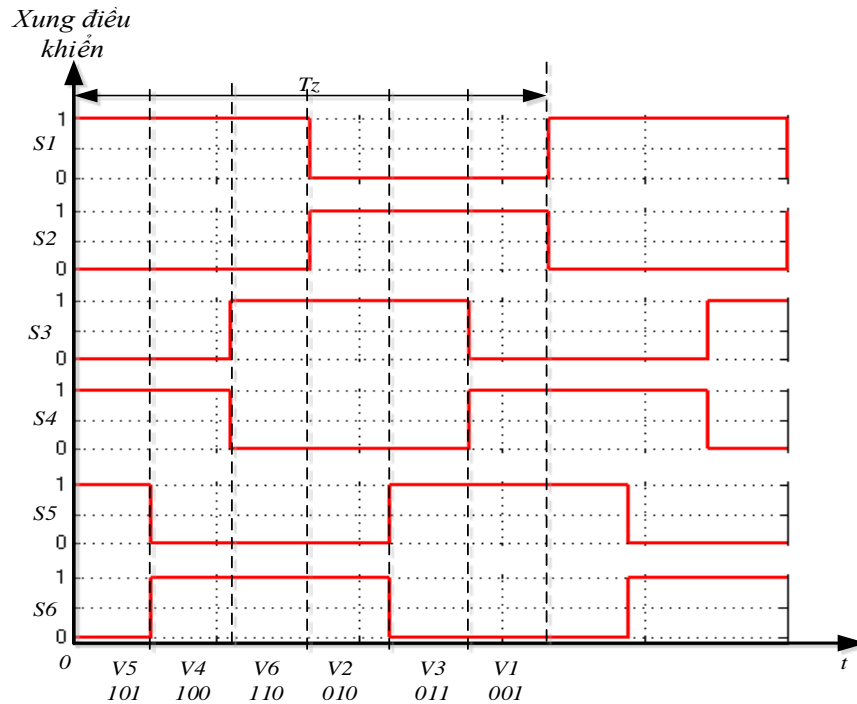
Hình 2. Các trạng thái khóa chuyển mạch của bộ nghịch lưu cầu ba pha ở chế độ điều chế độ rộng xung theo luật chuyển mạch 180°

Trạng thái đóng mở của các khóa chuyển mạch phía trên của bộ nghịch lưu S1 S3 S5 có thể được biểu diễn bởi mã nhị phân từ 000 tới 111, trong đó «1» là trạng thái đóng của khóa chuyển mạch với thứ tự tương ứng, còn «0» là trạng thái mở. Tương tự với các mã nhị phân của các khóa chuyển mạch phía dưới S2 S4 S6. Do ở luật chuyển mạch 180° cả ba cuộn dây của động cơ đồng thời được cấp nguồn, trong một chu kỳ điện áp pha mỗi một khóa chuyển mạch sẽ được mở trong khoảng  $\pi$ , vì vậy, các trạng thái các khóa chuyển mạch phía dưới

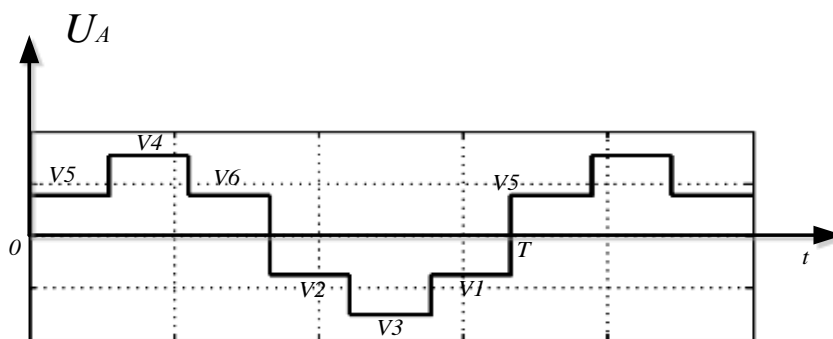
mỗi cột tương ứng của bộ nghịch lưu ở luật chuyển mạch 180° là giá trị logic đảo so với các khóa chuyển mạch phía trên. Như đã biết, với cầu nghịch lưu ba pha tồn tại  $2^6 = 64$  trạng thái khác nhau, trong đó bao gồm 12 trạng thái cấp nguồn động cơ, 15 trạng thái hãm động năng và hãm tái sinh cắt nguồn động cơ, còn lại 37 trạng thái cấm [3]. Ký hiệu các trạng thái này là  $V_x$  và  $V_{xy}$ . Trong đó:  $V_x$  ( $x=0, 1...7$ ) – là các trạng thái mà mã nhị phân của các khóa bán dẫn S1 S3 S5 đảo với mã nhị phân các khóa bán dẫn S2 S4 S6, trong đó  $x$  là giá

