

ỔN ĐỊNH DÒNG ĐIỆN CHO BỘ PHÁT NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI VÀO LƯỚI ĐIỆN

STABILITY CURRENT FOR SINGLE-PHASE GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Trương Việt Anh

Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TpHCM,

Nguyễn Bá Thuận

Đại Học Lạc Hồng

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày một hệ thống kết nối nguồn năng lượng mặt trời với lưới điện. Đặc điểm chính của mô hình là sử dụng dạng sóng sin của nguồn điện làm sóng điều khiển trong khâu điều chế nên việc bám sát tần số, điện áp của nguồn lưới trở nên dễ dàng. Bên cạnh đó, trong cơ chế ổn định dòng điện bơm vào lưới còn xét đến sự thay đổi điện áp của nguồn năng lượng mặt trời. Kết quả khảo sát trên mô hình cho thấy: Khả năng ổn định dòng điện bơm vào lưới rất tốt, bất chấp thay đổi của điện áp và tần số lưới điện hay điện áp nguồn một chiều của hệ thống inverter. Ngoài ra mô hình còn có khả năng giảm thiểu lượng công suất kháng truyền vào lưới để nâng cao hiệu quả làm việc của các khoá điện tử của bộ inverter khi truyền công suất tác dụng

ABSTRACT

This paper presents a single-phase, grid-connected solar power system. The main characteristic of the model is that sine waves of the power grid is used as controlling waves in the modulation, allowing the frequency and voltage monitoring of the power grid. Then the voltage fluctuation of the solar energy to the power grid to stabilize the current is put into consideration. Experimental results on the model have revealed that the ability to stabilize current injected into grid is good, regardless of the changes of voltage and frequency on the grid or on the DC voltage of the inverter system. Additionally, the model has the ability to reduce the transmission of reactive power to grid to improve work efficiency of the electronic switching in inverters during the transmission of active power.

I. GIỚI THIỆU

Các nguồn năng lượng lớn chủ yếu có nguồn gốc hóa thạch luôn gây ô nhiễm môi trường, đang cạn kiệt dần và làm cho trái đất ấm dần lên. Việc tìm ra nguồn năng lượng sạch, vô tận luôn là ưu tiên hàng đầu. Năng lượng mặt trời, năng lượng gió đáp ứng được những yêu cầu này, nhưng có công suất không lớn và rất phân tán, để tận dụng có hiệu quả, cần phải kết nối các nguồn năng lượng này thông qua hệ thống lưới điện phân phối có sẵn bằng các bộ

ngịch lưu có khả năng kết nối với điện xoay chiều.

Đã có nhiều nghiên cứu về lĩnh vực này [1..4], nhưng các mục tiêu chủ yếu tập trung điều khiển dòng công suất tác dụng P và công suất phản kháng Q với các điều kiện ràng buộc như tần số, điện áp lưới không thay đổi hay điện áp DC của bộ nghịch lưu không thay đổi, tuy nhiên, thực tế, các giá trị này thay đổi đáng kể.

Bài báo này tập trung xây dựng một giải thuật điều khiển bộ nghịch lưu kết nối

lưới AC có khả năng tự động ổn định dòng điện bơm vào lưới với hệ số công suất ở mức cao khi điện áp, tần số lưới và điện áp DC đặt vào bộ nghịch lưu thay đổi.

II. PHƯƠNG PHÁP TIẾP CẬN.

Sơ đồ kết nối nguồn năng lượng mặt trời vào lưới điện phân phối hạ thế và sơ đồ tương đương được biểu diễn lần lượt tại hình 1 và 2. Công suất truyền qua cuộn kháng L bơm vào lưới được mô tả tại các biểu thức:

$$P = \frac{EU}{X_s} \sin \delta \quad (1)$$

$$Q = \frac{EU}{X_s} \cos \delta - \frac{U^2}{X_s} \quad (2)$$

Trong đó: δ là góc lệch giữa \vec{E} (điện áp đầu ra của Inverter) và \vec{U} (điện áp lưới).

