

# ĐIỀU CHẾ CHO BỘ BIẾN ĐỔI 9 BẬC NỐI TẦNG CẦU CHỮ H CÓ THUẬT TOÁN CÂN BẰNG ĐIỆN ÁP CÁC KHẤU DC

MODULATION FOR A 9-STEPS H-BRIDGE CASCADE CONVERTER  
WITH A VOLTAGE BALANCING ALGORITHM FOR THE DC LINKS

Bùi Văn Huy<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Văn Đoài<sup>1</sup>,  
Phạm Thị Ánh Tuyết<sup>1,2</sup>

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.80>

## TÓM TẮT

Bài báo trình bày việc phát triển thuật toán điều chế có tích hợp thuật toán cân bằng điện áp trên tụ cho bộ biến đổi 9 bậc nối tầng cầu H với phía một chiều cách ly. Trong các bộ biến đổi đa bậc nối tầng, nếu điện áp trên các tụ không được cân bằng sẽ dẫn đến chất lượng sóng hài giảm và mạch vòng dòng điện sẽ không làm việc tốt. Do đó, yêu cầu đặt ra đối với thuật toán điều chế là khi các tụ điện DC có sai lệch về giá trị thì điện áp giữa các tụ vẫn phải có giá trị gần bằng nhau. Thuật toán được xây dựng cho bộ biến đổi nối tầng cầu H một pha 9 mức gồm 4 cầu. Khả năng ứng dụng của thuật toán sẽ được kiểm chứng bằng các kết quả mô phỏng trên Malab/ Simulink.

**Từ khóa:** Nghịch lưu nối lưới, nghịch lưu đa mức cầu H nối tầng, cân bằng điện áp.

## ABSTRACT

This paper presents the development of a modulation algorithm that integrates the voltage balancing algorithm on the capacitor for a 9-steps converter connecting the H-bridge stage to the isolated DC side. In cascade multilevel converters, if the voltage across the capacitors is not equalized, the harmonic quality will decrease, and the current loop will not work properly. Therefore, the requirement for the modulation algorithm is that when the DC capacitors have a difference in value, the voltage between the capacitors must still be close to the same value. The algorithm is built for a 9-levels single-phase H-bridge cascade converter consisting of 4 bridges. The applicability of the algorithm will be verified by simulation results on Malab/ Simulink.

**Keywords:** Grid-connected inverter, cascade-connected H-bridge multi-level inverter, voltage balanced.

<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup>Trường Cao đẳng Kỹ thuật Công nghệ Hòa Bình

\*Email: [buiivanhuy@hau.edu.vn](mailto:buiivanhuy@hau.edu.vn)

Ngày nhận bài: 05/02/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/6/2022

Ngày chấp nhận đăng: 23/12/2022

## 1. GIỚI THIỆU

Nghịch lưu đa mức là một trong các giải pháp cho những ứng dụng đòi hỏi công suất lớn và điện áp cao. Trong các ứng dụng sử dụng nghịch lưu đa bậc, điện áp

của ngõ ra được tăng lên, tổn hao chuyển mạch của linh kiện điện tử công suất giảm. Nghịch lưu đa mức phân nhỏ các bước nhảy điện áp ra phía xoay chiều, nhờ đó giảm được tốc độ tăng điện áp  $du/dt$  trên tải, các van bán dẫn chỉ phải đóng cắt ở mức điện áp và tần số thấp trong khi vẫn đảm bảo tần số và điện áp ra của quá trình điều chế cao. Trong các cấu trúc nghịch lưu đa mức nguồn áp thì cấu trúc đa bậc trên cơ sở nghịch lưu cầu H một pha nối tầng là đơn giản nhất. Mỗi cầu chính là một bộ biến đổi 3 mức truyền thống, có thể tạo các mức điện áp là +E, 0, -E. Nếu ta có M số cầu sẽ tạo ra  $2M+1$  mức điện áp. Để tạo ra bộ biến đổi ba pha ta chỉ cần đấu 3 bộ biến đổi một pha theo hình sao hoặc hình tam giác [1].

