

NGHIÊN CỨU CẢI TIẾN GIẢI THUẬT DÒ TÌM ĐIỂM CÔNG SUẤT CỰC ĐẠI CỦA TẮM PIN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI SỬ DỤNG THUẬT TOÁN BAT VÀ BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ

Improving the algorithm of Maximum Power Point Tracking of PV-Battery System using Hybrid BAT Algorithm and Fuzzy Logic Controller

Võ Ngọc Vinh^{1a}, Phạm Hồng Sơn^{2b}, Nguyễn Vũ Quỳnh^{2c}

¹ Trung tâm Nghiên cứu Khoa học và Ứng dụng, Trường Đại học Lạc Hồng, Biên Hòa, Đồng Nai, Việt Nam

² Khoa Cơ điện – Điện tử, Trường Đại học Lạc Hồng, Biên Hòa, Đồng Nai, Việt Nam

^angocvinh2710@gmail.com, ^bhongsonlhu@gmail.com, ^cvuquynh@lhu.edu.vn

Received: 23rd November 2020; Accepted: 21st December 2020

TÓM TẮT. Bài báo trình bày phương pháp cải tiến giải thuật dò tìm điểm công suất cực đại (MPPT) sử dụng trong các hệ thống pin năng lượng mặt trời (PV). Hệ thống được thiết kế dựa trên bộ điều khiển mờ và thuật toán tối ưu hóa BAT (BAT-FLC) để điều chỉnh các thông số điều khiển. Kết quả mô phỏng của thuật toán BAT-FLC được so sánh với thuật toán Fuzzy, INC và P&O đã thể hiện ưu điểm vượt trội của thuật toán đề xuất.

TỪ KHOÁ: MPPT, Pin quang điện,Ắc quy, Thuật toán BAT, logic mờ, hệ thống năng lượng lai.

ABSTRACT. The paper presents the maximum power point tracking algorithm (MPPT) improvement using in photovoltaic (PV) systems. The systems based on the fuzzy logic controller and BAT optimization algorithm (BAT-FLC) adjust the control parameters. The BAT-FLC algorithm's simulation results were compared with the Fuzzy, INC, and P&O algorithms' simulation results. It showed the outstanding performance of the proposed algorithm.

KEYWORDS: MPPT, Photovoltaic, Battery, BAT algorithm, Fuzzy Logic, hybrid energy system.

1. GIỚI THIỆU

Trong những thập kỷ gần đây, mối quan tâm về vấn đề nóng lên toàn cầu và ô nhiễm môi trường đã tăng lên đáng kể. Như một giải pháp khả thi và hiệu quả, các nguồn năng lượng tái tạo đã được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống điện để cung cấp nhu cầu năng lượng ngày càng tăng với chi phí vận hành và phát thải thấp hơn. Các nguồn năng lượng tái tạo có sẵn với nhiều công nghệ khác nhau, chẳng hạn như gió, năng lượng mặt trời, địa nhiệt và sinh khối. Ngoài các vấn đề về môi trường, các nguồn năng lượng tái tạo đang được sử dụng để đa dạng hóa tổ hợp phát điện trong hệ thống điện và giúp cung cấp một cách an toàn nhu cầu phụ tải. Trong số các nguồn năng lượng tái tạo được đề cập, gió và mặt trời đã thu hút được sự quan tâm của các chuyên gia hệ thống điện và chính phủ, chủ yếu là do tính sẵn có cao hơn và công nghệ phát điện tiên tiến hơn. Hơn nữa, chi phí của các công nghệ sản xuất năng lượng mặt trời đã giảm đáng kể 80% trong những năm qua và nó vẫn đang tiếp tục giảm. Do đó, sự hiện diện của các hệ thống phát điện như vậy và cách lắp đặt của nó cần được xem xét cẩn thận và chi tiết [1-2].

Cho đến nay đã có rất nhiều công trình nghiên cứu được tiến hành về việc phát triển các thuật toán MPPT. Các phương pháp được đề xuất thường được phân loại thành hai nhóm chính là các phương pháp kinh điển và dựa trên trí thông minh nhân tạo [3]. Các kỹ thuật thịnh hành được sử dụng nhiều nhất bao gồm:

- Nhiễu loạn và quan sát (P&O)
- Độ dẫn tăng dần (INC)
- Điều khiển mờ FLC (Fuzzy Logic Control)

