

## GIẢI PHÁP CHUYỂN TỤ ĐIỆN TRONG NGHỊCH LƯU ĐA BẬC

Trần Văn Thuận<sup>1</sup>, Phan Thanh Minh<sup>1</sup>, Trịnh Văn Khích<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Thông tin Liên lạc

### Tóm tắt:

Ngày nay các nguồn năng lượng tái tạo như năng lượng mặt trời, năng lượng gió được quan tâm nghiên cứu ứng dụng cho việc cung cấp nguồn một cách rộng rãi. Vì vậy, bộ nghịch lưu ngày càng giữ vai trò quan trọng trong việc chuyển đổi dòng điện một chiều thành dòng điện xoay chiều để cung cấp cho các thiết bị điện và điện tử. Bài nghiên cứu này sẽ trình bày một cấu hình nghịch lưu 9 bậc sử dụng phương pháp chuyển tụ điện với nhiều ưu điểm. Kết quả được thực hiện mô phỏng trên phần mềm PSIM 9.1 và được kiểm chứng qua thực nghiệm sử dụng phần mềm chuyên dụng Code Composer Studio để lập trình cho vi mạch TMS320F28335 của tập đoàn Texas Instruments điều khiển mạch nghịch lưu một pha chuyển tụ điện 9 bậc.

**Từ khóa:** Nghịch lưu, dòng điện, tụ điện, PSIM

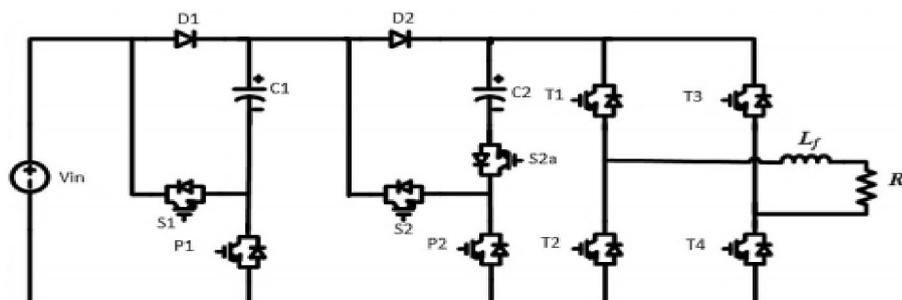
### 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Bộ nghịch lưu áp cung cấp và điều khiển điện áp xoay chiều ở ngõ ra với mức điện áp ổn định để cung cấp cho các thiết bị tiêu thụ với những yêu cầu kỹ thuật nhất định nào đó. Nguồn điện áp một chiều ở ngõ vào bộ nghịch lưu có thể ở dạng đơn giản như acquy, pin điện hoặc ở dạng phức tạp gồm điện áp xoay chiều được chỉnh lưu và lọc phẳng. Linh kiện trong bộ nghịch lưu áp có khả năng kích đóng và kích ngắt dòng điện qua nó. Bộ nghịch lưu áp có rất nhiều loại cũng như nhiều phương pháp điều khiển khác nhau; trong đó có 3 dạng phổ biến sau:

- ❖ Dạng diode kẹp NPC (Diode Clamped Multilevel Inverter)
- ❖ Dạng dùng tụ bay (Flying Capacitor Multilevel Inverter)
- ❖ Dạng ghép tầng cascade (Cascade Inverter)

Ba dạng nghịch lưu kể trên còn một số hạn chế như: chi phí, phức tạp trong điều khiển... Vì vậy, nhiều dạng cấu hình nghịch lưu khác đã ra đời để thay thế cho các bộ nghịch lưu truyền thống; trong đó có giải pháp chuyển tụ điện để có được bộ nghịch lưu đa bậc.

