

ỨNG DỤNG BỘ BIẾN ĐỔI TĂNG ÁP DC-DC TRONG PHÁT TRIỂN BỘ MÔ PHÒNG PIN MẶT TRỜI TRONG PHÒNG THÍ NGHIỆM

Vũ Hoàng Giang^{1*}, Dương Chính Cường²

¹Trường Đại học Điện lực

²Trường Đại học Công nghệ thông tin và truyền thông – ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Đặc tính công suất của pin mặt trời (PV) phụ thuộc vào thông số chính là cường độ bức xạ của ánh sáng mặt trời, đây là yếu tố ngẫu nhiên phụ thuộc vào điều kiện địa lý và khí hậu. Nghiên cứu liên quan đến PV đòi hỏi kiểm chứng hoạt động của nó trong các điều kiện khác nhau. Để đáp ứng được yêu cầu đó, việc phát triển các bộ mô phỏng PV thu hút nhiều sự chú ý, đặc biệt là trong các phòng thí nghiệm. Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu phát ứng dụng bộ biến đổi tăng áp DC-DC (boost converter) trong mô phỏng PV dựa vào mô hình lý thuyết của pin. Điện áp đầu ra của bộ biến đổi được điều khiển phù hợp để thay đổi công suất đầu ra. Kết quả mô phỏng trên phần mềm Malab/ Simulink cho kết quả đáp ứng điện áp nhanh theo yêu cầu đầu vào mang tính ngẫu nhiên xác nhận hoạt động của bộ mô phỏng.

Từ khóa: bộ biến đổi tăng áp DC-DC, cường độ bức xạ, pin mặt trời, Malab/ Simulink

GIỚI THIỆU

Năng lượng mặt trời đang được xem là một trong các dạng năng lượng có thể thay thế khả thi cho nguồn năng lượng hóa thạch trong lĩnh vực phát điện. Thực tế sự phát triển của công nghệ phát điện dựa trên dạng năng lượng này đã trở lên khá phổ biến trên toàn thế giới, thể hiện ở sự gia tăng về số lượng và công suất của các nguồn phát điện bằng năng lượng mặt trời. Năm 2016, tổng công suất lắp đặt mới của nguồn phát điện bằng pin mặt trời là hơn 75GW [1], [2], và tổng công suất lắp đặt vượt quá giá trị 302GW trên toàn thế giới.

Trong lĩnh vực nghiên cứu về pin mặt trời, nhiều thí nghiệm khác nhau cần được tiến hành để kiểm chứng hoạt động của pin và quá trình điều khiển của chúng như: Thí nghiệm phát công suất lớn nhất (MPPT); Thí nghiệm điều khiển bộ biến đổi đầu ra trong các điều kiện làm việc khác nhau; Phân tích và so sánh tấm pin mặt trời và mô hình vật lý; Thí nghiệm điều khiển bộ nạp tự động; Thí nghiệm điều khiển lưới điện thông minh; Phân tích hoạt động của các tấm pin khác nhau trong các điều kiện địa lý khác nhau trong các khoảng thời gian, mùa khác nhau.

Trước yêu cầu kể trên, việc phát triển các bộ mô phỏng đã và đang thu hút được nhiều sự

chú ý trong công nghiệp và trong trong nghiên cứu lý thuyết và ứng dụng trong phòng thí nghiệm. Các bộ mô phỏng công nghiệp như Ecosense [3], SAS12010 Aplab [4], Bộ mô phỏng 62000H-S của Chroma [5] đều được phát triển nhằm đáp ứng nhu cầu thí nghiệm pin mặt trời vừa đề cập với đáp ứng nhanh và dải điều chỉnh rộng. Gần đây, nhiều nghiên cứu phát triển bộ mô phỏng PV đã được công bố, ví dụ xem [6], [7], [8], [9], [10]. Bộ mô phỏng thường là tổ hợp của các phần tử điện tử công suất với các bộ biến đổi thường gặp như bộ biến đổi tăng áp (boost), giảm áp (buck), đảo áp (buck-boost) hay hỗn hợp (SEPIC - single-ended primary-inductor converter).