Bài báo này phát triển một sơ đồ điều khiển tổ hợp hiệu quả và có thể áp dụng dựa trên FLC và BAT được gọi là BAT-FLC để điều khiển hệ thống năng lượng hỗn hợp. Hệ thống năng lượng lai được nghiên cứu bao gồm một tấm pin mặt trời và một hệ thống pin để lưu trữ. Sơ đồ khối của hệ thống được trình bày trong hình số 4. Đáng chú ý là hệ thống

này hoạt động ở chế độ hòa lưới. Pin sẽ giúp tạo ra nguồn điện ổn định và liên tục trong suốt quá trình hoạt động. Nguyên tắc điều khiển được phát triển dựa trên việc xác định các hệ số tỷ lệ thành viên của bộ điều khiển và trọng số của các quy tắc mờ bằng cách sử dụng thuật toán BAT. Thuật toán BAT-FLC được đánh giá trong các điều kiện khác nhau về nhiệt độ và bức xạ mặt trời. Hơn nữa, cấu trúc của bộ điều khiển BAT-FLC trong hình 5 được thay thế bằng các bộ điều khiển như P&O, INC, FLC để so sánh và đánh giá làm nổi bật tính ưu việt của thuật toán BAT-FLC.

2. PHƯƠNG PHÁP VÀ THỰC HIỆN BỘ ĐIỀU KHIỂN

Các khối phát điện phân tán (DG) được vận hành ở chế độ kiểm soát công suất tác dụng (P) và phản kháng (Q). Bằng cách sử dụng chế độ điều khiển MPPT, nguồn điện ổn định sẽ được bơm vào lưới điện [4]. Nguyên tắc của kỹ thuật này dựa trên phép biến đổi dq0. Công suất tác dụng và công suất phản kháng abc ba pha được biến đổi đổi thành khung dq0 trong khi sử dụng khối vòng khóa pha (PLL). Khối này được sử dụng để đồng bộ hóa DG và lưới. Các thành phần trực d và trực q của dòng điện nghịch lưu, được sử dụng để tính công suất P và Q tương ứng. Vòng điều khiển P-Q bao gồm một vòng điều khiển công suất, bên cạnh một vòng điều khiển dòng điện [5].

Hình 1 mô tả rằng các giá trị tham chiếu cho các vòng điều khiển của các thành phần trực d và trực q sẽ được xác định bởi công suất P và Q tương ứng. Phương trình (1) và phương trình (2) biểu thị công thức tác dụng và phản kháng.

$$P = \frac{3}{2} \cdot (v_q i_q + v_d i_d) \quad (1)$$

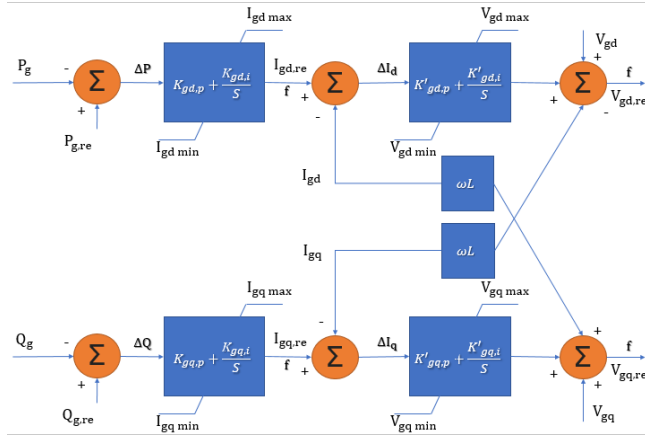
$$Q = \frac{3}{2} \cdot (v_q i_d - v_d i_q) \quad (2)$$

Theo đó, dòng điện đầu ra của biến tần sẽ được tính toán. Các giá trị tham chiếu của dòng điện trên trục d và q được thể

hiện bằng i_{d_ref} và i_{q_ref} (Phương trình 3, 4) và được cung cấp bởi các vòng điều khiển công suất phản kháng và công suất tác dụng tương ứng.

$$i_{d_ref} = \frac{2}{3} \cdot \frac{Pv_d + Qv_q}{v_d^2 + v_q^2} \quad (3)$$

$$i_{q_ref} = \frac{2}{3} \cdot \frac{Pv_q - Qv_d}{v_d^2 + v_q^2} \quad (4)$$



Hình 1. Biểu diễn sơ đồ điều khiển P-Q cho bộ nghịch lưu nguồn điện áp.

