

NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ HỆ THỐNG BIẾN ĐỔI ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT ỨNG DỤNG TRONG HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI KẾT NỐI LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI

RESEARCH AND DESIGN OF POWER ELECTRONIC SYSTEMS APPLICATIONS IN SOLAR ENERGY SYSTEMS CONNECTED TO DISTRIBUTION GRID

Trịnh Trọng Chương*, Bùi Văn Huy

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu việc ứng dụng bộ biến đổi điện tử công suất trong hệ thống năng lượng mặt trời nối lưới điện. Nội dung 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 không tại một nút của lưới phân phối đồng thời phát huy tối đa công suất tác dụng truyền vào lưới. Các vòng điều khiển được tổng hợp trên hệ tọa độ dq và được kiểm chứng trên mô hình mô phỏng bằng Matlab simulink. Các kết quả mô phỏng và thực nghiệm trên mô hình bộ nghịch lưu công suất 5kW kết nối lưới điện hạ áp đã cho kết quả tốt và tỏ rõ khả năng sẵn sàng cho các ứng dụng thực tế.

Từ khóa: Điều chế vectơ không gian, công suất phản kháng, năng lượng mặt trời, bộ biến đổi nối lưới.

ABSTRACT

This paper presents the results of research on the application of grid connected solar power. The main content of the article is to control the inverter three-phase grid connected to meet the requirement of controlling the reactive power to zero at a node of the distribution network while maximizing the active power transmitted to the grid. The control circuits are synthesized on the dq coordinate system and verified on the simulation model by Matlab/ Simulink and Experimental model. Both simulation and experimental prototype on 5kW Grid converter have been built to show the acceptable good results and also the practical ready on implementation. The simulation results show the rationality of the control strategies used.

Keywords: SVPWM, Reactive, solar, grid converter.

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: chuonghtd@hau.edu.vn; chuonghtd@gmail.com

Ngày nhận bài: 01/7/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/10/2018

Ngày chấp nhận đăng: 25/10/2018

KÝ HIỆU

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
Q	VAr	Giá trị đo và tính toán của công suất phản kháng
P	W	Giá trị đo và tính toán của công suất tác dụng

L	H	Cuộn cảm
C	F	Tụ điện
e_N	V	Điện áp nguồn điện phía xoay chiều
e_d, e_q	V	Điện áp phía lưới trên hệ tọa độ dq
i_L	A	Dòng điện chạy qua cuộn cảm
i_d, i_q	A	Dòng điện chạy qua cuộn cảm trên hệ tọa độ dq

1. GIỚI THIỆU

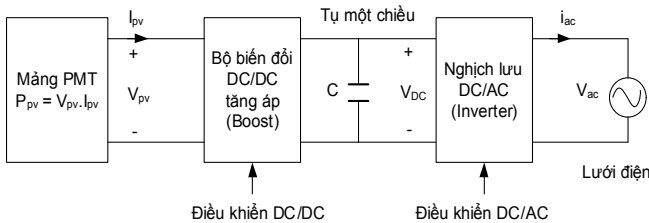
Trong các hệ thống Pin mặt trời kết nối lưới điện, bộ biến đổi công suất giữ vai trò rất quan trọng trong các hệ thống điều khiển, bởi đặc tính của hệ thống Pin mặt trời là có công suất phát luôn biến đổi do phụ thuộc điều kiện thời tiết. Sự thay đổi công suất phát của chúng có thể gây ảnh hưởng tiêu 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]. Thực tế đã cho thấy, ngoài vấn đề về cấu trúc bộ biến đổi thì mạch vòng dòng điện với khả năng điều chỉnh chính xác, ổn định bền vững là yếu tố tiên quyết cho quá trình trao đổi năng lượng diễn ra theo như mong muốn.

Nội dung chính của nghiên cứu này là xây dựng các vòng điều khiển 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 (áp dụng cho hệ thống nối lưới không sử dụng ắc quy). Các thuật toán và các vòng điều khiển cũng được phân tích một cách kỹ lưỡng, kết quả nghiên cứu được minh chứng bằng sơ đồ mô phỏng trên Matlab và simulink đồng thời được kiểm chứng bằng mô

hình thực nghiệm 5kW với đầu vào PV được thay thế bằng nguồn một chiều DC.

2. CẤU TRÚC HỆ THỐNG VÀ CÁC MẠCH VÒNG ĐIỀU KHIỂN

Hình 1 thể hiện sơ đồ hệ thống điện mặt trời nối lưới mà không có ắc quy dự phòng. Trong hệ này thì các bộ DC/DC có nhiệm vụ thực thi thuật toán bám công suất cực đại thông qua thuật toán MPPT (Maximum power point tracking). Bộ biến đổi DC/AC phải tạo được điện áp ra dạng sin, đảm bảo khả năng nối lưới của hệ thống (đồng bộ và giám sát lưới), đồng thời bộ biến đổi cũng đảm nhiệm luôn các chức năng trao đổi công suất tác dụng và công suất phản kháng giữa hệ thống pin mặt trời với lưới.

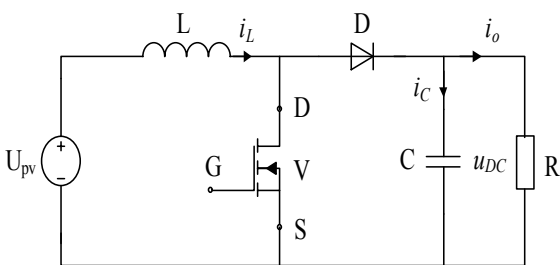


Hình 1. Nguyên lý của hệ thống điện mặt trời nối lưới không có ắc quy dự phòng

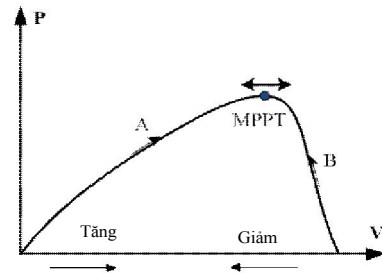
2.1. Bộ biến đổi DC/DC

Bộ biến đổi DC/DC trong hệ thống nguồn Pin mặt trời được lựa chọn là bộ Boost Converter (hay còn gọi bộ tăng áp một chiều) có cấu trúc như hình 2, bộ điều khiển cho hệ Boost Converter lấy tín hiệu vào là điện áp đo được từ dàn Pin mặt trời U_{pv} , đầu ra của bộ điều khiển là U_{DC} để đưa tới đầu vào cho bộ nghịch lưu Inverter DC/AC, quá trình chuyển đổi điện áp này có sự can thiệp của thuật toán MPPT. Trong nghiên cứu này, nhóm thực hiện sử dụng thuật toán bám công suất cực đại nhiễu loạn và quan sát P&O (Perturb and Observer algorithm) [3]. Đây là một phương pháp đơn giản và được sử dụng thông dụng nhất nhờ sự đơn giản trong thuật toán và việc thực hiện dễ dàng [3, 9].

