

Tối Ưu Công Suất MPPT Nguồn Quang Năng PV Dùng Thuật Toán P&O Mờ Thích Nghi

New Approach of Solar PV MPPT Control Using Adaptive Fuzzy P&O Technique

Hà Thị Thu Phương*, Nguyễn Tiến Thu**, Hồ Phạm Huy Ánh**, Cao Văn Kiên**

*HCM City University of Transport, Ho Chi Minh City, Viet Nam

**HCM City University of Technology, VNU-HCM, Ho Chi Minh City, Viet Nam

e-Mail: hphanh@hcmut.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo giới thiệu phương pháp MPPT mới giúp nguồn pin mặt trời PV đạt công suất cực đại nhờ thuật toán Fuzzy P&O MPPT thích nghi. Công suất từ nguồn PV qua bộ buck converter có điểm làm việc luôn bám điểm MPP nhờ thuật toán Fuzzy P&O cho phép hiệu chỉnh thích nghi bước kích nhiễu loạn giúp công suất đạt được nhanh chóng đạt giá trị cực đại mới khi nhiệt độ cùng độ rọi môi trường biến động. Thuật toán mới cũng giúp triệt tiêu hiện tượng dao động quanh điểm làm việc cực đại MPP. Ưu thế của thuật toán Fuzzy P&O MPPT thích nghi được khẳng định qua mô phỏng trên MATLAB với hệ PV 150-W.

Abstract: This paper introduces a new MPPT approach of PV panel power using an adaptive Fuzzy P&O algorithm. The PV panel power is transferred through a buck converter that implements a fuzzy controller (FC) based perturb and observe (P&O) MPPT method that maintains the system power tracking point at its maximal value. In the traditional P&O, the converter input reference voltage is perturbed in unchanged steps until the maximal power is attained. Nevertheless, relying on the step size, the system operating point will significantly oscillate around the MPP resulting in a loss of energy. The proposed fuzzy P&O controller eliminates the resulted oscillations by adaptively updating the perturbation step through a novel proposed fuzzy control technique. The performance of the proposed system is evaluated through simulation in MATLAB and via experiments with a 150-Watt PV system.

Từ Khóa:

Thuật toán dò tìm điểm làm việc công suất cực đại (Maximum Power Point Tracking -MPPT), Thuật toán MPPT mờ thích nghi (Fuzzy P&O MPPT), Nguồn pin mặt trời PV, Thuật toán P&O tiêu chuẩn.

Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
A		Hệ số hoàn thành
q	[Coulomb]	Điện tích
K		Hằng số Boltzmann
T	[°C]	Nhiệt độ tuyệt đối

Chữ viết tắt

P&O	Perturbations and Observations
-----	--------------------------------

MPPT	Maximum Power Point Tracking
FC	Fuzzy Controller

1. Giới thiệu

Các nguồn năng lượng mặt trời ngày càng đóng vai trò quan trọng cả trong đời sống và công nghiệp [1-2]. Các thuật toán dò tìm điểm làm việc công suất cực đại (Maximum Power Point Tracking -MPPT) dành cho các nguồn năng lượng mặt trời PV đang ngày càng hoàn thiện và được ứng dụng rộng rãi [3-6]. Trong số các thuật toán MPPT tiêu chuẩn, thuật toán tạo nhiễu loạn và quan sát (P&O) tỏ ra hiệu quả và được ứng dụng nhiều [7]. Nhiều bài báo vẫn đang đề xuất các giải thuật MPPT mới cho phép dò tìm điểm làm việc công suất cực đại MPP trong bối cảnh nhiệt độ và độ rọi môi trường biến động [8-9], nguồn năng lượng mặt trời PV nối lưới [10], nguồn PV nối lưới có tải và điện áp biến động [11]. Các thuật toán MPPT được đề xuất cũng ngày càng đa dạng và hiệu quả, bao gồm từ thuật toán P&O và INC kinh điển [12], thuật toán MPPT thích nghi lan truyền ngược [13], thuật toán MPPT dò tìm cực trị (extremum seeking) [14], thuật toán MPPT hình học phối hợp điều khiển mode trượt [15], và nhiều thuật toán MPPT đa dạng khác.

Gần đây, hướng nghiên cứu phối hợp thuật toán MPPT P&O và INC kinh điển với các giải thuật điều khiển thích nghi bền vững tỏ ra rất hứa hẹn. Femia et al. đề xuất thuật toán MPPT P&O thích nghi dự báo [16]. Zhang et al. đề xuất thuật toán MPPT P&O nâng cao với bước nhiễu loạn hiệu chỉnh được [17]. Tác giả ở [18-19] giới thiệu thuật toán MPPT INC cải tiến với bước nhiễu loạn thay đổi thích nghi. Đồng thời, các thuật toán MPPT thông minh khai thác mô hình nơ ron [20-21], mô hình mờ đã tỏ ra rất hiệu quả, duy trì nguồn năng lượng mặt trời PV vận hành MPPT tối ưu trong môi trường biến động [22 – 23].

Từ các thành tựu trên, bài báo đề xuất giải thuật mới Fuzzy P&O MPPT thích nghi cho phép điều chỉnh linh hoạt bước chỉnh nhiễu loạn của thuật toán P&O kinh điển. Thuật toán mới Fuzzy P&O MPPT thích nghi có chất lượng vượt trội so với thuật toán MPPT P&O kinh điển, vận hành ổn định trong toàn vùng làm việc của nguồn năng lượng mặt trời PV, khử được triệt để các dao động quanh điểm làm việc MPP cũng như cho phép đẩy nhanh tốc độ hội tụ về điểm làm việc MPP khi nhiệt độ cùng độ rọi môi trường biến động.

