

BỘ BIẾN ĐỔI DC-DC NHIỀU CỔNG DÙNG NGUỒN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI

THE MULTI-PORT DC-DC CONVERTER USING ENERGY PHOTOVOLTAIC

Nguyễn Thế Vĩnh^{1,*},
Hoàng Mạnh Hùng², Đặng Thanh Phú²

TÓM TẮT

Trong nội dung bài báo này trình bày giải pháp cho bộ biến đổi DC-DC nhiều cổng sử dụng nguồn quang điện pin mặt trời PV, cho phép cải thiện sự tích hợp giữa nguồn, tải/đường dây DC và hệ thống tích lũy năng lượng nhằm nâng cao tính ổn định trên hệ thống khi nối lưới AC. Đây là một tính năng kỹ thuật được nhiều người quan tâm trong các ứng dụng thực tế vì nó sẽ tạo ra một hệ thống sử dụng hiệu quả năng lượng từ nguồn và tải. Trong đóng góp này, chúng tôi mô tả bộ biến đổi DC-DC nhiều cổng vào và ra, sau đó là phương pháp điều khiển tương ứng và thể hiện kết quả qua mô phỏng. Cuối cùng, một số kết quả thử nghiệm được đưa ra để so sánh với phần mô phỏng.

Từ khóa: Bộ biến đổi DC-DC, hệ thống quang điện, bộ biến đổi hai chiều, đường dây DC, chiến lược quản lý năng lượng.

ABSTRACT

In the work of this paper presents the solution for multi-port DC-DC converters using photovoltaic sources, allowing for improved integration between DC power, load / line and energy accumulation system to enhance stability on the system when grid-connected AC. This is a technical feature that is of interest to many people in practical applications as it will create a system that efficiently uses energy from source and load. In this contribution, we describe a multi-input and output DC-DC converter, followed by the corresponding control method and show the results through simulation. Finally, some test results are given to compare with the simulation.

Keywords: DC-DC converter, photovoltaic system, bidirection converter, DC voltage, Battery, power management strategy.

¹Viện Quốc tế Pháp ngữ - Đại học Quốc gia Hà Nội

²Điện lực thị xã Đông Triều, Công ty Điện lực Quảng Ninh

*Email: ntvinh1278@gmail.com

Ngày nhận bài: 20/12/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/02/2021

Ngày chấp nhận đăng: 26/02/2021

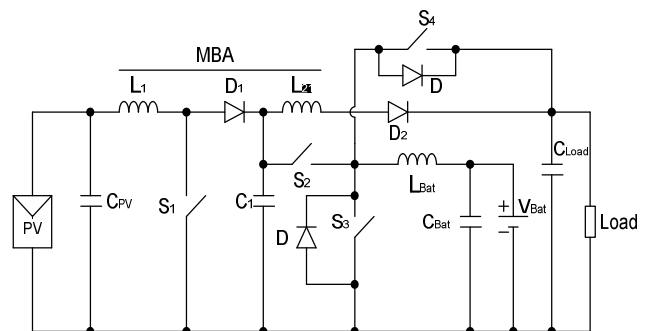
1. GIỚI THIỆU CHUNG

Sự đóng góp của các bộ chuyển đổi năng lượng trong các hệ thống phân phối điện vẫn còn được thảo luận khi chưa cải thiện khả năng kiểm soát, độ tin cậy, kích thước và hiệu quả của hệ thống. Chỉ một phần nhỏ ánh sáng mặt trời chiếu tới hệ thống PV được chuyển đổi thành điện hữu ích do các thành phần không hiệu quả và dễ bị hỏng được