Trong lý thuyết kỹ thuật điện, pin mặt trời được xem như là một mạng một cửa ở đó chỉ các thông tin trên cửa được quan tâm. Đây là cơ sở để phát triển bộ mô phỏng PV với yêu cầu quan trọng là có đặc tính đầu ra tương tự như các tấm pin mặt trời thực tế. Ưu điểm chính của bộ mô phỏng là có thể thay thế các tấm pin mặt trời thực tế trong nghiên cứu học tập về lĩnh vực liên quan và vượt qua được hạn chế của hệ thống thí nghiệm với pin mặt trời thực bao gồm: Giá trị cường độ bức xạ mặt trời không phải luôn sẵn có ở mọi thời điểm; Cường độ bức xạ mặt trời phụ thuộc

* Tel: 0912 449908, Email: giangvh@epu.edu.vn

hiều vào điều kiện thời tiết; Thí nghiệm ngoài trời gặp nhiều khó khăn và khó lặp lại thí nghiệm với cùng điều kiện khí hậu; Chi phí trang bị và lắp đặt hệ thống pin mặt trời thực.

Bài báo giới thiệu kết quả ứng dụng bộ biến đổi tăng áp DC-DC vào phát triển bộ mô phỏng cho pin mặt trời. Bộ biến đổi được kết hợp với nguồn điện áp để tạo ra nguồn dòng điện tương đương có thể điều khiển được với đáp ứng nhanh.

Sau phần giới thiệu chung, bài báo được bố cục như sau. Mục 2 giới thiệu mô hình của pin mặt trời. Tiếp theo, mô hình của bộ biến đổi DC-DC tăng áp và hệ thống điều khiển được giới thiệu trong mục 3. Mục 4 trình bày kết quả mô phỏng và thảo luận. Cuối cùng, các kết luận được đưa ra trong mục 5.

MÔ HÌNH PIN MẶT TRỜI

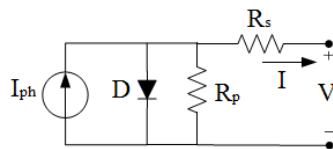
Quan hệ đặc tính V-A của của PV được biểu diễn bởi phương trình sau [1], [2]:

$$I = I_{ph} - I_s \left[e^{q(V+IR_s)/(kT_cA)} - 1 \right] - (V + IR_s) / R_p \tag{1}$$

trong đó: I_{ph} là dòng quang điện, được tính theo biểu thức [1]:

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_I (T_C - T_{ref})] \lambda \tag{2}$$

với I_{sc} là dòng điện ngắn mạch ở nhiệt độ bằng $T_C = 25^{\circ}C$ và cường độ bức xạ $\lambda = 1kW/m^2$; K_I là hệ số nhiệt của PV; T_{ref} là nhiệt độ làm việc tiêu chuẩn; T_C là nhiệt độ làm việc; và λ là cường độ bức xạ. Mô hình tổng quát của pin mặt trời được thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. Mô hình tổng quát của pin mặt trời [11], [12]

I_s là dòng điện bão hòa của tế bào quang điện, được xác định như sau [1]:

$$I_s = I_{rs} (T_C / T_{ref})^3 e^{[qE_G (1/T_{ref} - 1/T_C) / (kA)]} \tag{3}$$

trong đó I_{rs} là dòng bão hòa ngược của PV tại nhiệt độ và cường độ bức xạ chuẩn; E_G là

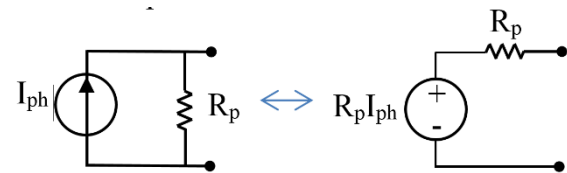
năng lượng vùng cấm (bang-gap) của chất bán dẫn sử dụng trong PV.

q là điện tích của một electron, $q = 1,6.10^{-19}C$, k là hằng số Boltzmann, $k = 1,38 \times 10^{-23}J/K$; T_C là nhiệt độ làm việc của PV; A là hằng số lý tưởng; R_p là điện trở song song; R_s là điện trở nối tiếp trong sơ đồ tương đương của PV cho trong Hình 1.

MÔ HÌNH BỘ BIẾN ĐỔI TĂNG ÁP VÀ ĐIỀU KHIỂN

Cơ sở của việc sử dụng bộ biến đổi tăng áp

Bộ mô phỏng được xây dựng dựa trên mô hình tổng quát của pin mặt trời ở Hình 1. Ngoài phần tử nguồn dòng điện I_{ph} , các phần tử còn lại đều có thể dễ dàng lựa chọn với chi phí thấp. Tuy nhiên qua khảo sát thực tế, việc chế tạo nguồn dòng điện rất phức tạp và đòi hỏi chi phí cao. Trên cơ sở lý thuyết mạch điện, phần tử nguồn dòng và điện trở R_p có thể thay thế bằng một nguồn điện áp nối tiếp với một điện trở như được thể hiện trên Hình 2.