### 2. ĐỀ XUẤT CẤU HÌNH NGHỊCH LƯU MỘT PHA CHUYỂN TỤ ĐIỆN 9 BẬC

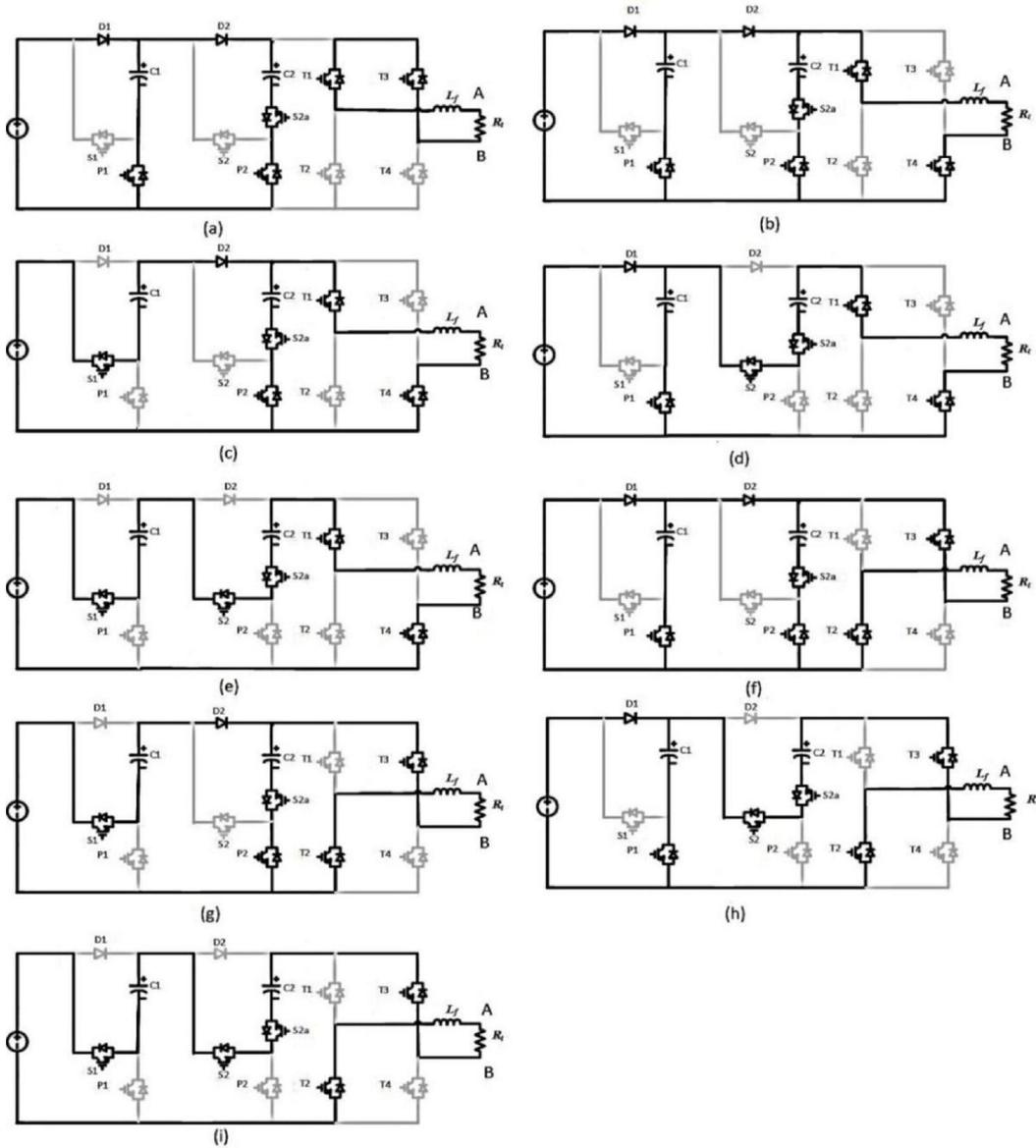


Hình 1: Sơ đồ mạch nghịch lưu chuyển tụ điện 9 bậc

Cấu hình được đề xuất nghiên cứu là mạch nghịch lưu chuyển tụ điện 9 bậc sử dụng công tắc bán dẫn S1, P1 điều khiển chuyển mạch mắc nối tiếp, song song của tụ điện C1 với nguồn vào  $V_{in}$ . Công tắc S2, S2a, P2 điều khiển chuyển mạch mắc nối tiếp, song song của tụ điện C2 với nguồn vào

$V_{in}$ . Các công tắc T1, T2, T3, T4 là các công tắc của cầu H, ngoài ra mạch điện còn sử dụng 2 diode D1, D2.

