SO SÁNH CÁC THUẬT TOÁN BẮT ĐIỂM CÔNG SUẤT CỰC ĐẠI BẰNG PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM

A COMPARISON OF MAXMIMUM POWER POINT TRACKING ALGORITHMS USING SIMULATION AND EXPERIMENTAL

Nguyễn Văn Tấn, Dương Minh Quân, Trần Anh Tuấn, Phạm Văn Kiên, Lê Hồng Lâm, Hà Hải Long

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; tan78dhbk@dut.udn.vn, dmquan@dut.udn.vn, tatuan@dut.udn.vn, pvkien@dut.udn.vn, lhlam@dut.udn.vn

Tóm tắt - Trong những năm gần đây, năng lượng mặt trời ngày càng được quan tâm, nghiên cứu và phát triển nhằm giảm dần sự phụ thuộc vào các nguồn năng lượng hoá thạch truyền thống. Sự phát triển của khoa học công nghệ, cụ thể là công nghệ thông tin và công nghệ vật liệu cùng với những ưu điểm nổi bật được xem là nguồn năng lượng vô tận, do đó năng lượng mặt trời hứa hẹn sẽ cạnh tranh với các nguồn năng lượng truyền thống trong tương lai gần. Bên cạnh những ưu điểm kể trên, cũng có nhiều hạn chế về hiệu suất làm việc do chịu ảnh hưởng bởi yếu tố ngẫu nhiên của thời tiết, …Vì vậy để cải thiện hiệu suất làm việc của các tấm pin năng lượng mặt trời cần có các bộ biến đổi điện tử công suất tích hợp các phương pháp điều khiển bắt công suất cực đại MPPT. Bài báo này trình bày kết quả so sánh mô phỏng và thực nghiệm bộ chuyển đổi DC/DC để kiểm tra khả năng hoạt động thực tế của các thuật toán so với lý thuyết.

Từ khóa - Hệ thống năng lượng mặt trời; bộ tăng áp; INC; P&O; MPPT.

Abstract - In recent years, solar energy is increasingly gained attention to be resesearched and developed in place of conventional fossil fuels. As an unlimited energy source, solar energy is a promising alternative resource due to the development of science and technology in the coming years. However, there are still some limitations of solar technology such as working efficiency and dependence on uncertainties like irradiation parameters and ambient temperature. Hence, electronic power converters need to be integrated with advanced control algorithms of maximum power point tracking (MPPT) to improve the efficiency of solar panel. This paper presents comparisons between experimental and simulation results of a DC/DC converter to verify the actual performance of the proposed algorithms.

Key words - Solar system; Boost Conveter; INC; P&O; MPPT.

1. Đặt vấn đề

Các nguồn điện truyền thống như nhiệt điện, thủy điện, điện hạt nhân, … đã và đang phải đối mặt với nhiều vấn đề khó khăn do cạn kiệt nguồn nhiên liệu hóa thạch [1], tác động tiêu cực đến môi trường. Điều này dẫn đến nguy cơ thiếu hụt nguồn năng lượng điện đáp ứng nhu cầu tiêu thụ của phụ tải ngày một tăng [2]. Do đó, việc quy hoạch và phát triển nhanh chóng các nguồn năng lượng điện gió và mặt trời là xu thế tất yếu không chỉ ở Việt Nam mà còn là xu hướng chung trên thế giới hiện nay [3-4].

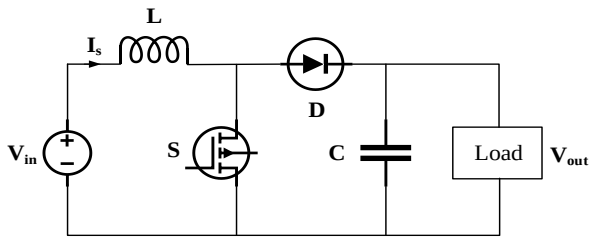
Một hệ thống điện năng lượng mặt trời cung cấp cho phụ tải điện một chiều (DC) về cơ bản bao gồm: các tấm pin quang điện (PV) chuyển đổi trực tiếp từ năng lượng của photon ánh sáng mặt trời thành điện năng; bộ chuyển đổi DC/DC và hệ thống ắc quy lưu trữ điện năng. Trong đó, bộ chuyển đổi DC/DC [5-6] đóng vai trò rất quan trọng vì nó vừa giúp tăng tính ổn định của hệ thống pin năng lượng mặt trời vừa nâng cao hiệu suất thu nhận năng lượng điện đầu ra của hệ thống. Do hiệu suất chuyển đổi của các tấm Pin mặt trời đã thương mại hóa phổ biến hiện nay chỉ khoảng 17% [7] nên việc nghiên cứu các bộ chuyển đổi DC/DC để nâng cao hiệu suất hệ thống pin năng lượng mặt trời đang được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu.

