

# XÂY DỰNG PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN CHO BỘ BIẾN ĐỔI NGHỊCH LƯU HÒA LƯỚI ĐIỆN PIN MẶT TRỜI SỬ DỤNG THUẬT TOÁN DPC

BUILDING A CONTROL SYSTEM FOR A SOLAR PANEL GRID-CONNECTED INVERTER USING DPC ALGORITHM

Bùi Văn Huy<sup>1,\*</sup>, Trịnh Trọng Chương<sup>1</sup>, Quách Đức Cường<sup>1</sup>,  
Nguyễn Văn Hiếu<sup>2</sup>, Nguyễn Đức Minh<sup>3</sup>

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.166>

## TÓM TẮT

Bài báo này trình bày việc sử dụng thuật toán điều khiển công suất trực tiếp (DPC) để điều khiển bộ biến đổi công suất trong hệ thống Pin mặt trời hòa lưới điện. Mục tiêu chính của bài báo là điều khiển bộ biến đổi nghịch lưu 3 pha nối lưới nhằm đáp ứng được yêu cầu điều khiển công suất phản kháng về giá trị không tại một nút của lưới phân phối hạ áp để đảm bảo cân bằng điện áp, đồng thời phát huy tối đa công suất tác dụng từ Pin mặt trời lên vào lưới. Kết quả nghiên cứu được chúng tôi kiểm chứng trên mô hình mô phỏng bằng phần mềm Matlab simulink đã cho kết quả tốt và tỏ rõ khả năng sẵn sàng cho các ứng dụng thực tế.

**Từ khóa:** Nghịch lưu nối lưới, điều khiển cân bằng công suất (DPC), cân bằng điện áp.

## ABSTRACT

This paper presents the development of the Direct Power Control (DPC) control algorithm for the power electronic converter in a grid-connected solar energy system. The main objective of the paper is to control the three-phase grid-connected inverter in order to meet the requirements of reactive power control at a specific node of the low-voltage distribution grid, ensuring voltage balance while maximizing the power output from solar panels to the grid. The research results were validated through simulation using Matlab Simulink software, which yielded promising outcomes and clearly show their readiness for practical applications.

**Keywords:** Grid-connected inverter, Direct power control (DPC), voltage balanced.

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

<sup>2</sup>Học viên Cao học, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>3</sup>Viện Khoa học Năng lượng, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

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

Ngày nhận bài: 15/3/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 30/7/2023

Ngày chấp nhận đăng: 15/10/2023

## 1. GIỚI THIỆU

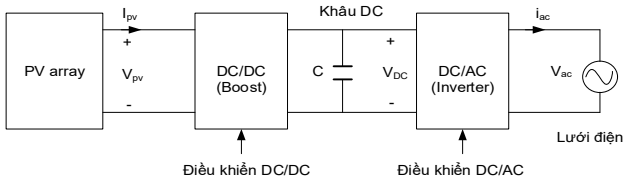
Trong các hệ thống Pin mặt trời kết nối lưới điện, bộ biến đổi công suất giữ vai trò rất quan trọng trong các hệ thống điều khiển, bởi đặc tính của hệ thống Pin mặt trời là

có công suất phát luôn biến đổi do phụ thuộc điều kiện thời tiết. Sự thay đổi công suất phát của chúng có thể gây ảnh hưởng tiêu cực đến chất lượng điện năng của lưới điện, như gây dao động điện áp, thay đổi hệ số công suất, dao động tần số, tăng độ méo sóng hài dòng điện,... Để đáp ứng yêu cầu ngày càng cao về chất lượng điện năng đã đặt ra yêu cầu thực tế là: cần thiết phải có những bộ biến đổi điện tử công suất đáp ứng khả năng kết nối linh hoạt, trao đổi công suất và đảm bảo được các chỉ tiêu về chất lượng điện năng. Yêu cầu của bộ biến đổi là phải điều khiển được dòng công suất giữa các thành phần của lưới để phát huy hết công suất của các nguồn phát trong khi phải tránh được các xung động đột ngột do mất tải hay do chính các nguồn phát biến động [1].

