

HÒA ĐỒNG BỘ VỚI LƯỚI TRONG ĐIỀU KHIỂN CÔNG SUẤT TÁC DỤNG CỦA HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI KẾT NỐI LƯỚI ĐIỆN MỘT PHA

SYNCHRONIZATION TO THE GRID IN ACTIVE POWER CONTROLLER FOR SOLAR SYSTEMS CONNECTED TO SINGLE-PHASE GRID

Vũ Bảo Toàn¹, Đoàn Quang Vinh²

¹Công ty TNHH MTV Lọc Hóa Dầu Bình Sơn, Quảng Ngãi; Email: toanbsr@gmail.com

²Đại học Đà Nẵng; Email: dqvinh@ac.udn.vn

Tóm tắt: Nội dung của bài viết này trình bày phương pháp điều khiển cho hệ thống năng lượng mặt trời nối lưới điện. Trong đó bộ nghịch lưu được thiết kế sao cho hệ thống năng lượng mặt trời nối lưới điện, có thể đồng bộ điện áp đầu ra của bộ nghịch lưu với điện áp lưới điện. Công suất tác dụng cung cấp cho lưới điện được điều khiển bởi góc pha giữa điện áp lưới với điện áp đầu ra biến tần. Bộ điều khiển cung cấp công suất tác dụng tối đa cho lưới điện từ hệ thống năng lượng mặt trời. Công suất cung cấp từ các tấm pin năng lượng mặt trời được điều khiển bằng thuật toán bám điểm công suất cực đại (MPPT) dựa trên phương pháp điện dẫn gia tăng. Vào ngày nắng hệ thống PV cung cấp công suất cho lưới điện, vào ngày mưa thì ngược lại. Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống điều khiển đáp ứng tốt.

Từ khóa: Mạch một pha; kết nối lưới điện; hệ thống năng lượng mặt trời; điều khiển công suất tác dụng; lưu lượng công suất

1. Đặt vấn đề

Năng lượng mặt trời (Solar Power (SP)) là một trong các nguồn năng lượng tái tạo quan trọng nhất mà thiên nhiên ban tặng cho hành tinh chúng ta. Đồng thời, nó cũng là một trong các nguồn năng lượng tái tạo khác như năng lượng gió, năng lượng sinh khối, năng lượng các dòng sông... Đó là loại hình năng lượng có khả năng áp dụng hơn cả tại các khu vực đô thị và các vùng mà điện lưới không vươn đến được (vùng núi, vùng hải đảo hay các công trình ngoài khơi...). Năng lượng mặt trời có thể nói là vô tận. Để khai thác, sử dụng nguồn năng lượng này cần phải biết các đặc trưng và tính chất cơ bản của nó, đặc biệt khi tới bề mặt quả đất.

Trong hệ thống năng lượng mặt trời, việc kết nối hệ thống năng lượng mặt trời trực tiếp với lưới điện quốc gia có ưu điểm là giảm được chi phí đầu tư và vận hành vì không phải sử dụng ắc quy [1]. Bất cứ khi nào hệ thống năng lượng mặt trời tạo ra công suất lớn hơn công suất tiêu thụ phụ tải thì năng lượng này được đưa trực tiếp lên lưới điện và khi hệ thống năng lượng mặt trời tạo ra công suất nhỏ hơn công suất tiêu thụ phụ tải thì năng lượng còn thiếu sẽ được lấy từ lưới điện.

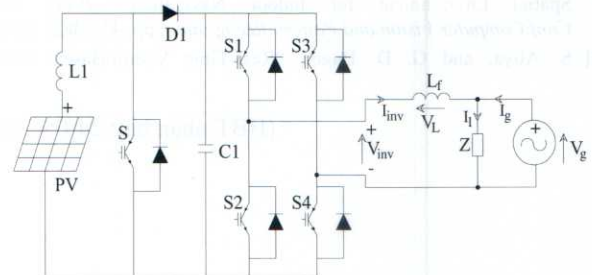
Giải pháp điều khiển nghịch lưu được trình bày trong bài báo này là điều khiển phát công suất tác dụng tối đa từ hệ thống năng lượng mặt trời cung cấp cho lưới điện. Vấn đề cơ bản của giải pháp nêu trên là để có được chi phí thấp nhất và điều khiển đơn giản nhất. Trong phương pháp này, công suất tác dụng được điều khiển bởi lệch góc pha giữa điện áp lưới điện và điện áp đầu ra nghịch lưu.