sử dụng trong hầu hết các hệ thống PV hiện nay [1, 2]. Chi phí cao, thiết bị công kênh và độ tin cậy thấp của bộ biến đổi sử dụng các thiết bị cơ điện là hạn chế do công nghệ trước đây, với công nghệ hiện nay các thiết bị điện tử công suất đã cải thiện được các nhược điểm nêu trên. Hơn nữa, có thể toàn bộ phân phối điện hệ thống được thiết kế như một hệ thống chuyển đổi có thể điều khiển, chi phí hệ thống tổng thể và độ tin cậy thực sự có thể cải thiện [3-6]. Các hệ thống này bao gồm nhiều nguồn năng lượng chính và phụ, một số mức lưu trữ và dự phòng năng lượng và nhiều hoạt động tải, tất cả giao tiếp thông qua bộ chuyển đổi năng lượng điện tử [7, 8]. Tất cả các nguồn năng lượng thay thế và tái tạo được giao tiếp với các hệ thống năng lượng hiện có thông qua các bộ chuyển đổi điện tử công suất do các đặc tính động rất khác nhau của chúng. Các giải pháp chính sách và quy định [9, 10] đã đảm bảo việc sử dụng năng lượng tái tạo hệ thống năng lượng từ cơ sở tiêu dùng đến các nhà máy tập trung, thúc đẩy sự bền vững và độc lập năng lượng toàn cầu. Hệ thống phát điện phân tán dựa trên các nguồn năng lượng tái tạo đã được xem xét bởi sự tăng trưởng theo cấp số nhân của cả hai dạng nguồn tuabin gió và hệ thống phát điện quang điện. Trong nội dung bài báo sẽ đưa ra giải pháp tích hợp linh hoạt từ các bộ chuyển đổi có một chức năng trong hệ thống.

2. BỘ BIẾN ĐỔI DC-DC

Bộ chuyển đổi được đề xuất trong bài báo là bộ chuyển đổi đầu ra kép đầu vào kép trong từng chế độ. Bộ biến đổi này được phát triển và tích hợp từ các bộ biến đổi MCB [13] và hai chiều Buck-Boost [14]. Hình 1 cho thấy sơ đồ mạch của sự kết hợp này.

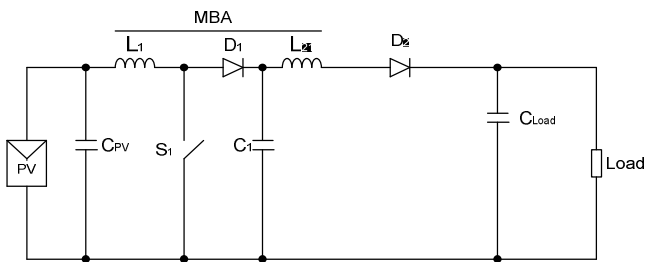


Hình 1. Đề xuất bộ chuyển đổi DC-DC hai chiều nhiều cổng

Có bốn khóa S_1, S_2, S_3 và S_4 . Một biến nhị phân được liên kết với mỗi khóa điện tử. Điều này cung cấp tổng cộng 16 trạng thái chuyển đổi phát sinh từ sự kết hợp của bốn khóa. Nhiều trạng thái trong số này bị cấm. Một trạng thái bị cấm khi nó tạo ra một tình huống ngắn mạch hoặc một trong đó các khóa điện tử sẽ phải hấp thụ (hoặc tổn thất cao) năng lượng cảm ứng ngay lập tức. Do đó cần tránh các trạng thái đó.

2.1. Các chế độ hoạt động

Trong chế độ 1 được thể hiện trong hình 2, đầu vào cung cấp năng lượng cho tải kết nối với đường dây DC, máy biến áp xung hoạt động tích lũy và xả năng lượng trong mạch. Tỷ số điện áp đầu vào và ra của mạch được tính toán như biểu thức (1).



Hình 2. Sơ đồ tại chế độ 1

$$V_{Cload} = V_{PV} \frac{d1}{1-d1} (1 + N)((1 + k)/2) \tag{1}$$

Trong đó: N là tỷ số máy biến áp giữa cuộn dây n_2/n_1 ; k là hệ số chất lượng máy biến áp.