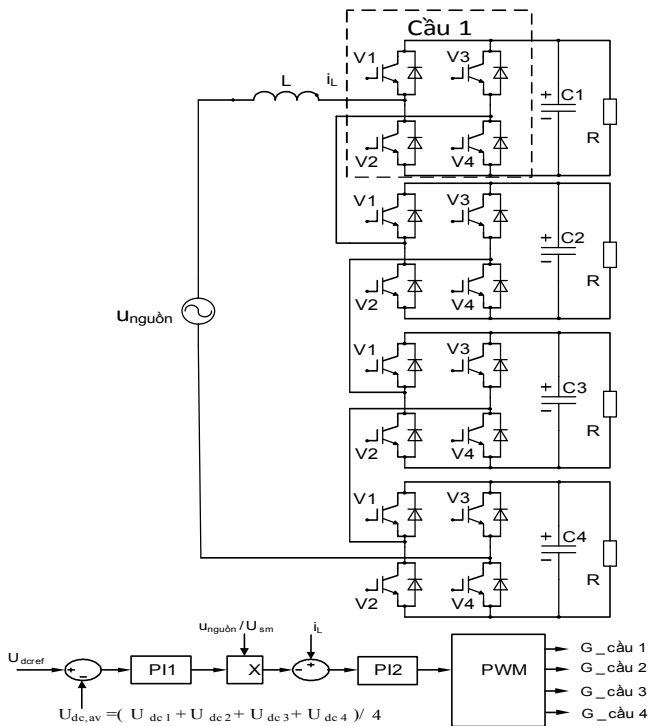
Đối với các bộ biến đổi đa mức sử dụng cầu H nối tầng, số lượng mức điện áp đầu ra lớn hơn hai lần số nguồn điện một chiều ( $2M+1$ ); Cấu trúc mạch gồm các cầu H mắc nối tiếp do đó cấu trúc mạch lực đơn giản, tính module hóa cao, dễ mở rộng hệ thống. Tuy nhiên, mỗi cầu H cần có một nguồn dc riêng cách ly (nếu không hiện tượng ngắn mạch sẽ xảy ra) và các nguồn DC này vẫn có thể có sự sai lệch điện áp.

Khi ứng dụng bộ nghịch lưu đa mức cầu H nối tầng trong các bộ biến đổi nối lưới (hay còn gọi là chỉnh lưu tích cực), sơ đồ sẽ bao gồm các nghịch lưu chữ H một pha, với nguồn DC cách ly riêng biệt, còn phía xoay chiều thì nối tiếp nhau [2]. Do đó, về mặt cấu trúc, nhìn từ phía xoay chiều cấu trúc điều giống như một chỉnh lưu tích cực cầu một pha thông thường, kể cả về cấu trúc mạch điều chỉnh, những vấn đề này đã được trình bày trong [2].

Sơ đồ cấu trúc điều khiển cho bộ biến đổi nối lưới một pha cho trên hình 1, bao gồm mạch vòng điện áp bên ngoài và mạch vòng dòng điện bên trong. Đối với mạch vòng điện áp sai lệch giữa lượng đặt  $U_{dref}$  và giá trị đo được trung bình  $U_{dtb}$ ,  $U_{dtb} = (U_{dc1} + U_{dc2} + U_{dc3} + U_{dc4})/4$  được đưa vào bộ điều khiển điện áp PI1, nhiệm vụ của bộ điều khiển này là đảm bảo điện áp trung bình trên các tụ một chiều phải bằng giá trị đặt  $U_{dcref}$ . Để tạo lượng đặt cho vòng điều khiển dòng điện dưới dạng  $I_{mref} \sin(\omega t)$ , với  $\omega$  là tần số của lưới (rad/s), ta thực hiện bằng cách khâu nhân đầu ra bộ điều khiển điện áp PI1 với dạng điện áp nguồn  $u_{nguồn}$  nhằm đảm

bảo hệ số công suất bằng 1, nghĩa là dòng điện và điện áp ở đầu vào bộ biến đổi đồng pha nhau. Bộ điều khiển dòng điện cũng sử dụng bộ điều khiển đơn giản PI tuyến tính, giống như trong [2], nên không trình bày trong bài báo này. Đầu ra bộ điều khiển dòng điện PI2 sẽ được đưa vào khâu điều chế PWM để tạo ra các xung đưa vào các van của các cầu 1, 2, 3, 4. Khâu điều chế PWM sẽ được trình bày ở mục 2 trong bài báo này.

Trong bộ biến đổi nối lưới như hình 1, phía DC đóng vai trò là phụ tải. Điện áp trên các tụ DC rất khó có thể có giá trị cân bằng vì thực tế giữa các tụ vẫn có những giá trị sai lệch về giá trị điện dung, ngay cả khi các tụ có giá trị giống hệt nhau thì cũng không có gì đảm bảo là điện áp trên các tụ sẽ bằng nhau vì chỉ có vòng điều khiển điện áp PI1 chung nhằm điều khiển giá trị trung bình. Khi điện áp trên mỗi khâu DC không cân bằng chất lượng sóng hài của dòng xoay chiều sẽ giảm. Không những thế xu hướng không cân bằng trên các tụ DC sẽ ngày càng lớn, dẫn đến điện áp trên một số khâu sẽ tăng rất cao và trên một số khâu sẽ giảm mạnh, thậm chí đến bằng 0, độ đập mạch điện áp trên tụ DC cũng tăng cao. Khi đó mặc dù dòng xoay chiều đi qua các khâu nối tiếp là như nhau nhưng một số khâu sẽ mang tải nặng hơn các khâu khác, độ đập mạch dòng điện tăng lên dẫn đến bộ điều chỉnh dòng điện mất ổn định [4].



