

PHƯƠNG PHÁP TỐI ƯU MA TRẬN CHUYỂN MẠCH TRONG CHIẾN LƯỢC TÁI CẤU TRÚC KẾT NỐI CÁC TẮM PIN QUANG ĐIỆN

A PROPOSED OPTIMAL METHOD FOR DYNAMIC ELECTRICAL SCHEME TO PHOTOVOLTAIC ARRAY RECONFIGURATION STRATEGY

Ngô Ngọc Thành, Nguyễn Ngọc Trung

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 23/10/2019, Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2019, Phản biện: TS. Nguyễn Thanh Thuận

Tóm tắt:

Trong bài báo này, một phương pháp mới được đề xuất để tối thiểu số lượng khóa trong ma trận chuyển mạch trong chiến lược tái cấu trúc kết nối các tấm pin quang điện. Trong điều kiện bức xạ không đồng nhất, các tấm pin quang điện (TPQĐ) nhận được bức xạ mặt trời khác nhau, dẫn đến sự sụt giảm hiệu suất của toàn bộ hệ thống. Việc sử dụng ma trận chuyển mạch giúp thay đổi kết nối của các TPQĐ từ mạch kết nối ban đầu đến mạch kết nối tối ưu làm tăng hiệu suất làm việc của toàn hệ thống. Nghiên cứu cải tiến Ma trận chuyển mạch bằng cách giảm một nửa số khóa đóng mở mạch giúp giảm thiểu chi phí thiết kế, tăng tính thực tiễn của phương pháp trong các hệ thống năng lượng mặt trời (NLMT) lớn thực tế.

Từ khóa:

Ma trận chuyển mạch, tối ưu, tái cấu trúc, nối tiếp - song song, tấm pin quang điện.

Abstract:

In this paper, a new optimal method was proposed which minimizes the quantity of switches in the switch matrix to photovoltaic array reconfiguration strategy. In heterogeneous radiations condition, PV cells received different sun radiation density that cause a decrease in whole system efficiency. The use of switch matrix help to change the connections of PV cells from the initial connecting circuit to the optimal connecting circuit, this will improve the system efficiency. The study of innovating the switched matrix are expected to reduce the design cost, improve the utility of this method in large photovoltaic systems.

Keywords:

Dynamic electrical scheme, optimal, reconfiguration, Total-Cross-Tied, photovoltaic.

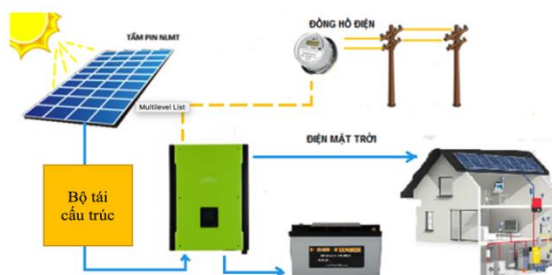
1. GIỚI THIỆU CHUNG

Công suất tạo ra bởi các TPQĐ trong điều kiện thực tế thường thấp hơn so với điều kiện làm việc tiêu chuẩn [1-6]. Một số lý do chính làm giảm hiệu suất hoạt động của TPQĐ là do bức xạ mặt trời, nhiệt độ

hoặc do chính sự lão hóa của các TPQĐ [7-10].

Các ảnh hưởng của bức xạ mặt trời đến quá trình làm việc của hệ thống năng lượng mặt trời (NLMT) và chiến lược tái cấu trúc nhằm tăng hiệu suất làm việc cho

hệ thống NLMT trong điều kiện bức xạ không đồng nhất đã được tác giả nghiên cứu và công bố tại [11-15]. Về bản chất, tái cấu trúc hệ thống chính là thay đổi kết nối của các tấm pin quang điện để đạt được cấu hình kết nối tối ưu, cho ra công suất của hệ thống là lớn nhất. Hiện nay, bài toán tái cấu trúc được áp dụng cho 2 mô hình kết nối chính của TPQĐ là Series-Parallel (SP) và TCT. Trong [11-15], tác giả đã đề xuất phương pháp nâng cao hiệu suất làm việc của hệ thống NLMT cho mạch kết nối TCT.