Thuật toán này xem xét sự tăng, giảm điện áp theo chu kỳ để tìm được điểm làm việc có công suất lớn nhất. Nếu sự biến thiên của điện áp làm công suất tăng lên thì sự biến thiên tiếp theo sẽ giữ nguyên chiều hướng tăng hoặc giảm. Ngược lại, nếu sự biến thiên làm công suất giảm xuống thì sự biến thiên tiếp theo sẽ có chiều hướng thay đổi ngược lại. Khi điểm làm việc có công suất lớn nhất được xác định trên đường cong đặc tính thì sự biến thiên điện áp sẽ dao động xung quanh điểm MPPT (hình 3).



Hình 2. Bộ biến đổi nguồn DC-DC tăng áp (Boost Converter)



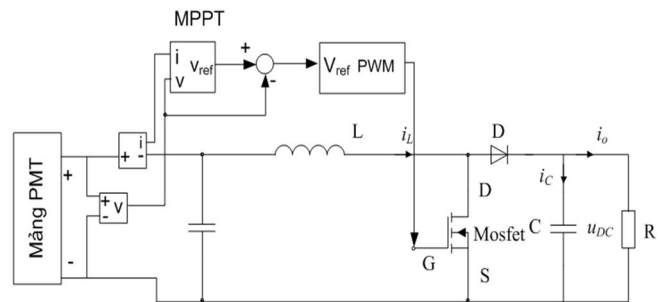
Hình 3. Phương pháp tìm điểm làm việc công suất lớn nhất P&O

Sự dao động điện áp làm tổn hao công suất trong hệ quang điện [7], đặc biệt những khi điều kiện thời tiết thay đổi chậm hay ổn định. Vấn đề này có thể giải quyết bằng cách điều chỉnh logic trong thuật toán P&O như hình 5. Thuật toán P&O hoạt động tốt khi điều kiện thời tiết thay đổi đột ngột, phản ứng bám điểm công suất cực đại với thời gian rất nhanh, độ quá điều chỉnh nhỏ.

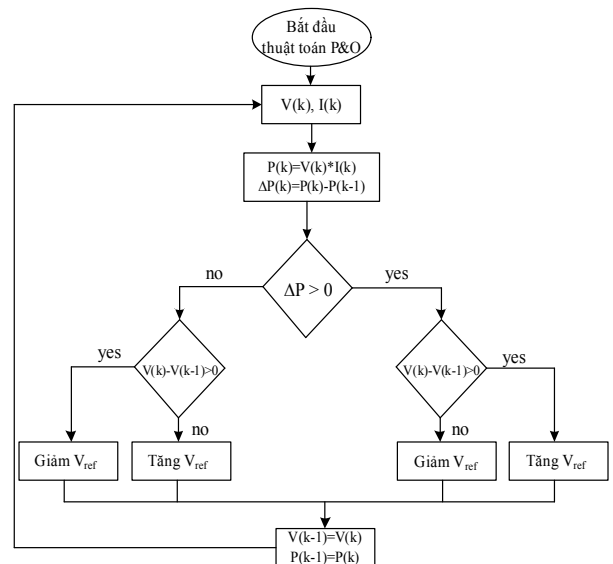
Bộ điều khiển MPPT sẽ đo các giá trị dòng điện I và điện áp V, sau đó tính toán độ sai lệch ΔP , ΔV và kiểm tra:

- 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}

Sau đó cập nhật các giá trị mới thay cho giá trị trước đó của V, P và tiến hành đo các thông số I, V cho chu kỳ làm việc tiếp theo. Cấu trúc tổng thể hệ điều khiển bộ DC/DC cho như hình 4.



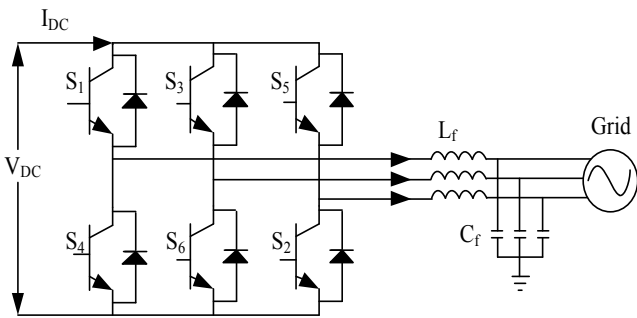
Hình 4. Sơ đồ nguyên lý bộ điều khiển Boost Converter tích hợp MPPT [9]



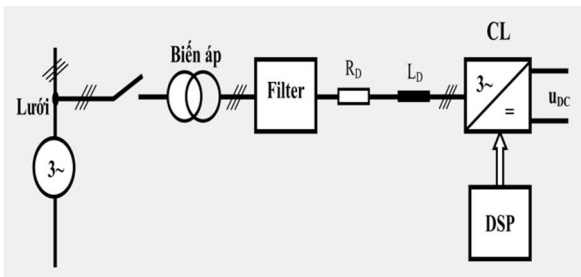
Hình 5. Các bước thực hiện phương pháp P&O

2.2. Bộ biến đổi DC/AC

Bộ nghịch lưu DC/AC như hình 1 là bộ biến đổi nghịch lưu 3 pha nối lưới có cấu trúc mạch lực cho như hình 6 có nhiệm vụ biến đổi nguồn điện một chiều DC thành nguồn điện xoay chiều tần số 50-60Hz. Khi bộ biến đổi được sử dụng để nối lưới, mạch điện dạng rút gọn (sơ đồ một sợi) của bộ biến đổi cho trên hình 7 gồm bộ biến đổi, bộ lọc thông thấp R_f, C_f (Filter) để giảm thiểu ảnh hưởng của độ đập mạch dòng điện tại tần số điều chế ra lưới, cuộn cảm L có cảm kháng L_D và điện trở R_D dùng để gánh chênh lệch điện áp giữa lưới và đầu ra bộ biến đổi và làm "trơn" dòng điện, máy biến áp và máy đóng cắt. Trong nghiên cứu này, sản phẩm có công suất 5kW là không quá lớn, do đó có thể bỏ qua tụ điện. Sơ đồ nguyên lý của bộ biến đổi nối lưới bỏ qua những khâu này cho trên hình 7.