Hình 1. Bộ biến đổi nối lưới 1 pha 4 cầu H nối tầng

Trong [2, 3] đã đề cập vấn đề xây dựng thuật toán điều khiển cân bằng điện áp  $U_{dc}$  tích hợp trong mạch điều chế PWM, không làm thay đổi chất lượng của mạch điều chế, đơn giản và dễ sử dụng ứng dụng cho bộ biến đổi 7 mức nối tầng. Tuy nhiên, thuật toán đã trình bày trong [2, 3] không phải là thuật toán đa năng áp dụng cho mọi mức.

Trong bài báo này, nhóm tác giả tiếp tục phát triển thuật toán đó cho bộ biến đổi 9 mức nối tầng ở phần 2 và

các thuật toán sẽ được kiểm chứng ở mô hình mô phỏng ở phần 3.

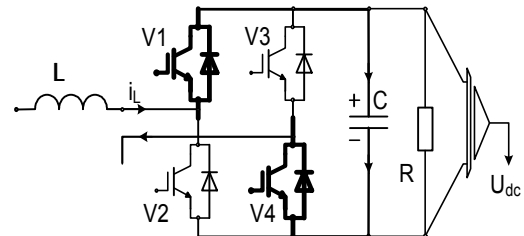
**2. VẤN ĐỀ CÂN BẰNG ĐIỆN ÁP DC**

Trước hết đối với một cầu chữ H ta quy định trạng thái của van là  $s_i$ ,  $s$  là viết tắt của state, với các giá trị +1, -1, 0.

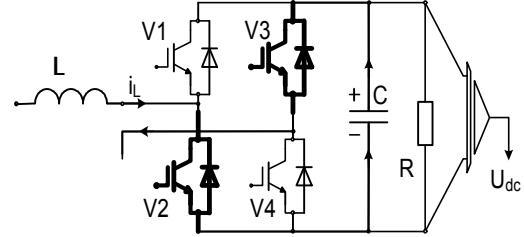
Bảng 1. Trạng thái van và tình trạng phóng nạp của tụ một chiều đối với một cầu chữ H

$s_i$	Trạng thái van	Điện áp ra $u_{o,i}$	Trạng thái tụ DC	
			$i_L > 0$	$i_L < 0$
1	$V_1, V_4$	$+U_{dc}$	Nạp điện	Phóng điện
-1	$V_3, V_2$	$-U_{dc}$	Phóng điện	Nạp điện
0	$(V_1, V_3), (V_2, V_4)$	0	Không thay đổi (cấp điện ra tải DC)	Không thay đổi (cấp điện ra tải DC)

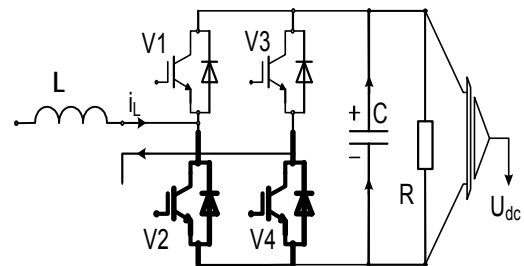
Xét trường hợp dòng  $i_L > 0$ , tùy thuộc vào trạng thái đóng hay mở của van mà tụ điện một chiều sẽ được nạp hoặc xả. Các hình 2 ÷ 5 minh họa các trường hợp này.



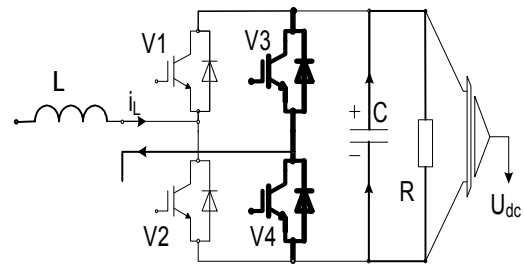
Hình 2. Trạng thái tụ nạp khi van V1, V4 dẫn và  $i_L > 0$