Các trạng thái hoạt động của mạch nghịch lưu chuyển tụ điện 9 bậc được thể hiện ở hình 2.



**Hình 2:** Các trạng thái hoạt động theo các trạng thái đóng ngắt của các khóa bán dẫn và chiều của dòng điện tải. (a) Trạng thái 1, (b) Trạng thái 2, (c) Trạng thái 3, (d) Trạng thái 4, (e) Trạng thái 5, (f) Trạng thái 6, (g) Trạng thái 7, (h) Trạng thái 8, (i) Trạng thái 9

Quy ước điện áp ngõ ra của mạch  $V_{out} = V_{AB}$ , dòng điện ngõ ra  $i_{out} = i_{AB}$ , khi đó ta có:

Trạng thái 1: Tụ điện C1, C2 được mắc song song với nguồn và được nạp một giá trị điện áp bằng  $V_{in}$ , ngõ ra điện áp của mạch lúc này bằng  $0V$ ,  $i_{out} = 0$ .

Trạng thái 2: Điện áp trên tụ C1, C2 bằng điện áp  $V_{in}$ , ngõ ra điện áp của mạch lúc này có giá trị là  $V_{in}$ ,  $i_{out} = (+)$ .

Trạng thái 3: Tụ điện C1 được mắc nối tiếp với nguồn  $V_{in}$ , tụ điện C2 được mắc song song với tụ

C1 và nguồn  $V_{in}$ , lúc này điện áp trên tụ C2:  $V_{C2} = V_{C1} + V_{in} = 2V_{in}$ , điện áp tại ngõ ra lúc này là  $V_{out} = V_{C1} + V_{in} = 2V_{in}$ ,  $i_{out} = (+)$ .

Trạng thái 4: Tụ điện C1 được mắc song song với nguồn  $V_{in}$  và được nạp giá trị điện áp bằng  $V_{in}$ , tụ điện C2 được mắc nối tiếp với tụ C1 và nguồn  $V_{in}$ , điện áp tại ngõ ra lúc này là  $V_{out} = V_{C2} + V_{in} = 3V_{in}$ ,  $i_{out} = (+)$ .

Trạng thái 5: Tụ điện C1, C2 được mắc nối tiếp với nguồn  $V_{in}$ , do đó ngõ ra điện áp lúc này  $V_{out} = V_{C1} + V_{C2} + V_{in} = 4V_{in}$ ,  $i_{out} = (+)$ .

Trạng thái 6: Điện áp trên tụ C1, C2 bằng điện áp  $V_{in}$ , ngõ ra điện áp của mạch lúc này có giá trị là  $-V_{in}$ ,  $i_{out}=(-)$ .

Trạng thái 7: Tụ điện C1 được mắc nối tiếp với nguồn  $V_{in}$ , tụ điện C2 được mắc song song với tụ C1 và nguồn  $V_{in}$ , lúc này điện áp trên tụ C2:  $V_{c2}=V_{c1}+V_{in}=2V_{in}$ , điện áp tại ngõ ra lúc này là  $V_{out}=-V_{c1}+V_{in}=-2V_{in}$ ,  $i_{out}=(-)$ .

Trạng thái 8: Tụ điện C1 được mắc song song với nguồn  $V_{in}$  và được nạp giá trị điện áp bằng  $V_{in}$ ,

tụ điện C2 được mắc nối tiếp với tụ C1 và nguồn  $V_{in}$ , điện áp tại ngõ ra lúc này là  $V_{out}=-V_{c2}+V_{in}=-3V_{in}$ ,  $i_{out}=(-)$ .

