

## NGHỊCH LƯU ĐA MỨC TRÊN CƠ SỞ BỘ BIẾN ĐỔI KIỂU MA TRẬN VỚI CÁC KHÂU DC LIÊN KẾT CÁCH LY TẦN SỐ CAO

Lê Phợng Hảo<sup>1</sup>, Trần Hùng Cợng<sup>1</sup>

### TÓM TẮT

*Nghịch lưu đa mức (Multi-level inverters MLI) với ưu điểm đưa ra được điện áp đầu ra với thành phần sóng hài tốt và điện áp trên các mạch cơ sở chỉ bằng biên độ điện áp ra chia cho số mức  $n$ . Tuy nhiên số mức yêu cầu tương đương với số mạch một chiều càng cao sẽ nảy sinh càng nhiều vấn đề và là một khó khăn lớn, nhất là với yêu cầu phải cách ly và có khả năng trao đổi công suất hai chiều. Bài báo này giới thiệu cấu trúc bộ biến đổi đa mức dùng cầu chữ H nối tầng với điểm khác biệt là các mạch cơ sở dùng biến tần kiểu ma trận trên các van bán dẫn hai chiều. Với ưu điểm là các mạch cơ sở kiểu ma trận thực hiện liên kết trực tiếp, trao đổi công suất hai chiều với khâu biến đổi DC-AC trung gian tần số cao, nhờ đó giảm được kích thước của biến áp cách ly. Bài báo cũng trình bày phương pháp điều chế, xây dựng các mạch vòng điều chỉnh cho một nghịch lưu 7 mức có khả năng nối lưới. Các yêu cầu đặt ra được kiểm chứng qua các kết quả mô phỏng.*

**Từ khóa:** Nghịch lưu đa mức

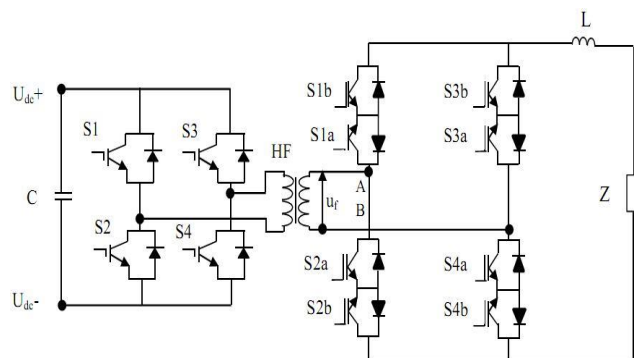
### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây nguồn năng lượng mới như năng lượng gió, năng lượng mặt trời,... đã và đang được quan tâm rất nhiều do nhu cầu về nguồn năng lượng này là rất cần thiết. Song, do đặc điểm là các nguồn năng lượng này có công suất nhỏ lẻ, phân bố rời rạc và không ổn định chính vì vậy sẽ không đảm bảo tính liên tục cung cấp điện cho các hộ phụ tải. Một nhược điểm nữa đó là các bộ biến đổi nguồn DC -AC hoặc AC-AC sử dụng các linh kiện điện tử, các van bán dẫn để chuyển đổi nguồn điện trước khi cung cấp cho phụ tải chỉ chịu được mức điện áp và công suất hạn chế và đặc biệt là chưa có khả năng trao đổi công suất hai chiều. Chính vì vậy cần phải có một chiến lược điều khiển kiểm soát tốt các nguồn năng lượng này để nâng cao chất lượng điện năng phục vụ cho tải tiêu thụ và mục tiêu lớn là hòa vào lưới điện quốc gia. Biến tần đa cấp đã đạt được nhiều sự chú ý trong những năm gần đây như là một giải pháp hiệu quả cho các ứng dụng công suất lớn và điện áp cao. Biến tần đa cấp có thể tạo ra điện áp dạng sin từ các bộ lọc điện áp nhỏ hơn từ các nguồn DC cách ly hoặc từ các cấp điện áp dùng bộ phân áp bằng một loạt tụ. Biến tần đa cấp có thể là khâu biến