Để nâng cao hiệu suất làm việc của PV, ngoài sử dụng các linh kiện điện tử công suất tiết kiệm năng lượng thì một trong những phương pháp phổ biến hiện nay là tích hợp thuật toán bắt điểm công suất cực đại (MPPT) vào bộ chuyển đổi DC/DC. Đã có nhiều nghiên cứu đề cấp đến thuật toán MPPT nhưng đa phần thường dừng ở mức độ lý thuyết và mô phỏng [8-9] hoặc triển khai ứng dụng thực tế mới ở dạng đơn giản. Do đó, bài báo này sẽ trình bày nguyên lý và so sánh khả năng làm việc của các thuật toán bắt điểm công suất cực đại bằng phương pháp mô phỏng thông qua công cụ Matlab/Simulink và thực nghiệm với mạch chuyển đổi DC/DC thực tế.

2. Thiết kế và mô phỏng mạch tăng áp kết hợp thuật toán bắt điểm công suất cực đại

2.1. Thiết kế mạch tăng áp

Mô hình của bộ chuyển đổi tăng áp một chiều (BC-Boost Converter) là một phần trong cấu trúc của bộ DC/DC có tích hợp thuật toán MPPT. Bộ chuyển đổi BC (Hình 1) được cấp bởi một nguồn điện một chiều hoạt động dựa vào thời gian đóng-mở các van bán dẫn T_{on}, T_{off}.



Hình 1. *Sơ đồ nguyên lí mạch tăng áp BC [6]*

Ở trạng thái đóng của van bán dẫn S, mạch chỉ gồm nguồn V_{in}, cuộn cảm L, van bán dẫn S. Lúc này, dòng điện trong cuộn cảm L được tăng lên rất nhanh, dòng điện sẽ qua cuộn cảm tích lũy năng lượng tại đây rồi qua van bán dẫn. Cùng lúc này, tụ điện C đóng vai trò như một nguồn DC, phóng điện cung cấp cho tải. Sau đó, ở trạng thái mở của van bán dẫn, cuộn cảm xuất hiện điện áp V_L. Điện áp đầu vào V_{in} cùng với điện áp ở cuộn cảm V_L qua Diode cấp cho tải, đồng thời nạp cho tụ điện. Khi đó điện áp đầu ra sẽ lớn hơn điện áp đầu vào. Quá trình lặp lại tạo nên hoạt động của mạch tăng áp, điện áp đầu ra V_{out} phụ thuộc vào hệ số

đóng-mở D của van bán dẫn [5]. Hệ số đóng mở của van bán dẫn D được tính theo công thức sau [5-6]:

$$D = \frac{T_{on}}{T} \quad (1)$$

Với $T = T_{on} + T_{off}$ là chu kỳ đóng mở của van bán dẫn.

Điện áp đầu ra phía phụ tải V_{out} được tính theo công thức sau [6]:

$$V_{out} = V_{in}.D \quad (2)$$

Trong đó: V_{in} là điện áp đầu vào của mạch BC. Thông số các phần tử mạch BC được tính chọn theo các điều kiện đầu vào như sau: giới hạn điện áp đầu vào lớn nhất và nhỏ nhất $V_{in\text{-}min}$, $V_{in\text{-}Max}$, điện áp đầu ra phía tải định mức V_{out}, dòng điện tải cực đại I_{out}, tần số chuyển đổi f_s, độ dao động điện áp ΔV_{out} và dòng điện ΔI_L.