Hình 2. Biến đổi tương đương nguồn dòng điện sang nguồn điện áp

Như vậy vấn đề trở thành cần tạo ra nguồn điện áp v có thể điều chỉnh được với đáp ứng nhanh theo điện áp yêu cầu: $v_{ref} = R_p I_{ph}$, trong đó dòng quang điện I_{ph} thay đổi khi cường độ bức xạ biến thiên, thông qua biểu thức (2). Các nguồn điện áp thường có sẵn trong các phòng thí nghiệm hoặc có thể tạo ra với các bộ chỉnh lưu Diode quen thuộc. Với các nhận xét kể trên, bộ biến đổi tăng áp DC-DC là một trong các lựa chọn phù hợp ở đó điện áp đầu ra có thể điều chỉnh với thuật toán khá đơn giản để có được điện áp $R_p \cdot I_{ph}$ biến thiên theo đặc tính của PV.

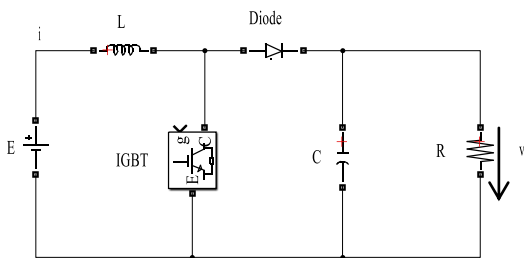
Mô hình bộ biến đổi tăng áp DC-DC và điều khiển

Mô hình động song tuyến tính (bilinear) của bộ biến đổi trên Hình 3 được biểu diễn bởi hệ phương trình sau:

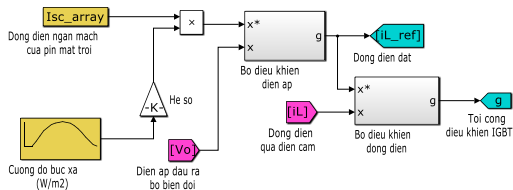
$$L \frac{di}{dt} = -(1-u)v + E$$

$$C \frac{dv}{dt} = (1-u)i - \frac{v}{R}$$
(4)

trong đó $u = 1$ khi IGBT dẫn dòng (Diode khóa), $u = 0$ khi IGBT khóa (Diode dẫn dòng); E : điện áp của nguồn vào; điện cảm L , điện dung C và điện trở R là các thông số của mạch; i : dòng điện qua L ; và v : điện áp trên tụ điện C . Hình 3 thể hiện bộ biến đổi tăng áp DC-DC sử dụng IGBT.



Hình 3. Bộ biến đổi tăng áp DC-DC sử dụng IGBT



Hình 4. Mô hình mô phỏng của bộ điều khiển

Tiếp theo, bộ điều khiển cho bộ biến đổi được thiết kế với hai vòng điều khiển như trên Hình 4.

- Vòng ngoài điều chỉnh điện áp trên điện dung đầu ra sử dụng bộ điều khiển tích phân-tỷ lệ (PI). Thông số của bộ điều khiển (K_p, K_i) được tính toán theo phương pháp Ziegler-Nichols và thu được giá trị cho trong phụ lục;
- Vòng trong điều chỉnh dòng điện qua điện cảm sử dụng bộ điều khiển dòng điện bằng phương pháp gián tiếp dựa trên hàm tọa độ mặt trượt [13], [14], đó là hàm số mà với giá trị đặt bằng 0 sẽ thu được giá trị mong muốn tại điểm cân bằng của dòng điện chạy qua điện cảm tương ứng với giá trị mong muốn tại điểm cân bằng của điện áp trên điện dung như sau:

$$X_1 = \frac{1}{Q} X_2^2$$
(5)

với $Q = R\sqrt{C/L}$; X_1 và X_2 là giá trị tại điểm cân bằng tương ứng của các biến $x_1 = 1/E\sqrt{L/C}i$ và $x_2 = v/E$.

Chọn hàm $h(x) = x_1 - X_1$ và hàm Lyapunov $V(x_2) = 0,5.(x_2 - X_2)^2$ cho phép thu được bề mặt trượt thông qua luật điều khiển sau, [15]:

$$u = 1 \text{ nếu } (x_1 - X_1) > 0$$

$$u = 0 \text{ nếu } (x_1 - X_1) < 0$$
(6)

hay

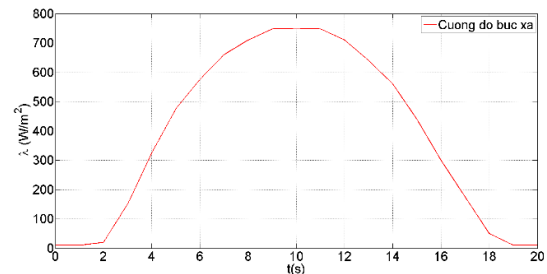
$$u = 0,5.[1 + \text{sign}(i - I_{ref})]$$
(7)

với I_{ref} là dòng điện yêu cầu, là tín hiệu đầu ra của bộ điều khiển điện áp.

MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

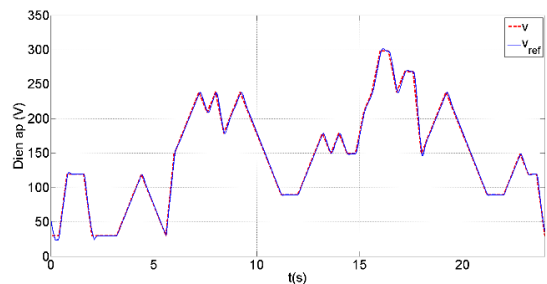
Bộ biến đổi được mô phỏng sử dụng các khối sẵn có trong thư viện của Malab/Simulink với thông số cho trong Phụ lục.

Để minh họa cho trường hợp thực tế, mô phỏng được thực hiện tương ứng với cường độ bức xạ của thành phố Lyon, cộng hòa Pháp [16], có dạng như trên Hình 5.



Hình 5. Cường độ bức của thành phố Lyon-Cộng hòa Pháp

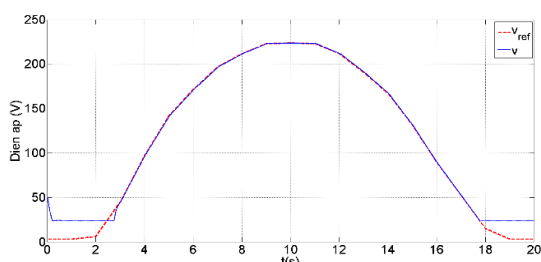
Hình 6 thể hiện kết quả mô phỏng điều khiển điện áp theo giá trị $v_{ref} = R_p.I_{ph}$ (đường nét đứt), với I_{ph} được tính toán dựa vào công thức (2) ở điều kiện làm việc tiêu chuẩn.



Hình 6. Kết quả mô phỏng điều khiển điện áp đầu ra của bộ biến đổi tăng áp

Khối điều khiển được xây dựng dựa vào phương trình (7), trong đó điện áp yêu cầu có dạng ngẫu nhiên. Kết quả mô phỏng trên Hình 6 cho thấy điện áp có thể điều chỉnh với đáp ứng nhanh theo điện áp yêu cầu đầu vào.

Theo công thức (2), dòng điện I_{ph} là hàm số của cường độ bức xạ T và cường độ bức xạ λ . Do đó nguồn điện áp tương đương (điện áp đầu ra của bộ biến đổi) cũng cần có quan hệ phụ thuộc vào các thông số này theo quy luật tương tự và bằng $R \cdot I_{ph}$. Trong mô phỏng thời gian 1s tương ứng với 1 giờ ở ngoài thực tế và các thông số T và λ là các thông số đầu vào có thể thay đổi được để mô phỏng điều kiện làm việc khác nhau của PV. Hình 7 thể hiện kết quả mô phỏng điện áp đầu ra của bộ biến đổi tương ứng với cường độ bức xạ ở thành phố Lyon.



Hình 7. Kết quả mô phỏng điện áp đầu ra của bộ biến đổi tương ứng với cường độ bức xạ ở thành phố Lyon

Kết quả điện áp đầu ra đã phản ánh được đặc tính của pin mặt trời thực tế. Thực hiện mô phỏng với các loại pin khác nhau cho thấy để điện áp đầu ra của bộ biến đổi phù hợp với I_{ph} của PV thì điện áp đặt đầu vào cần hiệu chỉnh bằng $v_{ref} = k_{hc} \cdot R \cdot I_{ph}$ với $k_{hc} \approx 0,05$ trong nghiên cứu này.

KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một ứng dụng của bộ biến đổi tăng áp DC-DC để xây dựng bộ mô phỏng pin mặt trời. Điều khiển điện áp đầu ra với đáp ứng nhanh cho phép mô phỏng hoạt động của nhiều loại pin mặt trời với đặc tính đa dạng, làm việc trong các điều kiện cường độ bức xạ và nhiệt độ khác nhau.