<sup>1</sup> ThS. Giảng viên khoa Kỹ thuật - Công nghệ, trường Đại học Hồng Đức

đổi năng lượng điện lý tưởng cho kết nối các nguồn năng lượng tái tạo với lưới điện, bao gồm hầu hết các nguồn phân tán như pin mặt trời, pin nhiên liệu, tua-bin điện sức gió [3]. Cấu trúc biến tần đa cấp đã được phát triển để có thể sử dụng các thiết bị đóng cắt bán dẫn với điện áp tương đối thấp cho các ứng dụng yêu cầu điện áp cao, công suất lớn. Các nghiên cứu trước đây cho thấy [3 - 5], lợi thế của các nghịch lưu đa cấp dùng các khâu biến đổi nối tầng bao gồm: (1) các van bán dẫn chỉ phải đóng cắt ở tần số cơ bản (hoặc gần tần số này), do đó giảm đáng kể tổn hao do quá trình đóng cắt, (2) không cần dùng máy biến áp ở tần số lưới cung cấp các mức điện áp cần thiết, (3) kết cấu kiểu mô-đun hóa nên cấu trúc mạch lực đơn giản hơn, số lượng thiết bị ít hơn, (4) vì không có biến áp hệ thống có thể đáp ứng nhanh hơn nhiều.

## 2. BỘ BIẾN ĐỔI DC-AC-AC DÙNG MATRIX CONVERTER



**Hình 1. Sơ đồ bộ biến đổi DC-AC-AC dùng van bán dẫn hai chiều**

Trong sơ đồ này các khâu đầu vào là các H-Bridge thông thường. Khâu cách ly DC- AC được liên kết thông qua một biến áp tần số cao tạo sự cách ly độc lập tương đối cần thiết giữa lưới và tải kết nối với các cổng và nó làm việc trực tiếp với điện áp AC thông qua bộ chuyển đổi cyclo-converter để thực hiện trao đổi công suất hai chiều một cách linh hoạt. Khâu biến đổi AC-AC trực tiếp sử dụng van bán dẫn hai chiều, biến đổi điện áp dạng sóng chữ nhật, tần số cao  $f_{pwm}$  sang điện áp dạng sóng sin cơ bản tần số lưới 50 Hz. Quá trình biến đổi có thể dùng nguyên lý cycloconverter để chuyển mạch tự nhiên [4, 5]. Quá trình điều chế cycloconverter tạo ra điện áp tần số thấp ở mỗi nửa chu kỳ, là dãy xung áp có độ rộng thay đổi từ 0 đến  $T_{pwm}$ , tùy thuộc vào vị trí cắt nhau của tín hiệu điều chế  $m(t)$  với xung răng cưa của PWM.