Dựa vào các điều kiện ở trên, điện cảm của cuộn dây L và điện dung của tụ điện C được tính toán bởi các công thức sau [7], [15-16]:

$$L \geq \frac{V_{out} - V_{in}}{\Delta I_L.f_s} \quad (3)$$

$$C \geq \frac{I_{out-Max}.D}{\Delta V_{out}.f_s} \quad (4)$$

Trong đó: ΔI_L là mức độ dao động của dòng điện qua cuộn cảm, thường được chọn gần bằng (20% ÷ 40%) dòng điện tải; f_s là tần số làm việc (tần số đóng-mở) của van bán dẫn; ΔV_{out} là mức độ dao động của điện áp đầu ra.

Van bán dẫn S được lựa chọn theo giá trị điện áp cực đại và dòng điện cực đại đi qua van. Dòng điện cực đại qua van được xác đinh bởi công thức sau [7]:

$$I_{S-Max} = \frac{\Delta I_L}{2} + \frac{I_{out-Max}}{1-D} \quad (5)$$

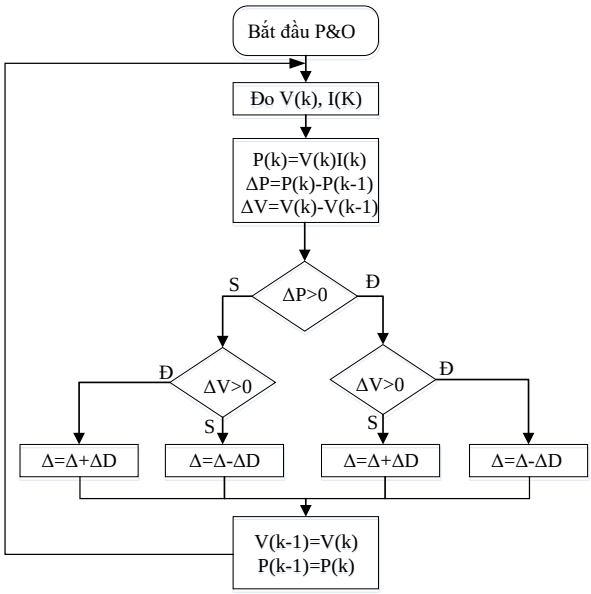
Tuy nhiên, với các thông số tính toán ở trên mới chỉ là điều kiện giới hạn để lựa chọn giá trị của các phần tử trong mạch điện mà chưa phải là điều kiện chuẩn để mạch hoạt động tốt nhất. Vì các bức xạ mặt trời và nhiệt độ môi trường luôn thay đổi sẽ làm cho thông số dòng điện và điện áp đầu vào của mạch điện biến đổi theo nên để đầu ra luôn thu được giá trị công suất lớn nhất thì bắt buộc phải sử dụng các thuật toán dò tìm kết hợp với mạch điện phần cứng.

2.2. Thuật toán bắt điểm công suất cực đại - MPPT

Thuật toán bắt điểm công suất cực đại MPPT (Maximum Power Point Tracking) là phương pháp dò tìm các điểm làm việc tối ưu của hệ thống PV thông qua việc đóng mở các van của các linh kiện bán dẫn trong các bộ chuyển đổi theo thời gian từ đó thu nhận được giá trị công suất lớn nhất ở đầu ra của hệ thống. Điểm làm việc với công suất tối ưu được gọi là điểm công suất cực đại MPP (Maximum Power Point).

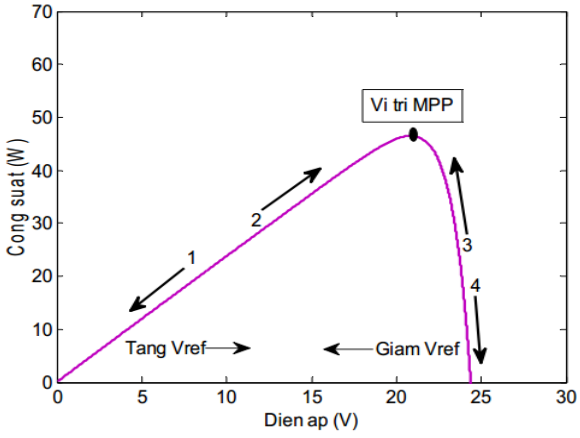
Hai phương pháp dò tìm điểm công suất cực đại phổ biến nhất là phương pháp nhiễu loạn và quan sát P&O (Perturb and Observe) và phương pháp điện dẫn gia tăng INC (Incremental Conductance) [9], [11-12].