Trạng thái 9: Tụ điện C1, C2 được mắc nối tiếp với nguồn  $V_{in}$ , do đó ngõ ra điện áp lúc này  $V_{out}=-V_{c1}+V_{c2}+V_{in}=-4V_{in}$ ,  $i_{out}=(-)$ .

Nguyên tắc hoạt động của bộ nghịch lưu chuyển tụ điện 9 bậc có thể được trình bày tóm tắt trong bảng 1 dưới đây.

**Bảng 1: Trạng thái hoạt động của bộ nghịch lưu chuyển tụ điện 9 bậc**

Trạng thái hoạt động	Các công tắc bán dẫn được kích mở	Điện áp trên tụ C1	Điện áp trên tụ C2	Điện áp ngõ ra	Chiều dòng điện ngõ ra
5	T1, T4, S1, S2, S2a	$V_{in}$	$2V_{in}$	$4V_{in}$	+
4	T1, T4, P1, S2, S2a	$V_{in}$	$2V_{in}$	$3V_{in}$	+
3	T1, T4, S1, P2	$V_{in}$	$2V_{in}$	$2V_{in}$	+
2	T1, T4, P1, P2	$V_{in}$	$V_{in}$	$V_{in}$	+
1	T1, T3	$V_{in}$	$V_{in}$	0	0
6	T2, T3, P1, P2	$V_{in}$	$V_{in}$	$-V_{in}$	-
7	T2, T3, S1, P2	$V_{in}$	$V_{in}$	$-2V_{in}$	-
8	T2, T3, P1, S2, S2a	$V_{in}$	$2V_{in}$	$-3V_{in}$	-
9	T2, T3, S1, S2, S2a	$V_{in}$	$2V_{in}$	$-4V_{in}$	-

Trong bảng 1, giá trị các điện áp trên tụ C2 và điện áp ra là chính xác với nguyên lý hoạt động đã trình bày.

Dựa vào trạng thái hoạt động của mạch điện hình 2 ta có thể xác định được các giá trị điện áp cực đại đặt lên linh kiện trong bảng 2.

**Bảng 2: Giá trị điện áp cực đại đặt lên linh kiện trong mạch nghịch lưu đề xuất**

Linh kiện trong mạch		Giá trị điện áp
Diode	D1	$V_{in}$
	D2	$2V_{in}$
Công tắc bán dẫn	S1	$V_{in}$
	P1	$V_{in}$
	S2	$2V_{in}$
	S2a	$V_{in}$
	P2	$2V_{in}$
	T1	$4V_{in}$
	T2	$4V_{in}$
	T3	$4V_{in}$
Tụ điện	C1	$V_{in}$
	C2	$2V_{in}$

### 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

#### 3.1. Kết quả mô phỏng

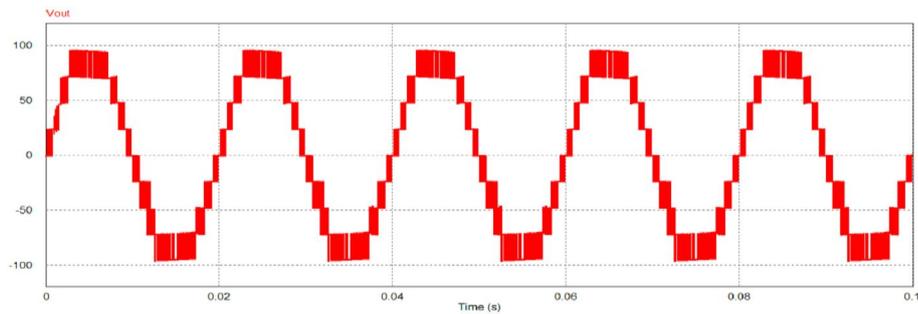
Kết quả được kiểm chứng bằng mô phỏng trên phần mềm PSIM.