Hình 3. Trạng thái tụ phóng khi V2, V3 dẫn và  $i_L > 0$

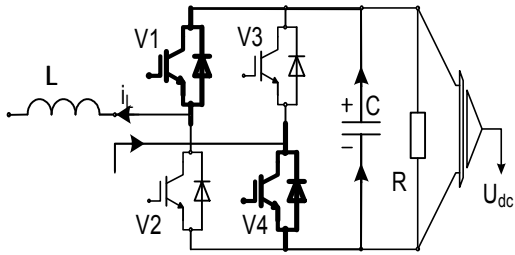


Hình 4. Tụ chỉ cấp dòng ra tải khi V2, V4 = 1,  $i_L > 0$

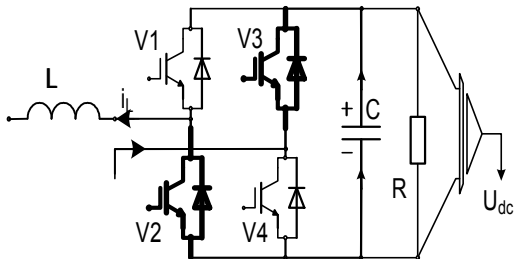


Hình 5. Tụ chỉ cấp dòng ra tải khi V1, V3 dẫn và  $i_L > 0$

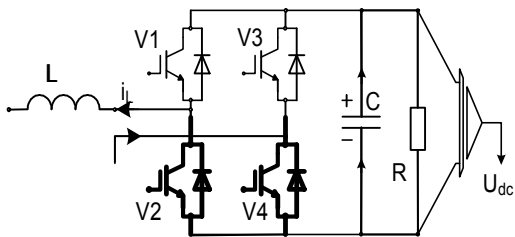
Xét trường hợp dòng  $i_L < 0$ , tùy thuộc vào trạng thái đóng hay mở của van mà tụ điện một chiều sẽ được nạp (hình 7) hoặc phóng (hình 6). Hai trường hợp còn lại, như hình 8 và 9, tụ chỉ cấp dòng cho tải.



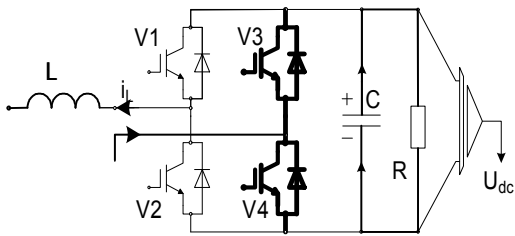
Hình 6. Trạng thái tụ phóng khi van V1, V4 dẫn và  $i_L < 0$



Hình 7. Trạng thái tụ nạp khi V2, V3 dẫn và  $i_L < 0$



Hình 8. Tụ chỉ cấp dòng ra tải khi V2, V4 = 1,  $i_L < 0$



Hình 9. Tụ chỉ cấp dòng ra tải khi V1, V3 dẫn và  $i_L < 0$

Các chế độ phóng nạp tụ ứng với các trạng thái van được tóm tắt trong bảng 1.

Xét với sơ đồ gồm 4 cầu chữ H, điện áp ra ứng với các trạng thái của từng cầu thể hiện trong bảng 2. Trong bảng cũng chỉ ra số trạng thái của các cầu chữ H có thể đối với một số mức điện áp ra.

Bảng 2. Trạng thái của van đối với các mức điện áp ra trong sơ đồ nối tầng 4 cầu chữ H

$u_{out}$	$(s_{1r}, s_{2r}, s_{3r}, s_{4r})$	Số trạng thái có thể	Nhận xét
$+4U_{dc}$	(1,1,1,1)	1	Duy nhất
$+3U_{dc}$	(1,1,1,0), (1,1,0,1), (1,0,1,1), (0,1,1,1)	4	Có một trạng thái 0

$+2U_{dc}$	(-1,1,1,1), (1,-1,1,1), (1,1,-1,1), (1,1,1,-1)	4	Có một trạng thái -1
$+1U_{dc}$	(0,0,0,1), (0,0,1,0), (0,1,0,0), (1,0,0,1)	4	Có một trạng thái 1
0	(0,0,0,0)	1	Duy nhất
$-1U_{dc}$	(0,0,0,-1), (0,0,-1,0), (0,-1,0,0), (-1,0,0,0)	4	Có một trạng thái -1
$-2U_{dc}$	(-1,-1,-1,1), (-1,-1,1,-1), (-1,1,-1,-1), (1,-1,-1,-1)	4	Có một trạng thái 1
$-3U_{dc}$	(-1,-1,-1,0), (-1,-1,0,-1), (-1,0,-1,-1), (0,-1,-1,-1)	4	Có một trạng thái 0
$-4U_{dc}$	(-1,-1,-1,-1)	4	Duy nhất

Đặt  $s = s_1 + s_2 + s_3 + s_4$ . Trong mỗi thời điểm có thể xác định được giá trị min, max của  $U_{dc}$ , gọi là  $U_{dc,j,max}$  và  $U_{dc,j,min}$ . Quyết định đưa ra tác động phù hợp đều dựa vào chính những giá trị min, max này bằng cách thay đổi trạng thái hj của cầu thứ j (hoặc thứ i) và các cầu còn lại.