Abstract: This paper deals with a control algorithm for a single-phase grid-connected solar system in which an inverter designed for the grid-connected solar system can synchronize a inverter output voltage with the voltage grid. The active power is controlled by load angle between the grid voltage and the inverter output voltage. The controller feeds maximum active power into the grid form solar system. The power provided by the photovoltaic (PV) panels is controlled by a Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithm based on the incremental conductance method. In sunny days, the system processes all the active load power and the excessive power from the PV module can be fed to the grid. In cloudy days, for instance, on the contrary, simulation results show that the control system has good performances.

Key words: Single-phase circuits; grid connected; solar system; active power control; power flow

2. Nguyên lý hoạt động

Sơ đồ nguyên lý nghịch lưu áp 1 pha nối với lưới điện như Hình 1 [5].



Hình 1. Sơ đồ nghịch lưu áp 1 pha

Thành phần cơ bản bao gồm: điện áp đầu ra nghịch lưu (V_{inv}), dòng điện đầu ra nghịch lưu (I_{inv}), điện áp rơi trên cuộn cảm L_f là $V_L (j\omega L_f I_{inv} = j\omega L_f I_{inv})$, phụ tải $Z (Z = R + jX_L)$ và thành phần cơ bản của điện áp lưới điện (V_g).

Dòng điện nghịch lưu nối với lưới được lấy từ các tấm pin năng lượng mặt trời (PV) [2]. Dựa vào bộ lọc đầu ra ta có các cấu hình như L, LC, LCL,...

Từ Hình 1 ta có;

$$V_{inv} = V_g + V_L \quad (1)$$

Trong đó: $V_L = j\omega L_f I_{inv}$

$$\text{Khi đó: } V_{inv} = V_g + j\omega L_f I_{inv} \quad (2)$$

Do đó, từ phương trình (2) I_{inv} có thể viết lại như sau:

$$I_{inv} = \frac{V_{inv} - V_g}{j\omega L_f} \quad (3)$$

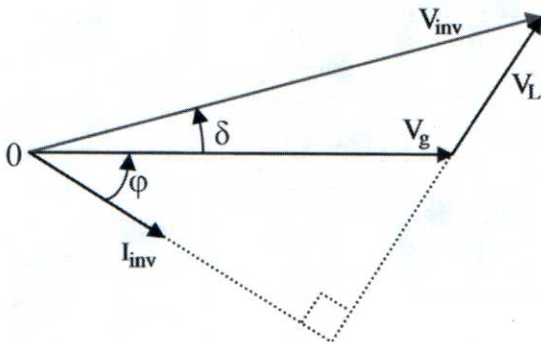
Và ta có: $V_{inv}\sin(\delta) = XI_{inv}\cos(\varphi)$ (4)

Trong đó δ là góc giữa điện áp lưới với điện áp đầu ra biến tần, và φ là góc giữa điện áp lưới với dòng điện đầu ra biến tần. Từ đó ta suy ra công suất tác dụng (P) từ nghịch lưu tải lên lưới điện có thể biểu diễn như sau:

$$P = V_g I_{inv} \cos(\delta) \quad (5)$$

Rút $I_{inv}\cos(\varphi)$ từ phương trình (4) thay vào phương trình (5) ta có:

$$P = \frac{V_{inv} V_g}{X} \sin(\delta) \quad (6)$$

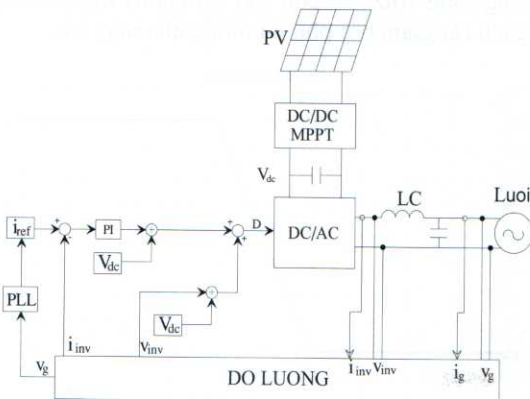


Hình 2. Giản đồ pha giữa điện áp lưới điện (V_g) và điện áp đầu ra biến tần (δ)