Cấu trúc bài báo bao gồm phần 1 giới thiệu chung. Phần 2 giới thiệu mô hình nguồn năng lượng mặt trời PV. Phần 3 trình bày thuật toán mới Fuzzy P&O MPPT thích nghi. Phần 4 trình bày và phân tích các kết quả mô phỏng và thực nghiệm giải thuật mới Fuzzy P&O MPPT thích nghi trên MATLAB / Simulink với hệ PV 150-W. Cuối cùng là các kết luận trình bày ở phần 5.

2. Xây dựng Mô hình nguồn pin năng lượng mặt trời PV

Phương trình phi tuyến đặc tính V-I của nguồn năng lượng mặt trời PV gồm N_s cells mắc nối tiếp và N_p cells mắc song song có dạng sau,

$$V_g = -I_g R_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) + \left(\frac{N_s}{A} \right) \ln \left\{ 1 + \left(N_s I_{ph} - \frac{I_g}{N_p I_o} \right) \right\} \quad (1)$$

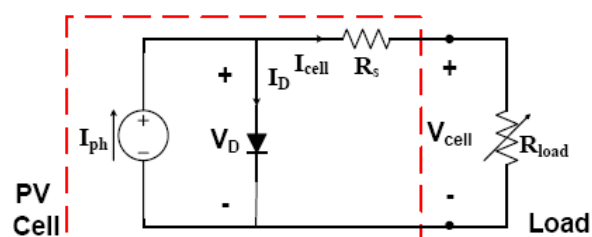
Với $A = q/AKT$
 q – điện tích
 A – hệ số hoàn thành
 K – hằng số Boltzmann
 T – nhiệt độ tuyệt đối

Mạch điện tương đương của nguồn pin mặt trời PV cho ở Hình 1.

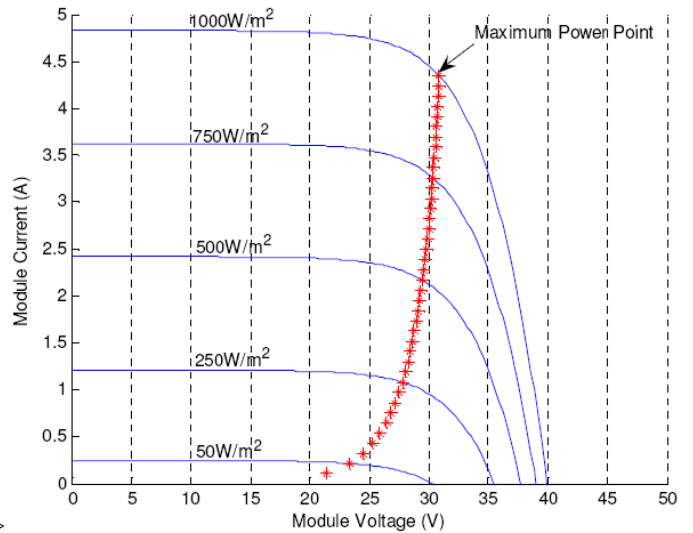
Đặc tính V-I phụ thuộc hệ số phần trăm độ rọi K_{ins} được thể hiện theo biểu thức,

$$V_g = -0.9I_g + 123.69 \ln \left\{ 1.0 + 123.45(13.45K_{ins} - I_g) \right\} \quad (2)$$

Từ đó ta có họ đường đặc tính chuẩn V-I theo độ rọi của nguồn pin mặt trời PV được thể hiện ở Hình 2.



Hình 1: Mạch điện tương đương của nguồn pin mặt trời PV

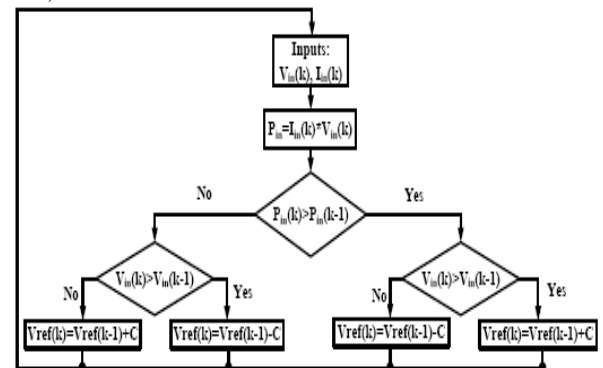


Hình 2: Họ đường đặc tính chuẩn V-I theo thông số độ rọi của nguồn pin mặt trời PV

3. Thuật toán Fuzzy P&O MPPT và Quy trình cài đặt trên MATLAB

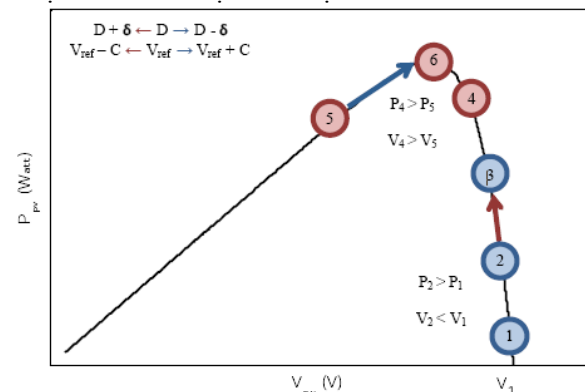
3.1 Thuật toán MPPT P&O

Lưu đồ cơ bản của thuật toán P&O cho ở Hình 3 như sau,



Hình 3: Lưu đồ cơ bản thuật toán MPPT P&O

Nguyên lý dò tìm điểm làm việc cho công suất cực đại (Maximum Power Point Tracking -MPPT) của thuật toán P&O được minh họa ở Hình 4:



Hình 4: Nguyên lý dò tìm MPPT của thuật toán P&O
 Bảng tóm tắt nguyên lý vận hành thuật toán P&O được cho ở bảng 1