a. Thuật toán Nhiễu loạn và quan sát (Perturb and Observe – P&O)



Hình 2. *Lưu đồ thuật toán P&O [9]*

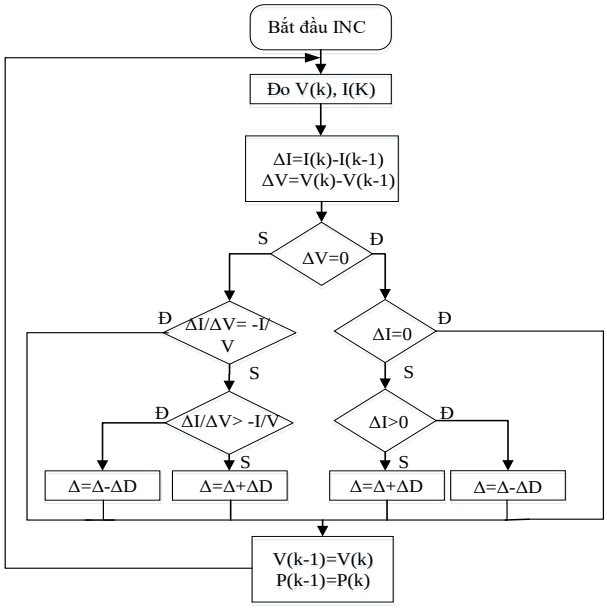
P&O là một phương pháp tương đối đơn giản và được sử dụng thông dụng nhất. Thuật toán này xem xét sự tăng, giảm điện áp theo chu kỳ để tìm được điểm làm việc có công suất lớn nhất. Nếu sự biến thiên của điện áp làm công suất tăng lên thì sự biến thiên tiếp theo sẽ giữ nguyên chiều hướng tăng hoặc giảm. Ngược lại, nếu sự biến thiên làm công suất giảm xuống thì sự biến thiên tiếp theo sẽ có chiều hướng thay đổi ngược lại. Khi điểm làm việc có công suất lớn nhất được xác định trên đường cong đặc tính P-V thì sự biến thiên điện áp sẽ dao động xung quanh điểm làm việc có công suất lớn nhất đó (điểm MPP) [11].



Hình 3. *Đường đặc tính PV và thuật toán P&O*

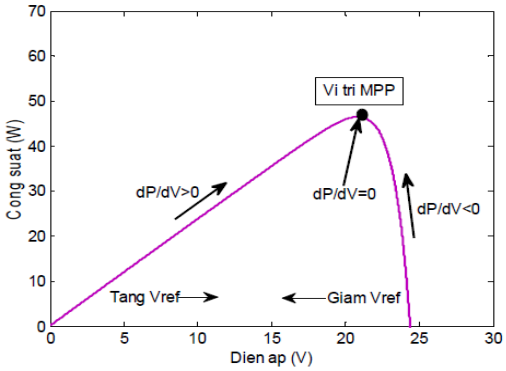
b. Thuật toán điện dẫn gia tăng INC

Thuật toán INC sử dụng tổng điện dẫn gia tăng của dãy pin mặt trời để dò tìm điểm công suất tối ưu được trình bày ở Hình 4 và Hình 5. Phương pháp này cơ bản dựa trên đặc điểm là: độ dốc của đường đặc tính pin bằng 0 tại điểm MPPT, độ dốc này là dương khi ở bên trái điểm MPP, là âm khi ở bên phải điểm MPP. Bằng cách so sánh giá trị điện dẫn tức thời (I/V) với giá trị điện dẫn gia tăng (ΔI/ΔV), để tìm được điểm làm việc có công suất lớn nhất.