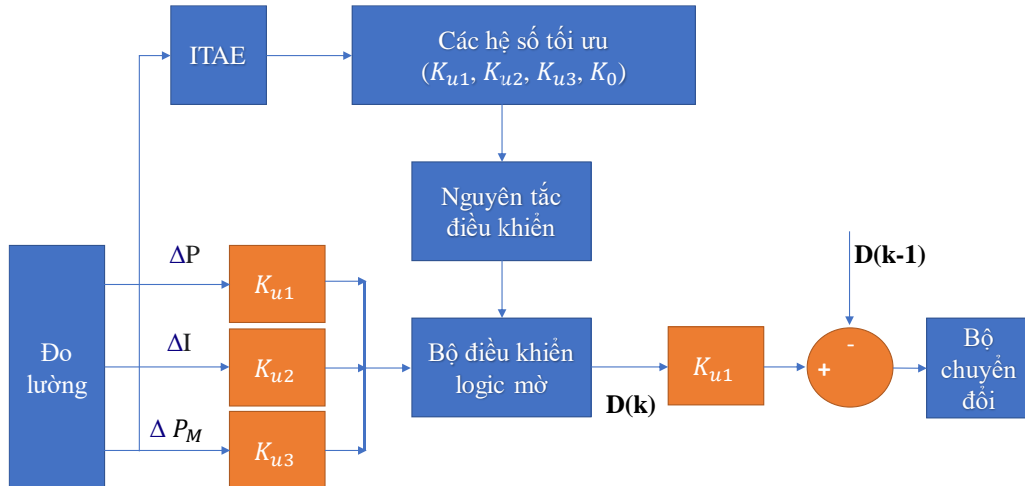
3. ĐIỀU KHIỂN MPPT

3.1 BỘ ĐIỀU KHIỂN FLC

Phương pháp FLC thường bao gồm ba bước là làm mờ, công cụ suy luận mờ, cũng như giải mờ. Hình 2 minh họa ba bước này.



Hình 2. Cấu trúc FLC.



Hình 4. Cấu trúc bộ điều khiển FLC thích nghi

Các thuật toán MPPT dựa trên FLC được liên kết với một đầu ra duy nhất và hai đầu vào để cung cấp cho hệ thống MPP. Các mối quan hệ sau đây được sử dụng để đặc trưng cho các biến đầu vào [6].

$$E(K) = \frac{P(K) - P(K-1)}{V(K) - V(K-1)} = \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad (5)$$

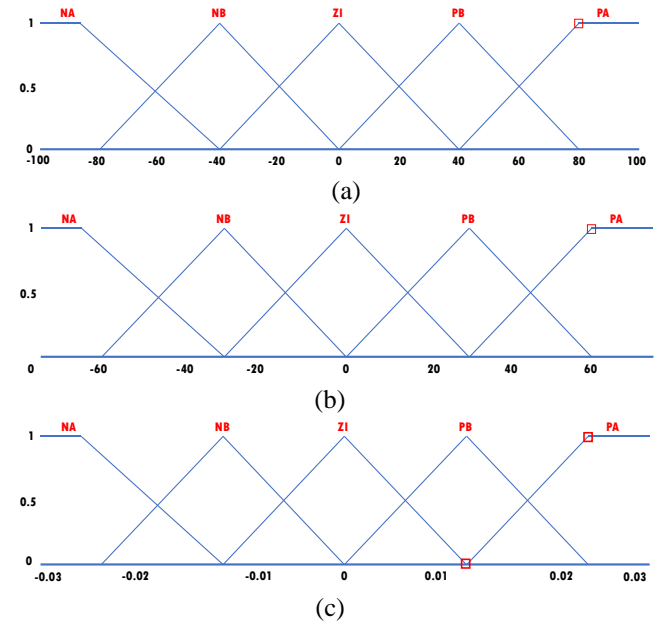
$$\Delta E(K) = E(K) - E(K-1) = \Delta E \quad (6)$$

Tương tự như vậy, biến đầu ra cũng được định nghĩa là (7):