trị thập phân của mã nhị phân các khóa bán dẫn S1 S3 S5;  $V_{xy}$  là các trạng thái làm việc còn lại của cầu nghịch lưu ba pha;  $x$  là giá trị thập phân của mã nhị phân các khóa bán dẫn S1 S3 S5,  $y$  là giá trị thập phân của mã nhị phân các khóa bán dẫn S2 S4 S6. Như vậy ở luật chuyển mạch  $180^\circ$  sử dụng 6 trạng thái  $V_x$

với giá trị của  $x$  từ 1 tới 6 như hình vẽ 2. Các xung điều khiển các khóa chuyển mạch của cầu nghịch lưu ở luật chuyển mạch  $180^\circ$  có dạng như hình. Tùy thuộc vào điểm pha ban đầu mà trạng thái cầu nghịch lưu ba pha đầu tiên có thể là các  $V_x$  khác nhau.



Hình 3. Xung điều khiển và thứ tự trạng thái các khóa chuyển mạch của cầu nghịch lưu ở luật chuyển mạch  $180^\circ$



Hình 4. Dạng điện áp pha A thu được

Biểu diễn điện áp đầu ra các trạng thái bộ nghịch lưu trên tải tương ứng với từng vùng xung điện áp thu được khi điều chế độ rộng xung bằng luật chuyển mạch  $180^\circ$  bởi các trạng thái cầu nghịch lưu tương ứng được trình bày như trong hình 4 [3].

### 3. PHÂN TÍCH VÀ CẢI TIẾN LUẬT CHUYỂN MẠCH

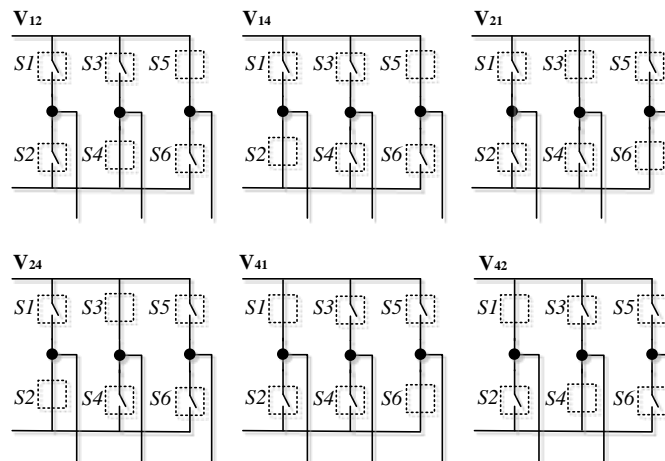
Quan sát hình 3 và 4 thấy rằng ở luật chuyển mạch  $180^\circ$  trong một chu kỳ thực hiện tất cả 6 lần chuyển trạng thái cầu nghịch lưu ba pha

giữa 6 trạng thái làm việc của các khóa chuyển mạch cầu nghịch lưu  $V_x$  ( $x=1...6$ ) như sau:

$$V_5 \rightarrow V_4 \rightarrow V_6 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3 \rightarrow V_1 \rightarrow V_5.$$

