

ĐIỀU KHIỂN DỰ BÁO CHO HỆ THỐNG PV NỐI LƯỚI MỘT PHA BẮM ĐIỂM CÔNG SUẤT CỰC ĐẠI

PREDICTIVE CONTROL FOR SINGLE-PHASE GRID-CONNECTED PV SYSTEM WITH MAXIMUM POWER POINT TRACKING

Nguyễn Hoàng Việt^{1,*},
Phạm Hồng Dương¹, Nguyễn Tiến Đức¹

DOI: <http://doi.org/10.57001/huivh5804.2025.005>

TÓM TẮT

Bài báo đề xuất cấu trúc điều khiển cho hệ thống PV nối lưới một pha với hai vòng điều khiển. Vòng điều khiển điện áp phía bên ngoài duy trì điện áp trên khâu DC luôn ở điểm công suất cực đại (MPP - Max Power Point) của tấm pin mặt trời. Đầu ra của bộ điều khiển điện áp là biên độ dòng điện lưới mong muốn. Góc pha của dòng điện được đồng bộ với điện áp lưới bằng cách sử dụng vòng khóa pha (PLL). Trong bài báo này, cấu trúc SOGI-PLL được sử dụng để nâng cao hiệu suất bắt góc pha điện áp lưới. Vòng điều khiển dòng điện phía bên trong sử dụng bộ điều khiển dự báo để đảm bảo dòng điện lưới luôn bám theo giá trị mong muốn. Cấu trúc điều khiển đề xuất trong bài báo luôn đảm bảo toàn bộ công suất phát ra từ pin mặt trời được truyền đến lưới. Mô hình mô phỏng hệ thống được xây dựng trên Matlab/Simulink để khảo sát các điểm hoạt động của hệ thống pin mặt trời và kiểm chứng với lý thuyết được phân tích.

Từ khóa: Hệ thống PV, chế độ nối lưới, điều khiển dự báo.

ABSTRACT

The paper proposes a control structure for a single-phase grid-connected PV system with two control loops. The external voltage control loop maintains the voltage on the DC link at the Maximum Power Point (MPP) of the solar panel. The output of the voltage controller is the desired grid current amplitude. The phase angle of the current is synchronized with the grid voltage using a Phase Locked Loop (PLL). In this paper, the SOGI-PLL structure is used to improve the grid voltage phase angle capture performance. The inner current control loop uses a predictive controller to ensure that the grid current always follows the reference value. The control structure proposed in the paper always ensures that the entire power generated from the solar panels is transmitted to the grid. The system simulation model is built on Matlab/Simulink to investigate the operating points of the solar panel system and verify it with the analyzed theory.

Keywords: PV system, grid-connected mode, predictive control.

¹Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Thủy Lợi

*Email: viethn@tlu.edu.vn

Ngày nhận bài: 25/9/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 19/11/2024

Ngày chấp nhận đăng: 26/01/2025

1. GIỚI THIỆU

Các nguồn nhiên liệu hóa thạch đang ngày càng cạn kiệt và được coi là không bền vững cho chiến lược phát triển lưới điện của các quốc gia. Vì vậy, việc tích hợp các hệ thống năng lượng tái tạo vào lưới điện với tỷ trọng ngày một lớn là một xu thế tất yếu của các hệ thống điện tương lai. Năng lượng mặt trời là một trong những nguồn năng lượng tái tạo chính, và nó đang phát triển rất nhanh chóng trong những năm gần đây. Ở Việt Nam, tính đến năm 2022, các hệ thống điện mặt trời có công suất lên đến 16.567MW, chiếm đến 20,5% tổng công suất của lưới điện quốc gia. Hệ thống pin mặt trời có thể phát năng lượng lên lưới thông qua bộ nghịch lưu DC/AC, hệ thống này được gọi là hệ thống nối lưới một giai đoạn (grid connected PV system with single stage power conversion). Hệ thống PV nối lưới hai giai đoạn (grid connected PV system with two stage power conversion) sử dụng các bộ DC/DC để ổn định điện áp sau đó mới sử dụng bộ nghịch lưu để hòa lưới điện. Hệ thống nối lưới một giai đoạn có cấu trúc đơn giản, hiệu suất cao, giá thành rẻ và thường được sử dụng ở vùng công suất lớn [1]. Vì vậy, bài báo tập trung xem xét cấu trúc hệ thống PV nối lưới một pha với cấu trúc một giai đoạn. Nghịch lưu được sử dụng trong bài báo này là nghịch lưu một pha cầu H với khâu lọc phía lưới là cuộn cảm L.