**Thuật toán cân bằng điện áp trên tụ DC thực hiện như sau:**

1. Nếu  $i_L > 0$ , nếu  $s_j = 1$  thì tụ  $C_j$  được nạp điện.
  - 1.a. Nếu  $s = 0$  hoặc  $s = 4$ , không tác động gì vì khi đó phải dùng trạng thái van duy nhất là  $s_1 = s_2 = s_3 = s_4 = 0$  hoặc  $s_1 = s_2 = s_3 = s_4 = 1$ ;
  - 1.b. Nếu  $s = 3$ , khi đó có một trạng thái bắt buộc  $s_i = 0$ , khi đó nếu  $U_{max}$  là  $U_{dc,j,max}$  đặt  $s_j = 0$ , các tụ điện khác được nạp.
  - 1.c. Nếu  $s = 2$ , khi đó nếu  $U_{max}$  là  $U_{dc,j,max}$  đặt  $s_j = -1$ , nghĩa là tụ đó sẽ được phóng điện, các tụ điện khác được nạp.
  - 1.d. Nếu  $s = 1$ , nếu  $U_{min}$  là  $U_{dc,j,min}$  đặt  $s_j = 1$ , tụ  $C_j$  nạp; các tụ khác không thay đổi gì ngoại trừ nếu phải cấp điện cho tải của nó.
  - 1.e. Nếu  $s = -1$ , đó nếu  $U_{max}$  là  $U_{dc,j,max}$  đặt  $s_j = -1$ , nghĩa là tụ đó sẽ được phóng điện, các tụ điện khác không thay đổi gì ngoại trừ cấp điện cho tải của chính nó.
  - 1.f. Nếu  $s = -2$ ,  $U_{min}$  là  $U_{dc,j,min}$  đặt  $s_j = 1$ , tụ  $C_j$  nạp; các tụ khác đều được phóng điện.
  - 1.g. Nếu  $s = -3$ ,  $U_{min}$  là  $U_{dc,j,min}$  đặt  $s_j = 0$ , tụ  $C_j$  không thay đổi gì ngoại trừ cấp điện cho tải của chính nó; các tụ khác đều được phóng điện.
  - 1.h. Nếu  $s = -4$ , không tác động gì vì có trạng thái duy nhất là  $s_1 = s_2 = s_3 = s_4 = -1$
2. Nếu  $i_s < 0$ , nếu  $s_j = 1$  thì tụ  $C_j$  phóng điện.
  - 2.a. Nếu  $s = 0$  hoặc  $s = 4$ , không tác động gì vì khi đó phải dùng trạng thái van duy nhất là  $s_1 = s_2 = s_3 = s_4 = 0$  hoặc  $s_1 = s_2 = s_3 = s_4 = 1$ ;
  - 2.b. Nếu  $s = 3$  và nếu  $U_{min}$  là  $U_{dc,j,min}$  đặt  $s_j = 0$ , khi đó tụ  $C_j$  không ảnh hưởng gì ngoài cấp điện cho tải của chính nó; các tụ còn lại phóng điện.
  - 2.c. Nếu  $s = 2$  nếu  $U_{min}$  là  $U_{dc,j,min}$  đặt  $s_j = -1$ , khi đó tụ  $C_j$  được nạp điện; các tụ khác phóng điện

2.d. Nếu  $s = 1$  và nếu  $U_{max}$  là  $U_{dc,j,max}$  đặt  $s_j = 1$ , khi đó tụ  $C_j$  phóng điện; hai tụ các tụ khác không thay đổi gì ngoại trừ cấp điện cho tải của chính nó.

2.e. Nếu  $s = -1$ , nếu  $U_{min}$  là  $U_{dc,j,min}$  đặt  $s_j = -1$ , khi đó tụ  $C_j$  được nạp điện; các tụ khác không thay đổi gì ngoại trừ cấp điện cho tải của chính nó.

2.f. Nếu  $s = -2$ , nếu  $U_{max}$  là  $U_{dc,j,max}$  đặt  $s_j = 1$ , khi đó tụ  $C_j$  phóng điện; các tụ còn lại nạp điện.