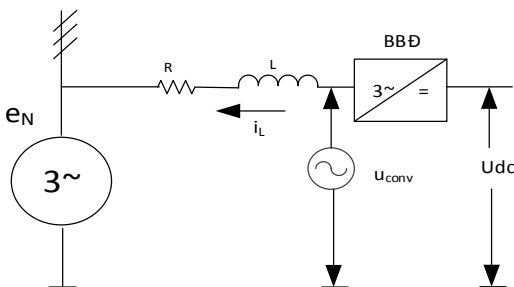


Hình 6. Cấu trúc bộ nghịch lưu 3 pha nối lưới



Hình 7. Sơ đồ nguyên lý phía lưới [8]

Mạch điện gồm bộ biến đổi, để lọc xung điện áp băm ta sử dụng bộ lọc RC, cuộn cảm L có cảm kháng L_D và điện trở R_D dùng để lọc dòng và gánh chênh lệch điện áp giữa lưới và đầu ra bộ biến đổi, máy biến áp và máy đóng cắt. Tuy nhiên, trong hệ thống không cần sử dụng máy biến áp và khâu lọc. Cấu trúc của bộ biến đổi nối lưới rút gọn cho như hình 8.



Hình 8. Sơ đồ thay thế mạch điện phía lưới

Khi đưa năng lượng lên lưới, bộ biến đổi làm việc ở chế độ nghịch lưu nghĩa là chuyển năng lượng từ mạch điện một chiều trung gian lên lưới. Khi năng lượng truyền từ lưới vào bộ biến đổi thì bộ biến đổi đóng vai trò bộ chỉnh lưu, nạp năng lượng vào mạch một chiều trung gian. Trên cơ sở sơ đồ thay thế, ta áp dụng định luật Kirchoff:

$$u = R i_L + L \frac{di}{dt} + e_N \tag{1}$$

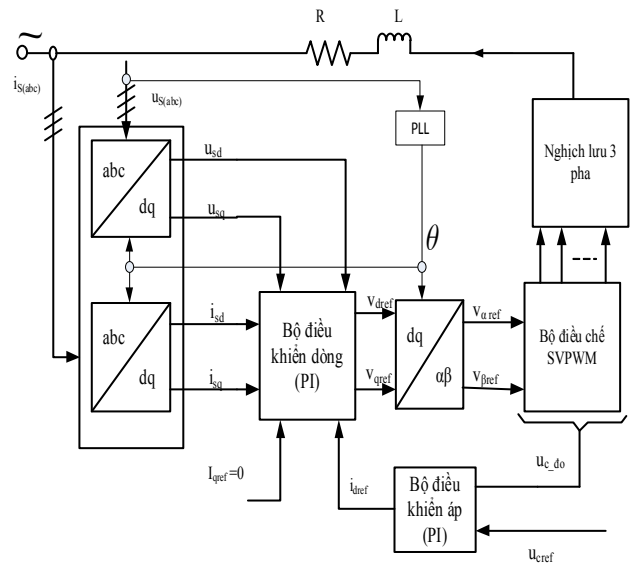
Viết lại phương trình (1) trên hệ tọa độ dq:

$$\begin{cases} \frac{di_{Ld}}{dt} = -\frac{R}{L} i_{Ld} + \omega i_{Lq} + \frac{1}{L} (u_d - e_{Nd}) \\ \frac{di_{Lq}}{dt} = -\frac{R}{L} i_{Lq} - \omega i_{Ld} + \frac{1}{L} (u_q - e_{Nq}) \end{cases} \tag{2}$$

Phương trình (2) là mô hình trạng thái của hệ thống bộ biến đổi phía lưới. Dựa vào (2) ta thấy đại lượng điều khiển là điện áp ra của khâu nghịch lưu phía lưới, vectơ trạng thái là hai thành phần i_{Ld}, i_{Lq} .

2.3. Xây dựng các mạch vòng điều khiển cho bộ DC/AC

Xét về mặt điều khiển, cấu trúc hai mạch vòng gồm có mạch vòng trong là mạch vòng dòng điện, mạch vòng ngoài là mạch vòng công suất hoặc điện áp có những ưu điểm nổi bật. Mạch vòng dòng điện sẽ giúp hệ thống kiểm soát được dòng điện, đáp ứng tốt hơn với nhiễu tải, đập được dao động cộng hưởng và bảo vệ được sự cố quá dòng. Khi mạch vòng dòng điện được thiết kế tốt thì việc thiết kế mạch vòng ngoài (điện áp, công suất) cũng trở nên dễ dàng hơn. Đối với mạch vòng điều khiển bên ngoài thì mục tiêu là ổn định, trong khi mạch vòng trong thì yêu cầu đặt ra là khả năng đáp ứng động học nhanh. Do vậy, nhóm tác giả bài báo chọn giải pháp thiết kế hệ thống điều khiển cấu trúc hai mạch vòng như hình 9.



Hình 9. Cấu trúc bộ điều khiển hệ PV nối lưới

2.3.1. Tổng hợp mạch vòng dòng điện

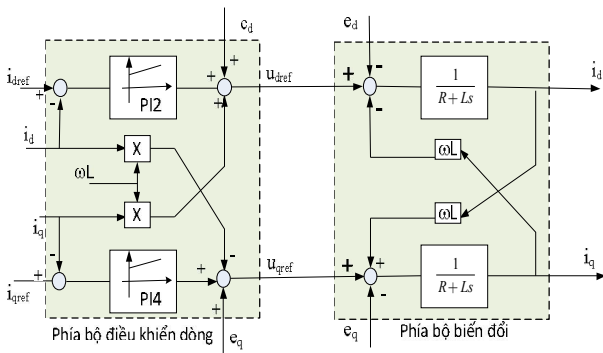
Từ phương trình (2) ta thấy trong phương trình mạch vòng dòng điện có sự tác động xen kẽ giữa hai nhánh

d, q đồng thời có sự tham gia của hai thành điện áp lưới là e_d và e_q . Bộ điều khiển PI có cấu trúc như (3) đảm bảo khả năng bù xen kênh giữa hai thành phần dòng điện d, q đồng thời khử tác động của e_d và e_q bằng phương pháp bù xuôi:

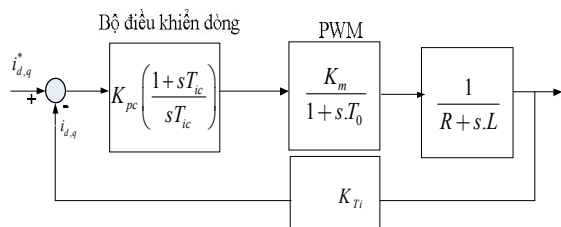
$$\begin{cases} u_{dref} = \left(K_{p,d} + K_{i,d} \frac{1}{s} \right) \Delta i_d + e_d + \omega L i_{Lq} \\ u_{qref} = \left(K_{p,q} + K_{i,q} \frac{1}{s} \right) \Delta i_q + e_q - \omega L i_{Ld} \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó, u_{dref}, u_{qref} lần lượt là lượng đặt cho các thành phần điện áp đầu ra bộ biến đổi. Các hệ số $K_{p,d}, K_{p,q}, K_{i,d}, K_{i,q}$ lần lượt là các hệ số tỷ lệ và tích phân của các bộ điều chỉnh tương ứng trục d và q .