Kết quả phân tích hệ thống, điều khiển bộ biến đổi, và mô phỏng trên phần mềm

Matlab/Simulink là cơ sở quan trọng để thực hiện xây dựng mô hình thực tại phòng thí nghiệm. Từ đó có thể sử dụng bộ mô phỏng trong nghiên cứu các vấn đề kỹ thuật liên quan đến hệ thống phát điện bằng năng lượng mặt trời.

PHỤ LỤC

Thông số của bộ điều khiển PI:

$$K_p = 0,5; K_i = 10;$$

Thông số của bộ biến đổi để mô phỏng:

| Thông số | R(Ω) | L(mH) | C(μ F) | E(V) |
|----------|---------------|-------|-------------|------|
| Giá trị | 52 | 5 | 5000 | 24 |

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. A. Jäger-Waldau (2017), "Snapshot of Photovoltaics," *Sustainability*, Vol. 9, no. 5, p. 783.
2. I. PVPS (2016), *Snapshot of Global Photovoltaic Markets*, EA Photovoltaic Power Systems Programme Report T1-29.
3. [Online]. Available: <http://www.ecosenseworld.com/labs/solar-pv-labs/solar-pv-emulator>.
4. [Online]. Available: <http://solarandwindproducts.com/pv-panel-solar-array-simulator-sas12010/>.
5. [Online]. Available: http://www.chromaate.com/product/62150H-600S_1000S_Solar_Array_Simulator.htm.
6. Y. Erkaya, P. Moses, I. Flory and S. Marsillac, "Development of a solar photovoltaic module emulator," in *IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference*, 2015.
7. H. Abidi, A. Abdelghani and D. Montesinos-Miracle (2012), "MPPT algorithm and photovoltaic array emulator using DC/DC converters," in *16th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*.
8. R. González Medina, I. Patrao, G. Garcerá and E. Figueres (2014), "A low cost photovoltaic emulator for static and dynamic evaluation of photovoltaic power converters and facilities," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 22, no. 2, pp. 227-241.
9. R. Ayop and C. Tan (2017), "An Adaptive Controller for Photovoltaic Emulator using Artificial Neural Network", *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 5, no. 3, pp. 556-563.

10. A. Rachid, F. Kerrou, R. Chenni and H. Djeghloud (2016), "PV emulator based buck converter using dSPACE controller," in *16th International Conference on Environment and Electrical Engineering*.
11. H.-L. Tsai, C.-S. Tu and Y.-J. Su (2008), "Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK," in *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2008, San Francisco, USA*.
12. S. R. Wenhham, M. A. Green and M. E. W. a. R. Corkish (2012), *Applied photovoltaics*, Routledge.
13. H. Sira-Ramírez (2003), "On the generalized PI sliding mode control of D -to-DC power converters: a tutorial," *International journal of control*, vol. 76, no. 9-10, pp. 1018-1033.
14. H. Sira-Ramirez and M. Rios-Bolivar (1994), "Sliding mode control of dc-to-dc power converters via extended linearization," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 41, no. 10, pp. 652-661.
15. H. Sira-Ramirez and R. Silva-Ortigoza (2006), *Control Design Techniques in Power Electronics Devices*, Springer-Verlag London.
16. M. Ahmad and G. Tiwari (2008), "Study of models for predicting the mean hourly global radiation from daily summations," *Open Environmental Journal*, vol. 2, pp. 6-14.

SUMMARY

APPLICATION OF DC-DC BOOST CONVERTER TO THE DEVELOPMENT OF PHOTOVOLTAIC EMULATOR IN THE LABORATORY

Vũ Hoàng Giang^{1*}, Duong Chinh Cuong²

¹Electric Power University

²University of Information and Communication Technology - TNU

Output characteristic of the photovoltaic (PV) panel is dependent on the solar insolation, which is an intermittent factor due to the condition of climate and geology. The research in the PV application requires the timely verification of the system operation in various conditions. To attain such demand, the development of photovoltaic emulator has been required and received much attention, especially in the laboratory. The paper introduces an application of DC-DC boost converter in the emulator of photovoltaic panel. The output voltage is controlled to adjust the output power of PV panel. Simulation in Malab/Simulink software provides the robust response of output voltage with respect to the intermittent reference that confirm the operation of the proposed PV emulator.

Keywords: Boost converter, insolation, photovoltaic, Matlab/Simulink.

7Ngày nhận bài: 05/12/2017; Ngày phản biện: 25/12/2017; Ngày duyệt đăng: 05/3/2018

* Tel: 0912 449908, Email: giangvh@epu.edu.vn