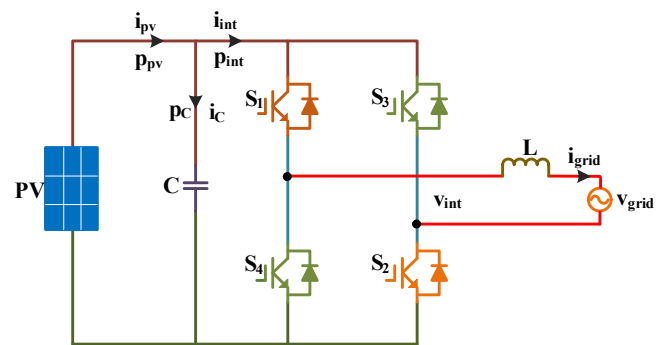
Cấu trúc điều khiển hệ PV nối lưới bao gồm hai phần chính: tính toán giá trị đặt cho dòng điện phía lưới và bộ điều khiển dòng điện phía lưới. Giá trị đặt của dòng điện phía lưới được tính toán từ việc cân bằng công suất giữa nguồn và hệ thống PV. Để duy trì hệ PV làm việc ở điểm MPP, thì một cấu trúc điều khiển nối tầng (cascade) thường được sử dụng với vòng ngoài là vòng điều khiển điện áp phía một chiều, vòng trong là vòng điều khiển dòng điện. Giá trị điện áp đặt được tính toán bởi thuật toán bám điểm công suất cực đại MPPT (Maximum Power Point Tracking). Bộ điều khiển điện áp kết hợp với vòng khóa pha PLL (Phase Locked Loop) sẽ đưa ra giá trị dòng điện đặt cho vòng điều khiển phía bên trong. Bộ điều khiển dòng đơn giản nhất là bộ điều khiển dòng bằng trễ đã được sử dụng ở [2]. Bộ điều khiển cộng hưởng được sử dụng để điều khiển dòng điện lưới trên hệ trục tọa độ tĩnh để đảm bảo sai lệch tĩnh tiến về không và không bị ảnh hưởng bởi các thành phần AC [3]. Các bộ điều khiển PI được sử dụng khi hệ thống điều khiển được thành lập trên hệ trục tọa độ quay đồng bộ với lưới và sử dụng nguyên lý tách và cũng thu được kết quả động học tốt [4].

Điều khiển dự báo đang là một trong những hướng nghiên cứu chính của lĩnh vực điều khiển điện tử công suất và điều khiển động cơ do tính đơn giản, linh hoạt và dễ thực hiện của nó. Thuật toán điều khiển dự báo dựa trên ý tưởng là mỗi bộ biến đổi chỉ có hữu hạn trạng thái đóng cắt. Mà các trạng thái đóng cắt này có thể biểu diễn được giá trị tương lai của các biến điều khiển. Bằng cách giải bài toán tối ưu cho hàm mục tiêu, trạng thái đóng cắt tối ưu ở bước trích mẫu tiếp theo được tìm ra để điều khiển bộ biến đổi. Điều khiển dự báo đã được áp dụng cho hệ thống nghịch lưu một pha nối lưới [5, 6] với các chiến thuật tính toán dòng điện tham chiếu khác nhau và sử dụng thuật toán điều khiển dự báo cho bộ điều khiển dòng. Tuy nhiên, áp dụng điều khiển dự báo cho hệ PV nối lưới chưa được quan tâm nghiên cứu, các nghiên cứu chỉ dừng lại ở phần nghịch lưu nối lưới [10, 11] hoặc nghiên cứu PV nối lưới hai giai đoạn [12]. Bài báo đề xuất thiết kế xây dựng bộ điều khiển dự báo cho hệ PV nối lưới một pha với cấu trúc nối tầng bao gồm hai vòng điều khiển. Vòng điều khiển điện áp phía bên ngoài để điều khiển điện áp khâu DC ở vị trí điểm MPP của pin mặt trời. Giá trị điện áp đặt cho vòng điện áp được tính toán bởi thuật toán bắt điểm công suất cực đại MPPT. Vòng dòng điện phía bên trong đảm bảo giá trị dòng điện phía lưới bám theo được giá trị đặt mong muốn. Hiệu suất vòng dòng điện phía bên trong là nhân tố chủ yếu quyết định đến chất lượng đáp ứng dòng điện của hệ thống PV nối lưới. Vì vậy, bài báo đề xuất sử dụng bộ điều khiển dự báo cho

vòng điều khiển này. Giá trị dòng điện đặt cho vòng điều khiển này có dạng hình sin với biên độ được tính toán thỏa mãn điều kiện cân bằng công suất phía một chiều và góc pha được đưa ra từ thuật toán vòng khóa pha SOGI-PLL. Kết quả mô phỏng cho thấy, dòng điện lưới bám theo được giá trị đặt mong muốn và chỉ số THD của nó nhỏ hơn 5%, phù hợp cho các hệ thống nối lưới. Pin mặt trời luôn làm việc ở điểm MPP và toàn bộ công suất này được truyền về lưới.

2. HỆ THỐNG PV NỐI LƯỚI MỘT PHA

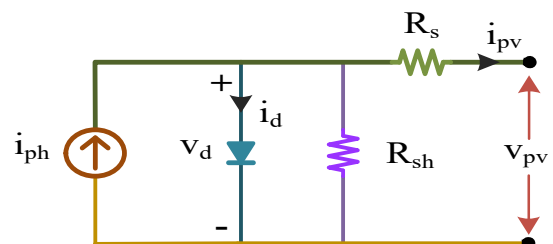
Hệ thống PV nối lưới một pha được chia ra làm bốn phần: tấm pin mặt trời, khâu DC một chiều, nghịch lưu nguồn áp một pha và khâu lọc phía lưới (hình 1).