**Bảng 3: Thông số mạch sử dụng trong mô phỏng và thực nghiệm**

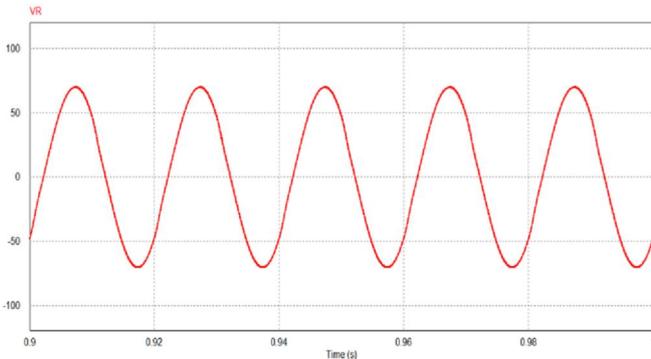
Thông số	Giá trị
Nguồn DC	24V
Tụ điện $C_1, C_2$	$2200\mu F$
Tải RL	$10\Omega, 30mH$
Tần số đóng cắt ( $f_{sw}$ )	10KHz
Tần số sóng sin điều khiển ( $f_{sin}$ )	50Hz
Công tắc bán dẫn	G30T60
Diode bán dẫn	DSEI30-60A

### 3.2. Kết quả được kiểm chứng bằng mô phỏng trên phần mềm PSIM.

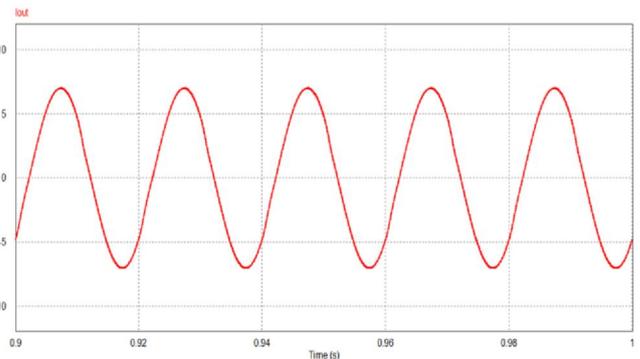
Kết quả mô phỏng cho thấy dạng sóng điện áp, dòng điện ngõ ra có chất lượng tốt, với độ méo dạng tổng do sóng hài THD = 2.18%.



Hình 3: Dạng sóng điện áp ngõ ra 9 bậc với tải trở thuần  $R=10\Omega$



Hình 4: Dạng sóng điện áp trên tải  $R$  với tải ngõ ra  $R=10\Omega, L=30mH$



Hình 5: Dòng điện ngõ ra tải  $RL$

Phương pháp sử dụng để điều khiển các công tắc bán dẫn của mạch nghịch lưu đề xuất là phương pháp Sin-PWM với hệ số điều chế  $M=4$ .

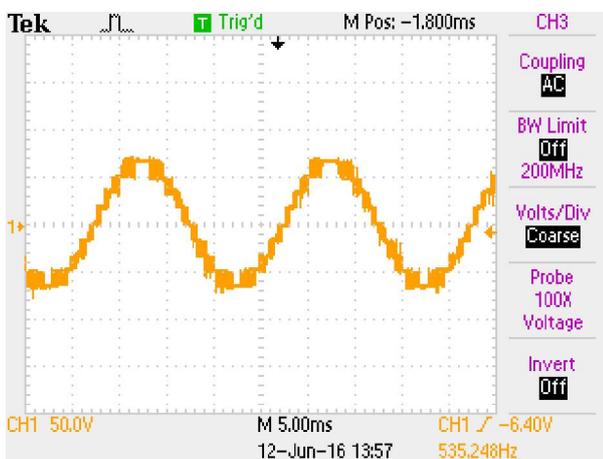
Khi thay đổi hệ số điều chế  $M$  từ 4 xuống 0, thì số bậc điện áp ngõ ra cũng thay đổi:

- ❖  $M>3$ , điện áp ngõ ra 9 bậc.
- ❖  $2<M<3$ , điện áp ngõ ra có 7 bậc.
- ❖  $1<M<2$ , điện áp ngõ ra có 5 bậc.