Phân tích các xung điều khiển các khóa chuyển mạch của cầu nghịch lưu ba pha ở hình 3 thấy rằng tại mỗi thời điểm chuyển mạch từ trạng thái này sang trạng thái khác luôn luôn tồn tại một thời điểm mà ở một cột nào đó của cầu nghịch lưu có hai khóa chuyển mạch đồng thời và đảo nhau. Như đã biết, dòng điện không tự nhiên sinh ra và tự nhiên mất đi, do đó tại thời điểm này, ở cột đó sẽ sinh ra dòng điện trùng dẫn [6], [7], nó gây ra ngắn mạch

và có thể làm cháy hỏng khóa bán dẫn cũng như cầu nghịch lưu, gây nguy hiểm tới an toàn của hệ thống cũng như con người. Để loại bỏ hiện tượng này, phương pháp kinh điển là trong cấu trúc các bộ vi điều khiển (ví dụ: dòng PIC và DsPIC...) sẽ có một thiết bị tạo ra khoảng thời gian chết “dead time”. Tuy nhiên, để giảm bớt cấu trúc phần cứng của bộ vi điều khiển, ta hoàn toàn có thể dựa trên thuật toán lập trình với việc cải tiến luật chuyển mạch tạo ra xung điều khiển các khóa chuyển mạch để loại bỏ dòng trùng dẫn bằng cách bổ sung các trạng thái trung gian  $V_{xy}$  có trạng thái như hình 5.



Hình 5. Các trạng thái khóa chuyển mạch bổ sung

Khi đó để loại bỏ dòng điện trùng dẫn thì khi chuyển mạch giữa hai trạng thái  $V_5$ ,  $V_4$  ta sử dụng trạng thái trung gian là  $V_{42}$ , giữa hai trạng thái  $V_4$ ,  $V_6$  ta sử dụng trạng thái trung gian là  $V_{41}$ , giữa hai trạng thái  $V_6$ ,  $V_2$  ta sử dụng trạng thái trung gian là  $V_{21}$ , giữa hai trạng thái  $V_2$ ,  $V_3$  ta sử dụng trạng thái trung gian là  $V_{24}$ , giữa hai trạng thái  $V_3$ ,  $V_1$  ta sử dụng trạng thái trung gian là  $V_{14}$ , giữa hai trạng thái  $V_1$ ,  $V_5$  ta sử dụng trạng thái trung gian là  $V_{12}$  sao cho thời gian lưu giữ các trạng thái trung gian này đủ lớn để loại bỏ dòng trùng dẫn và rất nhỏ so với thời gian lưu giữ các trạng thái  $V_x$  ( $x=1...6$ ) [5]. Như vậy có thể bỏ qua sự ảnh hưởng của các trạng thái trung gian này lên chất lượng điện áp cần điều chế

cấp cho các cuộn stato của động cơ không đồng bộ ba pha. Lúc này trên một chu kỳ điện pha sẽ có các chuyển mạch như sau:

$$V_5 \rightarrow V_{42} \rightarrow V_4 \rightarrow V_{41} \rightarrow V_6 \rightarrow V_{21} \rightarrow V_2 \rightarrow V_{24} \rightarrow V_3 \rightarrow V_{14} \rightarrow V_1 \rightarrow V_{12} \rightarrow V_5$$

Như vậy, ta có bảng thứ tự chuyển mạch các trạng thái cầu nghịch lưu ba pha và trạng thái logic của từng khóa bán dẫn với luật chuyển mạch  $180^\circ$  cải tiến được mô tả như bảng 1. Quá trình chuyển mạch của cầu nghịch lưu ba pha lặp lại liên tục với số lượng và thứ tự trạng thái này.

Bảng 1

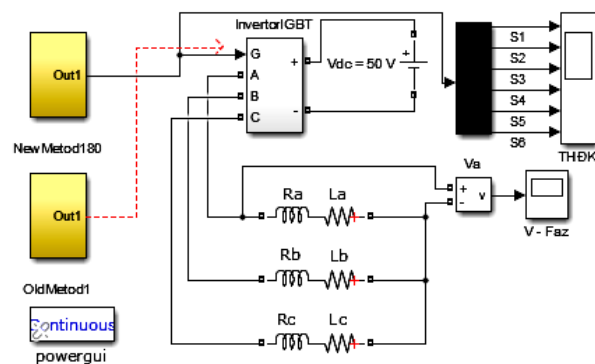
Thứ tự trạng thái	S1	S2	S3	S4	S5	S6
$V_5$	1	0	0	1	1	0