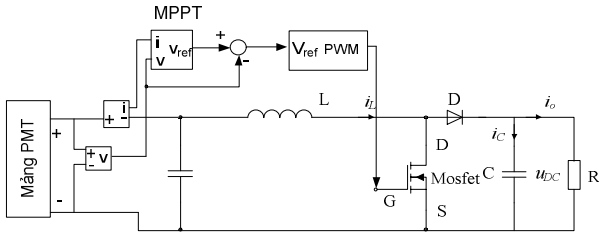
Với hai phương pháp điều khiển là VOC và DPC, phương pháp VOC dựa trên phép chuyển đổi hệ tọa độ quay abc sang hệ tọa độ dq. Sử dụng vòng khóa pha PLL để đồng bộ với góc pha của lưới từ đó xây dựng lên các vòng điều khiển dòng điện, điện áp. Còn phương pháp DPC điều khiển trên nền tảng điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng tức thời, không có vòng điều khiển dòng điện bên trong, không cần vòng khóa pha PLL [7, 8]. Nội dung của nghiên cứu này là xây dựng giải thuật DPC nhằm đảm bảo điều khiển hệ số công suất bằng 1 và phát huy tối đa công suất tác dụng từ nguồn điện mặt trời vào lưới. Các thuật toán và các vòng điều khiển cũng được phân tích một cách kỹ lưỡng, kết quả nghiên cứu được minh chứng bằng mô phỏng trên Matlab và simulink.

## 2. CẤU TRÚC ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG

Hệ thống điện mặt trời nối lưới tổng quan với hai bộ công suất DC/DC và DC/AC cho như hình 1. Bộ DC/DC có nhiệm vụ bám công suất cực đại thông qua các giải thuật MPPT. Bộ DC/AC có nhiệm vụ nối lưới và tạo điện áp và dòng điện dạng sin thoả mãn các yêu cầu chất lượng hoà lưới. Ngoài ra hệ thống có phải có khả năng trao đổi công suất tác dụng và phản kháng hai chiều giữa lưới và pin.



Hình 1. Nguyên lý hệ thống điện mặt trời nối lưới không dự phòng [1]



Hình 2. Nguyên lý thực hiện khâu bám công suất cực đại cho hệ thống Pin mặt trời

Với bộ biến đổi DC/DC sử dụng là bộ biến đổi tăng áp. Nguyên lý làm việc của bộ biến đổi (hình 2) này như sau: tín hiệu đầu vào là dòng điện và điện áp được đo từ dàn pin mặt trời được đưa đến khâu bám công suất cực đại MPPT, với giải thuật được sử dụng là giải thuật bám công suất cực đại nhiễu loạn và quan sát P&O như [1]. Đây là một phương pháp đơn giản và dễ sử dụng.

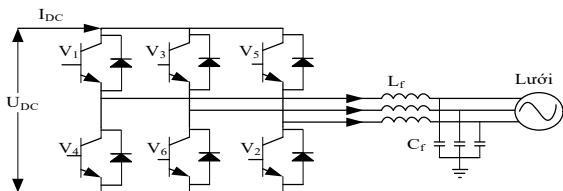
Thuật toán khảo sát và tìm ra điểm làm việc có công suất lớn nhất như sau:

- Nếu  $\Delta P \cdot \Delta V > 0$  thì tăng giá trị điện áp tham chiếu  $V_{ref}$ .
- Nếu  $\Delta P \cdot \Delta V < 0$  thì giảm giá trị điện áp tham chiếu  $V_{ref}$ .