$$\Delta D = D(K) - D(K-1) \quad (7)$$

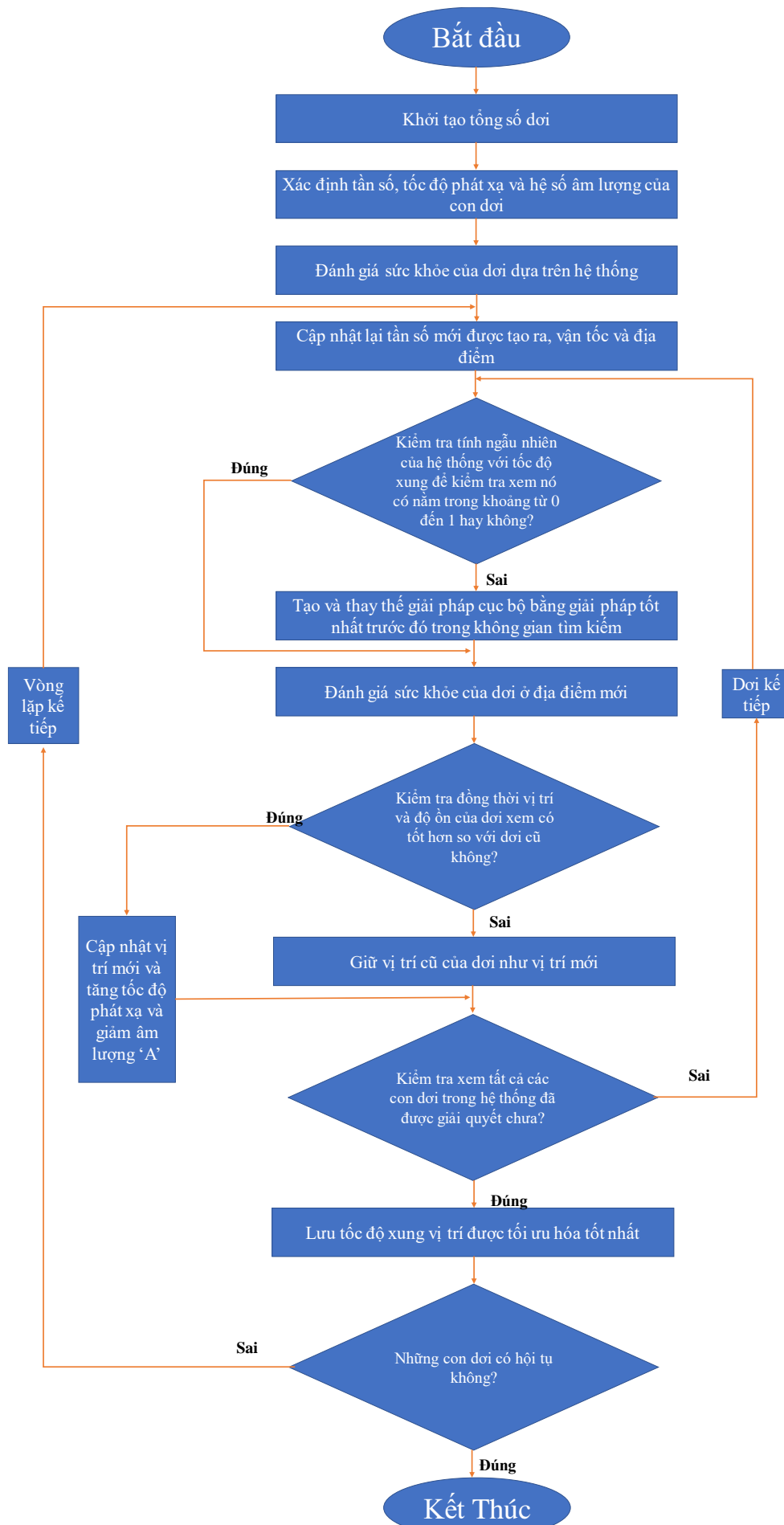
Trong đó E(k), ΔE(k) và ΔD lần lượt là sai số, sự thay đổi của sai số và sự biến thiên trong chu kỳ làm việc.

Các hàm liên thuộc của cả đầu vào và đầu ra của FLC đề xuất được chỉ ra trong Hình 3. Năm hàm liên thuộc sẽ được sử dụng để mô tả các biến đầu vào và đầu ra là dương lớn (PA), dương nhỏ (PB), không (ZI), âm nhỏ (NB) và âm lớn (NA).



Hình 3. Các chức năng của thành viên (a) Sai số (E). (b) Thay đổi sai số (ΔE); (c) đầu ra

Các quy tắc nêu trong Bảng 1 được sử dụng để giảm thiểu các dao động ở tốc độ theo dõi cao trong trạng thái ổn định. Phương pháp min-max như một kỹ thuật nổi tiếng và có thể áp dụng được sử dụng trong bài báo này.



Hình 5. Lưu đồ của thuật toán tối ưu BAT

Bảng 1. Các quy tắc của bộ điều khiển mờ.

| E | ΔE | | | | |
|----|------------|----|----|----|----|
| | NA | NB | ZI | PB | PA |
| NA | ZI | ZI | ZI | NA | PB |
| NB | ZI | ZI | NB | NB | NB |
| ZI | NB | ZI | ZI | ZI | PB |
| PB | PB | PB | PB | ZI | ZI |
| PA | PA | PA | PA | ZI | ZI |

3.2 THUẬT TOÁN TÌM KIẾM BAT

Thuật toán tối ưu hóa BAT là một phương pháp nảy sinh từ hành vi của các con dơi trong việc tìm kiếm thức ăn, được đề xuất vào năm 2010 bởi Yang [6]. Tính năng định vị bằng tiếng vang của dơi giúp chúng có thể tìm thấy côn trùng làm thức ăn chính. Nguyên tắc của khả năng này là dựa trên hướng và cực điểm của tín hiệu mà chúng nhận được từ con mồi. Theo đó, chúng có thể dự đoán khoảng cách.