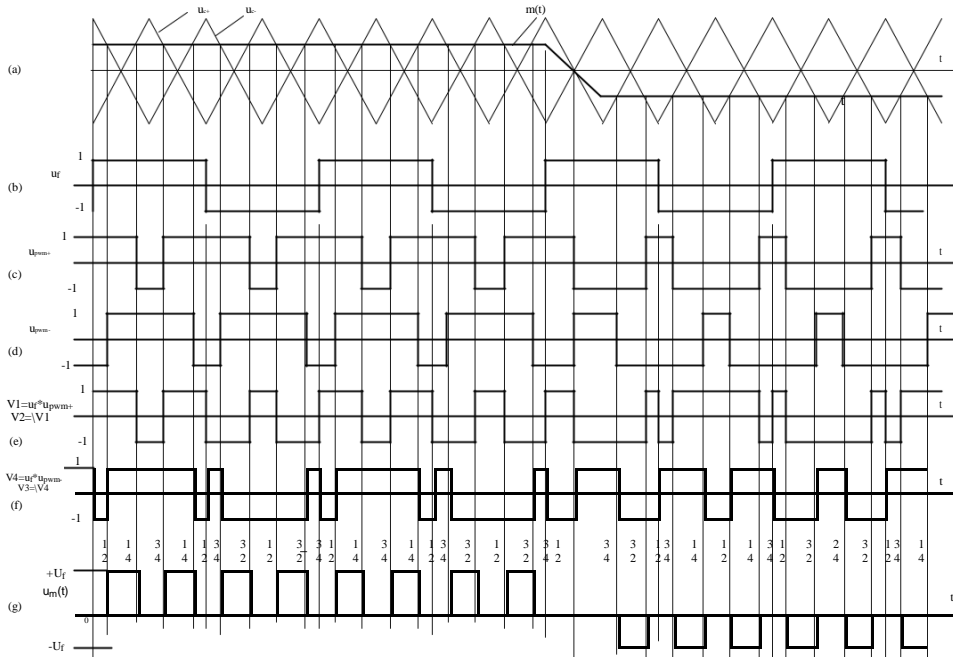
## 3. ĐIỀU CHẾ PWM CHO BỘ BIẾN ĐỔI DC-AC-AC DÙNG MATRIX CONVERTER

Phương pháp PWM và quá trình điều khiển chuyển mạch được giải thích qua đồ thị thời gian trên hình 2. Sóng răng cưa tam giác đối xứng trên đồ thị hình 2.a có tần số  $f_s$  gồm hai hệ xung  $c_+(t)$  và  $c_-(t)$  ngược nhau  $180^\circ$ . Xung điều khiển các van S1, S2, S3,

S4 của nghịch lưu bên phía sơ cấp máy biến áp HF được điều khiển đồng bộ với xung răng cưa ở tần số  $f_s/2$ .

Giả sử  $m(t)$  đang dương. Khi đầu ra phía thứ cấp là điện áp dương  $u_f(+)$ , giống như phương pháp điều chế PWM một cực tính, ở phía thứ cấp máy biến áp HF hai van hai chiều V1, V2 điều khiển bởi tín hiệu ra của  $pwm^+$ , là đầu ra của so sánh giữa tín hiệu sin mong muốn  $m(t)$  với xung răng cưa  $c(t)$ , còn nhánh van V3, V4 điều khiển tín hiệu ra của  $pwm^-$ , đầu ra khâu so sánh  $m(t)$  với  $c-(t)$ . Khi đầu ra thứ cấp máy biến áp là điện áp âm  $u_f(-)$  thì ngược lại, V1 (gồm S1a, S1b) V2 (gồm S2a, S2b) điều khiển bởi  $pwm^-$ , còn V3 (gồm S3a, S3b), V4 (gồm S4a, S4b) bởi  $pwm^+$ .

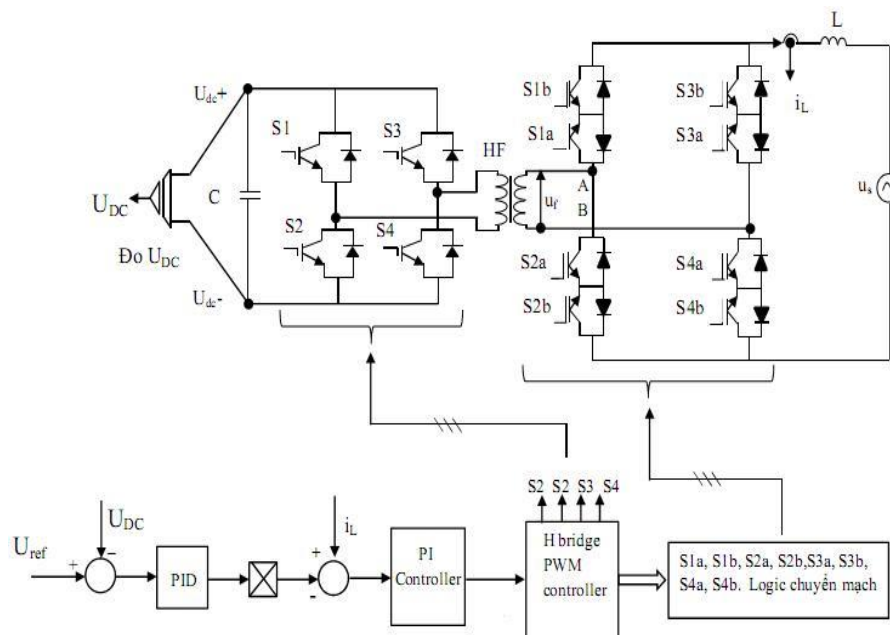
Thuật toán điều chế được xây dựng như giải thích qua các đồ thị trên hình 2. Tín hiệu  $u_f$  có biên độ  $\pm 1$ , tần số  $f_s/2$ , là tín hiệu điều khiển cầu S1, S2, S3, S4 bên phía sơ cấp máy biến áp HF. Tín hiệu  $+1$  mở cặp van S1, S4, và  $-1$  mở cặp van S3, S2. Tín hiệu đầu ra khâu so sánh của PWM cũng là  $\pm 1$ , gồm hai hệ thống  $u_{pwm+}$  (là và  $u_{pwm-}$ ). Khi đó lấy tích  $u_f * u_{pwm+}$  và  $u_f * u_{pwm-}$  ta sẽ được ngay tín hiệu điều khiển van hai chiều V1, V3 và V2, V4 tương ứng. Điểm đặc biệt của thuật toán điều chế ở đây là tín hiệu tích có tác dụng chỉnh lưu lại điện áp ở đầu ra, bởi vậy tránh được phải sử dụng mạch logic phức tạp. Cần lưu ý rằng đối với matrix converter thì V3 phải điều khiển ngược với V1 và V2 ngược với V4, điều này thể hiện trên đồ thị 2.e và 2.f. Các khoảng dẫn của van cũng được thể hiện trên đồ thị. Trên hình 2.g cho thấy dạng điện áp ra của matrix converter trong cả hai trường hợp tín hiệu điều chế  $m(t)$  dương và âm. Như vậy mạch logic có thể thiết kế thống nhất, khá đơn giản.