Cấu trúc của bộ điều khiển bộ biến đổi cho như hình 10. Tuy nhiên, do trong cấu trúc điều khiển dòng, ta đã bù tách kênh đồng thời hai thành phần e_d và e_q , nói cách khác hai thành phần e_d và e_q được coi là nhiễu và đã được khử theo phương pháp bù xuôi; do đó, mô hình hệ thống thu được sẽ gồm hai mô hình nhỏ trên trục tọa độ d, q độc lập nhau. Bỏ qua thời gian trễ xử lý tín hiệu và trễ do quá trình trích mẫu, cấu trúc điều khiển dòng điện cho như trên hình 11.



Hình 10. Cấu trúc bộ điều khiển trên hệ tọa độ dq



Hình 11. Sơ đồ khối bộ điều khiển dòng trong hệ tọa độ dq

Trong đó: T_0 là thời gian trễ của bộ biến đổi điện tử công suất; K_m là hệ số khuếch đại bộ biến đổi điện tử công suất; K_{Ti} là hệ số đo dòng điện; K_{pc}, T_{ic} lần lượt là tham số của bộ điều khiển theo luật PI.

Hàm truyền vòng hở được cho bởi:

$$K_{Go} = K_{pc} \left(\frac{1 + sT_{ic}}{sT_{ic}} \right) \frac{1}{1 + sT_0} \frac{K_0}{1 + sT_L} \quad (4)$$

Tổng hợp bộ điều khiển theo phương pháp tối ưu độ lớn [4] ta có tham số bộ điều khiển như công thức (5):

$$T_{ic} = T_L = \frac{L}{R}; \quad K_{pc} = \frac{T_L}{2K_0 \cdot T_0} \quad (5)$$

Trong đó:

$$K_0 = K_m \cdot K_L \cdot K_{Ti}; \quad K_L = \frac{1}{R}; \quad T_L = \frac{L}{R}.$$

Thay vào (4) ta có hàm truyền vòng hở K_{Go} và hàm truyền vòng kín K_G cho như công thức (6).

$$K_{Go} = \frac{1}{2(1 + sT_0)}; \quad (6)$$

$$K_G(s) = \frac{i_q(s)}{i_{ref}(s)} = \frac{i_d(s)}{i_{ref}(s)} = \frac{1}{1 + s2T_0}$$

Với $T_{eq} = 2T_0$ là hằng số thời gian tương đương của vòng điều khiển dòng điện được tổng hợp theo tiêu chuẩn tối ưu độ lớn.

2.3.2. Xây dựng bộ điều khiển điện áp một chiều

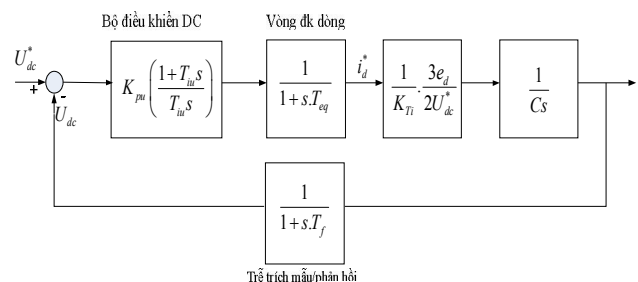
Khâu điện áp một chiều là khâu trung gian trao đổi năng lượng tác dụng giữa lưới điện và nguồn Pin mặt trời. Kiểm soát được điện áp một chiều trên tụ chính là kiểm soát được quá trình trao đổi công suất tác dụng. Bộ điều khiển điện áp một chiều trung gian có nhiệm vụ ổn định tổng giá trị điện áp một chiều trên các tụ, đầu ra của bộ điều khiển điện áp một chiều là giá trị đặt của dòng điện trên trục d . Như vậy, để điều khiển điện áp một chiều trung gian ở cổng 1, ta phải xác định được hàm truyền giữa dòng điện đặt trên trục d và giá trị điện áp một chiều trung gian U_{dc} . Phương trình cân bằng công suất tác dụng của phía một chiều và xoay chiều như công thức (7).

$$P = \frac{3}{2} (e_d i_d + e_q i_q) = u_{dc} i_{dc} - P_{loss} = u_{dc} C \frac{du_{dc}}{dt} - P_{loss} \quad (7)$$

Trong đó: u_C, i_C, p_{loss} lần lượt là điện áp trên tụ, dòng điện đi qua tụ và tổn hao công suất trong bộ biến đổi.

Nếu bỏ qua tổn hao của bộ biến đổi và coi nguồn điện phía xoay chiều là đối xứng ta có $e_q = 0, e_d$ chính bằng biên độ của điện áp pha [10], phương trình (7) trở thành phương trình (8). Từ đó ta có sơ đồ khối vòng kín bộ điều khiển điện áp một chiều trung gian như hình 12.

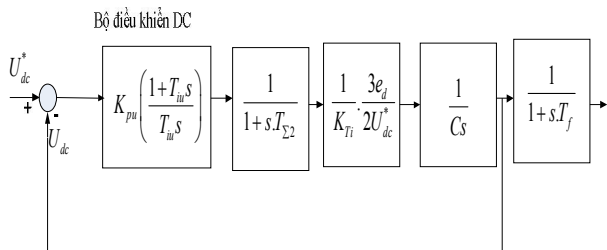
$$\frac{du_{dc}}{dt} = \frac{3e_d i_d}{2u_{dc} C} \quad (8)$$



Hình 12. Sơ đồ khối vòng kín bộ điều khiển điện áp một chiều trung gian

Trong hình 12, T_{eq} là thời gian trễ của mạch vòng dòng điện; T_f là thời gian trễ của quá trình đo điện áp một chiều trung gian trên các tụ, K_{Ti} là hệ số đo dòng điện. Ta có thể

đơn giản hóa sơ đồ hình 12 thành sơ đồ tương đương như hình 13 với giả thiết $T_{\Sigma 2} = T_{eq} + T_f$.



Hình 13. Sơ đồ tương đương vòng kín bộ điều khiển điện áp một chiều trung gian

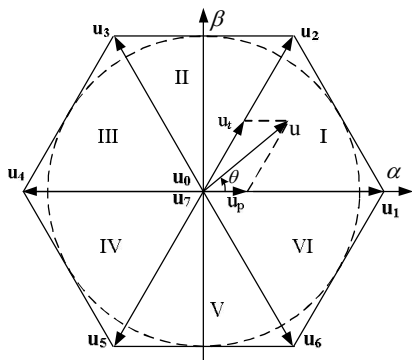
Áp dụng tiêu chuẩn tối ưu đối xứng ta xác định được tham số bộ điều khiển PI cho như (10) với a là tham số tùy chọn.

$$T_{iu} = aT_{\Sigma 2}; K_{pu} = \frac{2K_{Ti}CU_{dc}^*}{3e_d T_{\Sigma 2} \sqrt{a}} \quad (9)$$

Theo [1, 6, 8]: muốn điều khiển Q ta chỉ cần điều khiển được dòng điện i_q . Trong ứng dụng PV nối lưới để hệ số công suất cao nhất ta chọn giá trị đặt $i_{qref} = 0$ khi đó theo [1], công suất phản kháng thu phát từ bộ biến đổi sẽ bằng 0.