Bài báo này sử dụng thuật toán BAT kết hợp với FLC cho các ứng dụng MPPT trong các hệ thống điện mặt trời. Quy trình tiến hành đánh giá vị trí của tất cả các con dơi và chỉ định con tốt nhất có liên quan đến giá trị thể lực mong muốn nhất. Các phương trình từ (8) - (10) được sử dụng để cập nhật tốc độ và vị trí của từng con dơi. Các vị trí cập nhật của tất cả các con dơi đều được đánh giá và sắp xếp theo các giá trị thể lực. Hoạt động được mô tả sẽ được tiếp tục cho đến khi xác định được con dơi có vị trí tốt nhất, tương ứng với hiện thị sản lượng điện năng lượng mặt trời mong muốn [7].

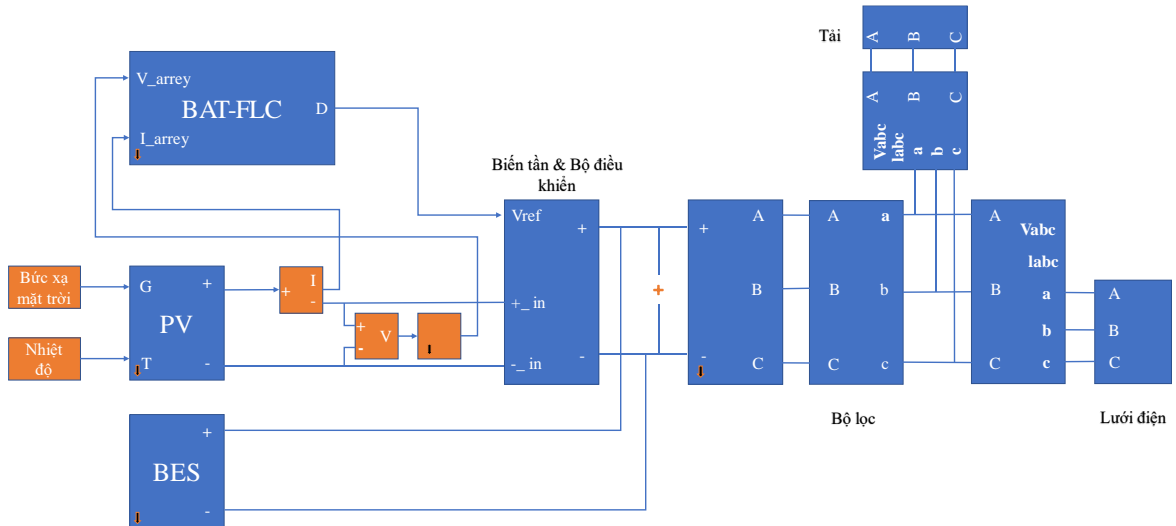
$$f_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min})\alpha \quad (8)$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x^*)f_i \quad (9)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (10)$$

Giá trị được tạo ngẫu nhiên trong khoảng [0, 1] và được ký hiệu là α là bắt buộc. Vị trí của giải pháp tổng thể được biểu thị bằng x trong khi tần số thay đổi, giới hạn trên và giới hạn dưới của nó được biểu thị bằng f_i , f_{\min} and f_{\max} cho con dơi i tương ứng. Bên cạnh đó, vị trí mới và vận tốc (kích thước bước cho lần lặp tiếp theo) được hiển thị bằng x_i^t and v_i^t tương ứng.

$$x_{new} = x_{old} + \varepsilon L^t \quad (11)$$



Hình 6. Sơ đồ điều khiển của hệ thống điện năng lượng mặt trời kết hợp giữa tấm năng lượng, hệ thống pin lưu trữ và lưới điện

Ở đây $\varepsilon \in [-1, 1]$ là một giá trị ngẫu nhiên và L^t cho thấy giá trị của âm lượng của mỗi con dơi tại thời điểm này. L_{min} bằng 0 có nghĩa là dơi đã phát hiện ra con mồi và tạm thời ngừng truyền sóng âm:

$$L_i^{t+1} = \beta L_i^t \quad (12)$$

Trong đó: β biểu thị một hằng số có giá trị trong khoảng [0, 1]. Hình 5 chỉ ra cơ chế của thuật toán tối ưu hóa BAT.