Từ biểu thức (1) và (2) dễ dàng nhận thấy, việc điều khiển công suất P phụ thuộc nhiều vào góc lệch δ và điều khiển Q bằng cách thay đổi điện áp E. Để tận dụng tối đa khả năng mang tải của các khoá điện tử, biến áp xung, cuộn kháng L, bộ nghịch lưu luôn phải làm việc ở chế độ:

— Giữ công suất phản kháng Q truyền vào lưới gần bằng 0 hay hệ số công suất PF = 1

— Giữ dòng điện bơm vào lưới không đổi ngay khi điện áp V_{dc} , điện áp lưới, tần số lưới thay đổi.

1. Xác định điện áp E để hệ số công suất cao

Nếu bỏ qua các loại tổn thất công suất trên máy biến áp nâng áp, từ biểu thức (2) để hệ số công suất PF đạt mức cao hay công suất phản kháng bơm vào lưới $Q = 0$ thì:

$$E \cos \delta = U \text{ hay } E(t) \cos \delta = U(t) \quad (3)$$

Để $E(t) \cos \delta = U(t)$, tín hiệu sóng sin của lưới điện được hồi tiếp làm sóng sin điều khiển. Điều này cho phép E luôn bám sát theo U lưới tỷ lệ không đổi là $\cos \delta$. Khi đó, dòng điện Inverter I_U bơm vào lưới

được điều chỉnh tăng hay giảm hoặc V_{dc} thay đổi và ngay cả khi tần số lưới biên động thì PF vẫn ở mức cao.

2. Xác định góc lệch δ để $I = \text{const}$

Từ biểu thức (1) và (3), khi $Q = 0$, dòng điện I được tính theo biểu thức (4)

$$I = \frac{S}{U} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{U} = \frac{P}{U} = \frac{E}{X_s} \sin \delta \quad (4)$$

$$(3), (4) \Rightarrow I = \frac{U}{X_s \cos \delta} \sin \delta = \frac{U}{X_s} \text{tg} \delta \quad (5)$$

Nhận xét: Theo biểu thức (3) và (5) cho thấy:

Điện áp đầu cuộn kháng luôn phải duy trì điều kiện $E(t) \cos \delta = U(t)$ để đảm bảo cho điều kiện $Q=0$ hay hệ số công suất PF ở mức cao

Để dòng điện $I = \text{const}$, khi U tăng k lần, thì $\text{tg} \delta$ phải giảm đi k lần và ngược lại.

Khi tần số thay đổi và điện áp không đổi, nếu giữ nguyên góc lệch δ thì $I = \text{const}$

3. Điều khiển góc lệch δ theo yêu cầu

Để điều khiển dòng điện bơm vào lưới theo (5) và dùng tín hiệu sóng sin của điện áp lưới làm sóng điều khiển như đã nêu tại II.1, cần phải làm trễ tín hiệu sóng sin này một khoảng thời gian t được tính theo (6)

$$t = T - \frac{\delta \cdot T}{360^\circ} = T \left(1 - \frac{\delta}{360^\circ} \right) = \frac{360^\circ - \delta}{360^\circ f} \quad (6)$$

Việc làm trễ tín hiệu sóng sin một khoảng thời gian t như (6) mà không làm biến dạng sóng là một vấn đề khó khăn, vì vậy, tín hiệu sóng sin được đưa ngay vào bộ điều chế để thành các xung vuông, sau đó các xung vuông này được làm trễ một thời gian t (hình 5), bằng cách này mạch điện điều khiển sẽ trở nên đơn giản hơn.