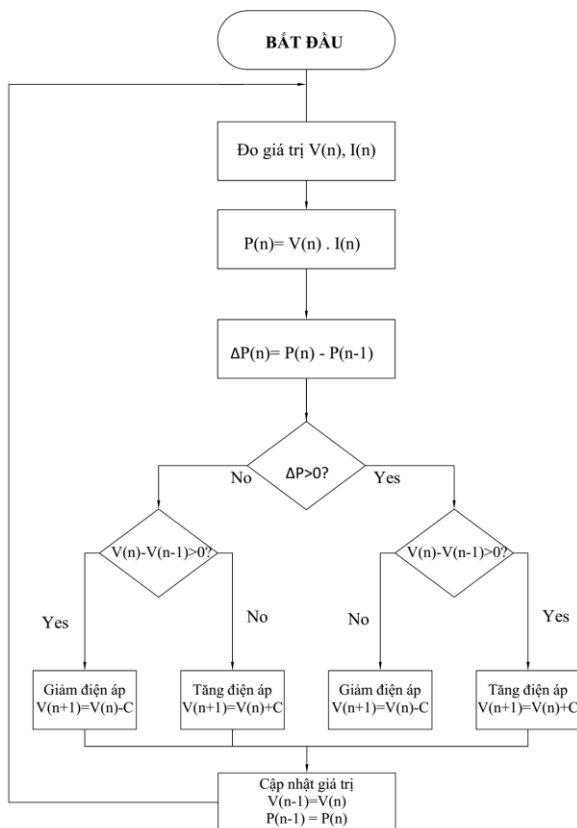
Bảng 1: Tóm tắt nguyên lý hoạt động của giải thuật P&O

Trường hợp	Nhiều dV	Thay đổi công suất dP	Nhiều tiếp theo
1	dV>0	dP>0	Dương
2	dV>0	dP<0	Âm
3	dV<0	dP>0	Âm
4	dV<0	dP<0	Dương

Trường hợp thứ 4 của Bảng 1 cho thấy, bằng việc giảm điện áp hoạt động sẽ giảm công suất đầu ra, vì thế bước nhiều tiếp theo được yêu cầu phải là dương, có nghĩa là cần tăng điện áp.

Sơ đồ điều khiển chi tiết của giải thuật P&O được thể hiện ở Hình 5.

Hình 5 cho thấy khi bắt đầu chu trình của phương pháp P&O, ta sử dụng 2 sensor để đo dòng điện và điện áp ngõ ra của nguồn quang điện PV. Từ đó, tính toán công suất tức thời $P_n = U_n \cdot I_n$. Sau đó, thực hiện phép so sánh giá trị công suất tức thời P_n với giá trị trước đó P_{n-1} . Nếu công suất $P_n = P_{n-1}$ thì cập nhật giá trị tức thời và kết thúc quá trình. Nếu sai lệch công suất và điện áp giữa 2 chu kì liên tiếp là dương thì thuật toán tăng điện áp, nếu không nó giảm điện áp. Ngược lại, nếu sai lệch điện áp và công suất giữa 2 chu kì liên tiếp là âm, thuật toán tăng điện áp, hoặc không thì giảm điện áp hoạt động. Quá trình lặp lại cho đến khi thu được công suất cực đại.



Hình 5: Lưu đồ chi tiết giải thuật điều khiển P&O

3.2 Thuật toán đề xuất Fuzzy P&O MPPT

Hình 5 cho thấy thuật toán P&O vận hành với hệ số áp biến động C là hằng. Điều này dẫn đến nhiều hạn chế như sau:

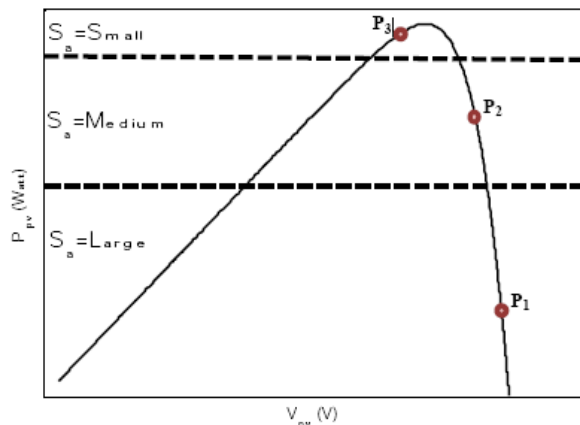
- a) Hệ số C chọn lớn sẽ gây dao động tại điểm làm việc MPP.
- b) Hệ số C chọn nhỏ sẽ làm chậm quá trình dò tìm điểm làm việc mới.
- c) Hệ số C hằng số sẽ khiến thuật toán P&O bất lực khi nhiệt độ hay độ rọi biến động đột ngột.

Từ đó, thuật toán đề xuất Fuzzy P&O MPPT có bộ điều khiển mờ được thiết kế dựa trên bảng luật mờ cho ở Bảng 2 với thông số ngõ ra là giá trị Hệ số áp biến động C được hiệu chỉnh thích nghi,

Bảng 2: Bảng Luật Mờ của thuật toán Fuzzy P&O MPPT

C_{old}	Small	Medium	Large
$S_a = dP/dV$			
Small	ZO	NS	NB
Medium	PS	ZO	NS
Large	PB	PS	ZO

Nguyên lý xây dựng bảng luật mờ dựa trên biến động của biến độ dốc $S_a = dP/dV$ như minh họa dựa trên đặc tuyến P-V của nguồn pin mặt trời PV cho ở Hình 6:



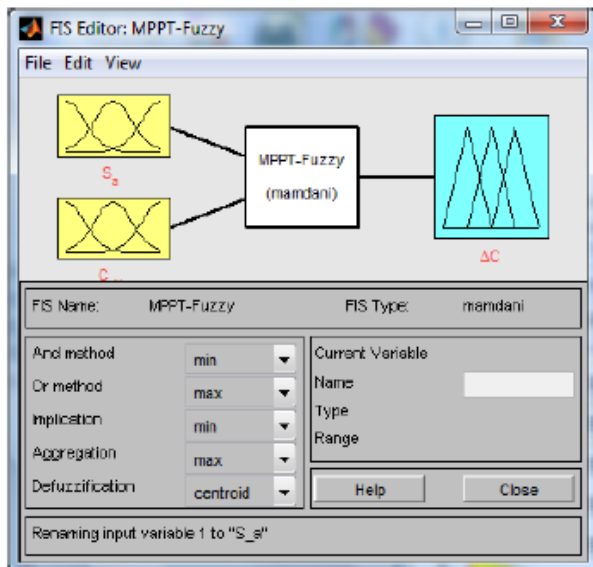
Hình 6: FLC based P&O PV curve illustration