Hình 2. Mẫu xung điều khiển PWM cho matrix converter

Mẫu xung điều khiển các van V1, V2, V3, V4 ứng với cả hai trường hợp m(t) dương và âm biểu diễn trên đồ thị hình 2e cùng với dạng xung của điện áp ra  $u_{mc}(t)$ . Có thể thấy rằng điện áp ra có dạng của điều chế PWM một cực tính, khi m(t) dương chỉ có các xung dương và khi m(t) âm chỉ có các xung âm. Nếu biên độ điện áp xung chữ nhật ở thứ cấp máy biến áp HF là  $U_f$  thì điện áp ra  $u_{mc}(t)$  có 3 mức:  $+U_f$ ,  $-U_f$ , và zero. Ở trạng thái ra không, dòng tải  $i_L$  ngắn mạch qua nhánh van (V1, V2) hoặc (V3, V4), không đi qua cuộn dây máy biến áp và không làm ngắn mạch máy biến áp. Điều này mang lại hiệu quả cao cho sơ đồ, khác với quá trình điều chế ngay bên phía sơ cấp máy biến áp. Khi điều chế bên phía sơ cấp để tạo trạng thái không bên thứ cấp, dòng phải chạy quanh bên phía sơ cấp làm tăng phát nóng cuộn dây. Có thể thấy rằng điện áp đầu ra máy biến áp luôn có dạng xung chữ nhật đối xứng, biên độ  $\pm U_f$ , tần số  $f_s/2$ . Ký hiệu 4 trạng thái được phép của các van V1, ..., V4 là (12), (14), (32), (34), tương ứng với cặp van đóng (V1, V2), (V1, V4), (V3, V2), (V3, V4). Các trạng thái (V1, V3), (V2, V4) là không được phép vì làm ngắn mạch thứ cấp máy biến áp. Trạng thái (12) và (34) là hai trạng thái không, ngắn mạch đầu ra làm điện áp ra bằng không.