4. Inverter làm việc ổn định khi V_{dc} thay đổi

Các thông số như điện áp ngõ ra của inverter E hay góc lệch δ luôn được điều chỉnh mỗi khi có sự thay đổi của lưới điện để đảm bảo điều kiện $I=const$ và $Q=0$. Tuy nhiên, khi V_{dc} của bộ pin mặt trời thay đổi, việc thay đổi các thông số trên không còn phù hợp. Phương pháp điều khiển bộ nghịch lưu SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) [5] dùng bộ tạo sóng sin làm sóng điều khiển và được trộn với sóng mang tam giác tần số cao, cho ra các độ rộng xung thay đổi để điều khiển thời gian đóng ngắt các khóa của bộ nghịch lưu. Công thức được tính như sau:

$$E = m_a K_1 V_{dc} \quad (7)$$

Trong đó:

E : điện áp ngõ ra inverter đặt vào cuộn kháng L

V_{dc} : điện áp DC của bộ nghịch lưu

K_1 : tỷ số máy biến áp động lực nâng áp

m_a : chỉ số điều chế.
$$m_a = \frac{V_s}{V_t} \quad (8)$$

Với V_s là điện áp đỉnh của sóng sin điều khiển và V_t là điện áp đỉnh của sóng mang tam giác.

Do lấy tín hiệu điện áp lưới U(t) làm sóng điều khiển nên $V_s(t) = K_2 U(t)$, với K_2 : tỷ số máy biến áp lấy tín hiệu hồi tiếp. Nên biểu thức (7) được viết lại như sau:

$$E(t) = \frac{K_2 U(t)}{V_t} K_1 V_{dc} \quad (9)$$

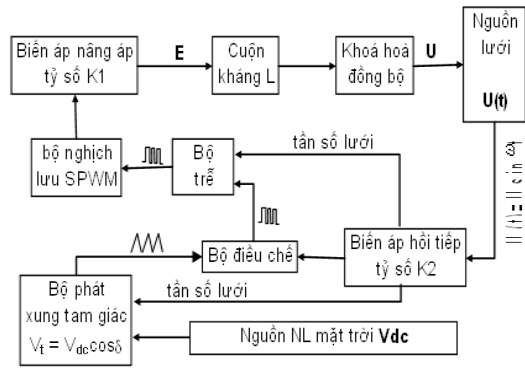
(3) và (9) $\Rightarrow V_t = V_{dc} \cos \delta \quad (10)$

Trong đó K_2 được chọn để $K_1 K_2 = 1$.

Vậy khi duy trì (10), E(t) sẽ có giá trị biên độ đỉnh không đổi bất chấp khi nguồn V_{dc} thay đổi.

5. Sơ đồ khối của bộ điều khiển

Sơ đồ điều khiển và kết nối được diễn giải trên hình 3.

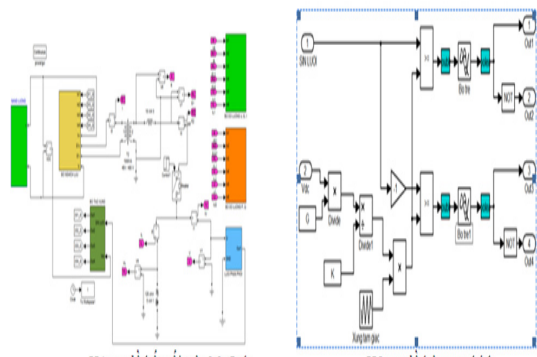


H3: sơ đồ nguyên lý kết nối điều khiển

6. Sơ đồ mô phỏng trong MatLab

Sử dụng MatLab là công cụ mô phỏng phương pháp hòa đồng bộ nguồn năng lượng mặt trời cũng như khảo sát các chế độ làm việc của Inverter như: dòng điện bơm vào lưới khi nguồn năng lượng mặt trời, U và tần số lưới thay đổi.

Sơ đồ kết nối trên hình 4 quan trọng nhất là bộ điều khiển xung kích cho bộ nghịch lưu. Hình 5 diễn giải bộ điều khiển xung kích. Tín hiệu V_{dc} được đưa vào bộ điều khiển để điều chỉnh giá trị đỉnh của xung tam giác V_t theo biểu thức (10). Tín hiệu sóng sin được lấy từ biến áp hồi tiếp của lưới điện được dùng làm sóng điều khiển để đảm bảo biểu thức (3) nên điện áp đầu ra E(t) luôn bám sát U và đảm bảo đúng tần f của lưới điện. Các bộ trễ nhằm điều khiển góc lệch δ theo biểu thức (6) sao cho dòng điện I inverter bơm vào lưới không đổi theo biểu thức (5).