Hình 6 cho thấy bảng luật mờ dành cho giải thuật Fuzzy P&O MPPT gồm hai biến đầu vào là biến độ dốc $S_a = dP/dV$ và giá trị C_{old} của thông số áp biến động ΔV_{ref} . Biến đầu ra của bộ điều khiển mờ FLC là giá trị C của thông số ΔV_{ref} thích nghi cần hiệu chỉnh. Sơ đồ cài đặt Simulink bộ điều khiển mờ FLC cùng mô hình Simulink của thuật toán Fuzzy P&O MPPT cho ở Hình 10.

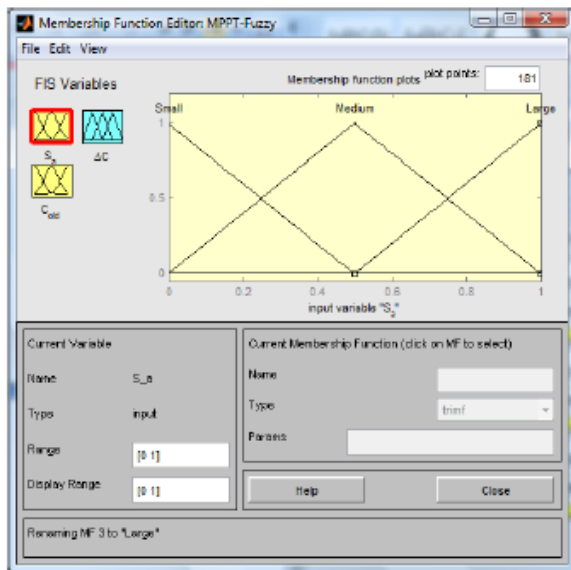
3.3 Cài đặt Fuzzy P&O MPPT trên MATLAB

Ta sử dụng MATLAB Fuzzy Toolbox để xây dựng bộ điều khiển mờ Fuzzy P&O MPPT. Đầu tiên, giao diện Fuzzy Inference System (FIS) Editor (thể hiện trên Hình 7) được dùng để khai báo các thông số (biến

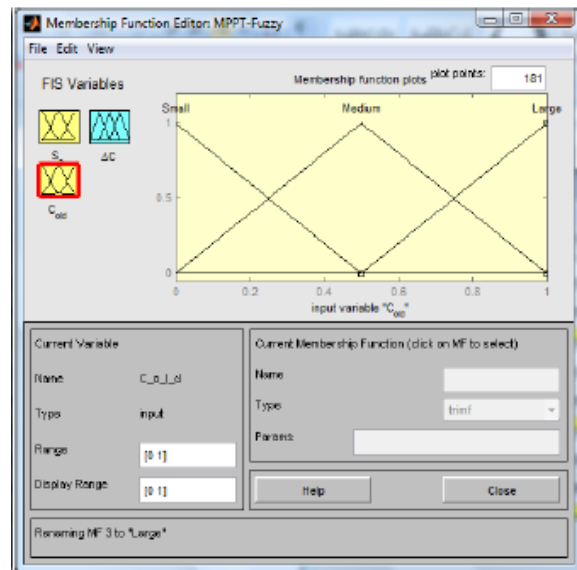
vào, ra, phương pháp giải mờ,...) của bộ điều khiển mờ. Sau đó, từng hàm liên thuộc của các biến mờ vào và ra được định nghĩa và đặt tên như minh họa ở Hình 8.



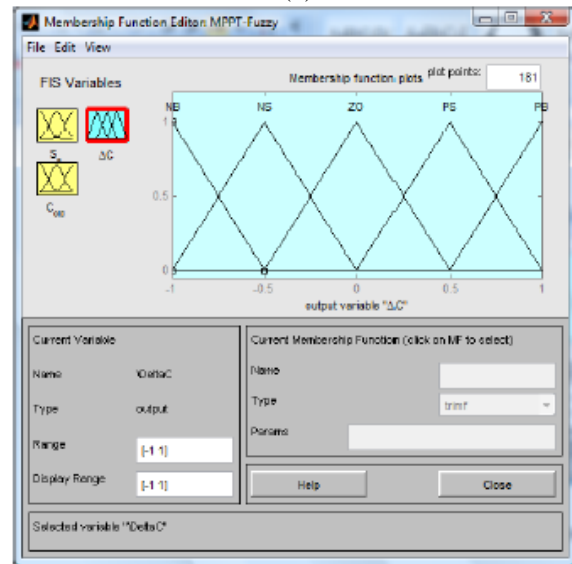
Hình 7: Cửa sổ giao diện FIS editor MATLAB



(a)



(b)