2.4. Nguyên lý điều chế vectơ không gian cho nghịch lưu nguồn áp (SVPWM)

Như hình 10 đã trình bày, đầu ra của các mạch vòng điều khiển dòng sẽ cần có khâu chuyển đổi trục tọa độ từ dq/αβ để đưa vào khâu điều chế vectơ không gian (SVPWM). Thuật toán điều chế vectơ không gian cho nghịch lưu nguồn áp 3 pha được trình bày rất chi tiết trong các tài liệu [2, 5]. SVPWM là phương pháp dùng số hoàn toàn. Thuật toán đơn giản, dễ ứng dụng trên vi xử lý. Thuật toán điều chế vectơ không gian cần đảm bảo tạo được điện áp đầu ra VSI theo như lượng đặt đầu vào mong muốn. Lượng đặt là vectơ điện áp ra mong muốn, có thể cho dưới dạng tọa độ cực $u = U_0 \cdot e^{j\theta}$, hoặc dưới dạng tọa độ vuông góc $u = (u_\alpha, u_\beta)$ như hình 14. Các vectơ $u_{0,1,2,3,4,5,6,7}$ là các vectơ chuẩn ứng với những trạng thái đóng cắt cụ thể của các van.



Hình 14. Vectơ không gian, các vectơ trạng thái và các sector

Các bước cơ bản để áp dụng thuật toán điều chế vectơ không gian như sau [2]:

Bước 1: Xác định vectơ đầu ra thuộc sector nào trong 6 sector như hình 14, có thể áp dụng như bảng 1 và lưu đồ thuật toán hình 16 với $u_\beta^* = u_\beta / \sqrt{3}$.

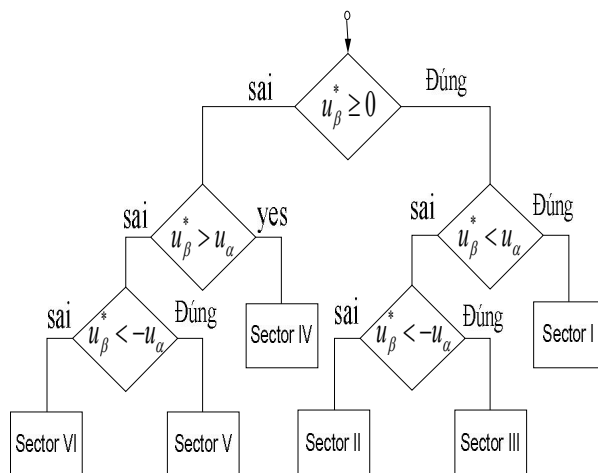
Bước 2: Vectơ điện áp sẽ được tổng hợp từ 2 vectơ chuẩn trong mỗi sector đó, nên cần xác định được thời gian thực hiện hai vectơ chuẩn này trong mỗi chu kỳ điều chế, thời gian còn lại mạch nghịch lưu sẽ ở trạng thái các vectơ không. Hình 15 minh họa trường hợp vectơ điện áp được tổng hợp từ hai vectơ chuẩn là u_1 và u_2 . Sử dụng phương pháp đại số để xác định các hệ số điều chế cho vectơ điện áp từ hai vectơ chuẩn gần nhất trong mỗi sector (Hệ số điều chế là tỷ số giữa thời gian thực hiện vectơ chuẩn trong mỗi chu kỳ điều chế).

$$\text{Khi đó } u = d_1 u_n + d_2 u_m$$

với u_n, u_m là hai vectơ chuẩn trong mỗi sector. Các hệ số d_1, d_2 được tính theo (10) và bảng 2. Thời gian còn lại sẽ thực hiện vectơ không với hệ số điều chế $d_0 = 1 - d_1 - d_2$.

Bước 3: Bước tiếp theo từ hệ số điều chế thực hiện các vectơ chuẩn phải xác định hệ số điều chế cho mỗi van bán dẫn của mạch nghịch lưu. Để xác định hệ số điều chế cho mỗi van bán dẫn, cần phải xây dựng mẫu xung đưa ra cho mỗi sector. Mẫu xung này được đưa ra để đảm bảo các van bán dẫn trong mạch nghịch lưu phải chuyển mạch ít nhất.

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{U_\alpha} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 3 & 3 \\ 0 & 1/\sqrt{3} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{U_\alpha} \begin{bmatrix} 3 & -\sqrt{3} \\ 2 & 2 \\ 0 & \sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = A_m \begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} \quad (10)$$



Hình 15. Lưu đồ thuật toán xác định sector

Bảng 1. Bất đẳng thức xác định vị trí của vectơ u trong sector [2]

	Sector I	Sector II	Sector III
$u_\beta \geq 0$	$u_\beta \geq 0$	$u_\beta \geq \sqrt{3}u_\alpha$	$u_\beta \geq 0$
	$u_\beta < \sqrt{3}u_\alpha$	$u_\beta > -\sqrt{3}u_\alpha$	$u_\beta < -\sqrt{3}u_\alpha$
$u_\beta < 0$	Sector IV	Sector V	Sector VI
	$u_\beta < 0$	$u_\beta < \sqrt{3}u_\alpha$	$u_\beta < 0$
	$u_\beta \geq \sqrt{3}u_\alpha$	$u_\beta \leq -\sqrt{3}u_\alpha$	$u_\beta \geq -\sqrt{3}u_\alpha$

Bảng 2. Tổng hợp ma trận trong mỗi sector

<p>Sector 1</p> $A_{nm} = \frac{1}{U_{dc}} \begin{pmatrix} 3 & -\sqrt{3} \\ 2 & 2 \\ 0 & \sqrt{3} \end{pmatrix}$	<p>Sector 2</p> $A_{nm} = \frac{1}{U_{dc}} \begin{pmatrix} -3 & \sqrt{3} \\ 2 & 2 \\ 3 & -\sqrt{3} \end{pmatrix}$
<p>Sector 3</p> $A_{nm} = \frac{1}{U_{dc}} \begin{pmatrix} 0 & \sqrt{3} \\ -3 & -\sqrt{3} \\ -2 & 2 \end{pmatrix}$	<p>Sector 4</p> $A_{nm} = \frac{1}{U_{dc}} \begin{pmatrix} 0 & -\sqrt{3} \\ -3 & \sqrt{3} \\ -2 & 2 \end{pmatrix}$
<p>Sector 5</p> $A_{nm} = \frac{1}{U_{dc}} \begin{pmatrix} -3 & -\sqrt{3} \\ 2 & 2 \\ 3 & -\sqrt{3} \end{pmatrix}$	<p>Sector 6</p> $A_{nm} = \frac{1}{U_{dc}} \begin{pmatrix} 3 & \sqrt{3} \\ 2 & 2 \\ 0 & -\sqrt{3} \end{pmatrix}$