Từ công thức (1) ta có:

$$\frac{V_{Cload}}{V_{PV}} = \frac{d1}{1-d1} \left\{ (1 + N) \left(\frac{1+k}{2} \right) \right\} \tag{2}$$

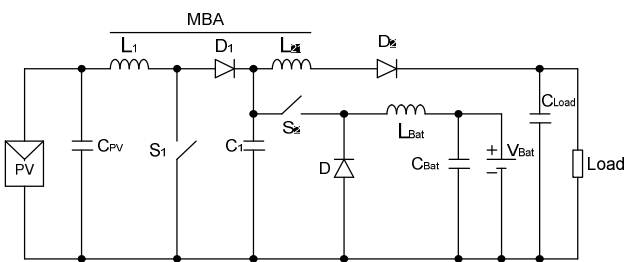
Trong chế độ 2 như hình 3, đầu vào năng lượng mặt trời cung cấp năng lượng cho tải và ắc quy, khóa S_1 và S_2 hoạt động, các cuộn dây trong máy biến áp và L_{Bat} hoạt động. Trong chế độ này năng lượng rò rỉ của cuộn dây sơ cấp máy biến áp sẽ được nạp một phần cho ắc quy, và ắc quy được nạp với giá trị nhỏ bằng mạch phục hồi diốt D_1 và tụ C_1 . Điều kiện điều khiển độ rộng xung cho S_2 như biểu thức sau:

$$V_{Bat}/V_{PV} = d2 \tag{3}$$

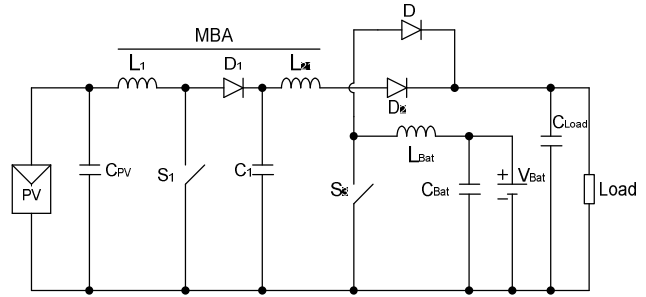
Trong chế độ 3 như hình 4, năng lượng của pin mặt trời (PV) và ắc quy cùng cung cấp cho tải tại đường dây DC. Chế độ này năng lượng PV dần suy giảm theo thời tiết trong ngày. Điều kiện độ rộng xung cho khóa S_3 :

$$V_{(DCload)}/V_{Bat} = d3 \tag{4}$$

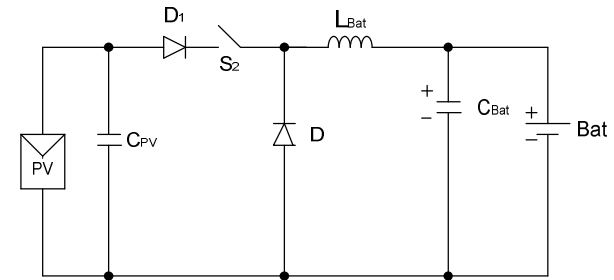
Từ biểu thức (2) và (4) ta có điều kiện $d_3 > d_1$



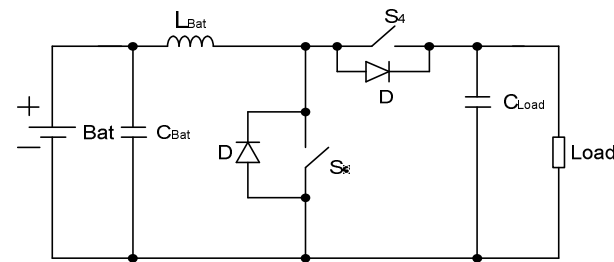
Hình 3. Sơ đồ tại chế độ 2



Hình 4. Sơ đồ tại chế độ 3



a)



b)

Hình 5. Sơ đồ tại chế độ 4, 5 và 6

Hoạt động chế độ 4 như hình 5(a), năng lượng nguồn vào PV cung cấp cho toàn bộ ắc quy, khóa S_2 hoạt động đây là thời gian khi tải trên đường dây DC đầy năng lượng cung cấp từ các nguồn khác kết nối lên hệ thống. Điều kiện điều khiển S_2 như chế độ 1.