Hình 1. Hệ thống PV nối lưới một pha

2.1. Mô hình tấm pin mặt trời

Các tấm pin năng lượng mặt trời được hình thành từ các phần tử pin mặt trời (PV cell) [1, 2]. Cấu trúc mạch tương đương của một phần tử pin mặt trời được mô tả như hình 2.



Hình 2. Sơ đồ mạch tương đương của một phần tử pin mặt trời [1]

Dòng chảy qua diode có dạng phi tuyến giống như công thức (1):

$$i_d = i_s \left[\exp \left(\frac{q v_d}{k T_c A_n} \right) - 1 \right] \quad (1)$$

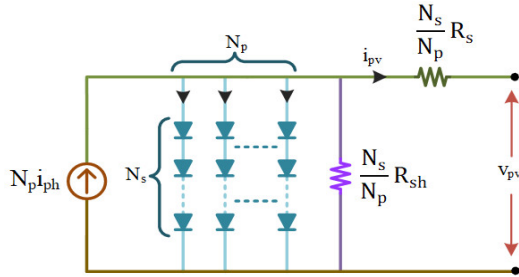
Trong đó: k là hằng số Boltzmann, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$; q là điện tích của electron, $q = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; T_c là nhiệt độ của phần tử pin ở thang nhiệt độ Kelvin; A là hằng số lý tưởng của Diode, $A = 1 \div 5$; i_s là dòng bão hòa của Diode; v_d là điện áp trên hai đầu Diode và được tính toán như (2):

$$v_d = v_{pv} + i_{pv} R_s \quad (2)$$

Đặc tính I-V của phần tử pin mặt trời được suy ra từ mạch tương đương ở hình 2 và được mô tả ở (3):

$$i_{pv} = i_{ph} - i_d - \frac{v_d}{R_{sh}} \quad (3)$$

Để thu được điện áp và công suất lớn thì các N_s phần tử pin mặt trời được mắc nối tiếp tạo thành một chuỗi và N_p chuỗi được kết nối song song với nhau để tạo thành một tấm pin mặt trời như hình 3.



Hình 3. Mạch tương đương của một tấm pin mặt trời

Đặc tính I-V của tấm pin mặt trời lúc này là:

$$i_{pv} = N_p \cdot i_{ph} - N_p \cdot i_s \left\{ \exp \left[\frac{q}{kT_c A_n} \left(\frac{v_{pv}}{N_s} + \frac{R_s \cdot i_{pv}}{N_p} \right) \right] - 1 \right\} - \frac{N_p}{R_{sh}} \left(\frac{v_{pv}}{N_s} + \frac{R_s \cdot i_{pv}}{N_p} \right) \quad (4)$$

Ngoài đặc tính I-V, pin mặt trời còn được khảo sát thông qua đặc tính P-V, đặc tính đưa ra cái nhìn trực quan vì điểm làm việc có công suất cực đại (MPP) của tấm pin mặt trời. Các đặc tính này là cơ sở quan trọng để thành lập các thuật toán bắt điểm công suất cực đại MPPT (Maximum Power Point Tracking).

2.2. Khâu DC

Khâu DC kết nối PV với nghịch lưu và lưới điện, nó ảnh hưởng rất nhiều đến hiệu suất của thuật toán bắt điểm công suất cực đại MPPT [8, 9].

Điện áp phía lưới và dòng điện phía lưới khi có hệ số công suất bằng 1 có phương trình được mô tả ở (5) và (6):

$$v_{grid} = V_m \sin \omega t \quad (5)$$

$$i_{grid} = I_m \sin \omega t \quad (6)$$

Cân bằng công suất ở khâu DC được mô tả ở (7):

$$p_{int} = p_{dc} - p_c \quad (7)$$

Nếu bỏ qua tổn thất của bộ biến đổi thì công suất đầu vào nghịch lưu p_{int} bằng công suất mà lưới hấp thụ p_{grid} .

$$\begin{aligned} p_{int} &= p_{grid} = v_{grid} i_{grid} \\ &= \frac{1}{2} V_m I_m - \frac{1}{2} V_m I_m \cos 2\omega t \end{aligned} \quad (8)$$

Từ (7) và (8) công suất một chiều do tấm pin mặt trời phát ra p_{dc} và công suất tụ điện hấp thụ p_c được tính toán theo (9) và (10):

$$p_{dc} = \frac{1}{2} V_m I_m = P_{dc} \quad (9)$$

$$p_c = \frac{1}{2} V_m I_m \cos 2\omega t = P_{dc} \cos 2\omega t \quad (10)$$

Từ sự cân bằng công suất và dạng sóng điện áp tụ [8], điện dung của tụ điện được tính theo (11):

$$C = \frac{P_{dc}}{\omega V_{dc} \Delta V_{dc}} \quad (11)$$

Trong đó, V_{dc} là điện áp trên hai đầu tụ, ΔV_{dc} là đập mạch điện áp trên hai đầu tụ.