Hình 1. Hệ thống NLMT và bộ tái cấu trúc

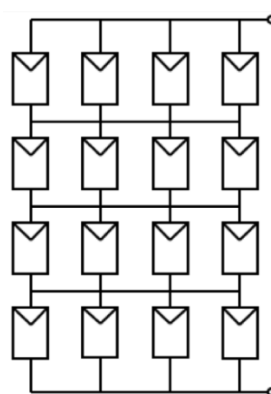
Hệ thống NLMT căn bản nối lưới hiện nay được mô tả trong hình 1 bao gồm các thành phần cơ bản: TPQĐ, bộ chuyển đổi năng lượng, bộ tích điện, phụ tải và hòa lưới. Các TPQĐ khi nhận được bức xạ mặt trời, tạo ra dòng điện 1 chiều DC, qua Inverter có chức năng tích điện vào bộ tích điện, chuyển đổi DC/AC phục vụ phụ tải trong gia đình hoặc hòa lưới.

Bộ tái cấu trúc (*reconfiguration system*) là thiết bị tăng hiệu suất làm việc của hệ thống NLMT trong điều kiện bức xạ không đồng nhất, được lắp trước bộ chuyển đổi điện, vị trí mô tả vị trí trong hình 1.

Trong bài báo này, tác giả trình bày phương pháp tái cấu trúc cho hệ thống

NLMT dựa trên cấu hình kết nối TCT sử dụng ma trận chuyển mạch Dynamic electrical scheme (DES), từ đó đề xuất phương pháp cải tiến ma trận chuyển mạch DES, nhằm giảm số lượng Khóa trong ma trận chuyển mạch mà vẫn đáp ứng đủ các cấu trúc TCT tổng quát của hệ thống.

2. CHIẾN LƯỢC TÁI CẤU TRÚC MẠCH KẾT NỐI TCT

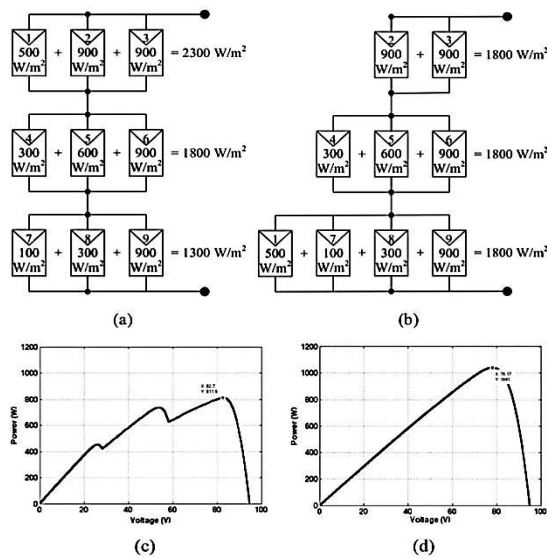


Hình 2. Mạch kết nối TCT

Chiến lược tái cấu trúc kết nối các TPQĐ cho mạch kết nối TCT đã được tác giả trình bày trong các công trình nghiên cứu tại [11-15], tóm tắt chiến lược tái cấu trúc như sau:

Mạch kết nối TCT bao gồm các TPQĐ kết nối song song, các mạch song song được kết nối nối tiếp (hình 2) và có các đặc điểm:

- Điện áp cực đại của các mạch kết nối song song (trong mạch TCT) không bị ảnh hưởng bởi mức độ chiếu sáng nhận được của từng tấm pin quang điện (TPQĐ).
- Dòng điện tạo ra bởi chuỗi các mạch kết nối song song sẽ tỷ lệ thuận với mức độ chiếu sáng nhận được của từng TPQĐ.