H4: sơ đồ kết nối trên MatLab

H5: sơ đồ bộ xung kích

III. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG.

Mô hình bộ inverter hoà lưới điện có công suất 7000VA, hoà vào lưới điện 1 pha 220V cho hộ gia đình, mô hình được mô phỏng trên MatLab. Tiến hành khảo sát các nội dung như sau:

1. Khảo sát quan hệ PF và dòng inverter I_U

Thay đổi góc lệch δ để điều khiển dòng điện inverter I_U bơm vào lưới, xác định giá trị hệ số công suất PF bằng cách kiểm tra tỷ số giữa dòng công suất tác dụng P và Q do inverter bơm vào lưới. Kết quả khảo sát được trình bày tại bảng 1.

| δ | Độ trễ | $\text{Cos}\delta$ | $I_U(\text{A})$ | P(W) | Q(Var) | PF |
|------------|----------|--------------------|-----------------|------|--------|--------------|
| 1° | 0.019944 | 0.9998 | 1.41 | 200 | 10 | 0.998 |
| 3° | 0.019833 | 0.9986 | 2.96 | 650 | -20 | 0.999 |
| 15° | 0.019167 | 0.9659 | 8.48 | 1950 | -270 | 0.990 |
| 30° | 0.018333 | 0.8660 | 18.38 | 4200 | -750 | 0.984 |
| 45° | 0.0175 | 0.7071 | 31.11 | 7065 | -1460 | 0.979 |

Bảng 1: Khảo sát I_U và PF của inverter

Kết quả tại bảng 1 cho thấy khi dòng tăng từ 1.41A đến 31.11 A (giá trị hiệu dụng), hệ số công suất $\text{PF} \approx 1$, thể hiện qua giá trị công suất phản kháng Q của inverter rất nhỏ so với công suất tác dụng P. Điều này cho thấy việc hệ số công suất PF không những phụ thuộc vào góc lệch δ giữa \vec{E} và \vec{U} như kết luận của [2] mà còn phụ thuộc vào độ lớn của 2 vector này theo biểu thức (3).

2. Khảo sát ổn định dòng I_U theo V_{dc} và $U_{\text{lưới}}$

Khảo sát tính ổn định của dòng I_U bơm vào lưới khi điện áp V_{dc} thay đổi hay điện áp U lưới thay đổi được thực hiện bằng 3 thí nghiệm mô phỏng với góc lệch δ là 15° , 30° và 45° tương ứng với dòng điện I_U là 8.48A, 18.38A, 31.1A. Các thí nghiệm có cùng thời điểm hoà lưới lúc 0,03s, lúc này điện áp $V_{dc} = 48\text{V}$, $U_{\text{lưới}} = 220\text{V}$, tại thời điểm 0.2s giá trị điện áp của pin mặt trời bị giảm còn $V_{dc} = 40\text{V}$, điện áp lưới không đổi và thời điểm 0.4s, giá trị điện áp nguồn tăng $U_{\text{lưới}} = 260\text{V}$. Kết quả mô phỏng được biểu diễn tại hình 6($\delta = 15^\circ$), hình 7($\delta = 30^\circ$)

và hình 8($\delta = 45^\circ$).

Trong suốt thời gian từ 0.03s đến 0.6s, dòng hiệu dụng I_U của Inverter bơm vào lưới vẫn không đổi thời gian quá độ diễn ra nhanh chóng chỉ diễn ra trong 1 chu kỳ và biên độ dòng điện không thay đổi đáng kể. Tuy nhiên, mức giao động của dòng điện quá độ sẽ ít hơn khi góc lệch δ lớn (I_U lớn).