#### 4. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN CHO BỘ BIẾN ĐỔI DC-AC-AC



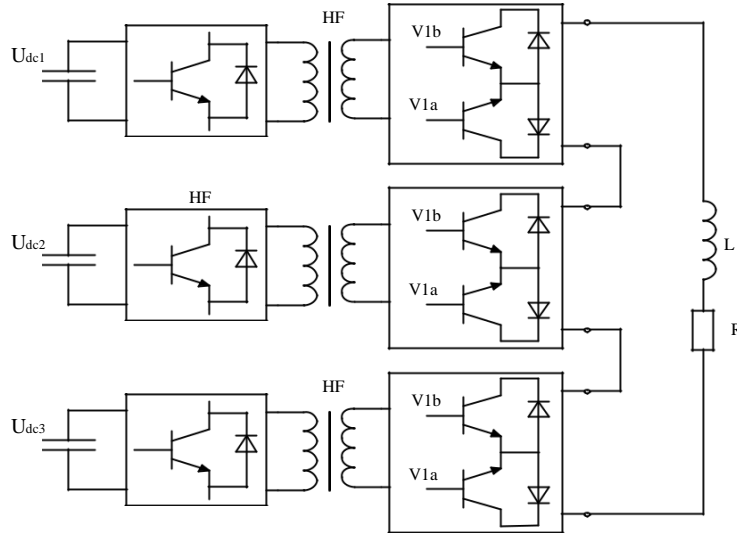
Hình 3. Hệ thống điều khiển cho bộ biến đổi DC-AC-AC

#### 5. NGHỊCH LƯỢNG ĐA MỨC XÂY DỰNG TRÊN BỘ BIẾN ĐỔI DC-AC-AC

Có thể thấy rằng bộ biến đổi DC-AC-AC có phần một chiều cách ly qua khâu trung gian tần số cao và khâu AC-AC kiểu ma trận với mạch điều chế PWM và mạch

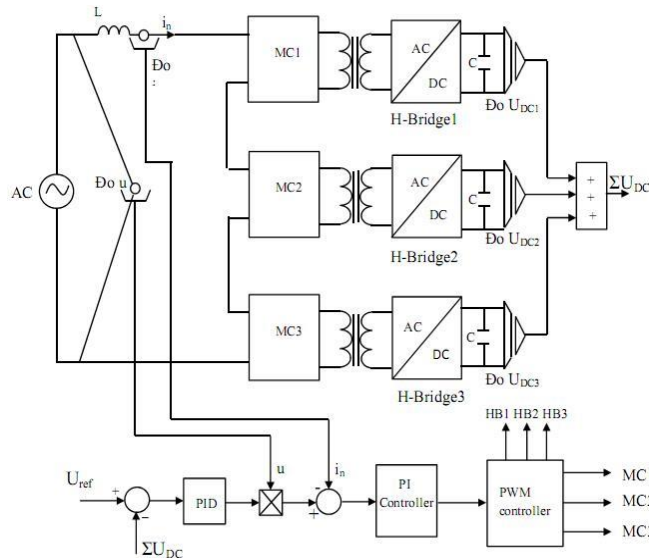


logic điều khiển chuyên mạch nêu trên hoàn toàn tương đương với một nghịch lưu cầu chữ H với một khâu biến đổi DC-AC thông thường. Vì vậy có thể xây dựng một nghịch lưu đa mức kiểu dùng cầu H nối tầng từ chính bộ biến đổi này, trong đó vai trò của phía một chiều cách ly sẽ thể hiện rõ trong cấu trúc bộ biến đổi back-to-back giới thiệu sau đây. Nghịch lưu đa mức sử dụng phương pháp điều chế phase-shift để phân tải đều nhau giữa các cầu H thành phần trong toàn dải thay đổi của biên độ dạng sin ra mong muốn.