Với các giá trị  $\Delta V$  và  $\Delta I$  ta tiến hành sai phân và biến đổi Z như (1).

$$\begin{cases} \Delta V = V(k) - V(k-1) \xrightarrow{z} \Delta V(z) = V(z) - z^{-1}V \\ \Delta I = I(k) - I(k-1) \xrightarrow{z} \Delta I(z) = I(z) - z^{-1}I(z) \end{cases} \quad (1)$$

Bộ biến đổi DC/AC có cấu trúc mạch lực như hình 3 là bộ biến đổi nối lưới có chức năng biến đổi nguồn điện một chiều DC thành nguồn điện xoay chiều tần số 50Hz. Điện áp xoay chiều sau bộ biến đổi được đi qua bộ lọc có chức năng giảm độ đập mạch dòng điện hoà lưới. Ngoài ra còn có tác dụng gán điện áp chênh lệch giữa bộ biến đổi và lưới. Bộ biến đổi hoạt động ở hai chế độ, chế độ chỉnh lưu lưới sẽ truyền năng lượng vào bộ biến đổi. Khi năng lượng từ bộ biến đổi vào lưới thì hệ thống hoạt động ở chế độ nghịch lưu.

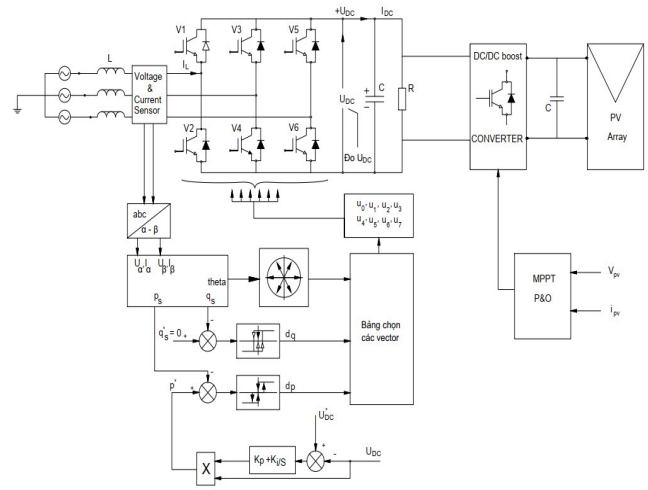


Hình 3. Cấu trúc bộ nghịch lưu nối lưới

### 3. PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN DPC CHO BỘ BIẾN ĐỔI NỐI LƯỚI

DPC là một phương pháp điều khiển gián tiếp. Bằng cách so sánh công suất tác dụng và công suất phản kháng  $p_s, q_s$

với lượng đặt  $p_s^*, q_s^*$  qua bộ so sánh có ngưỡng, sau đó chọn vectơ điện áp của nghịch lưu một cách hợp lý [4, 5, 8, 9]. Cấu trúc hệ thống điều khiển DPC ứng dụng trong hệ thống điện mặt trời cho như hình 4.

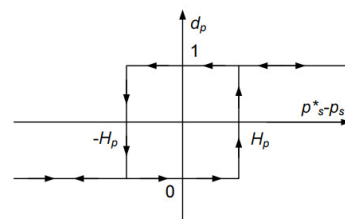


Hình 4. Cấu trúc hệ thống điều khiển DPC với pin mặt trời

Công suất tác dụng và công suất phản kháng được tính dựa vào điện áp và dòng điện của lưới như (2) ([5]).

$$\begin{cases} P = V_{\alpha} i_{\alpha} + V_{\beta} i_{\beta} \\ Q = V_{\beta} i_{\alpha} - V_{\alpha} i_{\beta} \end{cases} \quad (2)$$

Bộ điều khiển trở với tín hiệu đầu vào là sai số giữa công suất tác dụng  $S_p$  và công suất phản kháng  $S_q$  từ đó ta xác định trạng thái chuyển đổi của bộ DC/AC. Nguyên lý bộ so sánh có ngưỡng cho như hình 5.



Hình 5. Bộ so sánh có ngưỡng

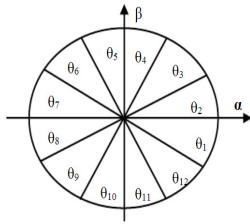
Ta đưa vào hai biến logic sau đây:

- $d_p = 1$  khi  $S_p > H_p$
- $d_p = 0$  khi  $S_p < -H_p$
- $d_q = 1$  khi  $S_q > H_q$
- $d_q = 0$  khi  $S_q < -H_q$
- $S_p = p_s^* - p_s; S_q = q_s^* - q_s$

Trong đó,  $H_p, H_q$  là độ rộng của vùng ngưỡng kém nhạy của khâu so sánh công suất tác dụng, công suất phản kháng. Tác động của bộ so sánh có ngưỡng của công suất tác dụng bộ so sánh công suất phản kháng cũng hoạt động tương tự.