Trong chế độ 5 như hình 5(b), năng lượng phía tải được cung cấp bởi ắc quy. Trong chế độ này năng lượng nguồn PV không sản xuất năng lượng (thời tiết tối). Điều khiển như chế độ 2 cho khóa S_3 .

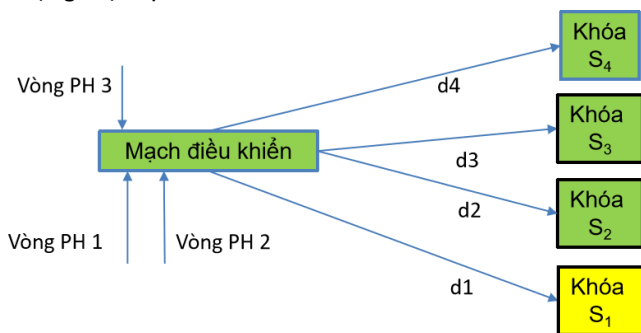
Trong chế độ 6 như hình 5(b), năng lượng ắc quy được nạp từ tải hoặc từ đường dây DC (thời điểm này nguồn PV không cung cấp, bên tải năng lượng dư thừa). Điều kiện điều khiển S_4 .

$$V_{Bat}/V_{(DC load)} = d4 \tag{6}$$

2.2. Chế độ điều khiển cho bộ DC-DC

Trong mạch điều khiển sử dụng hai bộ điều khiển tích phân tỷ lệ cộng được sử dụng trong chế độ này. Một bộ điều khiển là nhằm mục đích theo dõi điểm công suất tối đa của bảng PV. Bộ điều khiển thứ hai nhằm mục đích duy trì điện áp không đổi trên tải. Công suất tối đa theo dõi điểm của bảng PV được thực hiện theo phương pháp P&O [11, 12]. Đây là bộ điều khiển vòng kín được mô tả như hình 6.

Chế độ 1: Chế độ này như trong hình 2, hoạt động của PV khi tiếp xúc với ánh sáng mặt trời và trở thành nguồn năng lượng để cung cấp năng lượng cho tải trên đường dây DC và có thể sạc cho ắc quy. Chế độ này thông thường sẽ vào ban ngày khi ánh sáng mặt trời tối đa có sẵn. Mục đích của bộ chuyển đổi điện tử công suất trong chế độ này là hoạt động như một bộ chuyển năng lượng từ PV sang tải sử dụng mạch phản hồi PH1.



Hình 6. Sơ đồ khối điều khiển cho bộ DC-DC nhiều cổng

Chế độ 2: Trong bộ chuyển đổi cần thêm 1 vòng phản hồi cho việc nạp cho ắc quy. Điều chế độ rộng xung cho khóa điện tử S_2 và S_1 được xác định như công thức (2) và (3). Vòng phản hồi PH2 này nhằm mục đích duy trì một điện áp không đổi trên tụ V_{CBat} .

Chế độ 3: Chế độ này nhằm mục đích năng lượng đến tải được hỗ trợ từ nguồn ắc quy khi năng lượng từ nguồn vào PV giảm dần. Có vòng phản hồi PH1 hoạt động để đảm bảo điện áp đầu ra trên C_{load} không đổi. Bản chất có 02 mạch chuyển đổi DC-DC độc lập từ 02 nguồn PV và ắc quy.

Chế độ 4: Chế độ này nhằm mục đích sạc ắc quy từ nguồn PV tại các khoảng thời gian khi tải và đường dây DC năng lượng đầy. Điều khiển mạch như mạch Buck cơ bản với khóa S_2 hoạt động. Độ rộng xung được điều chỉnh theo vòng lặp PH2 sao cho V_{CBat} không đổi.

Chế độ 5: Trong chế độ này trạng thái của nguồn PV không sản xuất năng lượng điện (thời điểm buổi tối). Mạch làm việc như mạch DC-DC Boost, tải được cung cấp năng lượng từ ắc quy, độ rộng xung được điều chỉnh bằng vòng phản hồi PH1 sao cho V_{Cload} không đổi.