Từ (9) biên độ dòng điện lưới trong trường hợp hệ số công suất bằng 1 được tính theo (12):

$$I_m = \frac{2P_{dc}}{V_m} \quad (12)$$

2.3. Nghịch lưu nguồn áp một pha

Nghịch lưu nguồn áp một pha được sử dụng trong các ứng dụng nối lưới thường là nghịch lưu một pha cầu H giống như mô tả ở hình 1. Giả sử rằng, S_x ($x = 1, \dots, 4$) là trạng thái đóng cắt của mỗi van. Để thỏa mãn điều kiện hai van trên cùng một nhánh không được cùng dẫn thì các trạng thái đóng cắt van phải thỏa mãn (13).

$$\begin{cases} S_1 + S_4 = 1 \\ S_2 + S_3 = 1 \end{cases} \quad (13)$$

Điện áp đầu ra của nghịch lưu có thể biểu diễn qua các trạng thái đóng cắt van như (14):

$$v_{int} = (S_1 - S_2) V_{dc} \quad (14)$$

2.4. Khâu lọc phía lưới

Chất lượng công suất chảy vào lưới được tính giá qua chỉ số tổng độ méo sóng hài THD (Total Harmonic Distortion) của dòng điện lưới. Vì vậy để đảm bảo chất lượng công suất, khâu lọc phía lưới là cần thiết. Thông thường có hai loại lọc phổ biến là loại lọc L và loại lọc LCL. Trong nghiên cứu này loại lọc L được sử dụng giống như mô tả ở hình 1.

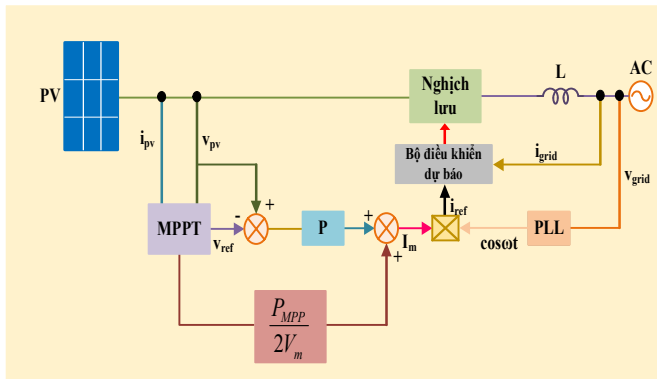
Phương trình dòng điện lưới với bộ lọc kiểu L được đưa ra ở (15):

$$L \frac{di_{grid}}{dt} = v_{int} - v_{grid} \quad (15)$$

3. XÂY DỰNG CẤU TRÚC ĐIỀU KHIỂN DỰ BÁO CHO HỆ THỐNG PV NỐI LƯỚI MỘT PHA

Cấu trúc điều khiển dự báo cho hệ PV nối lưới một pha đề xuất trong bài báo này được mô tả ở hình 4, cấu trúc này gồm bốn phần chính là thuật toán bám điểm công suất cực đại MPPT, bộ điều khiển điện áp, vòng khóa pha PLL và bộ điều khiển dòng điện. Thuật toán MPPT đưa ra giá trị điện áp đặt cho bộ điều khiển điện áp. Bộ điều khiển điện áp tính toán biên độ dòng điện lưới. Bộ PLL tìm ra góc pha đồng bộ dòng điện lưới với điện áp lưới. Bộ

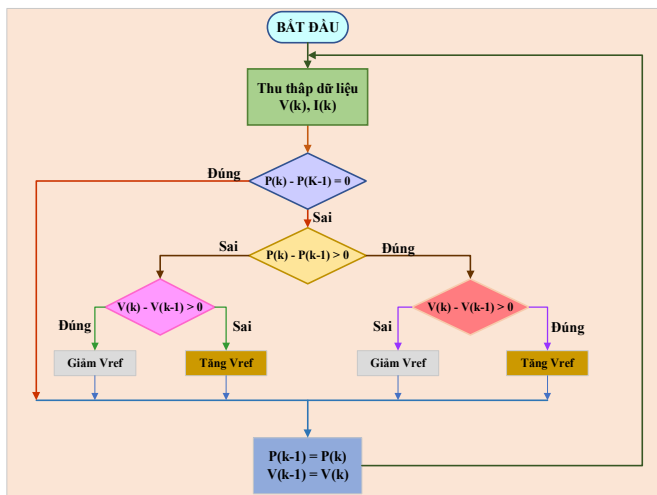
điều khiển dòng điện sử dụng thuật toán điều khiển dự báo với mục tiêu làm cho sai lệch dòng điện nhỏ nhất trong mỗi bước trích mẫu.



Hình 4. Cấu trúc điều khiển dự báo cho hệ PV nối lưới một pha

3.1. Thuật toán bám điểm công suất tối đa MPPT

Tại mỗi chu kỳ trích mẫu, thuật toán MPPT luôn phải tìm ra một giá trị điều khiển (điện áp, dòng điện hoặc duty cycle D) để tấm pin mặt trời làm việc ở điểm công suất cực đại MPP. Trong nghiên cứu này, thuật toán P&O (Perturbation and Observation) được lựa chọn sử dụng do tính đơn giản và hiệu quả của nó. Thuật toán này dựa trên đường đặc tính P-V để dò điểm làm việc MPP với đầu ra thuật toán là giá trị điện áp mong muốn của khâu DC. Hướng di chuyển của điểm làm việc được xác định thông qua các thông tin về $\Delta P = P(k) - P(k-1)$ và $\Delta V = V(k) - V(k-1)$. Giá trị điện áp mong muốn là giá trị điện áp làm cho điểm làm việc luôn di chuyển theo hướng về điểm MPP. Lưu đồ thuật toán P&O được thể hiện ở hình 5 [5].