Xác định góc  $\theta$  như (3). Hình 6 mô tả việc phân chia các góc trong không gian.

$$\theta = \omega t = \tan^{-1} \left( \frac{V_{\beta}}{V_{\alpha}} \right) \quad (3)$$



Hình 6. Phân chia các góc trong không gian

Các góc theta(θ) được phân chia theo công thức sau:

$$(n-2)\frac{\pi}{6} \leq \theta_n \leq (n-1)\frac{\pi}{6}, n = 1, 2, \dots, 12$$

Bảng 1. Bảng chọn vector điện áp khi điều chỉnh theo phương pháp DPC

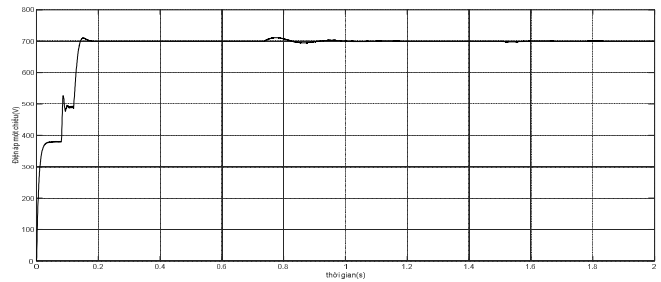
$d_p$	$d_q$	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$	$\theta_5$	$\theta_6$	$\theta_7$	$\theta_8$	$\theta_9$	$\theta_{10}$	$\theta_{11}$	$\theta_{12}$
1	0	V6	V7	V1	V0	V2	V7	V3	V0	V4	V7	V5	V0
	1	V7	V7	V0	V0	V7	V7	V0	V0	V7	V7	V0	V0
0	0	V6	V1	V1	V2	V2	V3	V3	V4	V4	V5	V5	V6
	1	V1	V2	V2	V3	V3	V4	V4	V5	V5	V6	V6	V1

Với: V1(100), V2(110), V3(010), V4(011), V5(001), V6(101), V0(000), V7(111)

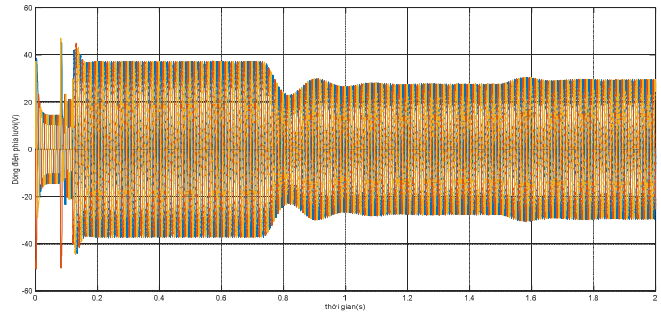
#### 4. MÔ PHỎNG VÀ BÌNH LUẬN

Mô hình mô phỏng bộ biến đổi nghịch lưu nối lưới trên hình 7, gồm khối nguồn xoay chiều 220VAC, 50Hz, điện cảm lọc  $L = 2,5mH$ . Tụ lọc trên khâu DC trung gian  $C = 1000\mu F$ . Phụ tải một chiều:  $R_{dc} = 30\Omega$ . Điện áp đặt một chiều  $U_{dc} = 700V$ . Mạch vòng điều chỉnh điện áp dùng bộ điều khiển PI thông thường giống như các tài liệu [1-3], các tham số xác định nhằm đảm bảo bằng thông và độ dự trữ pha cần thiết. Tham số bộ điều khiển điện áp như sau:

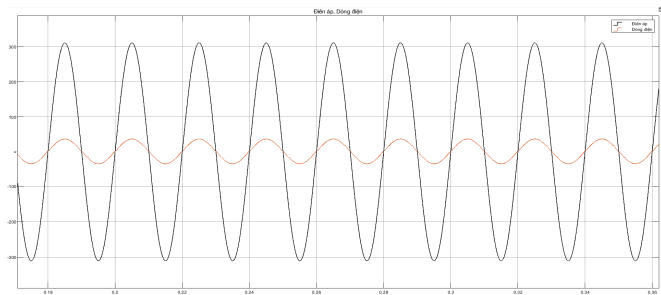
Bộ điều khiển điện áp:  $K_p = 0,1; K_i = 10$ .