Hình 4. *Lưu đồ thuật toán INC [9], [12]*

Tại điểm MPP, điện áp chuẩn $V_{ref} = V_{MPP}$. Thuật toán này có ưu điểm cho kết quả tốt trong trường hợp giá trị điện dẫn gia tăng lớn tương ứng ở điều kiện thời tiết thay đổi đột ngột.



Hình 5. *Đường đặc tính PV và thuật toán INC*

3. Mô phỏng mạch tăng áp kết hợp thuật toán MPPT

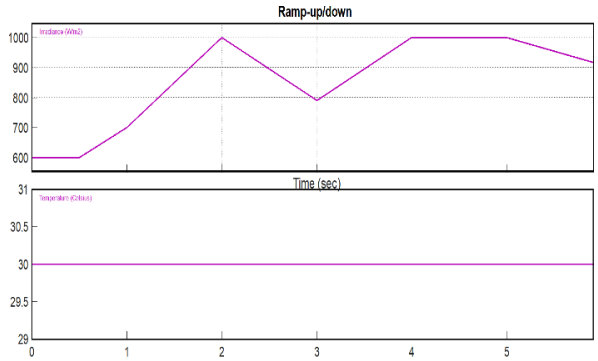
Mạch tăng áp kết hợp thuật toán MPPT được mô phỏng trên công cụ Matlab/Simulink với giả thiết mạch hoạt động ở tần số f_s= 95 kHz [10]. Dựa vào các công thức từ (1) đến (5) tính chọn các phần tử ở mục 2.1 và qua quá trình mô phỏng thử nghiệm ở các điều kiện khác nhau, nhóm tác giả đã chọn các thông số phù hợp là L = 0.1mH và C = 100 µF.

Đầu vào của mạch mô phỏng là mô hình pin năng lượng mặt trời có nhiệt độ và bức xạ mặt trời có thể thay đổi được, đảm bảo kết quả mô phỏng sát với thực tế. Trong quá trình mô phỏng so sánh giữa hai thuật toán P&O và INC, chúng ta giả thiết rằng nhiệt độ môi trường không đổi, chỉ thay đổi cường độ bức xạ (CĐBX) mặt trời (Hình 6). Các kết quả mô phỏng thu nhận được ứng ở các kịch bản sau:

- Nhiệt độ môi trường và cường độ bức xạ mặt trời không đổi.

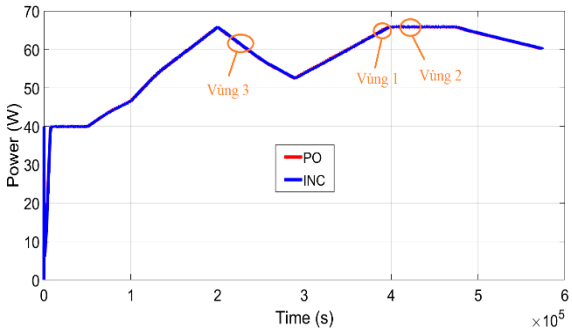
- Nhiệt độ môi trường không đổi và cường độ bức xạ mặt trời tăng.

- Nhiệt độ môi trường không đổi và cường độ bức xạ mặt trời giảm.

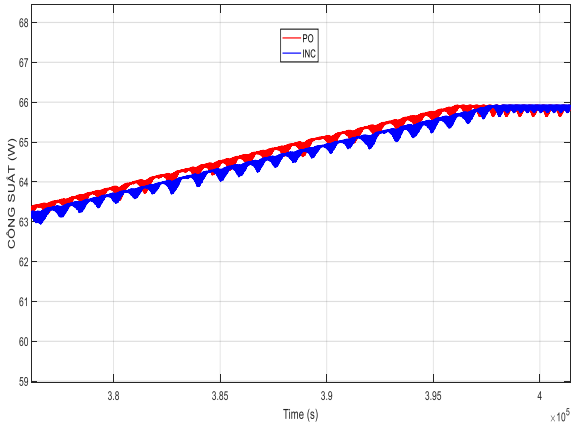


Hình 6. *Biểu đồ thể hiện sự thay đổi của bức xạ mặt trời và nhiệt độ môi trường.*