Thứ tự trạng thái	S1	S2	S3	S4	S5	S6
$V_{42}$	1	0	0	1	0	0
$V_4$	1	0	0	1	0	1
$V_{41}$	1	0	0	0	0	1
$V_6$	1	0	1	0	0	1
$V_{21}$	0	0	1	0	0	1
$V_2$	0	1	1	0	0	1
$V_{24}$	0	1	1	0	0	0
$V_3$	0	1	1	0	1	0
$V_{14}$	0	1	0	0	1	0
$V_1$	0	1	0	1	1	0
$V_{12}$	0	0	0	1	1	0

Với thứ tự này, khi bỏ các trạng thái chuyển mạch trung gian bổ sung ta sẽ thu lại được thứ tự chuyển mạch với các trạng thái logic của các khóa bán dẫn với luật chuyển mạch  $180^\circ$  cổ điển.

#### 4. MÔ PHÒNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Để kiểm tra, đánh giá kết quả đạt được ta sử dụng mô hình mô phỏng Matlab với tải là các cuộn cảm và điện trở tương ứng với các pha stato của động cơ không đồng bộ ba pha mắc đối xứng hình sao như dưới đây.



**Hình 6. Sơ đồ mô phỏng điều khiển cầu nghịch lưu ba pha theo luật chuyển mạch  $180^\circ$  cải tiến và cổ điển trên Matlab Simulink**

Mô hình mô phỏng bao gồm các khối sau:

InvectorIGBT - là khối mô phỏng cầu nghịch lưu ba pha với các khóa chuyển mạch IGBT;

NewMetod180 - là khối mô phỏng để đưa ra các tín hiệu điều khiển cầu nghịch lưu theo luật chuyển mạch với các trạng thái trung gian;

OldMetod1 - là khối mô phỏng để đưa ra các tín hiệu điều khiển cầu nghịch lưu theo luật chuyển mạch  $180^\circ$  không có trạng thái trung gian;

Ra, Rb, Rc và La, Lb, Lc là các khối điện trở - cuộn cảm với các giá trị lần lượt là  $1 \Omega$  và  $0,003 \text{ H}$ ;

V - Faz - là vôn kế đo điện áp pha A;

Vdc - là nguồn điện một chiều cấp cho cầu nghịch lưu có giá trị  $50 \text{ V}$ ;

Khối THĐK là khối hiển thị các xung điều khiển các khóa chuyển mạch của cầu nghịch lưu ba pha. Tần số điện áp được điều chế là  $60 \text{ Hz}$ , thời gian lưu giữ trạng thái bổ sung là  $1/6000 \text{ s}$ , lớn hơn rất nhiều so với thời gian tồn tại dòng trùng dẫn thông thường là từ 2 đến 10 micro giây. Lúc này các xung điều khiển các khóa chuyển mạch của cầu nghịch lưu ở luật chuyển mạch  $180^\circ$  có dạng như hình 7.

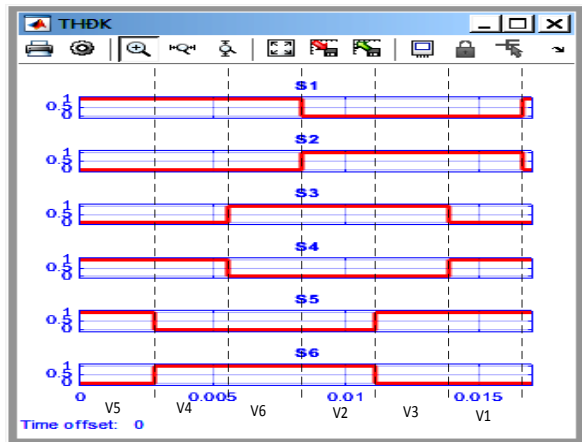
Hình 7b chỉ ra rằng, khi sử dụng các trạng thái trung gian thì không có thời điểm nào trên cùng một cột của cầu nghịch lưu ba pha xảy ra chuyển mạch đồng thời hai khóa với giá trị đảo nhau. Như vậy, với luật điều chế xung với các trạng thái trung gian này sẽ loại bỏ được dòng điện trùng dẫn trong quá trình chuyển mạch của cầu nghịch lưu ba pha. Hình 7a có kết quả đạt được như hình 3.