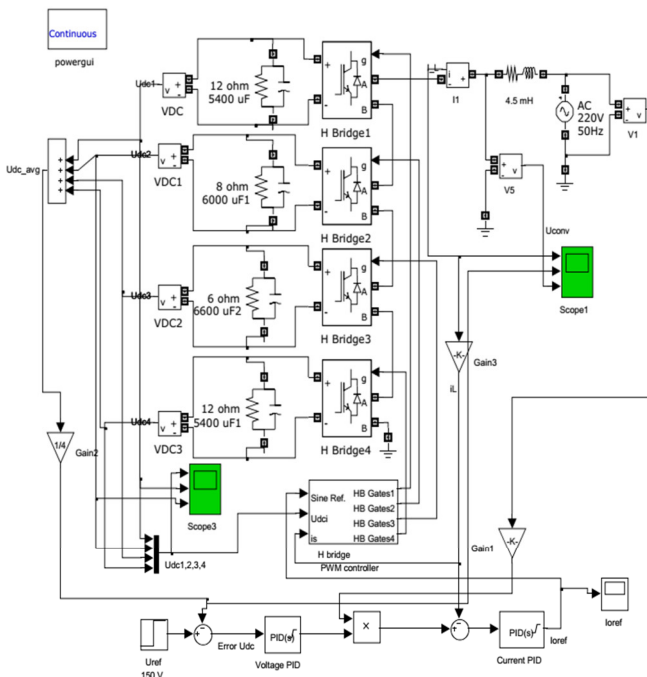
2.g. Nếu  $s = -3$ , nếu  $U_{max}$  là  $U_{dc,j,max}$  đặt  $s_j = 0$ , khi đó tụ  $C_j$  không thay đổi gì ngoài việc cung cấp điện cho tải của chính nó; các tụ còn lại nạp điện.

2.h. Nếu  $s = -4$ , không tác động gì vì chỉ có một trạng thái duy nhất là  $s_1 = s_2 = s_3 = s_4 = -1$

**Phương pháp điều chế PWM:**

Phương pháp dịch pha là phương pháp thích hợp ứng dụng cho bộ biến đổi đa mức cầu H nối tầng vì bộ biến đổi này có tính module hóa. Đối với phương pháp này tất cả các cầu H trên một pha đều tuân theo một sóng sin chuẩn. Số sóng răng cưa trong việc điều chế chính bằng số cầu, mỗi sóng răng cưa cho mỗi cầu lệch pha nhau đúng bằng  $180^\circ / (\text{số cầu H})$ . Trong hệ thống có 4 cầu H, vậy sẽ dùng 4 sóng răng cưa lệch pha nhau  $45^\circ$ . Cũng như trong [2, 3] đã phân tích, dạng điều chế một cực tính sẽ có chất lượng sóng hài tốt hơn. Khi điều chế một cực tính, mỗi nhánh nửa cầu được điều khiển bởi tín hiệu PWM gồm hai răng cưa lệch nhau  $180^\circ$ . Như vậy số răng cưa tăng lên gấp đôi, mỗi răng cưa lại có một sóng mang ngược pha với nó. Theo phương pháp dịch pha mỗi cầu H đều làm việc như nhau trong toàn dải điều chế (biên độ sóng sin chuẩn thay đổi từ không đến biên độ của xung răng cưa) nên điện áp  $U_{dc}$  được sử dụng như nhau.

**3. MÔ PHỎNG VÀ BÌNH LUẬN**



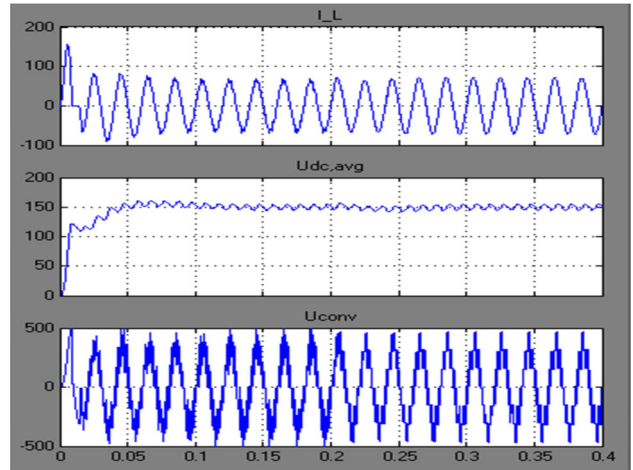
Hình 10. Mô hình mô phỏng chỉnh lưu tích cực 9 mức một pha