Chế độ 6: Trong chế độ này ắc quy được nạp mà không có bảng PV. Tình trạng này sẽ phát sinh khi ắc quy xả hết năng lượng và ánh sáng yếu, do đó làm cho bảng PV không hoạt động. Bộ chuyển đổi hoạt động như một bộ chuyển đổi buck đơn giản với vòng PH3.

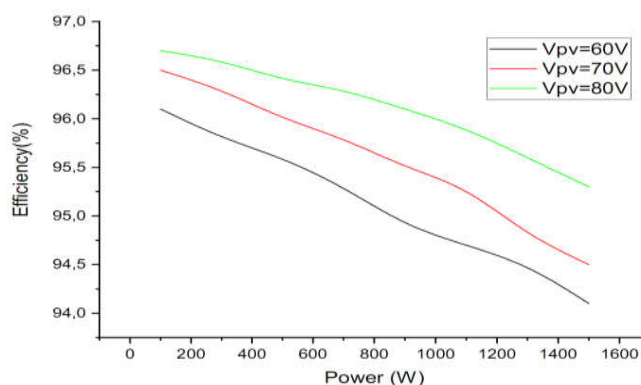
3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM

Sơ đồ mạch DC-DC nhiều cổng này sử dụng phần mềm Orcad 10 để đưa ra kết quả mô phỏng. Điều quan trọng cần lưu ý là cho mục đích mô phỏng, tất cả các thành phần sử dụng là gần lý tưởng. Ngoài ra, điều chế độ rộng xung được mô phỏng bằng các bộ so sánh và cổng kỹ thuật số. Việc sử dụng các thư viện liên kết động giúp thúc đẩy mô đun mã hóa, tái sử dụng mã, sử dụng bộ nhớ hiệu quả và giảm dung lượng. Các giá trị tham số cho mục đích mô phỏng như sau:

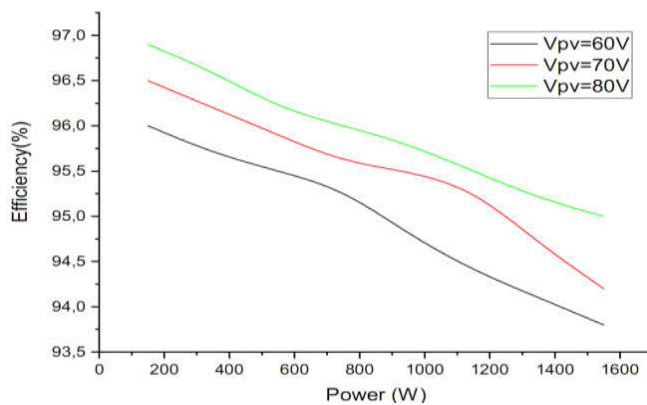
- $L1 = 1mH, L21 = 5mH$
- S_{1-4} : IRF520, D_{1-2} : Mur850
- Tải tại đường dây DC = 300 volt
- Điện áp tham chiếu ắc quy = 36 volt
- Điện áp vào PV (60-80) volt

Nhóm tác giả thấy mạch mô phỏng cơ bản tương tự như mạch nguyên lý hình 1. Do đó cần số liệu kết quả tổng hợp là tường minh.

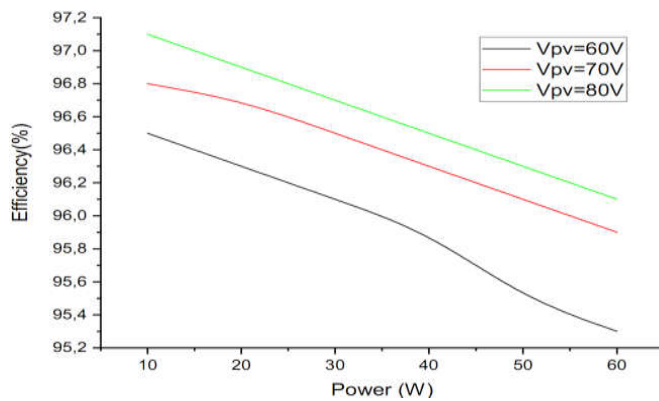
Tại các hình 7 a, b đưa ra kết quả phân tích và tính toán hiệu suất của bộ DC-DC nhiều cổng với từng chế độ 1 và 3 là thấp nhất trên 95%. Quan sát hình 7 c, d cho kết quả hiệu suất thử nghiệm chế độ 4 đến 5, tại chế độ 5 là phù hợp với bản chất bộ chuyển đổi DC-DC Boost cơ bản khi thực hiện ắc quy cung cấp năng lượng cho tải tại DC liên kết.