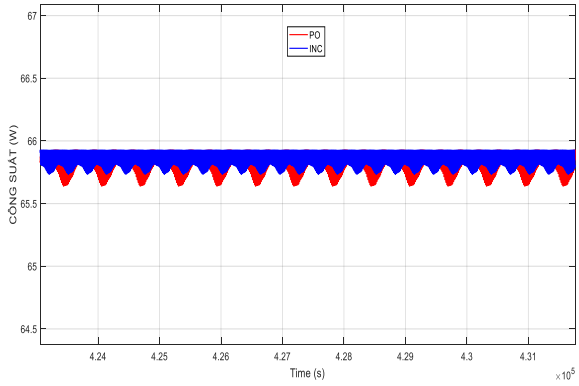
Các kết quả mô phỏng được thể hiện trong các hình sau:



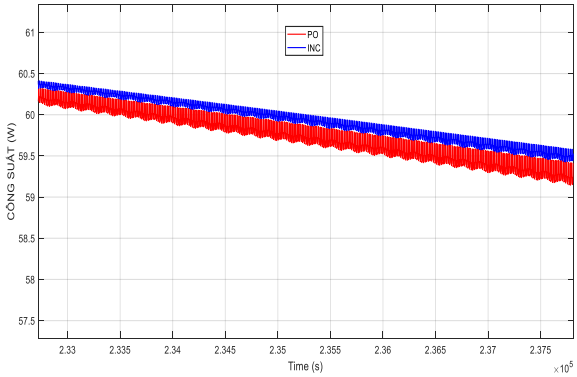
Hình 7. *Công suất ra của tấm pin ứng với hai thuật toán P&O và INC*



Hình 8. *Công suất ra của tấm pin ứng với hai thuật toán P&O và INC khi CĐBX tăng (Vùng 1* ***Hình 7)***



Hình 9. *Công suất ra của tấm pin ứng với hai thuật toán P&O và INC khi CĐBX không đổi (Vùng 2 Hình 7)*



Hình 10. *Công suất ra của tấm pin ứng với 2 thuật toán P&O và INC khi CĐBX giảm (Vùng 3)*

Từ các kết quả mô phỏng ở trên cho thấy khi cường độ bức xạ tăng, thuật toán P&O bắt điểm công suất cực đại nhanh hơn thuật toán INC (Hình 8), đồng thời tốc độ bắt điểm MPP và khả năng ổn định của thuật toán P&O cũng tốt hơn. Khi cường độ bức xạ không đổi (Hình 9) và cường độ bức xạ giảm (Hình 10), công suất của thuật toán INC dao động ít hơn hẳn so với thuật toán P&O, bám sát điểm MPP.

4. Lắp đặt mạch tăng áp BC tích hợp MPPT và kiểm tra thực tế

4.1. Mạch tăng áp BC tích hợp thuật toán MPPT

Mạch tăng áp BC thực tế (Hình 11) được thiết kế và lắp đặt dựa trên mô hình mô phỏng ở mục 3. Tất cả thông số các phần tử được lựa chọn như đã tính toán và mô phỏng để đảm bảo tính thực tiễn và chính xác.

Hình 11. *Mạch lắp đặt thực tế*

a. Mạch động lực

Mạch động lực sử dụng hai MOSFET IRF250N [13] có tần số đóng cắt lên đến 7.6 MHz, chịu được dòng cực đại 30A và điện áp 200 V. Hai MOSFET được nối song song dùng để đóng mở trong hai nửa chu kì xung từ mạch điều khiển đảm bảo độ chính xác cũng như giảm tổn hao trên van bán dẫn. MOSFET và Diode được gắn nhôm tản nhiệt để tránh tình trạng phát nóng khi làm việc với dòng điện lớn. Giá trị của cuộn cảm và tụ được lắp đặt như mô phỏng tương ứng L = 0.1mH và C = 100 µF.

Ngoài các phần tử chính, mạch động lực còn có các module đo dòng điện ACS712 [14] và cầu phân áp phản hồi giá trị điện áp, dòng điện để đo lường so sánh phục vụ cho việc tính toán các thông số vào-ra của mạch điều khiển.