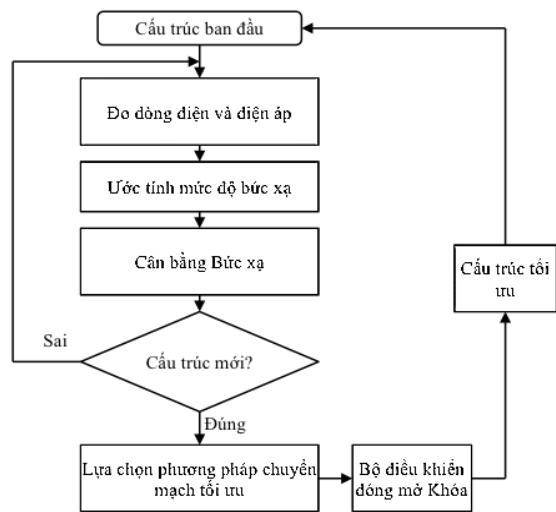
Hình 3. Ví dụ cân bằng bức xạ

(a) trước khi cân bằng; (b) sau khi cân bằng. Biểu đồ công suất; (c) trước khi cân bằng với hiện tượng misleading; (d) sau khi cân bằng không còn hiện tượng misleading

Trong quá trình làm việc, các TPQĐ bị ảnh hưởng bởi vấn đề che phủ một phần, có thể do bóng của các tòa nhà, mây che phủ, tuyết, bóng của các vật bên cạnh dẫn đến bức xạ mặt trời nhận bởi mỗi TPQĐ khác nhau. Phương pháp cân bằng bức xạ cho mạch kết nối TCT chính là sắp xếp lại vị trí kết nối các TPQĐ nhằm mục đích cân bằng tổng mức độ bức xạ mặt trời tại các kết nối song song trong mạch TCT như ví dụ trong hình 3 [11]. Trong hình 3, trước khi cân bằng bức xạ, mạch TCT với tổng bức xạ tại các hàng lần lượt là 2300 W/m², 1800 W/m², 1300 W/m² (hình 3a). Sau khi thay đổi vị trí module như trong hình (module 1 chuyển từ hàng 1 xuống hàng 3), tổng mức độ chiếu sáng cân bằng là 1800 W/m² tại các hàng (hình 3b). Công suất cực đại trước khi cân bằng là 811,9 W với hiện tượng misleading (hình 3c), sau khi cân bằng, công suất cực

đại của hệ thống tăng lên 1041 W (tăng 28,2% hiệu suất) với duy nhất một điểm cực đại, tránh được hiện tượng misleading (hình 3d).

Chiến lược tái cấu trúc, nâng cao hiệu suất làm việc của hệ thống NLMT có thể tổng quát theo lưu đồ tại hình 4.



Hình 4. Lưu đồ chiến lược tái cấu trúc

Chiến lược tái cấu trúc bao gồm các bước:

Bước 1: Đo dòng điện và điện áp từng TPQĐ.

Bước 2: Căn cứ vào dòng điện, điện áp ước tính bức xạ mặt trời nhận được bởi từng TPQĐ.

Bước 3: Áp dụng thuật toán cân bằng bức xạ, tìm cấu hình kết nối tối ưu của các TPQĐ.

Bước 4: Kiểm tra cấu hình kết nối mới so với cấu hình kết nối ban đầu. Nếu là cấu hình kết nối ban đầu thì quay lại bước 1. Nếu là cấu hình kết nối mới so với cấu hình ban đầu thì sang bước 5.

Bước 5: Áp dụng thuật toán tìm kiếm phương pháp chuyển mạch tối ưu.

Phương pháp chuyển mạch tối ưu là phương pháp sử dụng ít số lần đóng mở khóa nhất, giúp kéo dài tuổi thọ của ma trận chuyển mạch.

Bước 6: Điều khiển ma trận chuyển mạch đóng mở khóa theo phương pháp đã tìm kiếm ở bước 5, có được cấu hình kết nối mới cho hiệu suất làm việc của hệ thống là tốt nhất.