Hình thể hiện kết quả điện áp pha A thu được ở luật chuyển mạch  $180^\circ$  có và không có trạng thái chuyển mạch trung gian. Dựa theo hình ảnh ta thấy rằng điện áp pha thu được không nhận ra được sự khác biệt.

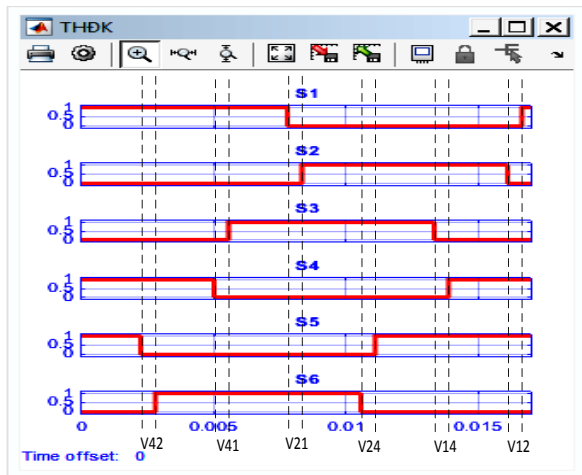
Để đánh giá chất lượng điện áp điều khiển các stato của động cơ không đồng bộ ba pha, ta phân tích phổ dạng điện áp thu được theo hai luật chuyển mạch như hình 9.

Dựa theo phổ điện áp pha A thu được như trên hình 9, ta thấy rằng các chỉ số hài cơ bản Fundamental và độ méo THD là xấp xỉ nhau, vì vậy chất lượng điện áp theo hai thuật toán

chuyển mạch có thể coi là tương đương, do đó ta bỏ qua sự ảnh hưởng của các trạng thái cầu nghịch lưu bổ sung được đưa vào luật chuyển mạch cải tiến. Từ đó, có thể khẳng định, việc đưa các trạng thái chuyển mạch trung gian bổ sung vào luật chuyển mạch  $180^\circ$  không làm ảnh hưởng đáng kể tới chất lượng điện áp đầu ra, nhưng lại loại bỏ được dòng trùng dẫn sinh ra trong cầu nghịch lưu.



(a)



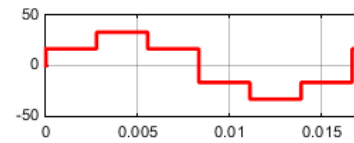
(b)

**Hình 7. Xung điều khiển các khóa chuyển mạch của cầu nghịch lưu**

- a) ở luật chuyển mạch  $180^\circ$ ;  
b) khi sử dụng trạng thái trung gian



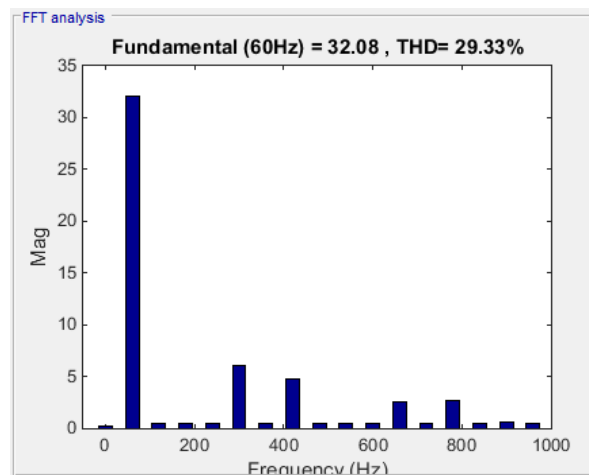
a)



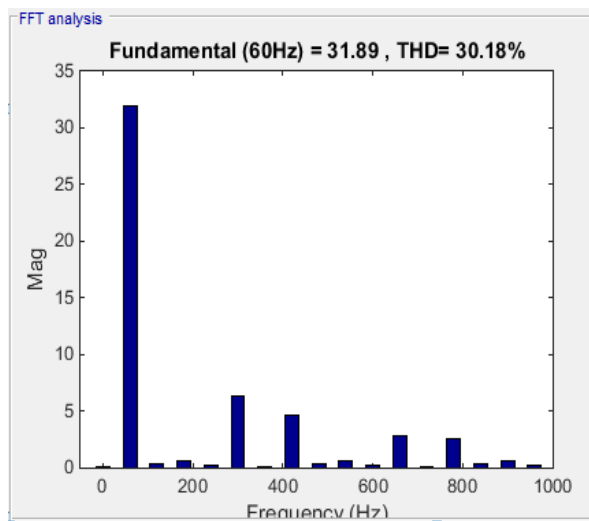
b)