Theo Hình 2, công thức (6) việc điều chỉnh lưu lượng công suất của nghịch lưu kết nối song song với lưới điện có thể thực hiện bằng cách điều khiển biên độ điện áp đầu ra nghịch lưu (V_{inv}) và góc pha (δ). Mặt khác, để đưa công suất lên lưới điện thì giá trị của điện áp DC phải đủ lớn để điện áp đầu ra của nghịch lưu V_{inv} có thể có độ lớn bằng hoặc lớn hơn so với điện áp lưới điện.

Từ phương trình (6) ta thấy công suất tác dụng của nghịch lưu tải lên lưới điện phụ thuộc vào góc δ (vì khi làm việc song song với lưới thì điện áp nghịch lưu bằng điện áp lưới điện). Vì vậy việc tải công suất tác dụng lên lưới điện có thể được điều khiển bám theo công suất đầu ra từ tấm pin năng lượng mặt trời và được điều khiển bởi chu kỳ làm việc D như phương trình (10).

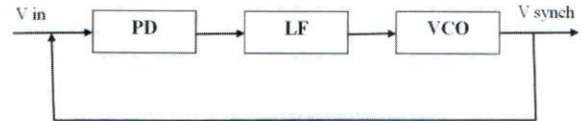
3. Phương pháp điều khiển



Hình 3. Sơ đồ khối của vòng điều khiển

Trong chế độ làm việc kết nối với lưới điện, bộ nghịch lưu làm việc như một nguồn dòng điều khiển để tạo ra dòng điện đầu ra dựa trên tín hiệu dòng điện tham chiếu. Sơ đồ khối của vòng điều khiển như Hình 3.

Tín hiệu điện áp nguồn với 220V AC, 50Hz được đưa vào vòng khóa pha (PLL). Vòng khóa pha (PLL) là một vòng điều khiển bao gồm ba thành phần cơ bản như Hình 4. Gồm một bộ tách pha hoặc so sánh pha (PD), bộ lọc vòng lặp (LF) và bộ tạo dao động điều khiển bằng điện áp (VCO). Khác nhau quan trọng nhất trong các PLL khác nhau là khối tách pha (PD).



Hình 4. Sơ đồ khối của PLL

Trong phần này, trình bày kỹ thuật sử dụng PLL để đồng bộ hóa điện áp đầu ra nghịch lưu với điện áp lưới điện. Nguyên lý hoạt động của khối tách pha (PD) dựa trên biến đổi sin và cos của điện áp nghịch lưu và tín hiệu điện áp tham chiếu là điện áp lưới điện.

Nguyên lý hoạt động của vòng khóa pha (PLL) được tổng hợp dựa trên giả thiết sau: điện áp đầu vào chỉ có thành phần hình sin là $V_{in} = V_m \sin \theta$; điện áp đầu ra thu được là $V_{sync} = 1 \cdot \sin \hat{\theta}$.

Khi đó ta có 2 phương trình lượng giác sau:

$$\sin \theta \cdot \cos \hat{\theta} = \frac{1}{2} [\sin(\theta + \hat{\theta}) + \sin(\theta - \hat{\theta})] \quad (7)$$

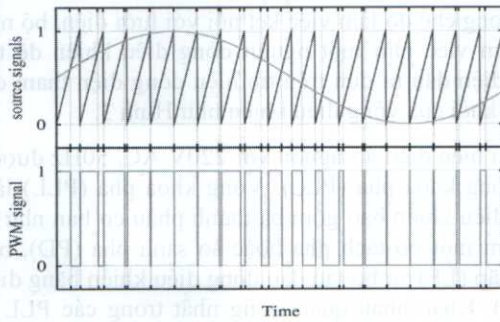
$$-\cos \theta \cdot \sin \hat{\theta} = -\frac{1}{2} [\sin(\theta + \hat{\theta}) - \sin(\theta - \hat{\theta})] \quad (8)$$

Cộng hai phương trình (7) và (8) ta tìm được kết quả:

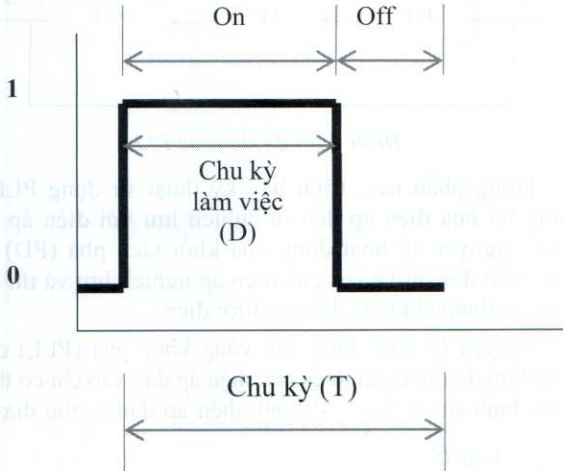
$$\sin(\theta - \hat{\theta}) = \sin \theta \cdot \cos \hat{\theta} - \cos \theta \cdot \sin \hat{\theta} \quad (9)$$

Vòng khóa pha (PLL) là một hệ thống điều khiển mà tạo ra một tín hiệu có quan hệ cố định với góc pha của tín hiệu tham chiếu. Sơ đồ của một vòng khóa pha đáp ứng cả 2 thành phần là tần số và góc pha của tín hiệu đầu vào, nó sẽ tự động tăng hoặc giảm tần số của bộ dao động điều khiển cho đến khi bằng với tần số và góc pha của tín hiệu tham chiếu. Từ phương trình (9) ta nhận thấy rằng khi $\sin(\theta - \hat{\theta}) = 0$ có nghĩa là lúc đó góc θ bằng góc $\hat{\theta}$ thì lúc này điện áp của nghịch lưu được đồng bộ với điện áp lưới điện. Như vậy việc lấy tín hiệu điện áp lưới điện làm đầu vào của khối PLL là dùng để chuẩn hóa tín hiệu điện áp lưới điện và đồng bộ với điện áp lưới điện tại vị trí điểm 0 của điện áp lưới điện. Bộ PLL được sử dụng để đảm bảo rằng điện áp đầu ra nghịch lưu (tần số, góc pha và biên độ) bằng với điện áp lưới điện, mặc dù bộ nghịch lưu đang làm việc ở chế độ độc lập thì điện áp đầu ra nghịch lưu đã được đồng bộ với điện áp lưới điện.

Trong sơ đồ điều chế PWM thông thường, một tín hiệu điều khiển hình sin được so sánh với một tín hiệu hình tam giác để tạo ra tín hiệu PWM như Hình 5. Với chu kỳ làm việc (D) như Hình 6.



Hình 5. Phát PWM bằng phương pháp răng cưa



Hình 6. Chu kỳ làm việc (D)

Trong đó:

D: chu kỳ làm việc.

T: chu kỳ.

Ở đây sử dụng một phương pháp điều khiển [4]. Đó là so sánh tín hiệu điện áp thực tế với tín hiệu tham chiếu để tạo ra sai lệch sau đó đưa đến bộ điều khiển tỷ lệ. Đầu ra của bộ điều khiển sau đó được khuếch đại và đưa vào vòng điều khiển phản hồi. Đầu ra cuối cùng của bộ điều khiển là giá trị chu kỳ làm việc (D) và được xác định bởi phương trình.

$$D = \left(0.5 + \frac{V_{inv}}{2 \cdot V_{dc}}\right) + \frac{K_i \cdot (I_{ref} - I_{inv}) \cdot L \cdot f_{sw}}{2 \cdot V_{dc}} \quad (10)$$

Trong đó:

V_{inv} : điện áp đầu ra của nghịch lưu

V_{dc} : điện áp đầu vào DC

I_{ref} : dòng điện tham chiếu

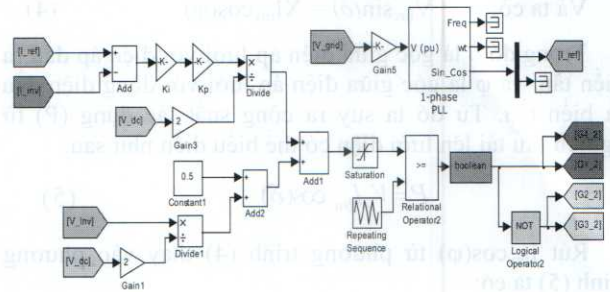
I_{inv} : dòng điện đầu ra của nghịch lưu