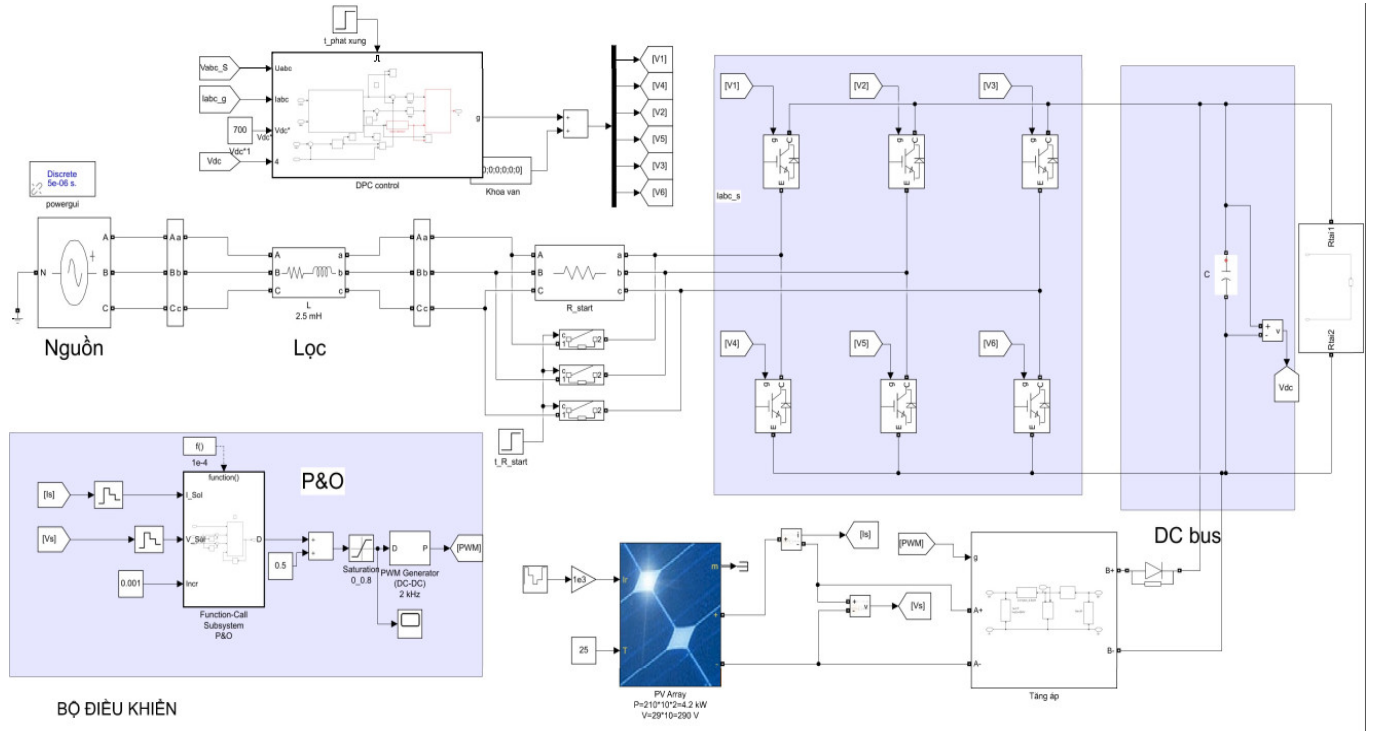
Hình 8. Điện áp một chiều trung bình  $U_{dc}$