**Hình 8. Điện áp pha A**

- a) khi không có trạng thái trung gian;  
b) khi sử dụng trạng thái chuyển mạch trung gian



a)



b)

**Hình 9. Phổ điện áp pha A với thuật toán chuyển mạch**

- a) khi không có trạng thái trung gian;  
b) khi sử dụng trạng thái chuyển mạch trung gian

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo phân tích sự chuyển mạch giữa các trạng thái của cầu nghịch lưu ba pha ở luật chuyển mạch  $180^\circ$  và chỉ ra sự tồn tại dòng

điện trùng dẫn trong các cột của cầu nghịch lưu khi xảy ra luật chuyển mạch này, từ đó đề xuất luật chuyển mạch cải tiến với việc sử dụng thêm các trạng thái cầu nghịch lưu bổ sung trung gian nhằm loại bỏ các thời điểm mà hai khóa bán dẫn trên cùng một cột chuyển mạch đồng thời có giá trị đảo nhau. Khi đó, thời gian lưu giữ các trạng thái bổ sung đủ lớn để loại bỏ dòng trùng dẫn và rất nhỏ so với chu kỳ điều chế xung. Qua kiểm tra, đánh giá so sánh kết quả mô phỏng trên Matlab-Simulink có thể kết luận rằng sự ảnh hưởng của các trạng thái chuyển mạch trung gian lên chất lượng điện áp được điều chế là nhỏ, đồng thời

khẳng định với luật chuyển mạch của thuật toán cải tiến đã loại bỏ được dòng điện trùng dẫn trên các cột của cầu nghịch lưu ba pha. Điều này góp phần nâng cao độ tin cậy, sự an toàn và tuổi thọ cho các bộ biến đổi bán dẫn của biến tần trong các hệ thống điều khiển động cơ không đồng bộ ba pha. Ngoài ý nghĩa thực tiễn trên, về mặt khoa học, bài báo còn đóng góp một phương án mới để cải tiến các luật chuyển mạch điều chế độ rộng xung cổ điển để như SPWM, SVPWM, SIR... nhằm loại bỏ các dòng trùng dẫn trong cầu nghịch lưu mà không cần sử dụng “dead time”.

## **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] Ле Д.Т., Аверин С.В. Оптимизация алгоритмов коммутации в инверторах с векторной широтно-импульсной модуляцией. – Вестник Московского авиационного института, 2016, Т. 23, № 3, С. 155–164.
- [2] Ле Д.Т., Аверин С.В. Формирование векторной широтно-импульсной модуляции с исключением сквозных токов в трехфазном мостовом инверторе. – Вестник Московского авиационного института, 2016, Т. 23, № 4, С. 155–163.
- [3] Phạm Tuấn Thành. “*Điều khiển số truyền động điện*”. Giáo trình dùng cho đào tạo sau đại học, Nhà xuất bản Quân đội nhân dân, 2012.
- [4] С.В. Аверин, Ле Дык Тъеп. Анализ алгоритмов перехода результирующих векторов при реализации векторной ШИМ. – Практическая силовая электроника, 2018, № 1 (69), С. 19–23.
- [5] Lê Đức Tiệp. Инверторы в режиме векторной шим для управления асинхронными двигателями // Диссертация на соискание степени кандидата технических наук. – Москва – МАИ 2018. – 175 с.
- [6] Баховцев И.А. Анализ и синтез энергооптимальных способов управления инверторами с ШИМ. /Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Новосибирск: Н ГТУ, 2017. 452 с.
- [7] Б.Н. Попов – Цифровые устройства систем приводов летательных аппаратов – МАИ ПРИНТ – 2008.

---

*Thông tin liên hệ:*    **Lê Văn Ánh**

Điện thoại: 0943057292 - Email: lvanh@uneti.edu.vn

Khoa Điện, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.