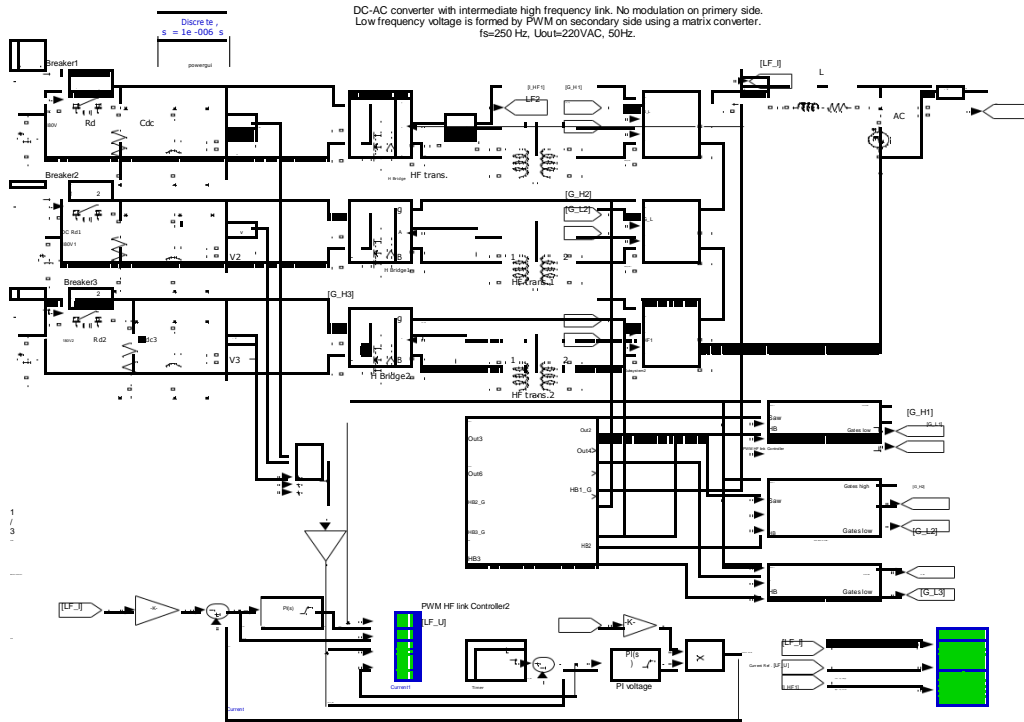
Hình 4. Nghịch lưu đa mức trên cơ sở bộ biến đổi DC-AC-AC

### 6. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN CHO BỘ BIẾN ĐỔI

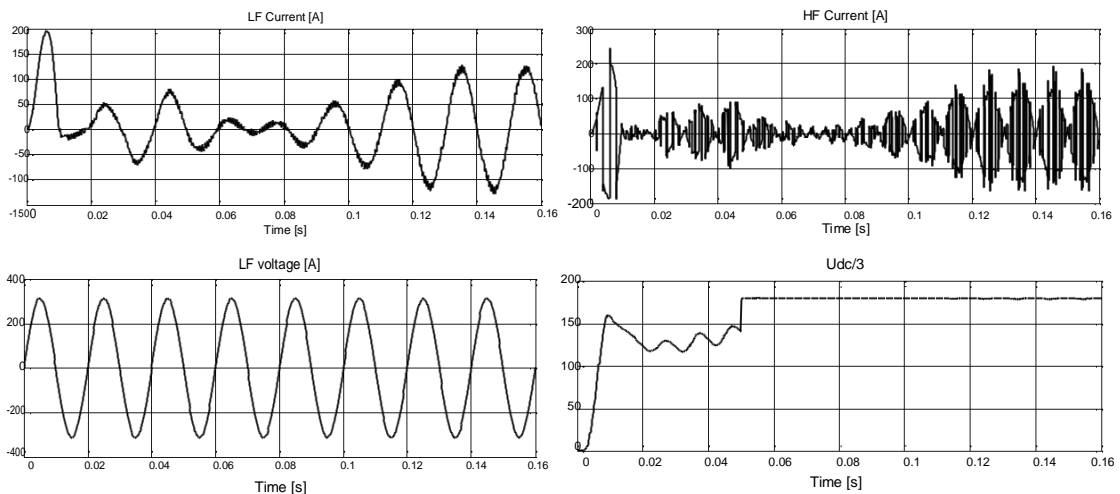


Hình 5. Hệ thống điều khiển bộ biến tần đa mức xây dựng dựa trên bộ biến đổi DC-AC-AC

## 7. SƠ ĐỒ MÔ PHỎNG BỘ NGHỊCH LƯỢNG ĐA MỨC XÂY DỰNG TRÊN BỘ BIẾN ĐỔI DC-AC-AC



## 8. KẾT QUẢ



Kết quả mô phỏng cho ta thấy bộ van biến đổi hai chiều khi kết nối đa mức vẫn đảm bảo làm việc tốt. Nhờ ta thấy trên hiển thị kết quả mô phỏng dòng trên tải  $i_{load}$  luôn đảm bảo là hình sin và khi nhận năng lượng của lưới thì dòng điện cùng pha với điện áp đầu vào còn khi trả năng lượng về lưới thì dòng điện ngược pha với điện áp đầu vào. Nhờ vậy bộ nghịch lưu đa mức trên cơ sở bộ biến đổi kiểu ma trận