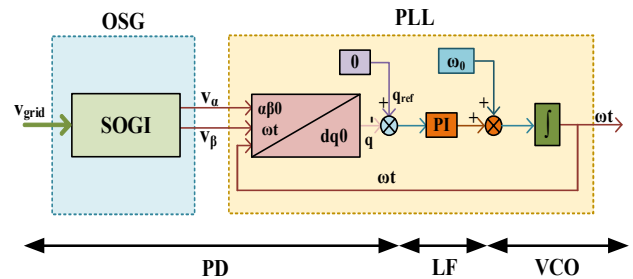


Hình 5. Lưu đồ thuật toán P&O

3.2. Vòng khóa pha PLL

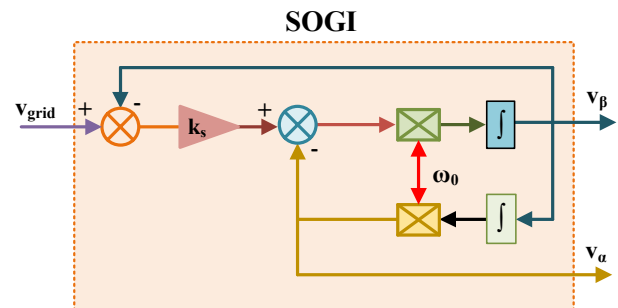
Pha, biên độ và tần số của điện áp nguồn là những thông tin quan trọng cho hệ thống nghịch lưu nối lưới.

Vai trò của vòng khóa pha PLL là đồng bộ pha của dòng điện đầu ra của nghịch lưu với pha của điện áp lưới. Trong nghiên cứu này cấu trúc SOGI-PLL (Second-Order Generalized Integrators Phase Locked Loop) [7] được sử dụng và cấu trúc này được mô tả như hình 6.



Hình 6. Cấu trúc của vòng khóa pha SOGI-PLL

Bởi vì hệ thống điện một pha ít thông tin hơn hệ thống điện ba pha do đó cần sử dụng bộ chuyển đổi tín hiệu trực giao OSG (Orthogonal Signal Generation) như hình 6. Bộ chuyển đổi trực giao tạo ra hai sóng v_α và v_β , điều này cũng đồng nghĩa với việc bộ OSG đã biến điện áp một pha thành một vector không gian.



Hình 7. Cấu trúc của SOGI (Second-Order Generalized Integrators)

Hàm truyền từ v_{grid} đến v_α và v_β để dàng suy ra từ cấu trúc SOGI ở hình 7 và được đưa ra ở (16).

$$H_\alpha = \frac{k_s \omega_0^2}{s^2 + k_s \omega_0 s + \omega_0^2} \quad (16)$$

$$H_\beta = \frac{k_s \omega_0 s}{s^2 + k_s \omega_0 s + \omega_0^2}$$

Từ (16), mối quan hệ về góc pha của H_α và H_β như ở (17):

$$\varphi(\omega)_{H_\alpha} = \varphi(\omega)_{H_\beta} - \frac{\pi}{2} \quad (17)$$

Do đó, pha của điện áp trên trục α tìm sớm hơn 90° so với pha của điện áp trên trục β nhưng biên độ và tần số không đổi và giống như điện áp lưới.

Sau khi thu được các điện áp trên hệ tọa độ tĩnh ($\alpha\beta$), thì chuyển đổi Park được sử dụng để chuyển các thành phần điện áp sang hệ tọa độ quay (dq) với góc quay $\theta = \omega t$ như (18):

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \quad (18)$$

Quá trình chuyển đổi giữa các hệ tọa độ được gọi là phát hiện pha PD (Phasor Detector).

Bộ điều khiển PI được thiết kế để điều khiển giá trị V_q về 0 do đó căn chỉnh pha theo góc θ của điện áp lưới. Bộ điều khiển PI được sử dụng như là bộ lọc thông thấp LF (Low Filter) với hàm truyền như (19):

$$G_{LF}(s) = K_{pf} + \frac{K_{if}}{s} \quad (19)$$

Đầu ra của bộ điều khiển PI là tín hiệu kích hoạt được cộng với tần số góc của điện áp lưới. Khi đó, đầu ra của khối cộng là tần số góc với đơn vị radian và được đi qua khâu tích phân để chuyển thành góc θ như hình 6. Quá trình này được mô tả như một bộ dao động điều khiển bằng điện áp VCO (Voltage Controlled Oscillator) với hàm truyền như (20):

$$G_{VCO}(s) = \frac{1}{s} \quad (20)$$

Hàm truyền vòng kín của hệ được xác định bằng công thức (21):

$$G_C(s) = \frac{V_{gr}(K_{pf}s + K_{if})}{s^2 + V_{gr}K_{pf}s + V_{gr}K_{if}} \quad (21)$$

Trong đó, V_{gr} là biên độ điện áp lưới, K_{pf} và K_{if} là hệ số của bộ điều khiển PI.