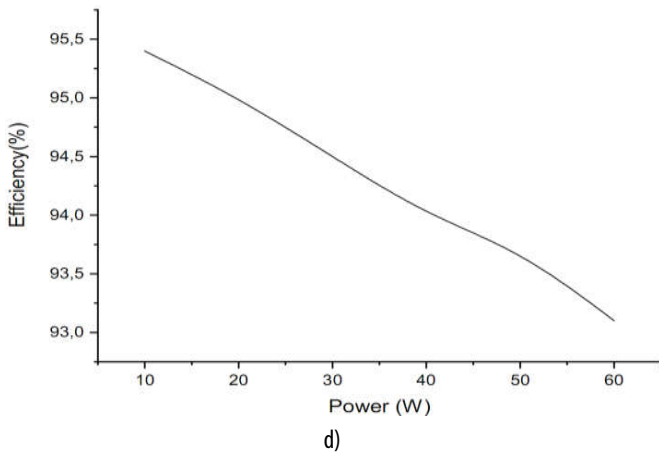
a)



b)

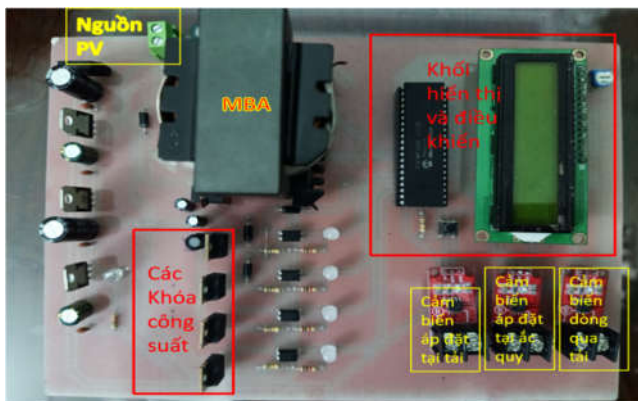


c)

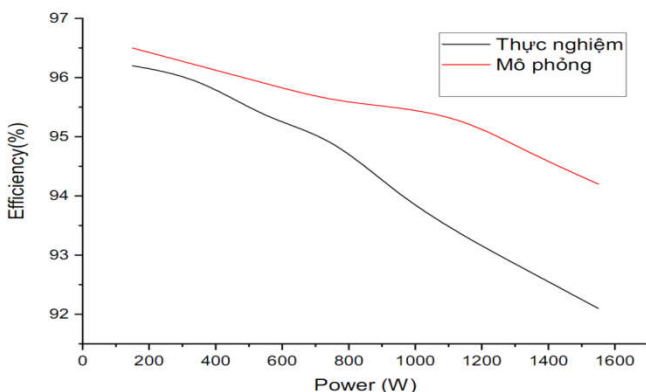


Hình 7. Hiệu suất của bộ thực hiện tại các chế độ, (a) Chế độ 1, (b) Chế độ 3, (c) Chế độ 4, (d) Chế độ 5

Các kết quả thí nghiệm được thực hiện ở mức tải 550Ω. Đây là được thực hiện để kiểm tra logic theo dõi điểm công suất tối đa của bộ điều khiển trong chế độ 1. Hình 8 là hệ thống thực hiện thí nghiệm bộ DC-DC nhiều cổng. Kết quả thực nghiệm chưa tính đến tổn hao các thành phần nguồn cung cấp, điều khiển và các vòng phản hồi cho thấy sai số so với kết quả mô phỏng khoảng hơn 2% tại các giá trị công suất (1000-1500)W như hình 8.