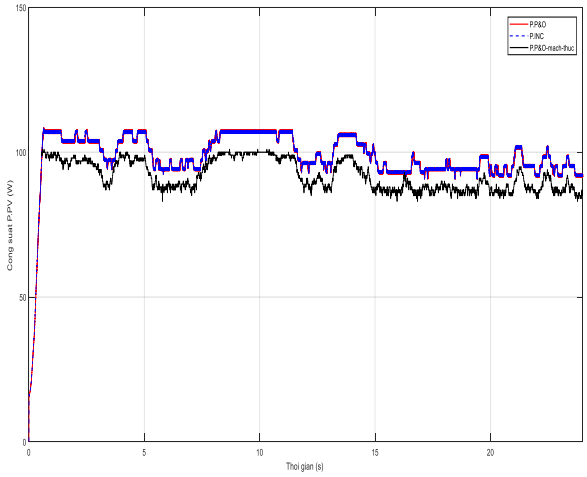
b. Mạch điều khiển

Hình 12. *Vi xử lí Arduino Nano*

Mạch điều khiển sử dụng bo mạch xử lý Arduino Nano được thiết kế nhỏ gọn, dễ dàng lắp đặt, tổn hao thấp. Thuật toán xử lý được lập trình trên máy tính và nạp vào Arduino Nano dưới dạng Code khá dễ dàng và thuận lợi.

Các tín hiệu đo lường điện áp và dòng điện được phản hồi từ các mô đun đo lường ở mạch động lực về Arduino để xử lí. Arduino sau khi thực hiện tính toán các vòng lặp sẽ đưa ra góc mở D phù hợp dưới dạng tín hiệu số với độ phân giải 12 bit. IC MCP4921 có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu số sang tín hiệu tương tự (Digital – Analog Converter) và truyền đến IC tạo xung SG3525 để tạo ra xung PWM điều khiển các MOSFET. Nguồn điện cung cấp cho Arduino và các IC được lấy từ pin mặt trời thông qua hai mô đun ổn áp nguồn LM2596S, tạo ra điện áp 12 V cho SG3525 và 5V cho Arduino, MCP4921. Màn hình LCD kích thước 20x4 dùng để hiển thị các giá trị điện áp và công suất đầu ra của hệ thống PV và đầu vào phía phụ tải, giúp chúng ta có thể quan sát trực quan được các đáp ứng vào-ra của mạch tăng áp BC, từ đó kịp thời kiểm soát và điều chỉnh khi mạch có sự cố hoặc mất ổn định.

4.2. Kết quả thực nghiệm



Hình 13. *Kết quả công suất PV đo thực nghiệm so với mô phỏng trên Matlab/ Simulink*

Từ các kết quả thực nghiệm thu được cho thấy, cả hai thuật toán INC và P&O đều cho khả năng tìm được điểm MPP khá tốt. Tuy nhiên, phương pháp INC cho kết quả tốt hơn khi cho thấy mức độ dao động công suất ít hơn so với P&O như Hình 13. Để đạt được kết quả tốt hơn đó, trong giải thuật INC có khả năng điều khiển góc mở các van bán dẫn nhanh hơn (đáp ứng góc mở D của INC thay đổi nhiều hơn như Hình 12) dẫn đến công suất đầu ra bộ chuyển đổi khi tích hợp thuật toán INC tốt hơn so với P&O.

5. Kết luận

Từ các kết quả thu nhận được qua mô phỏng trên công cụ Matlab/Simulink và thực nghiệm thực tế cho thấy cả hai thuật toán INC và P&O đều có khả năng dò tìm được điểm công suất cực đại. Trong mỗi điều kiện thời tiết khác nhau, các thuật toán trên đều thể hiện những ưu điểm riêng biệt của mình tương ứng với các biến đổi của bức xạ mặt trời và nhiệt độ môi trường khác nhau. Tuy nhiên, nếu xét về mặt tổng thể cho thấy ở bất kì điều kiện so sánh nào cũng có thể kết luận rằng thuật toán INC cho giá công suất đầu ra của hệ thống PV ổn định hơn, mức độ dao động thấp hơn so với thuật toán P&O.