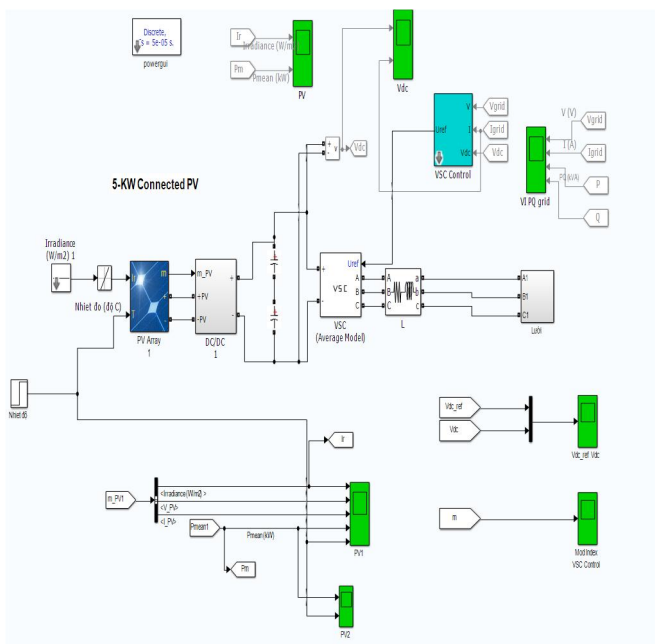
3. MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM

3.1. Mô phỏng hệ thống

Sơ đồ mô phỏng của hệ thống điều khiển bộ biến đổi trên phần mềm Matlab/Simulink cho như hình 16, trong đó khâu VSC Control là khâu thực hiện thuật toán điều khiển bộ nghịch lưu nguồn áp 3 pha. Các thông số bộ điều khiển cho như bảng 3.

Bảng 3. Thông số bộ điều khiển

Bộ điều khiển	K_p	K_i
Bộ điều khiển điện áp DC	20	100
Bộ điều khiển dòng điện (dq)	0,015	1

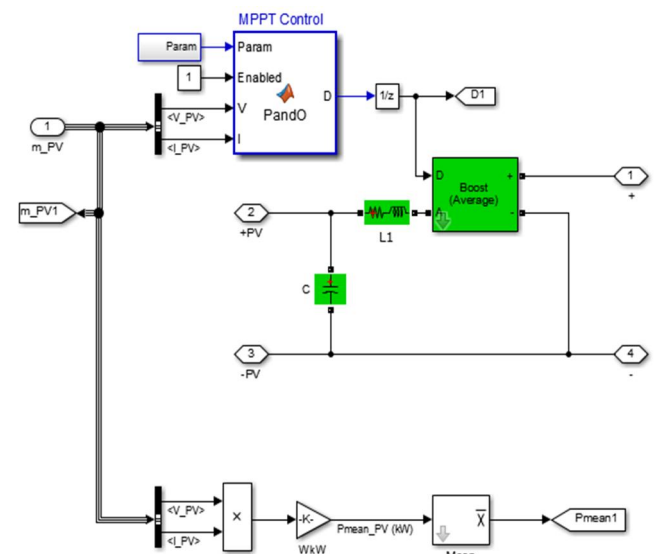


Hình 16. Sơ đồ mô phỏng hệ thống PMT nổi lưới

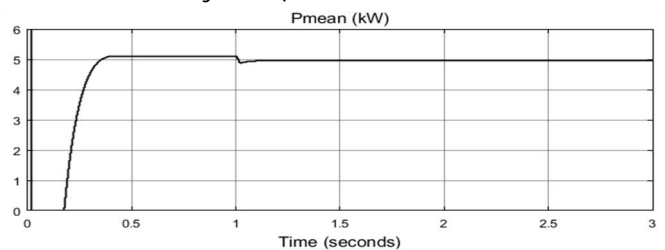
Boost Converter hay còn gọi là bộ biến đổi nguồn DC-DC tăng áp, có điện áp đầu ra lớn hơn điện áp đầu vào (sơ đồ mô phỏng như hình 17). Mạch cơ bản chứa hai chuyển mạch bán dẫn (một diode và một transistor) và một phần

tử tích lũy năng lượng cuộn dây L, một tụ điện C, tải R. Bộ điều khiển MPPT sử dụng thuật toán bám công suất cực đại P&O như đã trình bày ở trên.

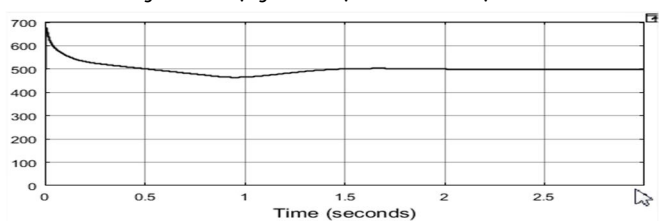
Các kết quả phân tích trên mô hình mô phỏng cho như trên hình 19 cho thấy, khi cường độ bức xạ khoảng 1050 (W/m²) thì công suất P bơm vào lưới là 5kW. Điện áp đầu ra bộ biến đổi DC/DC sẽ là giá trị đặt cho bộ điều khiển điện áp một chiều trung gian U_{DC}. Nhìn vào các kết quả mô phỏng hình 19 ta thấy: điện áp một chiều trung gian được giữ khá ổn định khi hệ thống ở trạng thái xác lập, điều này chứng tỏ quá trình trao đổi công suất được cân bằng. Chất lượng dòng điện bơm vào lưới có chất lượng tốt, thể hiện kết quả phân tích dạng dòng điện và sóng hài 4 chu kỳ tại hai thời điểm đại diện t = 2s như hình 20. Kết quả mô phỏng công suất P, Q trên hình 21 cho thấy công suất Q đã được điều khiển về 0 trong thời gian rất ngắn cỡ 0,7s điều này đảm bảo hệ số công suất dòng bơm vào lưới là cao nhất. Công suất tác dụng bơm vào lưới gần đạt 4,5 kW, so với công suất Pin mặt trời bơm vào bộ biến đổi là 5kW thì hiệu suất đạt khoảng 90%.