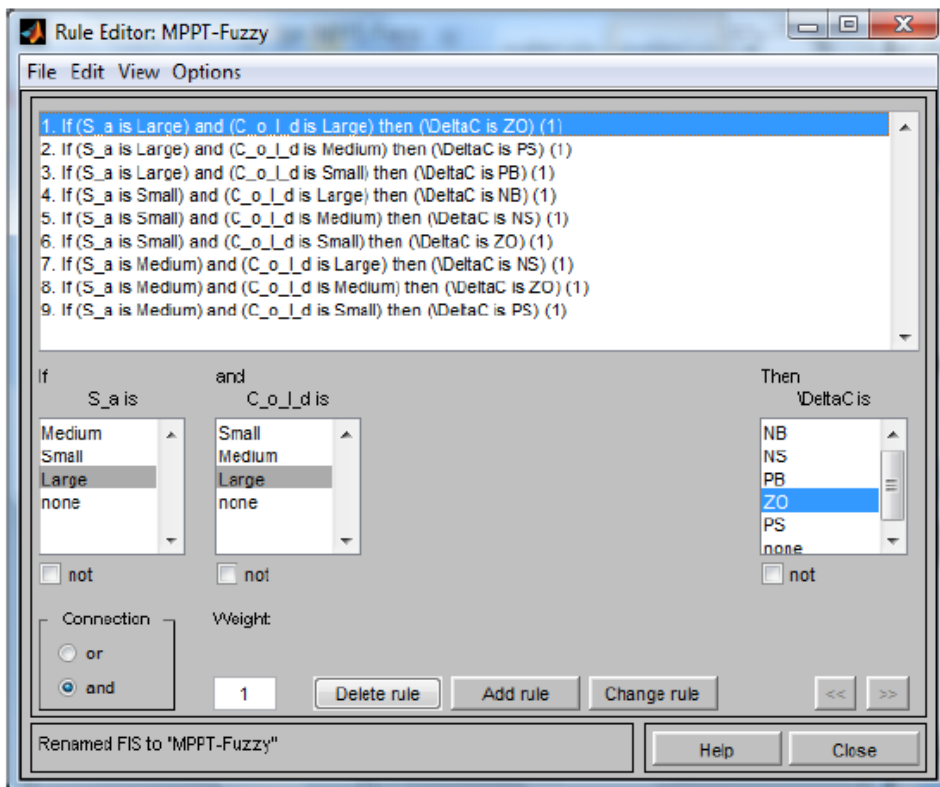
(c)

Hình 8: Khai báo thông số hàm liên thuộc các biến mờ vào / ra a) S_a MF b) C_{cold} MF c) ΔC MF

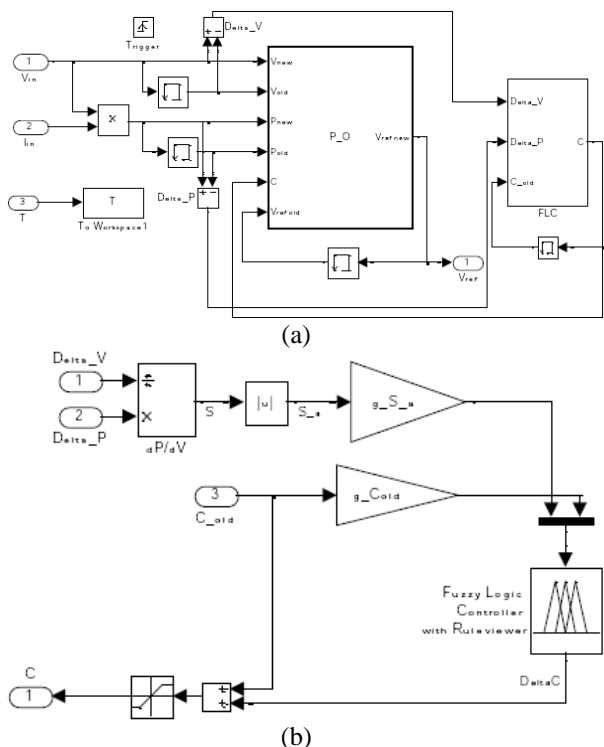
Cuối cùng ta xây dựng các luật mờ quyết định các ảnh xạ kết nối các biến mờ đầu vào với biến mờ đầu ra như minh họa ở Hình 9.

Khối Simulink MPPT P&O kinh điển như thiết kế ở Hình 13, sẽ được tích hợp thêm khối hiệu chỉnh mờ, giúp cập nhật thích nghi kích cỡ bước nhiễu loạn, như minh họa ở Hình 10. Dữ liệu vào khối hiệu chỉnh mờ được chuẩn hóa thông qua các độ lợi g_{S_a} , $g_{C_{cold}}$.

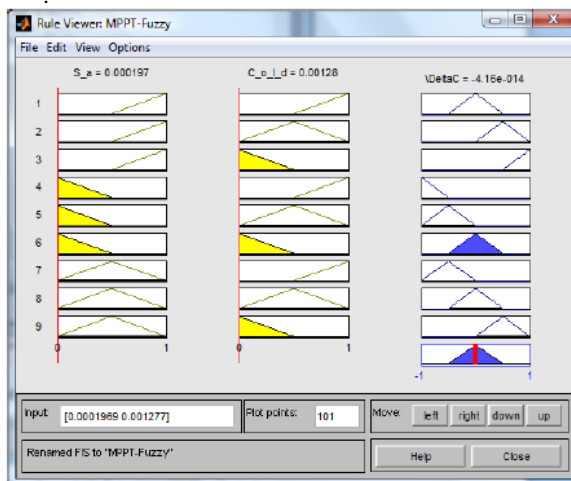
Trong khi tiến hành mô phỏng, các luật mờ được thực thi như minh họa ở Hình 11. Cửa sổ thể hiện Surface viewer được minh họa ở Hình 12.



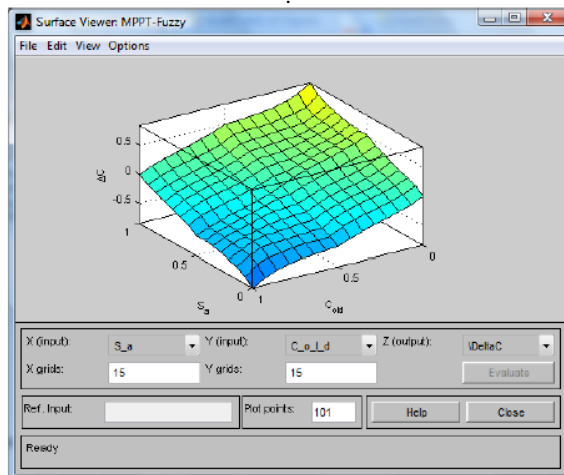
Hình 9: Cửa sổ chỉnh sửa luật mờ của matlab