K_i : hệ số tỷ lệ

L : giá trị điện cảm

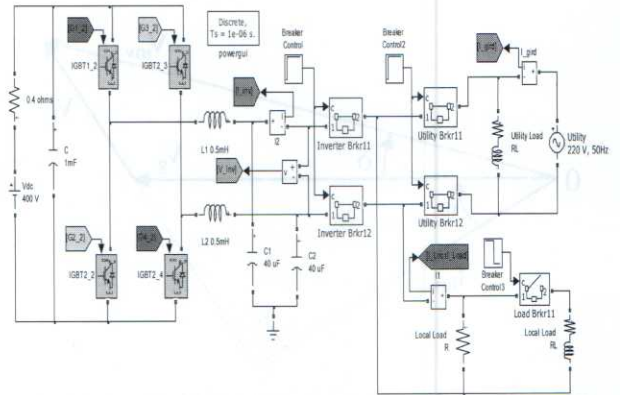
f_{sw} : tần số chuyển mạch.

Như vậy với vòng điều khiển này, giá trị chu kỳ này sau đó được so sánh với sóng hình tam giác có tần số 10kHz để tạo ra tín hiệu điều biến PWM với chu kỳ làm việc D.



Hình 7. Sơ đồ khối của vòng điều khiển

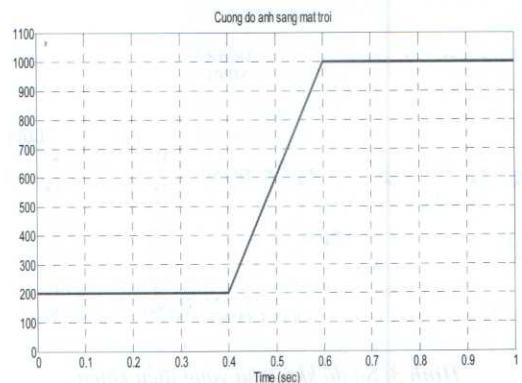
4. Kết quả mô phỏng



Hình 8. Sơ đồ và số liệu mô phỏng

Sử dụng phần mềm MATLAB/Simulink trong tất cả các quá trình mô phỏng. Số liệu mô phỏng bao gồm: nguồn điện áp DC 400V được lấy từ các tấm pin năng lượng mặt trời, điện trở nguồn 0.4Ω , điện áp lưới điện 220V, tần số lưới điện 50Hz. Điện áp đầu ra nghịch lưu được lọc bởi bộ lọc LC, với cuộn kháng L mắc nối tiếp với giá trị 0.5mH và tụ C mắc song song với giá trị $40\mu\text{F}$. Phụ tải lưới điện $Z = 5 + j0.01 (\Omega)$, phụ tải nội bộ Z_1 có giá trị thay đổi từ $Z_{11} = 80 + j0.025 (\Omega)$ mắc song song với $Z_{12} = 200 (\Omega)$ lên giá trị $Z_{12} = 200 (\Omega)$, sơ đồ mô phỏng như Hình 8.

Trình tự hoạt động của sơ đồ mô phỏng, bộ nghịch lưu bắt đầu làm việc với lưới điện tại $t = 0.1\text{s}$, giá trị công suất tấm pin năng lượng mặt trời thay đổi theo cường độ bức xạ của ánh sáng mặt trời [5] như Hình 9. Tại thời điểm $t = 0.6\text{s}$ giá trị phụ tải nội bộ thay đổi từ $Z_{11} = 80 + j0.025 (\Omega)$ mắc song song với $Z_{12} = 200 (\Omega)$ lên giá trị $Z_{12} = 200 (\Omega)$, bằng cách cắt giảm bớt phụ tải thông qua máy cắt.