Thuật toán tối ưu hóa BAT được sử dụng trong bài báo này để thiết lập các hệ số tỷ lệ của các hàm liên thuộc của thuật toán FLC. Hình 4 mô tả cấu hình của sơ đồ điều khiển được đề xuất. Số lượng các biến được tối ưu sẽ giảm xuống trong trường hợp các hệ số tỷ lệ của các hàm liên thuộc được sử dụng thay vì các khoảng tập mờ. Các quy trình được mô tả tiến hành để đạt được MPP ở tốc độ cao. Chỉ số sai số tuyệt đối theo thời gian tích phân (ITAE) được sử dụng cho hàm mục tiêu và được biểu thị bằng (13):

$$ITAE = \int_0^{\infty} t \times |e(t)| dt = \int_0^{\infty} t \times |P_{MPPT}(t) - P_{PV}(t)| dt \quad (13)$$

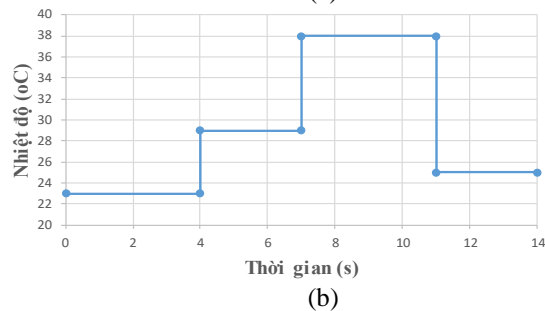
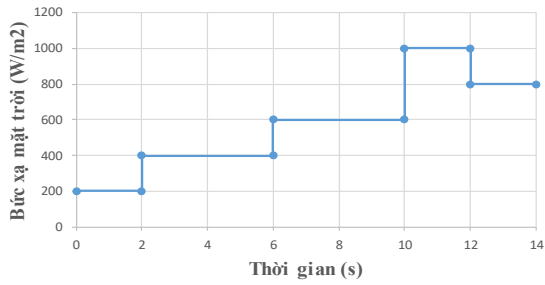
Từ phương trình hàm mục tiêu (13), các hệ số tối ưu K_{u1} , K_{u2} , K_{u3} và K_o được xác định. Các hệ số này được dùng để điều chỉnh hệ số tỷ lệ cho hàm liên thuộc của bộ điều khiển mờ nhằm giúp cho bộ điều khiển mờ hoạt động đạt độ chính xác cao hơn.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Hệ thống được trình bày trong Hình 6 đã được mô phỏng trong Matlab / Simulink để đánh giá hiệu quả của thuật toán MPPT BAT-FLC. Hiệu quả của hệ thống liên quan đến sản lượng điện, bản thân nó phụ thuộc vào hai yếu tố quan trọng, là bức xạ mặt trời và nhiệt độ. 81 tấm pin sử dụng trong mô phỏng có công suất 90W/1 tấm, tổng công suất của 81 tấm là 7290W, dòng điện và điện áp tại điểm công suất tối đa là 4.94A và 18.65V, dòng ngắn mạch 5.24A. Các tấm pin được mô phỏng trong điều kiện tiêu chuẩn (STC).

Hiệu quả của thuật toán được đánh giá với những thay đổi đột ngột, được tạo ra một cách tổng hợp đối với lượng bức xạ mặt trời để nó tăng lên trong khoảng thời gian $t = 0$ $t = 12s$ và giảm từ $t = 12s$ xuống $t = 14s$ (Hình 7(a)).

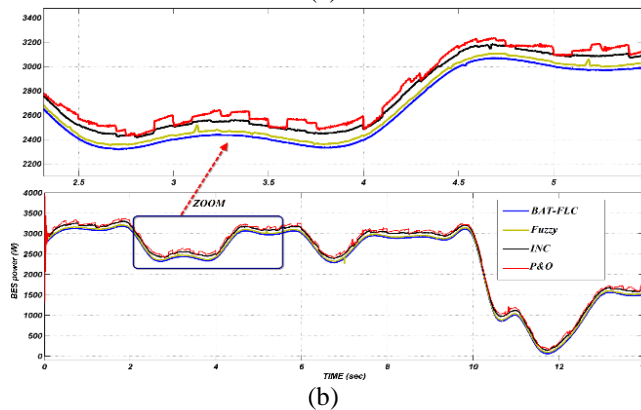
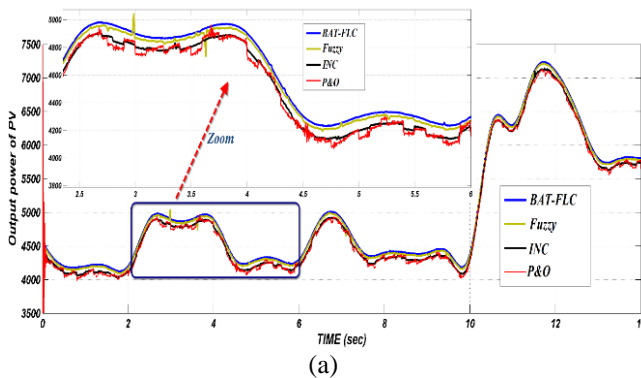
Tương tự như vậy, giá trị của nhiệt độ cũng được thay đổi để tăng từ $t = 0$ đến $t = 11s$ và giảm từ $t = 11s$ đến $t = 14s$ (Hình 7(b)). Trong trường hợp này, giả định rằng lượng bức xạ mặt trời trên tất cả các mô-đun là giống nhau.