Hình 8. Hình ảnh cho hệ thống sử dụng bộ DC-DC trong thực nghiệm



Hình 9. So sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm

4. KẾT LUẬN

Mô hình này cho bộ chuyển đổi DC-DC hai chiều, nhiều cổng. Từ phân tích sáu chế độ đưa ra các kết quả mô phỏng cho thấy cả sáu chế độ đều có thể hoạt động để cho kết

quả mong muốn. Sáu chế độ này cần phải được kiểm tra riêng. Khi giai đoạn này cho kết quả khả quan, cả sáu chế độ được kết hợp để kiểm tra toàn bộ hệ thống trong các điều kiện khác nhau. Điều này làm cho bộ biến đổi nhiều cổng là một hệ thống linh hoạt và thông minh cho hệ thống năng lượng phân tán.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. T. Sakurai, 2003. *Perspectives on power-aware electronics. Solid-State Circuits Conference 2003. Digest of Technical Papers. ISSCC. 2003 IEEE International*, vol. 1, pp. 26-29, 2003.

[2]. F. Blaabjerg, Z. Chen, S. B. Kjaer, 2004. *Power electronics as efficient interface in dispersed power generation systems. IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 19, no. 5, pp. 1184-1194.

[3]. T. Gonen, 2014. *Electric power distribution engineering*. CRC press.

[4]. A. Communications, 2013. *The hidden technology that makes the modern world run*. Power electronics.

[5]. J. A. A. Qahouq, 2009. *N-phase efficiency-based current sensing auto-tuning controller*. in Proc. Appl. Power Electron. Conf. Expo., (APEC), pp. 274-279.

[6]. E. Dos Santos, 2013. *Dual-output dc-dc buck converters with bidirectional and uni-directional characteristics*. Power Electronics, IET, vol. 6, pp. 999-1009.

[7]. W. Kramer, S. Chakraborty, B. Kroposki, H. Thomas, 2008. *Advanced Power Electronics Interfaces for Distributed Energy Systems*. Technical Report National Renewable Energy Laboratory NREL/TP581-42672.

[8]. P. Anthony, N. McNeill, 2014. *The efficient deployment of silicon superjunction MOSFETs as synchronous rectifiers*. in Proc. IET 7th Int. Conf. Power Electron. Mach. Drives, pp. 1-6.

[9]. Federal Energy Regulatory Commission (FERC), 2009. *Smart Grid Policy U.S.*

[10]. www.smartgrid-forums.com/forums/gis4smartgrid/, November 25, 2020

[11]. Hou W., Jin Y., Zhu C., Li G., 2016. *A Novel Maximum Power Point Tracking Algorithm Based on Glowworm Swarm Optimization for Photovoltaic System*. International Journal of Photoenergy, Article ID: 4910862.

[12]. Kanimozhi K., Rabi B.R.M., 2016. *Development of Hybrid MPPT Algorithm for Maximum Power Harvesting under Partial Shading Conditions*. Circuits and Systems, 7, 1611-1622.

[13]. Nguyen The Vinh, Petit Pierre, Aillerie Michel, Salame Chafic, Charles Jean-Pierre, 2015. *Efficiency of magnetic coupled boost DC-DC converters mainly dedicated to renewable energy systems: Influence of the coupling factor*. International Journal of Circuit Theory and Applications, 43(8): 1042-1062.

[14]. M. Suetomi, D. Imamichi, S. Matsumoto, D. Ueda, J. R. Yang, Y. Ishizuka, W. G. Lin, H. Matsuo, 2011. *A novel bidirectional DC-DC converter with high power efficiency for isolation in high voltage DC power feeding systems*. in Proceedings of IEEE 33rd International Telecommunications Energy Conference, pp. 1-4.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen The Vinh¹, Hoang Manh Hung², Dang Thanh Phu²

¹International Francophone Institute - Vietnam National University, Hanoi

²Power Corporation Dong Trieu, Quang Ninh