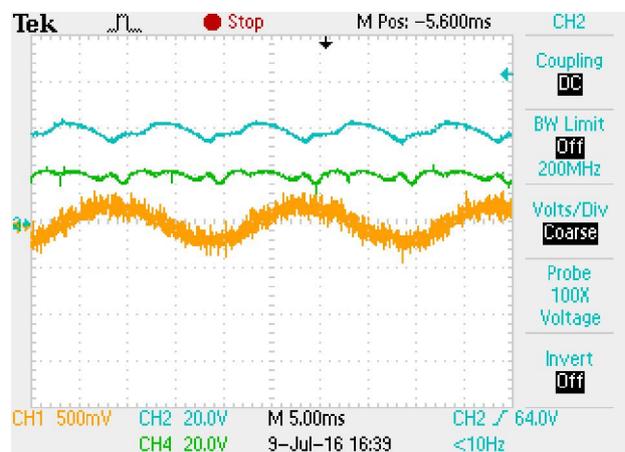
❖  $0<M<1$ , điện áp ngõ ra có 3 bậc.

### 3.3. Kết quả thực nghiệm

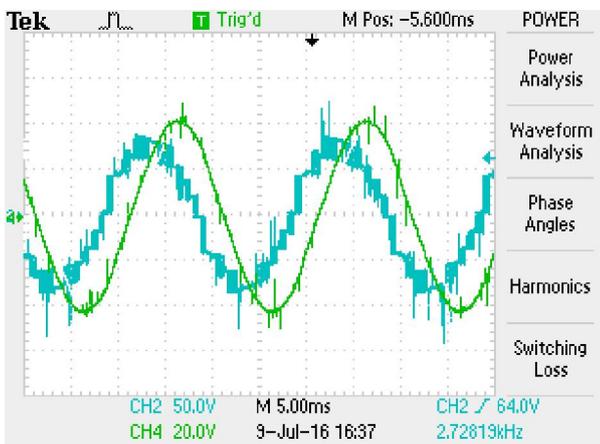
Thực nghiệm được tiến hành tại phòng thí nghiệm điện tử công suất nâng cao D405; kết quả được thực hiện đo đặc bằng các linh kiện IGBT G30N60, Diode DSEI30 và thiết bị đo Tektronix TPS 2024B.



Hình 6: Dạng sóng điện áp ngõ ra với tải thuần  $R=10\Omega$



Hình 7: Điện áp trên tụ  $C_1, C_2$  và dòng điện ngõ ra. Theo thứ tự: kênh 1/dòng điện ngõ ra; kênh 2/tụ điện  $C_2$ , kênh 4/tụ điện  $C_1$

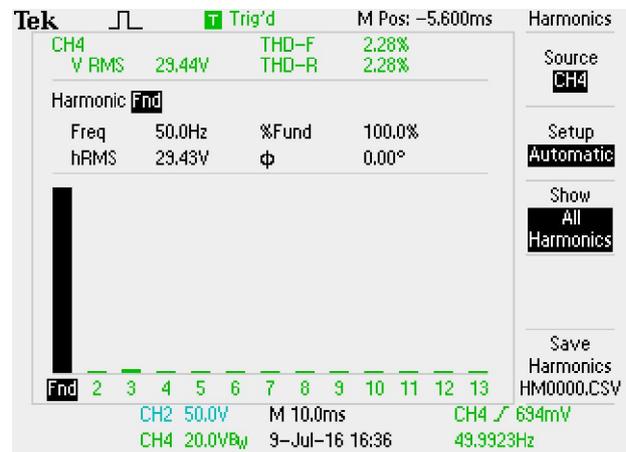


**Hình 8: Dạng sóng điện áp ở ngõ ra và trên tải R với tải ngõ ra  $R=10\Omega$ ,  $L=30mH$ . Trong đó, kênh 2 là dạng sóng điện áp ngõ ra; kênh 4 là dạng sóng điện áp trên tải R**

Kết quả thực nghiệm cho điện áp ra 9 bậc. Dạng sóng điện áp, dòng điện ngõ ra trên tải R có dạng hình sin với chất lượng tốt, điều này được thể hiện qua tần số đo được của dạng sóng là 50Hz và độ méo dạng tổng do sóng hài  $THD = 2.28\%$ . Kết quả này gần bằng với kết quả mô phỏng là  $THD=2.18\%$ .