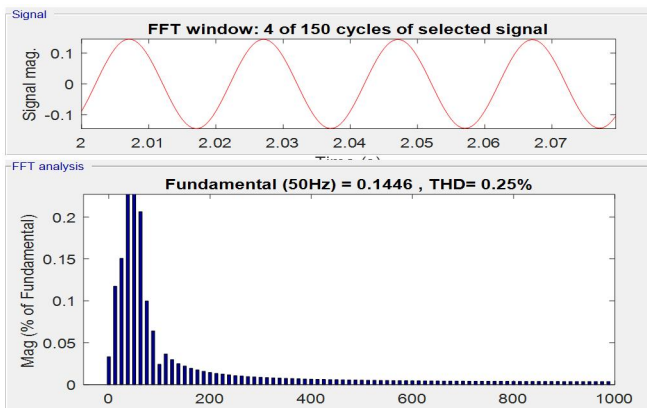
Hình 17. Sơ đồ diễn giải của bộ DC/DC



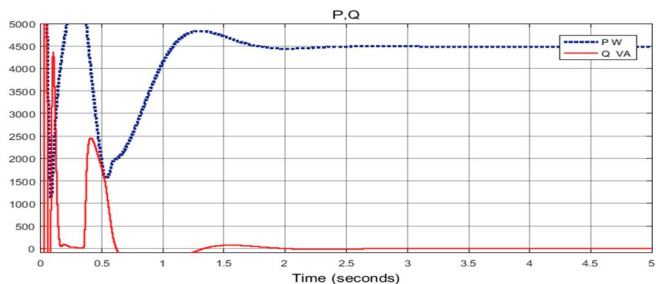
Hình 18. Công suất tác dụng từ Pin mặt trời bơm vào bộ biến đổi



Hình 19. Điện áp một chiều trên tụ



Hình 20. Phân tích sóng hài dạng dòng điện bơm vào lưới trong khoảng t = 2s

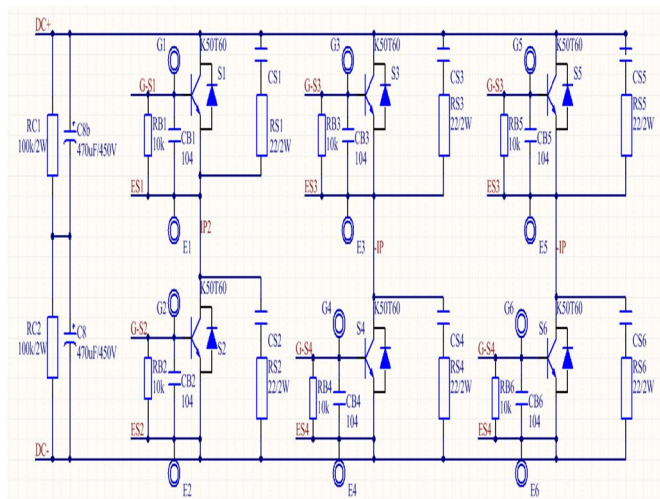


Hình 21. Công suất tác dụng (nét đứt) và công suất phản kháng (nét liền) bơm vào lưới

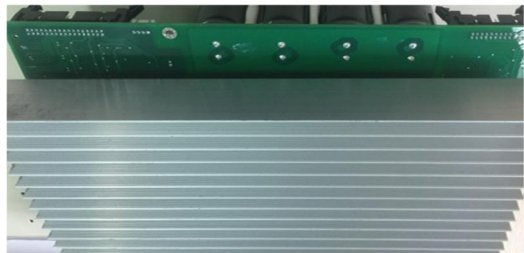
3.2. Kết quả thực nghiệm



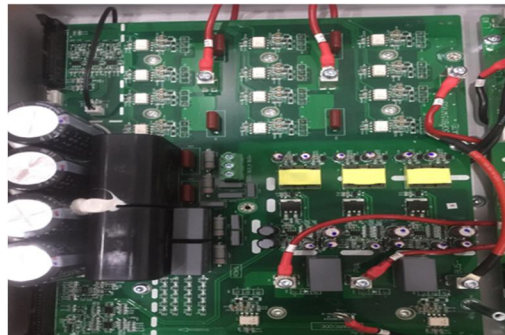
Hình 22. Sản phẩm hoàn chỉnh của thiết bị



Hình 23. Sơ đồ mạch lực bộ biến đổi nghịch lưu 3 pha



Hình 24. Khối mạch lực sau khi lắp ghép tản nhiệt



Hình 25. Module tụ một chiều và khối ghép nối

Để kiểm chứng thuật toán điều chế vectơ không gian cho bộ 3 pha nối lưới, chúng tôi đã xây dựng hệ thống thực nghiệm (hình ảnh hệ thống hoàn chỉnh như hình 22). Các module thành phần trong hệ thống đã được thiết kế và chế tạo thành công, hình ảnh thực cho trên các hình 23, 24, 25. Kết quả phân tích dạng sóng đo vào chân van IGBT, điện áp DC trung gian và kết quả phân tích sóng hài cho trong các hình 26, 27, 28 tương ứng.

Thử nghiệm hiệu suất: Chúng tôi tiến hành thử nghiệm 3 lần với các đối tượng phụ tải khác nhau.

Lần 1: 25 bóng đèn huỳnh quang 60W + 8 quạt 72W

- Điện áp vào DC: $U_{DC} = 220V$
- Dòng điện vào đầu DC: $I_{IDC} = 9,4A$
- Công suất đầu ra AC: $P_{AC} = 1822,33 W$

Hiệu suất biến đổi (%):

$$P_{AC}/P_{DC} = 1822,33 / (220 \times 9,4) \cdot 100\% = 88,12\%$$

Lần 2: 3 điều hòa 9000 BTU (tương đương 2,238 kW)

- Điện áp vào DC: $U_{DC} = 220V$
- Dòng điện vào đầu DC: $I_{IDC} = 10,17A$
- Công suất đầu ra AC: $P_{AC} = 2001,1 W$

Hiệu suất biến đổi (%):

$$P_{AC}/P_{DC} = 2001,1 / (220 \times 10,17) \cdot 100\% = 89,43\%$$

Lần 3: 3 điều hòa 12000 BTU (tương đương 2,984 kW)

- Điện áp vào DC: $U_{DC} = 220V$
- Dòng điện vào đầu DC: $I_{IDC} = 13,6A$
- Công suất đầu ra AC: $P_{AC} = 2690,4 W$

Hiệu suất biến đổi (%):

$$P_{AC}/P_{DC} = 2690,4 / (220 \times 13,6) \cdot 100\% = 89,9\%$$

Kết luận về hiệu suất biến đổi sau 3 lần đo lấy trung bình là 89,15%

Thử nghiệm đánh giá sóng hài:

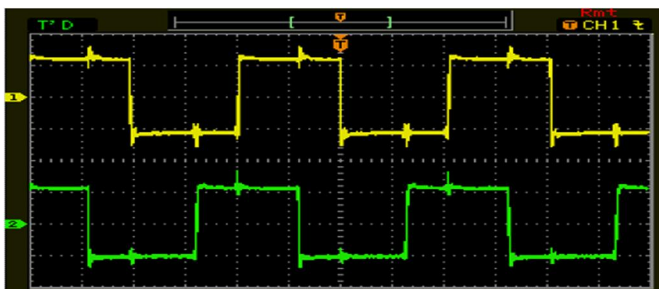
Song song với đánh giá hiệu suất, chúng tôi cũng tiến hành đo phân tích phổ sóng hài dùng máy hiện sóng số như trên hình 29, kết quả cho thấy độ méo sóng hài là 4,14% (<5%).