Hình 7. Bước xạ mặt trời (a) và nhiệt độ (b).

Như hình 8(a) mô tả, phương pháp BAT-FLC được đề xuất có hiệu quả rất tốt trong khi phải đối mặt với những thay đổi đột ngột về bức xạ mặt trời và nhiệt độ. Về mặt này, nó cho thấy dao động thấp hơn và tỷ lệ hội tụ cao hơn so với các thuật toán P&O, INC hoặc FLC.

Như hình 8(b) chỉ ra, trong trường hợp sản lượng điện của hệ thống PV bị thâm hụt, pin sẽ ngay lập tức cung cấp năng lượng hoạt động cần thiết để ổn định nguồn điện cho tải. Một so sánh toàn diện đã được thực hiện trong Bảng 2 giữa các kết quả thu được từ phương pháp BAT-FLC, P&O, INC và FLC để so sánh tính hiệu quả của thuật toán đề xuất. Đơn vị tính sản lượng điện thực hiện trong bảng 2 là W.

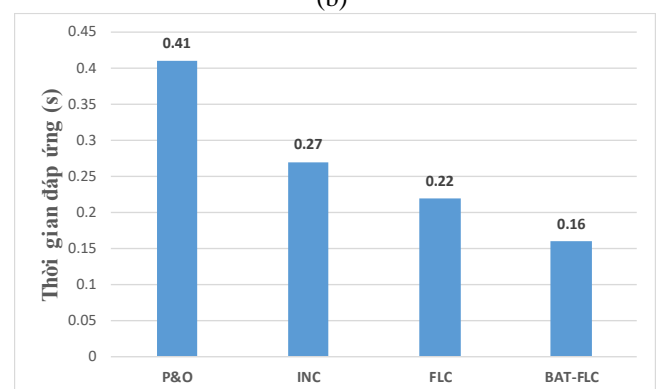
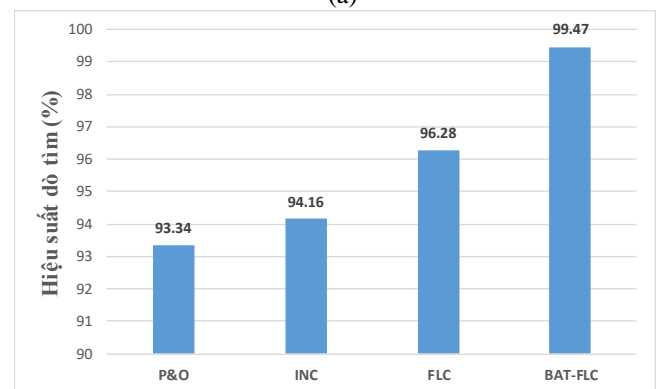
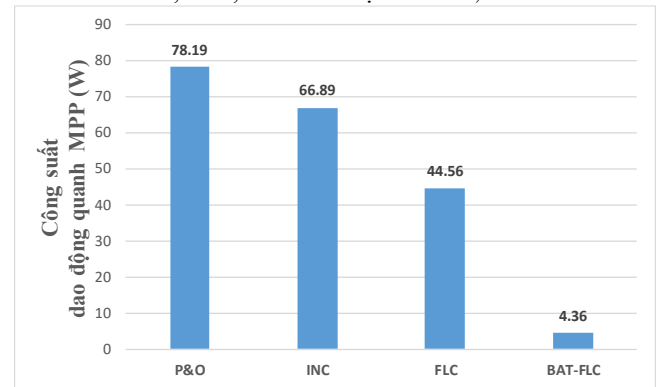


Hình 8. (a) Công suất đầu ra của PV; (b) Hiệu quả của bộ pin lưu trữ năng lượng trong hệ thống (BES)