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày cấu hình mạch nghịch lưu đa bậc (9 bậc) dùng giải pháp chuyển tụ điện với



**Hình 9: Các thông số đo được của dạng sóng điện áp và dòng điện trên tải R với tải ngõ ra  $R=10\Omega$ ,  $L=30mH$ . Trong đó  $THD=2.28\%$ , Tần số  $F=50.00Hz$**

nhiều ưu điểm vượt trội. Bộ nghịch lưu kể trên có thể ứng dụng cho các bộ nguồn sử dụng năng lượng tái tạo để cung cấp cho các thiết bị điện tử viễn thông trong thực tế; nhất là các vùng miền núi, biên giới, hải đảo, nơi khó khăn... Tuy nhiên, trong bài báo này chưa tính toán độ ripple (gợn sóng) của điện áp trên tụ điện cũng như độ tổn hao của mạch nghịch lưu đã đề xuất; đây cũng chính là vấn đề mở ra một hướng nghiên cứu mới nhằm khắc phục và cải tiến tốt hơn cho cấu hình này trong tương lai.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. S. Fazel, S. Bernet, D. Krug and K. Jalili (2007), "Design and comparison of 4-kv neutral-point-clamped, flying-capacitor, and series-connected H-bridge multilevel converters", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 43, no. 4, pp. 1032-1040.
- [2] Porselvi T. and Muthu R (2011), "Comparison of Cascaded H-Bridge, Neutral Point Clamped and Flying Capacitor multilevel inverters using multicarrier PWM, in India Conference (INDICON)", *2011 Annual IEEE, Hyderabad*, 2011, pp. 1 - 4.
- [3] Minh-Khai Nguyen (2014), "Cascaded five-level embedded-type switched boost inverter", *J. of Advanced Engineering and Technology*, Vol. 7, No. 9, pp. 107-112.
- [4] S. Sirisukprasert, A. Huang, and J. Lai, Modeling (2003), "analysis and control of cascaded-multilevel converter-based STATCOM", *Power Engineering Society General Meeting*, vol. 4, pp. 2561-2568.
- [5] Ebrahim Babaei and Saeed Sheermohammadzadeh Gowgani (2014), "Hybrid Multilevel Inverter Using Switched Capacitor Units", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 61, No. 9, September 2014.
- [6] Reza Barzegarkhoo, Hossein Madadi Kojabadi, Elyas Zamiry, Naser Vosooghi and Liuchen Chang (2015), "Generalized Structure for a Single Phase Switched-Capacitor Multilevel Inverter Using a New Multiple Dc Link Producer with Reduced Number of Switches", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol 31, Page: 5604-5617, November 2015.

# SOLUTION FOR CAPACITOR SWITCHED MULTI-STEP INVERTER

Thuan Van Tran<sup>1</sup>, Minh Thanh Phan<sup>1</sup>, Khich Van Trinh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Telecommunications University*

## **Abstract:**

*Nowadays, renewable energy sources such as solar, wind, ... which are interested in application research for power supply widely. So, the inverters play an increasing important role in converting DC into AC current to provide for electrical and electronic equipments. This paper will present a nine-step inverter configuration using a capacitor transfer method with many advantages. The results are shown on the PSIM9.1 software and verify on the Code Composer Studio to program for microchip TMS320F28335 of Texas Instruments Coporation, which controls the inverter one-phase switching nine-step capacitor.*

**Keywords:** *Inverter, capacitor, current, PSIM.*