Mô hình mô phỏng chỉnh lưu tích cực 9 mức cho trên hình 10, gồm 4 cầu, nối với nguồn xoay chiều 220V, 50Hz, điện cảm  $L = 4,5\text{mH}$ . Các tụ một chiều không bằng nhau lệch nhau tới 10% cụ thể:  $C_{dc1} = 5400\mu\text{F}$ ,  $C_{dc2} = 6000\mu\text{F}$ ,  $C_{dc3} = 6600\mu\text{F}$ ,  $C_{dc4} = 5400\mu\text{F}$ . Phụ tải phía một chiều chọn chênh lệch lớn gấp đôi nhau:  $R_{dc1} = 12\Omega$ ,  $R_{dc2} = 10\Omega$ ,  $R_{dc3} = 6\Omega$ ,  $R_{dc4} = 12\Omega$ . Điện áp đặt một chiều trung bình  $U_{dc,ref} = 150\text{V}$ , như vậy mỗi cầu cần đạt điện áp  $U_{dc,i} = 150\text{V}$ . Mạch vòng điều chỉnh dòng điện và điện áp đều dùng PI thông thường, các tham số xác định nhằm đảm bảo bằng thông và độ dự trữ pha cần thiết. Hệ số bộ đo dòng  $K_i = 1/50$ . Lượng đặt cho dòng điện được tạo ra bởi khâu nhân điện áp đầu ra của bộ điều chỉnh điện áp với điện áp đo từ nguồn xoay chiều. Như vậy dòng điện sẽ trùng pha với điện áp để đảm bảo hệ số công suất gần bằng một. Mạch điều chế kiểu dịch pha, tần số  $f_{pwm} = 500\text{Hz}$ , như vậy tần số đóng cắt tương đương của bộ biến đổi là 2000Hz.

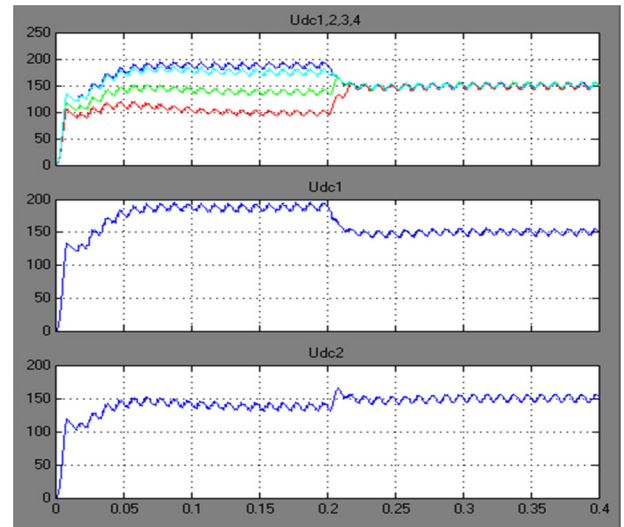
Tham số bộ điều khiển điện áp và dòng điện như sau:

Bộ điều khiển điện áp:  $K_p = 0,0019$ ;  $K_i = 0,3559$

Bộ điều khiển dòng điện:  $K_p = 1,6965$ ;  $K_i = 126,8201$ .



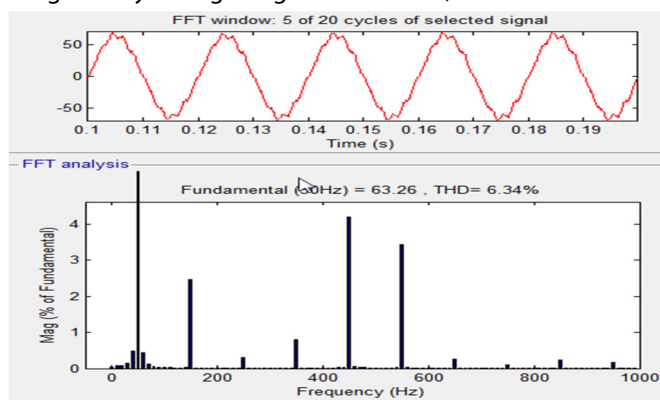
Hình 11. Kết quả mô phỏng, dạng dòng xoay chiều đi vào, điện áp một chiều trung bình  $U_{dc,avg}$  dạng điện áp ngay đầu vào bộ biến đổi phía xoay chiều  $U_{conv}$



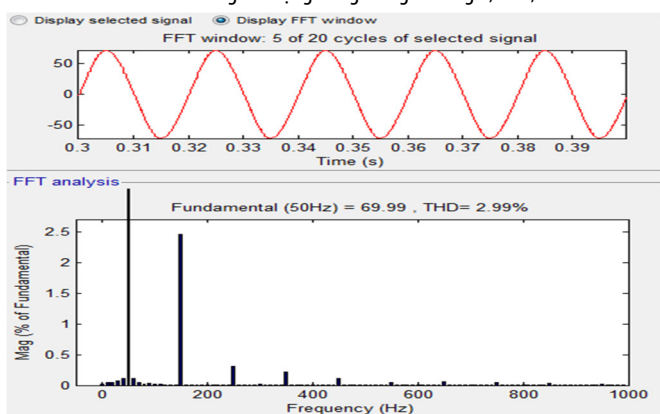
Hình 12. Điện áp một chiều trên tụ DC của mỗi cầu H

Trên hình 11 cho dạng dòng xoay chiều đầu vào, dạng điện áp một chiều trung bình, dạng điện áp đầu ra nghịch lưu nối tầng. Từ 0 đến 0,2s thuật toán cân bằng  $U_{dc}$  chưa cho tác động, từ 0,2s trở đi cho tác động. Hình 10 cho thấy bộ điều chỉnh điện áp một chiều vẫn có tác dụng đưa điện áp  $(U_{dc1}+U_{dc2}+U_{dc3}+U_{dc4})/4$  về giá trị trung bình 150V theo lượng đặt, việc chọn 0,2s thực chất là thời gian thuật toán tác động để có sự so sánh kết quả đáp ứng điện áp trên các tụ và dạng sóng hài của dòng điện giữa việc có thuật toán cân bằng điện áp trên tụ tác động và không có thuật toán tác động.