3. Khảo sát ổn định dòng I_U theo tần số lưới

Để khảo sát tính ổn định của dòng I_U bơm vào lưới khi tần số lưới thay đổi, tiến hành 3 thí nghiệm mô phỏng với các góc lệch δ là 15° , 30° và 45° ứng với dòng điện I_U là 8.48A, 18.38A, 31.1A. Cũng tương tự như khảo sát tại mục III.2, các thí nghiệm có cùng thời điểm hoà lưới lúc 0,03s, lúc này điện áp $V_{dc} = 48\text{V}$, $U_{\text{lưới}} = 220\text{V}$, tần số lưới là $f = 50\text{Hz}$, tại thời điểm 0.2s tần số lưới giảm đột ngột $f = 48\text{Hz}$, $V_{dc} = 48\text{V}$, $U_{\text{lưới}} = 220\text{V}$. Kết quả được biểu diễn tại hình 9($\delta = 15^\circ$), hình 10($\delta = 30^\circ$) và hình 11($\delta = 45^\circ$).

Các kết quả mô phỏng cho thấy thời gian quá độ là 0.2s từ thời điểm 0.2s

đến 0.4s, sau đó giá trị dòng điện trở lại bình thường, dòng điện I_U trong thời kỳ quá độ bị biến động mạnh so với giá trị ổn định nhất là khi Inverter làm việc với góc lệch δ bé.

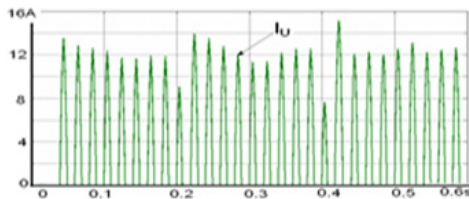
4. Nhận xét

— Qua các khảo sát đã trình bày, khi dòng điện I_U bơm vào lưới từ 1.4A đến 31.1A, giá trị hệ số công suất ổn định ở mức $PF > 0.97$, tốt hơn hẳn kết quả của [2]. Điều này cho thấy tính hiệu quả của giải thuật đề nghị.

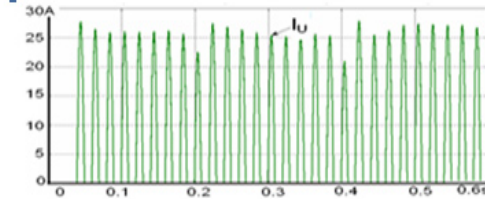
— Giá trị dòng điện I_U có mức ổn

định lớn khi điện áp V_{dc} và $U_{lưới}$ thay đổi 20% quanh giá trị làm việc bình thường. Quá trình tự động điều khiển ổn định diễn ra nhanh chóng (1 chu kỳ) và biên độ giao động của dòng I_U là không đáng kể khi công suất bơm vào lưới lớn. Điều này tốt hơn cách điều khiển trình bày tại [1].

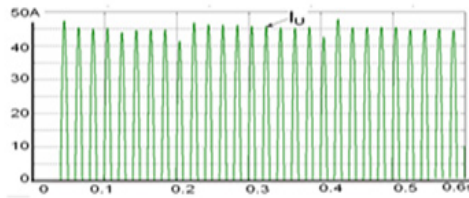
— Khi tần số giao động ở mức 50Hz xuống 48Hz thì thời gian ổn định dòng I_U diễn ra chậm (0,2s) với mức giao động lớn. Đây cũng chính là điều cần phải hiệu chỉnh giải thuật điều khiển trong những nghiên cứu sau.