Ngoài ra, chúng tôi còn tiến hành với tải thuần trở và tải cảm kháng với các công suất khác nhau, kết quả cho thấy:

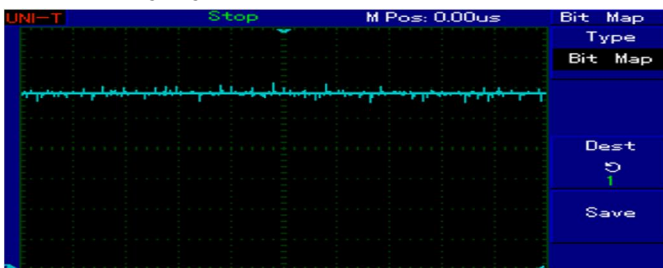
- Tần số ra $f = 50\text{Hz}$ với sai số $\pm 0,1\text{Hz}$. Điện áp ra xoay chiều với giá trị hiệu dụng đạt yêu cầu, dạng sóng sin ra với thành phần hài ở mức chấp nhận được.

- Công suất ra đáp ứng theo thiết kế khi thử với các dạng phụ tải. Hiệu suất biến đổi trung bình là 89,15%.

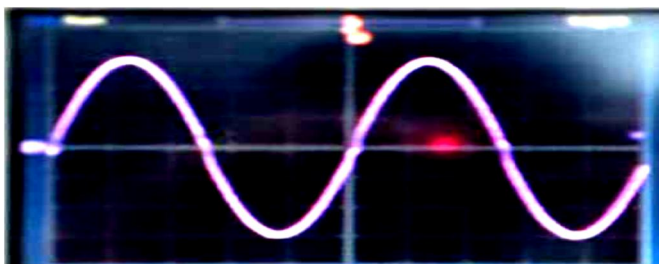
- Dải điện áp vào DC từ Solar panel làm việc biến đổi 16V đến 36V, có thể mở rộng đến $45V_{DC}$.



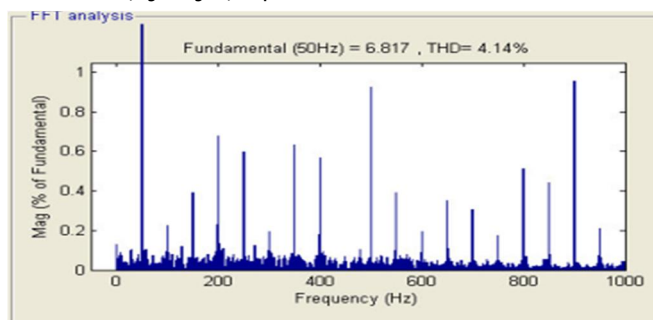
Hình 26. Dạng sóng đo vào chân van IGBT module DC-DC và DC-AC



Hình 27. Dạng điện áp DC trung gian



Hình 28. Dạng dòng điện 1 pha bơm vào lưới



Hình 29. Kết quả phân tích sóng hài

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng hệ điều khiển cho bộ biến đổi. Các vòng điều khiển dòng điện, điện áp một chiều trung gian được đưa ra phân tích và thiết kế. Bài báo xây dựng các mô hình mô phỏng về bộ biến đổi nghịch lưu nguồn áp mang đầy đủ ý nghĩa vật lý lẫn tính hệ thống chặt chẽ, trên cơ sở các giả thiết vừa đủ.

Các minh chứng bằng mô phỏng cho thấy bộ biến đổi dùng trong hệ thống pin mặt trời có nối lưới đã làm việc tốt các kết quả đưa ra có tính thuyết phục, có khả năng ứng dụng vào thực tế. Các kết quả thực nghiệm trên mô hình thực tế đã cho kết quả tốt, chứng minh được giải pháp đã đề xuất.

Hiệu suất thiết bị sẽ được cải thiện trong thời gian tới bằng cách tiến hành nâng tần số băm và lựa chọn linh kiện công suất có hiệu suất biến đổi cao.

LỜI CẢM ƠN:

Chúng tôi xin trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ tài chính từ đề tài cấp Bộ Công Thương (mã số: ĐTKHCN.237/17) để thực hiện nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bùi Văn Huy, Trần Trọng Minh, Nguyễn Văn Liễn (2014), *Điều khiển dòng công suất hai chiều qua bộ biến đổi AC-DC-AC-AC đa bậc nối tầng với khâu trung gian tần số cao*, Chuyên san kỹ thuật điều khiển và tự động hóa tháng 12-2014
- [2]. Trần Trọng Minh (2012), *Giáo trình Điện tử công suất*, NXBGD 2012
- [3]. Đặng Đình Thống, Lê Danh Liên (2006), *Cơ sở năng lượng mới và tái tạo*, NXB Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
- [4]. Nguyễn Doãn Phước (2009), *"Lý thuyết điều khiển tuyến tính"*, NXB KHKT.
- [5]. Quang, N.P and Dittrich, J. (2012), *"Vector control of three phase AC machine - System Development in the Practice"*, Springer, Berlin - Heidelberg 2008
- [6]. Phạm Tuấn Anh (2015), *"Các phương pháp điều khiển thiết bị kho điện sử dụng trong hệ thống phát điện sức gió hoạt động ở chế độ ốc đảo"*, Luận án tiến sĩ ĐHBK HN 2015.
- [7]. Marian P. Kazmierkowski; R. Krishnan; Frede Blaabjerg (2012); *"Control in Power electronics"*, © Elsevier Science, 2012.
- [8]. Đặng Danh Hoàng (2012), *Cải thiện chất lượng điều khiển máy phát không đồng bộ nguồn kép dùng trong hệ thống phát điện chạy sức gió bằng phương pháp điều khiển phi tuyến*, Luận án Tiến sĩ Đại học Thái Nguyên (trang 30-47).
- [9]. Nguyễn Viết Ngự, Lê Thị Minh Tâm và các cộng sự (2015). *So sánh hai thuật toán INC và P&O trong điều khiển bám điểm công suất cực đại của hệ thống pin mặt trời cấp điện độc lập*. Tạp chí Khoa học và Phát triển, tập 13, số 8: 1452-1463
- [10]. Amiraser Yazdani, Reza Iravani (2010), *"Voltage-sourced converters in power systems"*, Wiley-IEEE Press, ISBN: 978-0-470-52156-4, 451 pages.