Hình 10: a) Mô hình Simulink cài đặt giải thuật Fuzzy P&O-MPPT; b) Cấu trúc khối Simulink bộ điều khiển mờ FLC



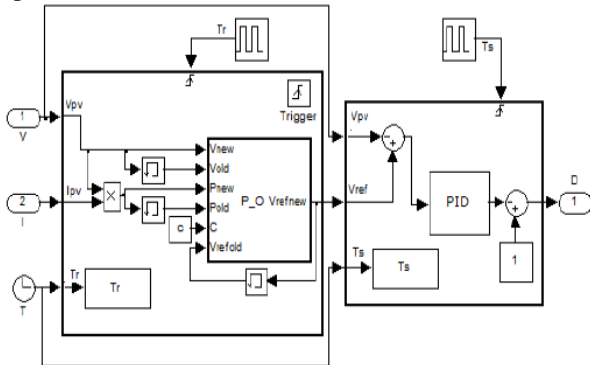
Hình 11: Cửa sổ thể hiện Rule Viewer MATLAB



Hình 12: Cửa sổ thể hiện Surface Viewer MATLAB

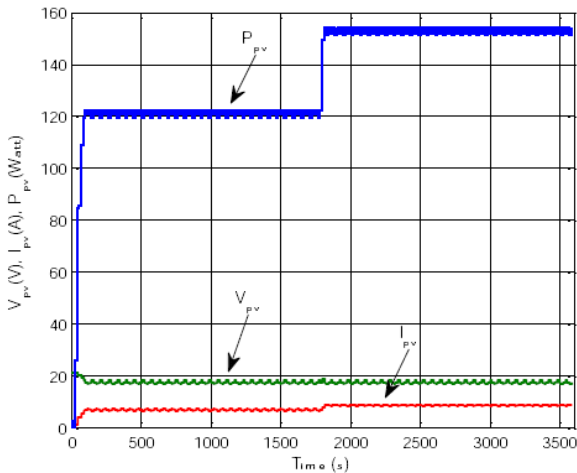
4. Kết quả mô phỏng

Đầu tiên ta tiến hành mô phỏng với thuật toán P&O theo mô hình Simulink được minh họa ở Hình 13, với xung kích khối P&O T_r và xung kích hoạt khối điều áp T_s .



Hình 13: Mô hình Simulink cài đặt thuật toán P&O

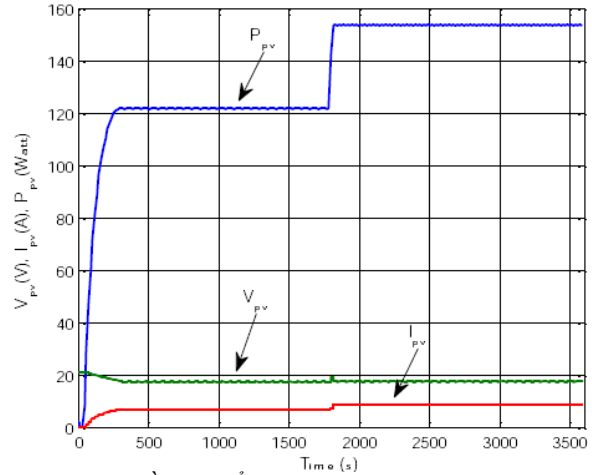
Hình 14 và Hình 15 minh họa các kết quả MPPT của thuật toán P&O với 2 mức áp $\Delta V_{ref} = 0.8V$ và $\Delta V_{ref} = 0.2V$. Kết quả cho thấy P&O với ΔV_{ref} lớn sẽ mau đạt tới điểm MPP nhưng bị dao động tại điểm đó. Ngược lại, P&O với ΔV_{ref} bé sẽ chậm đạt tới điểm MPP nhưng sẽ không bị dao động tại điểm công suất cực đại MPP. Các hạn chế này sẽ được thuật toán mới Fuzzy P&O MPPT khắc phục triệt để.



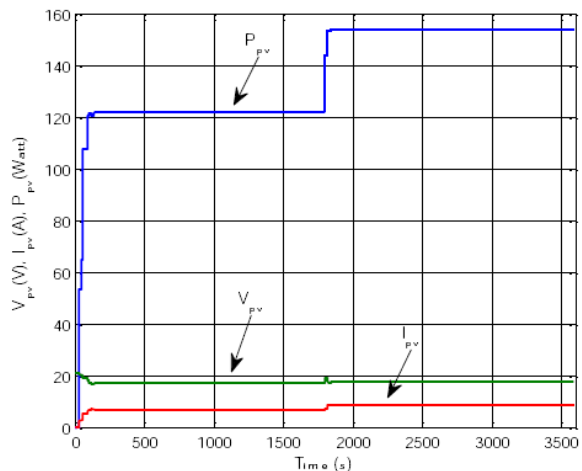
Hình 14: Đồ thị thể hiện các đáp ứng MPPT của thuật toán P&O $\Delta V_{ref} = 0.8 V$, khi độ rọi biến động ở $t=0s$ từ $0 W/m^2$ đến $800 W/m^2$ và ở $t=1800 s$ với độ rọi từ $800 W/m^2$ lên $1000 W/m^2$ ($T=25^\circ C$)
Điện áp ra V_{pv} (màu LAM); Dòng ra I_{pv} (màu Đỏ); Công suất ra P_{pv} (màu XANH)

Ta tiếp tục tiến hành mô phỏng thuật toán mới Fuzzy P&O MPPT dựa theo sơ đồ Simulink Hình 10. Hình 16 thể hiện kết quả mô phỏng bộ điều khiển Fuzzy P&O MPPT. Hình 17 cho phép so sánh để làm nổi bật sự vượt trội của giải thuật Fuzzy P&O MPPT mới đề xuất, so với P&O MPPT truyền thống. Bộ điều khiển Fuzzy P&O MPPT cho phép nguồn PV nhanh chóng chuyển đến điểm làm việc MPP và không bị dao động tại điểm làm việc MPP này. Ngoài