3.3. Bộ điều khiển điện áp

Để thiết kế bộ điều khiển điện áp trước hết một mô hình toán thể hiện mối liên hệ giữa điện áp tụ và biên độ dòng điện phía lưới cần được thiết lập.

Phương trình điện áp tụ được mô tả như (22):

$$C \frac{dv_{dc}}{dt} = i_{dc} - i_{int} \quad (22)$$

Hay:

$$C \frac{dv_c}{dt} = \frac{P_{dc} - P_{grid}}{v_{dc}} \quad (23)$$

Biến đổi phương trình (23), vi phân phương trình điện áp tụ thu được ở (24). Với lưu ý rằng, ở trạng thái ổn định công suất phía một chiều được giả sử có giá trị không đổi là P_{dc} .

$$\frac{dv_{dc}}{dt} = \frac{1}{C} \frac{2P_{dc} - V_m i_m}{2v_{dc}} \quad (24)$$

Sử dụng phương pháp tuyến tính hoá xung quanh điểm làm việc cho (24) [9], mô hình hoá tín hiệu nhỏ của điện áp tụ và biên độ dòng điện lưới thu được ở (25).

$$\frac{d\widetilde{v}_{dc}}{dt} = \frac{2P_{dc} - V_m I_m}{2CV_{dc}^2} - \frac{V_m}{2CV_{dc}} \widetilde{I}_m \quad (25)$$

Ở trong trạng thái xác lập $2P_{dc} = V_m I_m$ như (26):

$$\frac{d\widetilde{v}_{dc}}{dt} = -\frac{V_m}{2CV_{dc}} \cdot \widetilde{I}_m \quad (26)$$

Chuyển (26) sang miền ảnh Laplace, hàm truyền giữa điện áp DC và biên độ dòng điện lưới thu được ở (27):

$$G(s) = \frac{\widetilde{v}_{dc}(s)}{\widetilde{I}_m(s)} = -\frac{V_m}{2CV_{dc}s} \quad (27)$$

Hàm truyền ở (27) là một khâu tích phân, điều này có nghĩa là bộ điều khiển điện áp có thể sử dụng một bộ điều khiển khuếch đại.

3.4. Điều khiển dự báo dòng điện

Mô hình dự báo dòng điện thông thường được thành lập qua xấp xỉ Euler ở (28):

$$\frac{di_{grid}}{dt} = \frac{i_{grid}(k) - i_{grid}(k-1)}{T_s} \quad (28)$$

Trong đó, T_s là chu kỳ trích mẫu.

Áp dụng xấp xỉ Euler ở (28) cho (15), phương trình dòng điện lưới trên miền số thu được ở (29):

$$i_{grid}(k) = i_{grid}(k-1) + \frac{T_s}{L} \left[v_{int}(k) - v_{grid}(k+1) \right] \quad (29)$$

Mô hình dự báo dòng điện lưới ở (29) được dễ dàng suy ra từ (30) với giả thiết rằng nếu chu kỳ trích mẫu T_s là đủ nhỏ thì $v_{grid}(k+1) \approx v_{grid}(k)$.

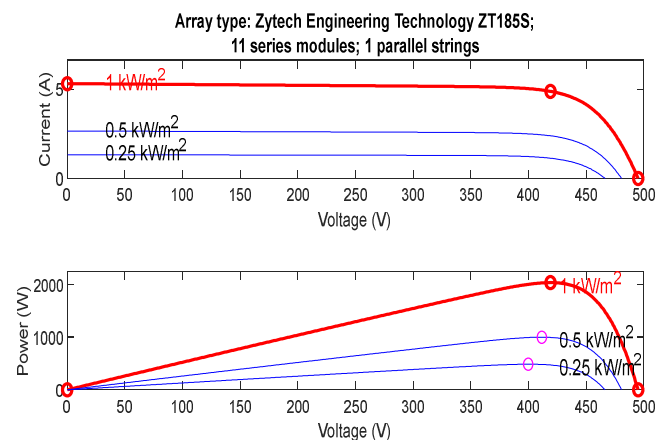
$$i_{grid}^p(k+1) = i_{grid}(k) + \frac{T_s}{L} \left[v_{int}(k+1) - v_{grid}(k) \right] \quad (30)$$

Hàm mục tiêu được sử dụng trong cấu trúc điều khiển tối ưu sai lệch dòng điện lưới giống như (31):

$$g = \left| i_{ref}(k) - i_{grid}^p(k+1) \right| \quad (31)$$

Trạng thái đóng cắt của các van được tìm ra bằng cách giải bài toán tối ưu hàm mục tiêu trong mỗi chu kỳ đóng cắt.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG



Hình 8. Đặc tính I-V và đặc tính P-V của tấm pin mặt trời Zytech Engineering Technology ZT185S