Như vậy, trong chiến lược tái cấu trúc kết nối các TPQĐ bao gồm 2 bài toán chính: Bài toán cân bằng bức xạ và bài toán Lựa chọn phương pháp chuyển mạch tối ưu. Trong các nghiên cứu trước đây [11-15] tác giả đã đề xuất phương pháp bao gồm các thuật toán tìm kiếm cấu hình Cân bằng bức xạ (thuật toán Dynamic Programming và thuật toán SmartChoise), thuật toán lựa chọn phương pháp chuyển mạch tối ưu (thuật toán Munkres Assignment Algorithm và thuật toán MAA cải tiến) nhằm nâng cao hiệu suất làm việc của hệ thống NLMT cho mạch kết nối TCT sử dụng ma trận chuyển mạch DES.

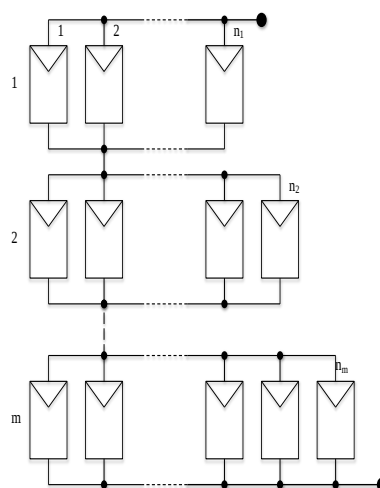
Trong phần tiếp theo, tác giả sẽ trình bày phương pháp cải tiến ma trận chuyển mạch DES mà vẫn đáp ứng đầy đủ yêu cầu của chiến lược tái cấu trúc mà tác giả đã trình bày.

3. PHƯƠNG PHÁP CẢI TIẾN MA TRẬN CHUYỂN MẠCH DES

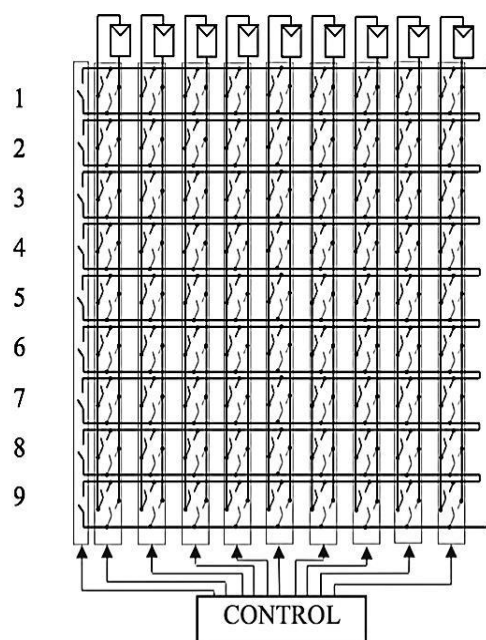
3.1. Ma trận chuyển mạch Dynamic Electrical Scheme (DES)

Trên thực tế, trong các hệ thống NLMT hiện nay, các TPQĐ được kết nối cố định, tức là các TPQĐ được kết nối vật lý với

nhau với số lượng các TPQĐ nối tiếp hoặc song song cố định theo thiết kế, trong quá trình làm việc không thể thay đổi kết nối, tức là thay đổi vị trí kết nối của các TPQĐ trong mạch kết nối một cách tự động được. Để các TPQĐ có thể thay đổi cấu trúc kết nối một cách tự động, cần đến ma trận chuyển mạch DES.



Hình 5. Cấu trúc tổng quát mạch TCT



Hình 6. Ma trận chuyển mạch Dynamic Electrical Scheme (DES) [16]

Ma trận chuyển mạch DES (hình 6) đã được đề xuất trong [16] nhằm mục đích thay đổi tùy biến kết nối của hệ thống NLMT, từ một cấu hình mạch kết nối ban đầu, thông qua các thao tác đóng mở khóa sẽ có được mạch kết nối mới với cấu trúc bất kỳ.