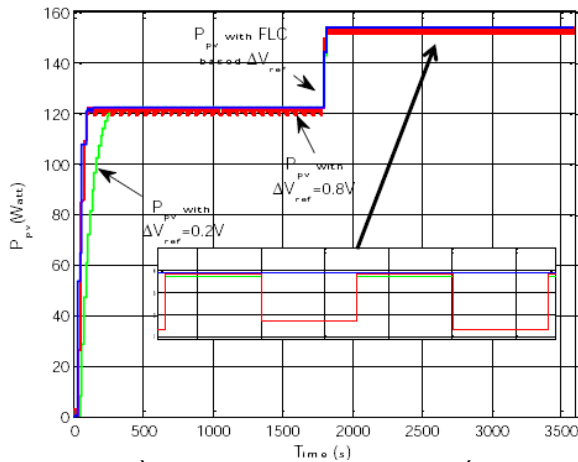
ra, bộ điều khiển Fuzzy P&O MPPT cũng cho đáp ứng quá độ nhanh hơn khi điều kiện độ rọi và nhiệt độ môi trường biến động.



Hình 15: Đồ thị thể hiện các đáp ứng MPPT của thuật toán P&O $\Delta V_{ref} = 0.2 V$, khi độ rọi biến động ở $t=0s$ từ $0 W/m^2$ đến $800 W/m^2$ và ở $t=1800 s$ với độ rọi từ $800 W/m^2$ lên $1000 W/m^2$ ($T=25^\circ C$)
Điện áp ra V_{pv} (màu LAM); Dòng ra I_{pv} (màu Đỏ); Công suất ra P_{pv} (màu XANH)

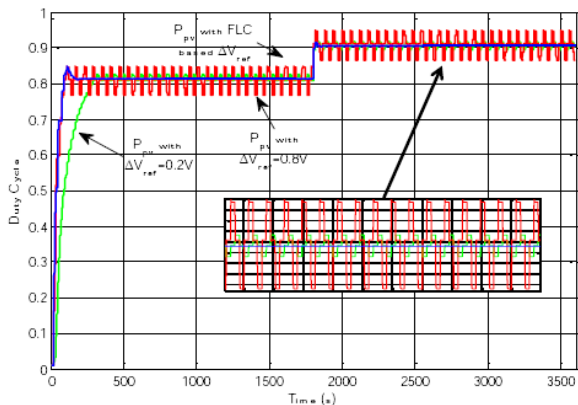


Hình 16: Đồ thị thể hiện các đáp ứng MPPT của thuật toán Fuzzy P&O khi độ rọi biến động ở $t=0s$ từ $0 W/m^2$ đến $800 W/m^2$ và ở $t=1800 s$ với độ rọi từ $800 W/m^2$ lên $1000 W/m^2$ ($T=25^\circ C$)
Điện áp ra V_{pv} (màu LAM); Dòng ra I_{pv} (màu Đỏ); Công suất ra P_{pv} (màu XANH)



Hình 17: Đồ thị so sánh đáp ứng công suất ra MPPT khi độ rọi biến động ở $t=0s$ từ 0 W/m^2 đến 800 W/m^2 và ở $t=1800s$ với độ rọi từ 800 W/m^2 lên 1000 W/m^2 ($T=25^\circ\text{C}$)

Thuật toán P&O, $\Delta V = 0.2\text{V}$ (màu LAM); P&O, $\Delta V = 0.8\text{V}$ (màu ĐỎ); Fuzzy P&O (XANH ĐẬM)



Hình 18: Đồ thị so sánh đáp ứng MPPT thông qua hệ số tải (Duty Cycle) khi độ rọi biến động ở $t=0s$ từ 0 W/m^2 đến 800 W/m^2 và ở $t=1800s$ với độ rọi từ 800 W/m^2 lên 1000 W/m^2 ($T=25^\circ\text{C}$)

Thuật toán P&O, $\Delta V = 0.2\text{V}$ (màu LAM); P&O, $\Delta V = 0.8\text{V}$ (màu ĐỎ); Fuzzy P&O (XANH ĐẬM)

Hình 18 cho thấy ưu thế vượt trội của điều khiển Fuzzy P&O MPPT so với thuật toán P&O MPPT truyền thống. Điều khiển Fuzzy P&O MPPT không bị dao động khi vận hành ở điểm làm việc công suất cực đại MPP, đồng thời đáp ứng quá độ đến điểm MPP mới nhanh hơn khi điều kiện độ rọi biến động.

5. Kết luận

Bài báo đề xuất giải thuật mới Fuzzy P&O MPPT thích nghi cho phép điều chỉnh linh hoạt bước chỉnh nhiễu loạn của thuật toán P&O kinh điển. Thuật toán mới Fuzzy P&O MPPT thích nghi có chất lượng vượt trội so với thuật toán MPPT P&O kinh điển, vận hành ổn định trong toàn vùng làm việc của nguồn PV, khử được triệt để các dao động quanh điểm làm việc MPP cũng như cho phép đẩy nhanh tốc độ hội tụ về điểm làm việc MPP khi nhiệt độ cùng độ rọi môi trường biến động.

Tri ân tài trợ

Bài báo được tài trợ bởi Vietnam National Foundation for Science and Technology Development (NAFOSTED) dưới đề tài MSĐT 107.01-2015.23 và bởi ĐHQG-TPHCM (VNU-HCM) thông qua đề tài MSĐT B2016-20-03.