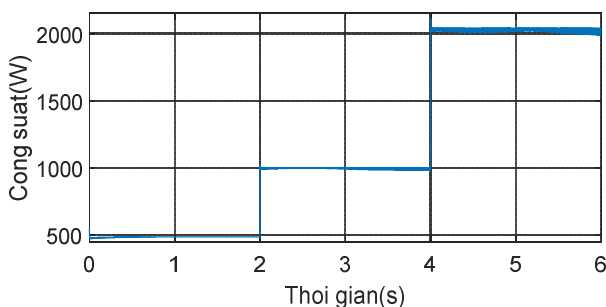
Một mô hình mô phỏng được xây dựng trên Matlab/Simulink sử dụng PV module *Zytech Engineering Technology ZT185S* với $N_s = 72$ và $N_p = 1$. Tấm pin mặt trời ở mô phỏng này được hình thành từ 11 PV modules mắc nối tiếp tạo thành một chuỗi nối tiếp và chỉ sử dụng một chuỗi. Đặc tính I-V và đặc tính P-V của tấm pin mặt trời này ở điều kiện nhiệt độ tiêu chuẩn 25°C và cường độ bức xạ 250W/m^2 , 500W/m^2 và 1000W/m^2 được đưa ra ở hình 8.

Các điểm MPP ứng với các cường độ bức xạ 250W/m^2 , 500W/m^2 và 1000W/m^2 được lấy trên đường đặc tính P-V lần lượt là (399,76V; 487,97W), (411,46V; 1001,96W) và (418,99V; 2040,48W).

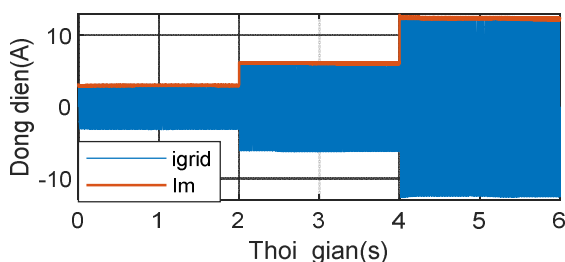
Điện áp lưới có giá trị đỉnh 325V, tần số 50Hz. Cuộn cảm lọc phía lưới $L = 4,35\text{mH}$, tụ điện phía một chiều $C = 1000\mu\text{F}$. Chu kỳ trích mẫu $T_s = 2\mu\text{s}$. Bộ điều khiển điện áp là một bộ khuếch đại $K_p = 0,25$.

Nhiệt độ tấm pin mặt trời được thiết lập ở nhiệt độ tiêu chuẩn 25°C . Đầu vào cường độ bức xạ mặt trời ban đầu được thiết lập ở 250W/m^2 , tại thời điểm 2(s) cường độ bức xạ được thiết lập ở 500W/m^2 và tại thời điểm 4(s) cường độ bức xạ được thiết lập ở 1000W/m^2 .

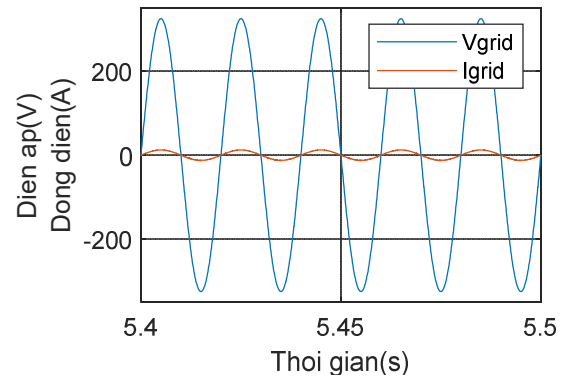
Kết quả mô phỏng công suất pin mặt trời phát ra được đưa ra ở hình 9. Đối chiếu với các điểm làm việc được đưa ra ở trên, có thể nhận thấy rằng khi cường độ bức xạ thay đổi theo thời gian thì hệ thống pin mặt trời luôn phát ra công suất cực đại. Điều này chứng tỏ rằng cấu trúc điều khiển được đề xuất luôn đảm bảo hệ thống làm việc ở điểm MPP.



Hình 9. Công suất tấm pin mặt trời phát ra khi cường độ bức xạ thay đổi



Hình 10. Dòng điện lưới và biên độ dòng điện lưới mong muốn

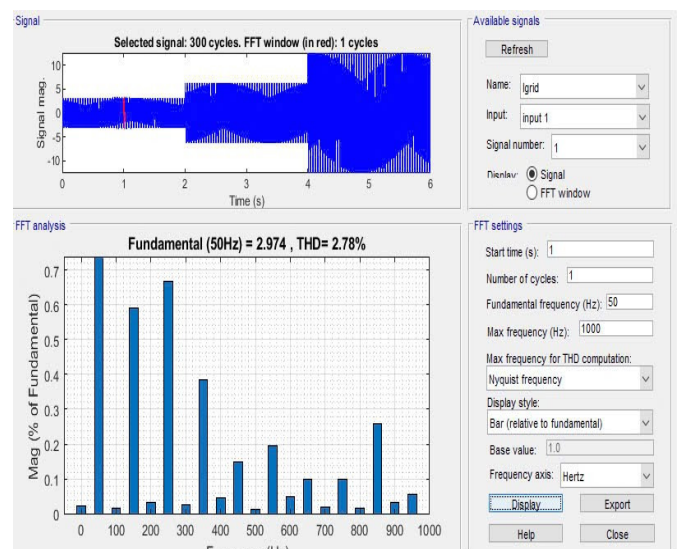


Hình 11. Dòng điện lưới và điện áp lưới

Hình 10 đưa ra kết quả mô phỏng của dòng điện lưới (màu xanh) và biên độ dòng điện lưới mong muốn (màu đỏ). Quan sát hình 10 có thể kết luận rằng, biên độ dòng điện lưới luôn bám theo được giá trị mong muốn ở những điểm làm việc khác nhau.