Lời cám ơn: Xin chân thành cám ơn sự hỗ trợ từ đề tài khoa học mã số: T2018-02-01, trường Đại học Bách Khoa – Đại học Đà Nẵng và đề tài khoa học công nghệ cấp TP Đà Nẵng năm 2018 đợt 2 đã tạo điều kiện giúp nhóm tác giả hoàn thành bài nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] VTV B. D. T., "Năng lượng hóa thạch ngày càng cạn kiệt," *BAO DIEN TU VTV*, 04-Jun-2017. [Online]. Available: https://vtv.vn/news-20170604150804705.htm.

[2] "Điện mặt trời - Việt Nam đối mặt với nguy cơ thiếu hụt nghiêm trọng năng lượng trong tương lai gần." [Online]. Available: http://samtrix.vn/chi-tiet-tin/117/433/viet-nam-doi-mat-voi-nguy-co-thieu-hut-nghiem-trong-nang-luong-trong-tuong-lai-gan.html.

[3] L. Ou-Yang and Y. Ren, "The Development of Wind-Solar Energy Systems in China," in *2009 International Conference on Energy and Environment Technology*, 2009, vol. 3, pp. 626–627.

[4] Minh Quan Duong, Ngoc Thien Nam Tran, Gabriela Nicoleta Sava, Mircea Scripcariu (2017), "The Impacts of Distributed Generation Penetration into the Power System", 2017 International Conference on Electromechanical and Power Systems (SIELMEN), pp.295-301.

[5] Minh Quan Duong, Van Tan Nguyen, Gabriela Nicoleta Sava, Mircea Scripcariu, Marco Mussetta, "Design and simulation of PI-type control for the Buck Boost converter", 2017 International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT (CIEM), 2017, pp. 79-82

[6] M. Q. Duong, H. H. Nguyen, T. H. D. Nguyen, T. T. Nguyen, and G. N. Sava, "Effect of component design on the DC/DC power converters dynamics", 2017 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), 2017, pp. 617–620.

[7] Minh Quan Duong, Hien Tran, Chowdhury Akram Hossain, "Influence of elemental parameter in the boost and the buck converter", 2017 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC), 2017, pp. 528-531

[8] "2018 Most Efficient Solar Panels on the Market | EnergySage," *Solar News*, 02-Jun-2018..

[9] A. Reza Reisi, M. Hassan Moradi, and S. Jamasb, "Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 19, Mar. 2013., pp. 433–443.

[10] Jangwoo Park*, Hong-geun Kim, Yongyun Cho, Changsun Shin, "Simple Modeling and Simulation of Photovoltaic Panels Using Matlab/Simulink," *Adv. Sci. Technol. Lett.*, vol. 73, 2014, pp. 147–155.

[11] A. Dolara, "Energy comparison of seven MPPT techniques for PV systems," *J. Electromagn. Anal. Appl.*, vol. 01, Jan. 2009, pp. 152–162.

[12] C. Hua and C. Shen, "Comparative study of peak power tracking techniques for solar storage system," in *APEC '98 Thirteenth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition*, 1998, vol. 2, pp. 679–685.

[13] H.-L. Tsai, C.-S. Tu, and Y.-J. Su, "Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB / SIMULINK." [Online]. Available: /paper/Development-of-Generalized-Photovoltaic-Model-Using-Tsai Tu/2fddc5cdada7b44a598b3a4a76de52825350d5d.

[14] IR WORLD HEADQUARTERS, "Data and specifications subject to change without notice IRFP250NPbF." IR WORLD HEADQUARTERS.

[15] Phạm Quốc Hải, "Hướng dẫn thiết kế Điện tử Công suất", Nhà xuất bản Khoa học Kĩ thuật - Hà Nội, 2009.

[16] Trần Trọng Vũ, Huỳnh Minh Phương, "Thiết kế điều khiển cho các bộ biến đổi điện tử công suất", Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, 2014, trang 57-59.

(BBT nhận bài: 05/10/2018, hoàn tất thủ tục phản biện: 19/10/2018)