Hình 9. Kết quả mô phỏng, dạng dòng xoay chiều đi vào lưới



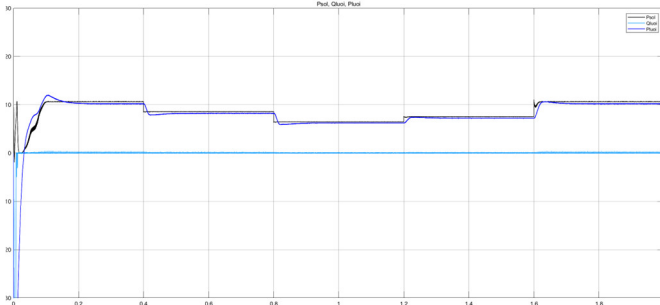
Hình 10. Điện áp và dòng điện bơm vào lưới trên cùng một trục tọa độ



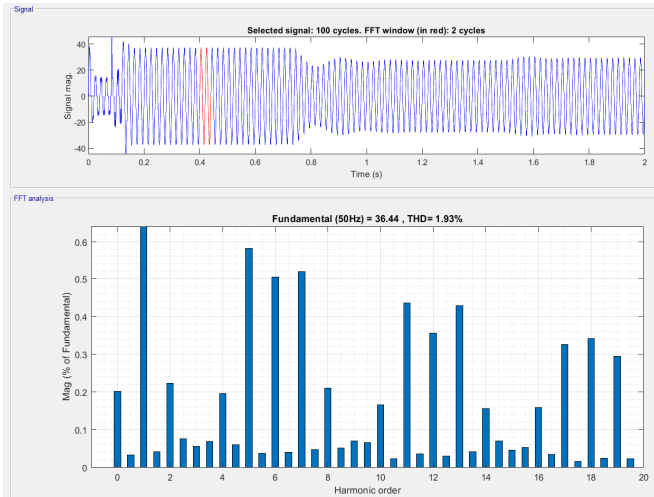
BỘ ĐIỀU KHIỂN

Hình 7. Mô hình mô phỏng bộ biến đổi nghịch lưu nối lưới

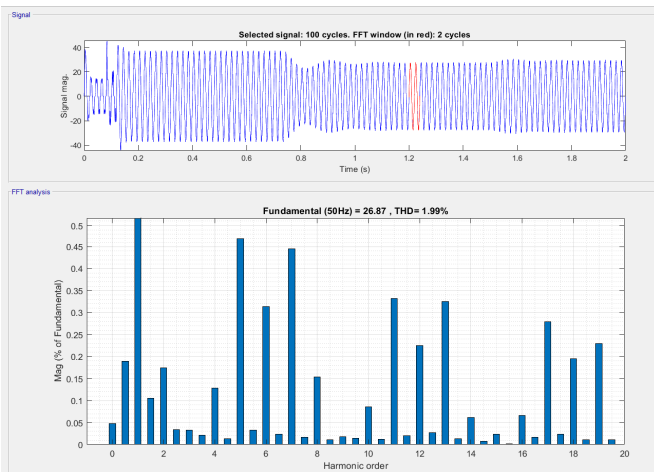
Trong quá trình khởi động để hạn chế dòng điện, 3 điện trở được mắc vào phía trước mạch nghịch lưu AC/DC. Điện áp ban đầu cấp cho tải là 380V sau 0,08s ta ngắt điện trở hạn dòng ra điện áp tăng lên 490V. Tại thời điểm 0,12s ta cấp tín hiệu cho bộ điều DPC hoạt động điện áp được điều khiển lên 700V. Sau đó điện áp được được điều chỉnh ổn định tại 700V với độ quá điều chỉnh POT = 1,4%, độ đập mạch 0,1V.



Hình 11. Công suất của dàn pin mặt trời phát vào lưới



Hình 12. Phân tích sóng hài dạng dòng trong khoảng 0,2 - 0,7s



Hình 13. Phân tích sóng hài dạng dòng điện trong khoảng 1 - 1,5s

Điện áp đầu ra bộ tăng áp được điều khiển tăng lên dần dần tại 0,74s điện áp đạt 700V, điện áp trên trên khâu DC trung gian vẫn ổn định và dòng điện lưới bắt đầu giảm. Tại 1,5s ta giảm cường độ chiếu sáng làm công suất bơm vào lưới giảm bộ điều khiển DPC vẫn ổn định được điện áp một chiều.