Kết quả mô phỏng dòng điện lưới (màu đỏ) và điện áp lưới (màu xanh) trên cùng một trục thời gian được đưa ra ở hình 11. Từ kết quả mô phỏng ở hình 11, có thể thấy rằng, dòng điện lưới hình sin và luôn đồng pha với điện áp lưới, điều này có nghĩa là công suất phản kháng đã không được bơm vào lưới do bộ bắt pha SOGI-PLL thiết lập giá trị đặt cho phản kháng bằng không. Kết quả mô phỏng ở hình 10 và 11 cũng chứng tỏ rằng lưới đã nhận toàn bộ lượng công suất tác dụng mà tấm pin mặt trời đã phát ra.

Chỉ số THD của dòng điện lưới được đo thông qua công cụ phân tích FFT của Matlab/Simulink và thu được kết quả như hình 12. Kết quả phân tích cho thấy, chỉ số THD của dòng điện khoảng 2,78% nhỏ hơn chỉ số tiêu chuẩn 5% yêu cầu cho các hệ nối lưới.



Hình 12. Phân tích chỉ số THD cho dòng điện lưới

5. KẾT LUẬN

Bài báo đề xuất cấu trúc điều khiển dự báo cho hệ thống PV nối lưới một pha với các thành phần cơ bản là bộ điều khiển điện áp, vòng khóa pha SOGI-PLL và bộ điều khiển dự báo dòng điện. Các kết quả mô phỏng cho thấy, cấu trúc điều khiển được đề xuất hoạt động tốt ở các điểm làm việc khác nhau. Tấm pin mặt trời luôn hoạt động ở điểm MPP khi các điều kiện cường độ bức xạ thay đổi. Dòng điện phía lưới luôn đồng pha với điện áp lưới và có chỉ số THD < 5%, thỏa mãn các yêu cầu về chất lượng dòng điện cho các hệ thống nối lưới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. YY. Yang, F. Blaabjerg, "Overview of Single-Phase Grid-Connected Photovoltaic Systems," *Electric Power Components and Systems*, 99(PP), 1-10, 2015.
- [2]. S. Jena, B. C. Babu, A. K. Naik, G. Mishra, "Performance improvement of single-phase grid - Connected PWM inverter using PI with hysteresis current controller," in *2011 International Conference on Energy, Automation and Signal, Bhubaneswar, India*, 1-5, 2011.
- [3]. P. Alemi, C. J. Bae, D. C. Lee, "Resonance Suppression Based on PR Control for Single-Phase Grid-Connected Inverters With LLCL Filters," *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 4, 2, 459-467, 2016.
- [4]. Sedo J., Kascak S., "Design of output LCL filter and control of single-phase inverter for grid-connected system," *Electr Eng.*, 99, 1217-1232, 2017.
- [5]. F. El Aamri, H. Maker, A. Mouhsen, M. Harmouchi, "A new strategy to control the active and reactive power for single phase grid-connected PV inverter," in *2015 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, Marrakech, Morocco, 1-6, 2015.
- [6]. Shadmand M.B., Li X., Balog R.S., Abu Rub H., "Constrained decoupled power predictive controller for a single-phase grid-tied inverter," *IET Renewable Power Generation*, 11, 659-668, 2017.
- [7]. Yang Y., Hadjidemetriou L., Blaabjerg F., Kyriakides E., "Benchmarking of Phase Locked Loop based Synchronization Techniques for Grid-Connected Inverter Systems," in *Proceedings of the International Conference on Power Electronics (ICPE 2015 - ECCE Asia)*, 1-8, 2015.
- [8]. Hu Y., Du Y., Xiao W., Finney S., Cao W., "DC-link voltage control strategy for reducing capacitance and total harmonic distortion in single-phase grid-connected photovoltaic inverters," *IET Power Electronics*, 8, 1386-1393, 2015.
- [9]. W. Xiao, W. G. Dunford, P. R. Palmer, A. Capel, "Regulation of Photovoltaic Voltage," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 54, 3, 1365-1374, 2007.

[10]. Mohamed Azab, "Performance of model predictive control approach for single-phase distributed energy grid integration with PQ control," *IET Energy Syst. Integration*, 1, 2, 121-132, 2019.

[11]. J. Xia, Y. Guo, X. Zhang, J. Jatskevich, N. Amiri, "Robust control strategy design for single-phase grid-connected converters under system perturbations," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 66, 11, 8892-8901, 2019.

[12]. S. Vanti, P. R. Bana, S. D'Arco, M. Amin, "Single-Stage Grid-Connected PV System With Finite Control Set Model Predictive Control and an Improved Maximum Power Point Tracking," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 13, 2, 791-802, 2022.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Hoang Viet, Pham Hong Duong, Nguyen Tien Duc

Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Thuyloi University, Vietnam