Bảng 2. Kết quả so sánh cho sản lượng điện

| Thời gian | 0-2s | 2-4s | 4-6s | 6-7s | 7-10s | 10-11s | 11-12s | 12-14s |
|-----------|------|------|------|------|-------|--------|--------|--------|
| P&O | 4216 | 4896 | 4253 | 4835 | 4347 | 6258 | 7246 | 5764 |
| INC | 4236 | 4924 | 4285 | 4872 | 4395 | 6324 | 7274 | 5791 |
| FLC | 4243 | 4933 | 4294 | 4887 | 4406 | 6332 | 7285 | 5801 |
| BAT-FLC | 4251 | 4946 | 4306 | 4901 | 4415 | 6346 | 7296 | 5816 |

Kết quả thu được bằng cách thay đổi bức xạ mặt trời và nhiệt độ. Kết quả mô phỏng xác minh tính ưu việt của thuật toán BAT-FLC so với các kỹ thuật khác về công suất dao động quanh điểm cực đại, hiệu suất dò tìm và thời gian đáp ứng (Hình số 9). Công suất dao động quanh điểm cực đại chỉ 4.36W trong khi sử dụng P&O, INC và FLC lần lượt là 78.19W, 66.89W và 44.56W (Hình 9.a). Hiệu suất dò tìm điểm công suất cực đại của hệ thống, với các phương pháp khác thay đổi từ 93.34% đến 96.28% trong khi BAT-FLC đạt 99.47%. (Hình 9.b). Hơn nữa, như Hình 9.c, thời gian đáp ứng của BAT-FLC là 0.16s trong khi các phương pháp khác như P&O, INC, FLC lần lượt là 0.41s, 0.27s và 0.22s.



Hình 9. Các kỹ thuật khác nhau chịu sự thay đổi của bức xạ; (a) dao động xung quanh MPP. (b) Hiệu suất trung bình; (c) Thời gian đáp ứng.

5. KẾT LUẬN

Kết quả mô phỏng đã được so sánh với kết quả từ một số kỹ thuật MPPT nổi tiếng như P&O, INC, FLC. Kết quả xác minh rằng hiệu suất của hệ thống PV khi sử dụng thuật toán BAT-FLC là 99,9% trong khi đó các kỹ thuật khác sử dụng thì hiệu suất tối đa thu được là 98%. Hơn nữa, kết quả mô phỏng cho thấy dao động rất hạn chế xung quanh MPP và tốc độ theo dõi cũng cao hơn so với các phương pháp khác.

Thuật toán được đề xuất là cung cấp sản lượng điện ổn định trong khi đạt được cực đại toàn cục và MPPT. Hệ thống được trình bày cũng có thể hoạt động hiệu quả cho dòng điện giữa lưới điện và hệ thống năng lượng lai.

6. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Guorui Ren, Jinfu Liu, Jie Wan, Yufeng Guo, Daren Yu. Overview of wind power intermittency: Impacts, measurements, and mitigation solutions. *Applied Energy*, **2017**, 204, 47-65, DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.06.098
- [2] Dale, M. A. Comparative Analysis of Energy Costs of Photovoltaic, Solar Thermal, and Wind Electricity Generation Technologies. *Appl. Sci.* **2013**, 3, 325-337, DOI: 10.3390/app3020325
- [3] Ying-Tung Hsiao and China-Hong Chen. Maximum power tracking for photovoltaic power system. *Conference Record of the 2002 IEEE Industry Applications Conference. 37th IAS Annual Meeting (Cat. No.02CH37344)*, Pittsburgh, PA, USA, **2002**, 2, 1035-1040, DOI: 10.1109/IAS.2002.1042685.
- [4] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo and M. Vitelli. Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method. *In IEEE Transactions on Power Electronics*, July **2005**, 20(4), 963-973, DOI: 10.1109/TPEL.2005.850975.
- [5] K.M. Tsang, W.L. Chan, X. Tang. PLL-less single stage grid-connected photovoltaic inverter with rapid maximum power point tracking. *Solar Energy*, **2013**, 97, 285-292, DOI: 10.1016/j.solener.2013.08.017.
- [6] Mohamed M. Algazar, Hamdy AL-monier, Hamdy Abd EL-halim, Mohamed Ezzat El Kotb Salem. Maximum power point tracking using fuzzy logic control. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, **2012**, 39(1), 21-28, DOI: 10.1016/j.ijepes.2011.12.006.
- [7] A. M. Eltamaly, M. S. Al-Saud and A. G. Abokhalil. A Novel Bat Algorithm Strategy for Maximum Power Point Tracker of Photovoltaic Energy Systems Under Dynamic Partial Shading. *In IEEE Access*, **2020**, 8, 10048-10060, DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2964759.