Kết quả mô phỏng hình 8 cho thấy điện áp trên tụ DC được điều khiển ổn định ở mức 700V, điều này cho thấy quá trình trao đổi năng lượng được cân bằng. Hình 11 mô tả công suất dàn Pin mặt trời phát vào lưới.

Nhìn vào kết quả mô phỏng trên các hình 12, 13 ta thấy chất lượng sóng hài dòng điện đảm bảo, THD nhỏ hơn 5% đảm bảo yêu cầu nối lưới.

### 5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đã đề xuất ứng dụng thuật toán điều khiển DPC cho hệ thống điện từ Pin mặt trời nối lưới nhằm kiểm soát công suất tác dụng và phản kháng tức thời, thuật toán điều khiển cho phép không cần thực hiện vòng khóa pha PLL và các vòng điều khiển dòng điện bên trong. Từ kết quả xây dựng và mô phỏng hệ thống năng lượng mặt trời nghịch lưu hòa lưới ba pha, đảm bảo được yêu cầu hòa lưới. Kết quả mô phỏng đã chứng minh quá trình trao đổi công suất là cân bằng và ổn định. Chất lượng sóng hài của dòng điện bơm vào lưới từ nguồn phát điện Pin mặt trời cũng đảm bảo.

### LỜI CẢM ƠN

Bài báo này được thực hiện với sự hỗ trợ kinh phí từ đề tài KHCN Độc lập cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Mã số: ĐL0000.01/22-23

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trinh Trong Chuong, Bui Van Huy, 2018. *Research and design of power electronic systems applications in solar energy systems connected to distribution grid*. Journal of Science and Technology, Hanoi University of Industry, Vol. Special.
- [2]. Bui Van Huy, Tran Trong Minh, Nguyen Van Lien, 2014. *Bidirectional power flow control via a cascaded multistage AC-DC-AC-AC converter with a high-frequency intermediate stage*. Measurement, Control, and Automation.
- [3]. Amirsaser Yazdani, Reza Iravani, 2010. *Voltage-sourced converters in power systems*. Wiley.
- [4]. Tran Trong Minh, 2012. *Giao trình Điện tu công suất*. Vietnam Education Publishing House, Hanoi.
- [5]. Tran Trong Minh, 2016. *Bài giảng Điện tu công suất năng cao*. Hanoi University of Science and Technology.
- [6]. Tran Trong Minh, Nguyen Quang Dich, Vu Hoang Phuong, Pham Viet Phuong, Nguyen Kien Trung, 2022. *Điện tu công suất trong ứng dụng đảm bảo chất lượng điện năng*. Science and Technics Publishing House, Hanoi.
- [7]. Yonghao Gui, Chunghun Kim, Chung Choo Chung, 2017. *Grid Voltage Modulated Direct Power Control for Grid Connected Voltage Source Inverters*. 2017 American Control Conference, Seattle, USA
- [8]. Yonghao Gui, Gil Ha Lee, Chunghun Kim, Chung Choo Chung, 2017. *Direct Power Control of Grid Connected Voltage Source Inverters Using Port-controlled Hamiltonian System*. International Journal of Control, Automation and Systems 15(X), 1-10 <http://dx.doi.org/10.1007/s12555-016-0521-9>
- [9]. Mariusz Malinowski, 2001. *Sensorless Control Strategies for Three - Phase PWM Rectifiers*. PhD. Thesis, Warsaw University of Technology.

### AUTHORS INFORMATION

**Bui Van Huy<sup>1</sup>, Trinh Trong Chuong<sup>1</sup>, Quach Duc Cuong<sup>1</sup>, Nguyen Van Hieu<sup>2</sup>, Nguyen Duc Minh<sup>3</sup>**

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

<sup>2</sup>Graduate student, Hanoi University of Industry, Vietnam

<sup>3</sup>Institute of Energy Science, Vietnam Academy of Science and Technology