Tài liệu tham khảo

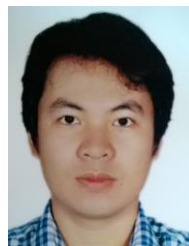
- [1] Herman, E., and H. Fernandez. "Upgrading Tests Using PSIM Tool of MPPT-PV Feedback-Current Controller." *Energy and Power Engineering* 8.04 (2016): 236.
- [2] Enslin, John H., Mario S. Wolf, Daniël B. Snyman, & Wernher Swiegers "Integrated Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Converter" *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 44, No. 6 December 1997, page 769-773
- [3] Hohm, D. P. & M. E. Ropp "Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms" *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* November 2002, page 47-62
- [4] Hua, Chihchiang, Jongrong Lin & Chihming Shen "Implementation of a DSP Controlled Photovoltaic System with Peak Power Tracking" *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 45, No. 1 February 1998, page 99-107
- [5] Hussein, K. H., I. Muta, T. Hoshino, & M. Osakada "Maximum Photovoltaic Power Tracking: an Algorithm for Rapidly Changing Atmospheric Conditions" *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution - v. 142* January 1995, page 59-64
- [6] Koutroulis, Efichios, Kostas Kalaitzakis, Nicholas C. Voulgaris "Development of a Microcontroller-Based, Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control System" *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol.16, No. 1, January 2001, page 46-54
- [7] Atik, Lotfi, et al. "Comparison of four MPPT techniques for PV systems." *TECHNOLOGIES AND MATERIALS FOR RENEWABLE ENERGY, ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY: TMREES*. Vol. 1758. No. 1. AIP Publishing, 2016.
- [8] Walker, Geoff R. "Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model" Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC '00, Brisbane, 2000.
- [9] Bounechba, Hadjer, et al. "Real time simulation of MPPT algorithms for PV energy system." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 83 (2016): 67-78.
- [10] Kumar, Pravin, and NamitaJaiswal. "Analysis and simulation of Grid Connected PV System Using with Boost converter and MPPT." *International Journal of Engineering Science* 4163 (2016).

- [11] Wu, Bin, RoozbehNaderi, and KeyueSmedley. "Analysis of a distributed maximum power point tracking tracker with low input voltage ripple and flexible gain range." *IET Power Electronics* 9.6 (2016): 1220-1227.
- [12] I. Houssamo, F. Locment, and M. Sechilariu, "Maximum power tracking for photovoltaic power system: Development and experimental comparison of two algorithms," *Renewable Energy*, vol. 35, pp. 2381-2387, 2010
- [13] E. Iyasere, D. Dawson, and E. Tatlicioglu, "Backstepping PWM control for maximum power tracking in photovoltaic array Systems," in *Proc. ACC*, Baltimore, 2010, pp. 3561-3565.
- [14] R. Leyva et al., "MPPT of photovoltaic systems using extremum-seeking control," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 42, no. 1, pp. 249-258, Jan. 2006.
- [15] Shen, Liqun, Dylan Dah-Chuan Lu, and Yanmin Wang. "Geometric MPPT and Sliding Mode Control of a Bidirectional Grid Connected Single Phase Two-Stage PV System with DC Loads." *IET Renewable Power Generation* (2016).
- [16] N. Femia, D. Granozio, G. Petrone, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, "Predictive & adaptive MPPT perturb and observe method," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 43, no. 3, pp. 934-950, Jul. 2007.
- [17] C. Zhang, D. Zhao, J. Wang, and G. Chen, "A modified MPPT method with variable perturbation step for photovoltaic system," in *Proc. IPEMC '09*, Wuhan, 2009, pp. 2096-2099.
- [18] F. Liu, S. Duan, F. Liu, B. Liu, and Y. Kang, "A variable step size INC MPPT method for PV systems," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 7, pp. 2622-2628, Jul. 2008.
- [19] Q. Mai, M. Shan, L. Liu, and J. Guerrero, "A novel improved variable step-size incremental-resistance MPPT method for PV systems," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 6, pp. 2427-2434, Jun. 2011.
- [20] C. Otieno, G. Nyakoe, and C. Wekesa, "A neural fuzzy based maximum power point tracker for a photovoltaic system," in *Proc. IEEE AFRICON 2009*, Nairobi, 2009, pp. 1-6.
- [21] C. Salah and M. Ouali, "Comparison of fuzzy logic and neural network in maximum power point tracker for PV systems," *Electric Power Systems Research*, vol. 81, pp. 43-50, 2011.
- [22] S. Lalouni, D. Rekioua, T. Rekioua, and E. Matagne, "Fuzzy logic control of stand-alone photovoltaic system with battery storage," *Journal of Power Sources*, vol. 193, no. 5, pp. 899-907, Sep. 2009.
- [23] C-S Chiu, "T-S fuzzy maximum power point tracking control of solar power generation systems," *IEEE Trans. Energy Conv.*, vol. 25, no. 4, pp. 1123-1131, Dec. 2010.



Ho Pham Huy Anh received the B.S. and the M. Sc. degrees in the Department of Electrical and Electronic Engineering from HCM City University of Technology, VNU-HCM in 1987 and in 1993, respectively. He received the Ph.D. degree from University of Ulsan, Korea in 2008. He is currently an

Advanced Lecturer and an Associate Professor in the Faculty of Electrical and Electronics Engineering (FEEE), HCM City University of Technology, VNU-HCM, Ho Chi Minh City, Viet Nam. He is member of IEEE and IFAC. His current research interests include intelligent control, robotics, renewable energy applications, modeling-identification and control of nonlinear dynamic systems. He co-authored 4 books and published over 80 papers on national and international journals and conference proceedings.



Cao Van Kien received the M.Sc. degrees in the Faculty of Electrical and Electronics Engineering (FEEE) from HCM City University of Technology in 2016. He is now PhD candidate with the Faculty of Electrical and Electronic Engineering, HCM City University of Technology, VNU-HCM, Vietnam. He is currently a Researcher in Power Engineering Research Laboratory (PERLAB) in HCM City University of Technology, VNU-HCM, Vietnam.



Nguyen Tien Thu graduated at Electronics-Telecommunications from HCM City University of Technology in 2013. Then, I've worked as embedded system developer. And now, I'm researching about New Energy at HCM City University of Technology. My current interests include automatic control and new

energy.