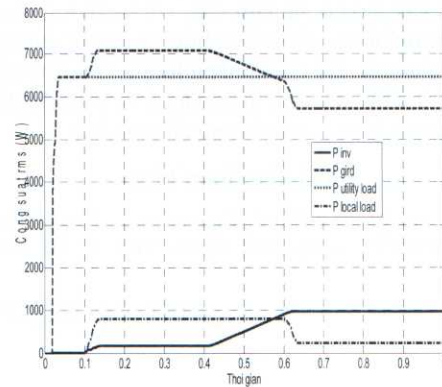


Hình 9. Cường độ bức xạ của ánh sáng mặt trời

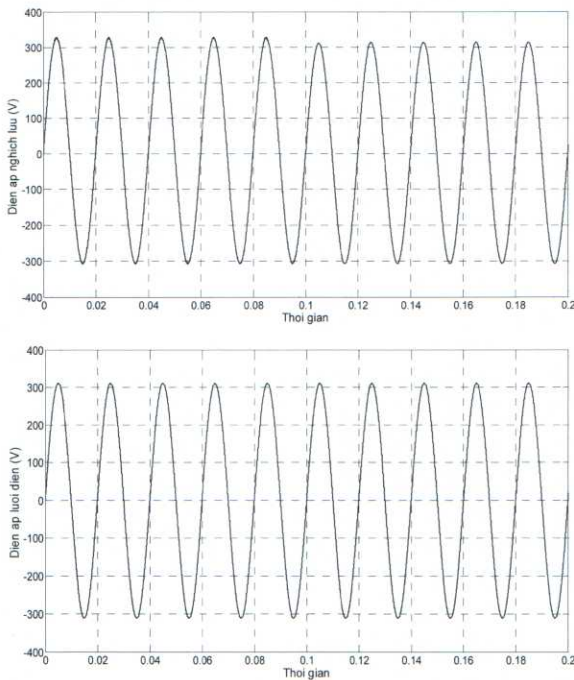
Kết quả mô phỏng như Hình 10. Trong đó công suất đầu ra của nghịch lưu (P_{inv}), công suất đầu ra lưới điện (P_{grid}), công suất tiêu thụ của phụ tải lưới điện ($P_{utility\ load}$), công suất tiêu thụ của phụ tải nội bộ ($P_{local\ load}$) như Hình 10. Khi bộ nghịch lưu chưa làm việc thì phụ tải được cung cấp điện từ lưới điện với công suất tiêu thụ phụ tải lưới điện là 6453 W. Tại thời điểm $t = 0.1s$ thì bộ nghịch lưu bắt đầu làm việc với công suất phát đầu ra là 200 W trong khi đó công suất tiêu thụ phụ tải nội bộ là 780W nên công suất từ lưới điện sẽ bù vào lượng công suất thiếu hụt này. Trong khoảng thời gian từ $t = (0.4; 0.6)s$ công suất nghịch lưu phát tăng từ 200 W lên 1000 W phụ thuộc vào cường độ ánh sáng của ánh sáng mặt trời như Hình 9. Trong giai đoạn này khi công suất bộ nghịch lưu tăng lên thì công suất của lưới điện giảm tương ứng. Tại thời điểm $t = 0.6s$ công suất tiêu thụ phụ tải nội bộ giảm từ 780W xuống 225W thì công suất của nghịch lưu vẫn không đổi nên lúc này công suất thừa từ nghịch lưu được cấp cho phụ tải lưới điện.

Kết quả mô phỏng dạng sóng dòng điện, điện áp nghịch lưu và lưới điện như Hình 11 và Hình 12. Từ Hình 11 ta nhận thấy rằng tại thời điểm bắt đầu hòa đồng