với các khâu DC liên kết cách ly tần số cao không những vẫn đảm bảo được những ưu điểm của bộ nghịch lưu đa mức thông thường mà bộ biến đổi này còn có khả năng trao đổi công suất hai chiều, điều khiển chuyển mạch van đơn giản dẫn đến điều chế cũng dễ dàng. Ngoài ra còn có khâu DC liên kết cách ly tần số cao không những cách ly sự làm việc độc lập giữa bên xoay chiều và một chiều mà việc dùng máy biến áp tần số cao còn có tác dụng hỗ trợ trong việc điều khiển chuyển mạch van dễ dàng và chính xác hơn.

## 9. KẾT LUẬN

Nhóm tác giả đã tìm hiểu, phân tích cấu trúc của bộ nghịch lưu đa mức và khâu truyền dẫn công suất hai chiều Matrix-Converter; Nghiên cứu, phân tích phương pháp điều khiển cho bộ nghịch lưu. Trên cơ sở đó, phân tích và thiết kế thành công hệ thống điều khiển cho sơ đồ truyền dẫn công suất hai chiều Matrix-Converter. Nhóm cũng đã lập trình tính toán các thông số cho bộ điều chỉnh PID dùng trong các bộ biến đổi và xây dựng mô hình mô phỏng bộ nghịch lưu đa mức, khâu truyền dẫn công suất hai chiều dùng Matix Converter. Đưa ra các nhận xét, đánh giá các kết quả mô phỏng. Với kết quả hiện tại, bộ biến đổi hoạt động khá ổn định, và cho đáp ứng khá tốt với luật điều khiển đặt ra.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] José Rodríguez, Steffen Bernet, BinWu, Jorge O. Pontt, Samir Kouro; *Multilevel Voltage-Source-Converter Topologies for Industrial Medium-Voltage Drives*; IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 54, NO. 6, DECEMBER 2007.
- [2] J. S. Lai and F. Z. Peng, "Multilevel converters - A new breed of power converters," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 32, pp. 509 - 517, May/June 1996.
- [3] José Rodríguez, Luis Luis, et al.; *High-Voltage Multilevel Converter With Regeneration Capability*; IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 49, NO. 4, AUGUST 2002.
- [4] Songquan Deng, Hong Mao, Joy Mazumdar, Issa Batarseh and Kazi Khairul Islam; *A New Control Scheme for High-frequency Link Inverter Design*; Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2003. APEC '03. Eighteenth Annual IEEE.
- [5] E.Koutroulis, J.Chatzakis, K.Kalaitzakis and N.C.Voulgaris; *A bidirectional, sinusoidal, high-frequency inverter Design*; IEE Proc.-Electr. Power Appl., Vol. 148, No. 4, July 2001.

- [6] M. Li, J. N. Chiasson, L. M. Tolbert; *Capacitor Voltage Control in a Cascaded Multilevel Inverter as a Static Var Generator*; Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. IPEMC 2006. CES/IEEE 5th International
- [7] José Rodríguez, Luis Morán, “*High-Voltage Multilevel Converter With Regeneration Capability*”.

## MULTI-LEVEL INVERTER BASED ON MATRIX CONVERTER CELLS WITH ISOLATED DC LINK OF HIGH FREQUENCY

Le Phuong Hao, Tran Hung Cuong

### ABSTRACT

*Multi-level inverters (MLI) can easily provide output voltage with reduced harmonic distortion and low voltage level on power switches. However, a large number of required DC sources, which is equal to the number of levels on output voltage, are a serious drawback, especially when power exchange and isolation are both required. This paper presents a structure of H bridge cascaded multi-level inverter based on matrix converter. The cell on matrix converter directly connected with AC side of the intermediated DC-AC high frequency link, thus provide two sides of power exchange. High frequency link helps reduce size of the isolation transformer. The paper shows how to build modulation scheme and two control loops for a 7-levels converter with grid-connected possibility. The good simulation results have demonstrated the effectiveness of this approach.*

**Key words:** *Mult I - level inverters (MLI)*