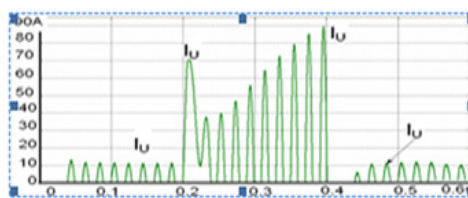
H6: $\delta = 15^\circ$, $I_U = 8.48$ khi V_{dc} và $U_{lưới}$ thay đổi



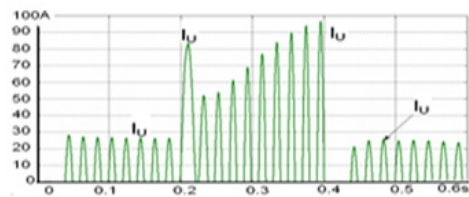
H7: $\delta = 30^\circ$, $I_U = 18.38A$ khi V_{dc} , $U_{lưới}$ thay đổi



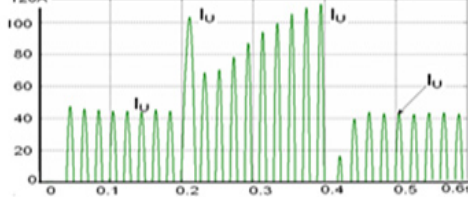
Hình 8: $\delta = 45^\circ$, $I_U = 31.1$ khi V_{dc} , $U_{lưới}$ thay đổi



H9: $\delta = 15^\circ$, $I_U = 8.48A$ khi tần số f thay đổi



H10: $\delta = 30^\circ$, $I_U = 18.38A$ khi tần số f thay đổi



H 11: $\delta = 45^\circ$, $I_U = 31.1A$ khi tần số f thay đổi

IV. KẾT LUẬN.

Bằng kỹ thuật hồi tiếp sóng sin của điện áp lưới U làm sóng điều khiển của bộ nghịch lưu và thay đổi điện áp xung tam giác theo giá trị điện áp một chiều của Pin mặt trời đã giải quyết được:

Ổn định dòng điện I_U Inverter bơm vào lưới khi có sự thay đổi điện áp lưới và tần số lưới. Giải thuật này mang tính khả thi khi bộ trở (điều khiển góc lệch) chỉ tác động lên các xung vuông mà không trực

tiếp làm trễ sóng sin hồi tiếp.

Nâng cao hệ số công suất ($PF \approx 1$) để tận dụng tối đa khả năng mang tải của khóa điện tử trong việc truyền công suất tác dụng vào lưới.

Tuy nhiên, trong các nghiên cứu tiếp theo cần giải quyết dòng điện I_U tăng cao trong quá trình quá độ khi tần số thay đổi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Ayman A. Hamad, Mohammad A. Alsaad, "A Software Application for Energy Flow Simulation of a Grid Connected Photovoltaic System," University of Jordan, Amman, 11942, Jordan.
- Babak FARHANGI, student member IEEE, Shahrokh FARHANGI member IEEE, "Application of Z-source converter in photovoltaic grid-connected transformer-less inverter," School of ECE, Tehran, Iran.
- Byunggyu Yu; Youngseok Jung; Junghun So; Hyemi Hwang; Gwonjong Yu, "A Robust Anti-Islanding Method for Grid-Connected Photovoltaic Inverter," *Photovoltaic Energy Conversion*, The 2006 IEEE 4th World Conference, vol. 2, pp.2242-2245, May. 2006.
- Hassaine, L.; Olias, E.; Quintero, J.; Barrado, A., "Digital control based on the shifting phase for grid connected photovoltaic inverter," *Applied Power Electronics Conference and Exposition*, 2008. APEC 2008. Twenty-Third Annual IEEE, pp.945-951, Feb. 2008.
- L.Hassaine,E.Olias,J.Quintero,M.Haddadi, "Digital Power Factor Control and Reactive Power Regulation for Grid-Connected Photovoltaic Inverter," Power Electronics Systems Group, Universidad Carlos III de Madrid, Avda de la Universidad 30, 28911 Leganés, Madrid, Spain.
- Nguyễn Văn Nhò, "Điện Tử Công Suất 1," NXB Đại Học Quốc Gia Tp. Hồ Chí Minh, 2005.
- Tran Cong Binh, Mai Tuan Dat, Ngo Manh Dung, Phan Quang An, Pham Dinh Truc, and NguyenHuuPhuc, "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.