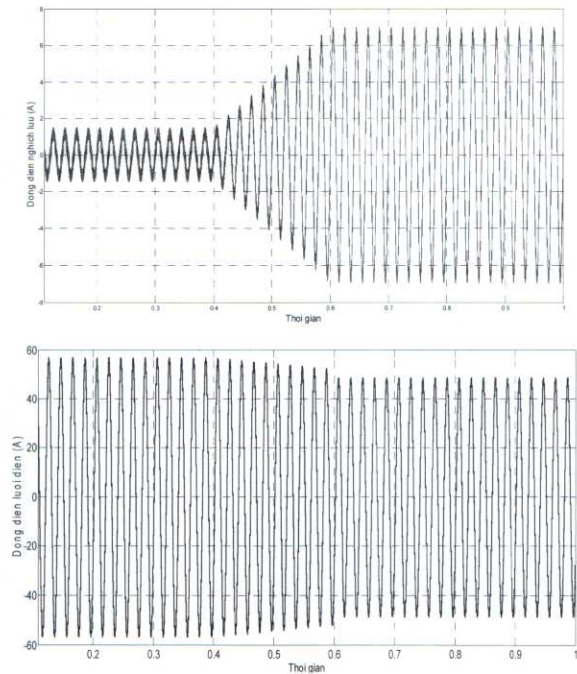
bộ $t=0.1s$ thì điện áp nghịch lưu có cùng biên độ, tần số, góc pha với điện áp lưới điện. Và ta thấy rằng dòng điện, điện áp nghịch lưu đã đồng pha với dòng điện, điện áp lưới điện. Kể cả khi có sự thay đổi góc lệch pha của lưới điện thì dòng điện nghịch lưu vẫn đồng pha với dòng điện lưới điện như Hình 13. Điều đó cho thấy bộ điều khiển đã làm việc khá tốt, đáp ứng được yêu cầu của việc thiết kế.



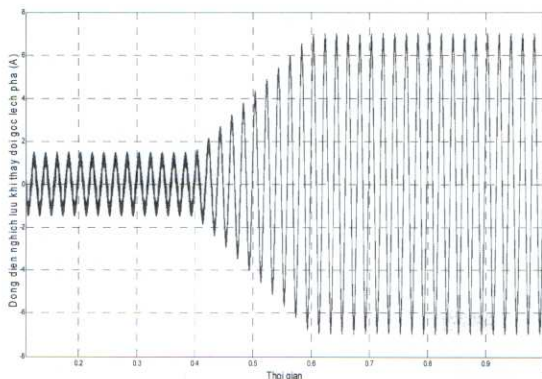
Hình 10. Kết quả mô phỏng



Hình 11. Dạng sóng điện áp nghịch lưu và điện áp lưới điện



Hình 12. Dạng sóng dòng điện nghịch lưu và dòng điện lưới điện



Hình 13. Dạng sóng dòng điện nghịch lưu và dòng điện lưới điện khi thay đổi góc lệch pha của lưới điện

5. Kết luận

Từ các kết quả mô phỏng đã chứng minh được rằng hệ thống điều khiển nghịch lưu có khả năng thay đổi được biên độ điện áp đầu ra nghịch lưu, cũng như góc pha của tải. Do đó, hệ thống đã đáp ứng được các thông số của hòa đồng bộ với lưới điện, và hệ thống điều khiển được công suất tác dụng từ nghịch lưu tải lên lưới điện với hiệu suất rất tốt. Vì vậy, nó có thể làm việc với hệ thống năng lượng mặt trời trong bất kỳ điều kiện bức xạ nào từ cường độ của ánh sáng mặt trời. Hệ thống năng lượng mặt trời này không phức tạp và cũng dễ thực hiện, và có hệ số giữa đầu tư-lợi nhuận cao so với các năng lượng tái tạo khác.

Tài liệu tham khảo

- [1] Active and Reactive Power Control for a Single- Phase Grid-Connected PV System with Optimization of the Ferrite Core

Volume. Kleber C. A. De Souza, Walbermark M. dos Santos and Denizar C. Martins Federal University of Santa Catarina, Electric Engineering Department, Florianópolis, Brazil.

- [2] Active and Reactive Power Controller for Single-Phase Grid-Connected Photovoltaic Systems. Department of Electrical-Electronics Engineering- Hochiminh City University of Technology Vietnam National University in Hochiminh, Vietnam.
- [3] Computer investigation of a sine and cosine based phase-locked loop for single phase grid connected inverter. *Angelina Tomova, Mariya Petkova, Mihail Antchev, Hristo Antchev.*
- [4] Advanced Power Electronic Interfaces for Distributed Energy Systems. Part 2: Modeling, Development, and Experimental Evaluation of Advanced Control Functions for Single-Phase Utility-Connected Inverter. *S.Chakraborty, B.Kroposki, and W.Kramer.*
- [5] Grid-Connected PV Array/ Pierre Giroux, Gilbert Sybille, Hydro-Quebec Research Institute (IREQ) Carlos Osorio, Shripad Chandrachood, *The www.mathworks.com.*

(BBT nhận bài: 23/10/2013, phản biện xong: 13/11/2013)