Tuy nhiên kết quả trên hình 12 cho thấy các điện áp thành phần chênh nhau rất lớn, đến gần 100V. Bắt đầu từ thời điểm 0,2s thuật toán cân bằng đi vào hoạt động và sau khoảng một chu kỳ điện áp 0,02s điện áp trên bốn tụ một chiều đã gần như bằng nhau. Điều này có thể nhận thấy rõ khi theo dõi dạng điện áp đầu ra nghịch lưu  $U_{conv}$ . Trước thời điểm 0,2s mỗi mức điện áp của  $U_{conv}$  nhấp nhô rất khác nhau, còn sau thời điểm đó mỗi mức điện áp tạo thành bởi các xung đều nhau. Dòng điện  $I_{load}$  trước và sau 0,2s cũng khác nhau căn bản, nếu phân tích Fourier sẽ thấy dạng dòng sau khi điện áp DC cân bằng có độ méo THD tốt hơn nhiều. Trên hình 13, mô tả phân tích sóng hài trong khoảng 0,1 - 0,2s lúc này thuật toán cân bằng chưa hoạt động, cho thấy xuất hiện các sóng hài lớn ở 100, 450, 550, 650Hz, độ méo THD = 6,34%. Trên hình 14, lúc này thuật toán cân bằng điện áp trên các tụ đã đi vào hoạt động, cho thấy các sóng hài này không đáng kể và THD = 2,99%.



Hình 13. Phân tích sóng hài dạng dòng trong khoảng 0,1 - 0,2s



Hình 14. Phân tích sóng hài dạng dòng điện trong khoảng 0,3 - 0,4s

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã thành công trong việc phát triển thuật toán cân bằng điện áp trên tụ cho bộ biến đổi nối lưới 9 mức cầu chữ H nối tầng. Kết quả mô phỏng đã chứng minh khả năng cân bằng điện áp, ngay cả khi tải một chiều chênh lệch đến 50%. Khi điện áp các khâu DC được cân bằng thì chất lượng sóng hài cũng đảm bảo. Thuật toán này hoàn toàn có thể áp dụng cho hệ thống 3 pha nối lưới, mỗi pha có 4 cầu chữ H. Hướng phát triển của thuật toán là có thể nghiên cứu và ứng dụng cho các bộ biến đổi có số mức cao hơn như 11 mức, 13 mức, 15 mức.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Padmanaban Sanjeevikumar, 2012. *Analysis and Implementation of Multiphase-Multilevel Inverter for Open-Winding Loads*. PhD In Electrical Engineering, Almamater Studiorum University of Bologna.
- [2]. Bui Van Huy, Tran Trong Minh, 2013. *A New Strategy for Voltage Balancing of Cascaded H-Bridge Active Rectifiers*. VCCA-2013, 204-210.
- [3]. Bui Van Huy, Tran Trong Minh, 2016. *Simulation and Experimental Proving a Strategy for DC Capacitor Voltage Balancing of Cascaded H-Bridge Active Rectifiers*. Vietnam Automation Today, Vol. 15, 41-48.
- [4]. M. Li, J. N. Chiasson, L. M. Tolbert, 2006. *Capacitor Voltage Control in a Cascaded Multilevel Inverter as a Static Var Generator*. Power Electronics and Motion Control Conference. IPEMC 2006. CES/IEEE 5th International.
- [5]. José Rodríguez, Steffen Bernet, BinWu, Jorge O. Pontt, Samir Kouro, 2007. *Multilevel Voltage-Source-Converter Topologies for Industrial Medium-Voltage Drives*. IEEE Transactions on industrial electronics, vol. 54, no. 6, December.
- [6]. Jih-Sheng Lai, Fang Zheng Peng, 1996. *Multilevel Converters - A New Breed of Power Converters*. IEEE transactions on industrial applications, Vol. 32, No. 3.

#### AUTHORS INFORMATION

Bui Van Huy<sup>1</sup>, Nguyen Van Doai<sup>1</sup>, Pham Thi Anh Tuyet<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Electrical Engineering, Hanoi University of Industry

<sup>2</sup>Hoa Binh College of Engineering and Technology