Ma trận chuyển mạch bao gồm các khóa đóng mở mạch. Tùy từng điều kiện thực tế, dòng điện, điện áp mà mỗi khóa phải chịu tải để lựa chọn khóa cho phù hợp. Với các hệ thống NLMT nhỏ (1kW) có thể sử dụng module Relay, đối với hệ thống lớn hơn phải sử dụng các Transistor chịu dòng, áp cao như:

- MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effective Transistor*): là transistor có cực cổng cách điện, bao gồm kênh dẫn điện DS được kiểm soát bởi cực cổng G cách điện bằng lớp oxide kim loại. Mosfet chịu dòng điện cực đại 1kA, điện áp cực đại 0,3 kV.
- IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*): là transistor có cực điều khiển bởi điện áp, có khả năng đóng cắt nhanh và chịu tải lớn. IGBT điện áp cao (HVIGBT) khả năng chịu dòng cực đại 1,2 kA, áp cực đại 3,3 kV.
- IGCT (*Insulated Gate Control Transistor*): IGCT là thiết bị điện tử công suất có khả năng kéo xung dòng điện lớn bằng dòng định mức dẫn qua cathode về mạch cổng G để đảm bảo ngắt nhanh dòng điện. Khả năng chịu áp khóa cao đến 6 kV với độ tin cậy cao.

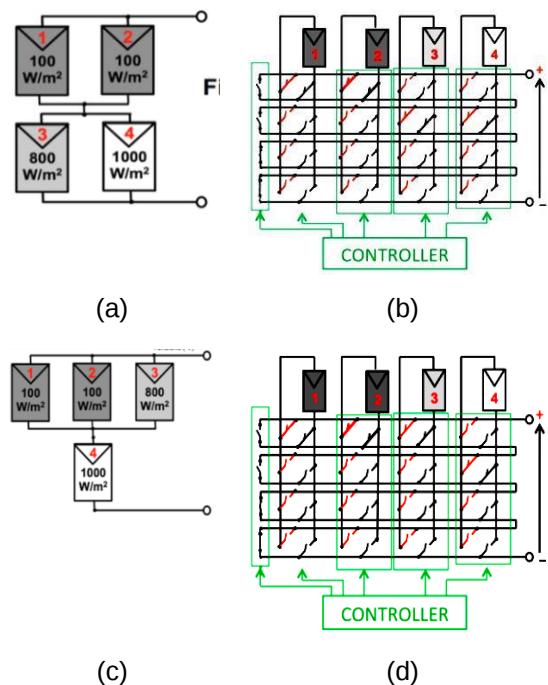
Ví dụ về hoạt động của ma trận chuyển mạch DES trong hình 7:

- Để có được mạch kết nối như hình 7a: Ma trận chuyển mạch hình 7b khóa của TPQĐ số 1 và số 2 đóng ở hàng 1, khóa TPQĐ số 3 và số 4 đóng ở hàng 2, các khóa khác mở ra.

- Để có được mạch kết nối như hình 7c: Ma trận chuyển mạch hình 7d khóa TPQĐ số 1, số 2 và số 3 đóng ở hàng 1, khóa TPQĐ số 4 đóng ở hàng 2, các khóa khác mở ra.

Như vậy, thông qua ma trận chuyển mạch DES, từ mạch kết nối TCT bất kỳ ban đầu có thể thay đổi kết nối thành mạch TCT tổng quát như hình 5.

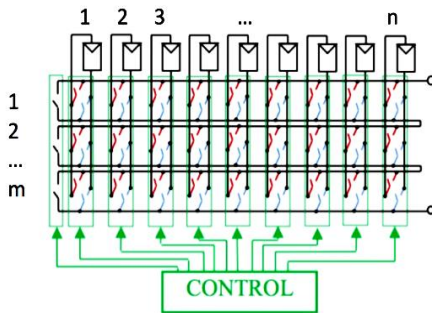
Ma trận chuyển mạch tổng quát DES tổng quát cho n TPQĐ, tái cấu trúc trong m hàng thể hiện trong hình 8.



Hình 7. Ma trận chuyển mạch Dynamic Electrical Scheme (b-d) tương ứng với cấu hình kết nối (a-c)

Số lượng khóa trong ma trận chuyển mạch DES:

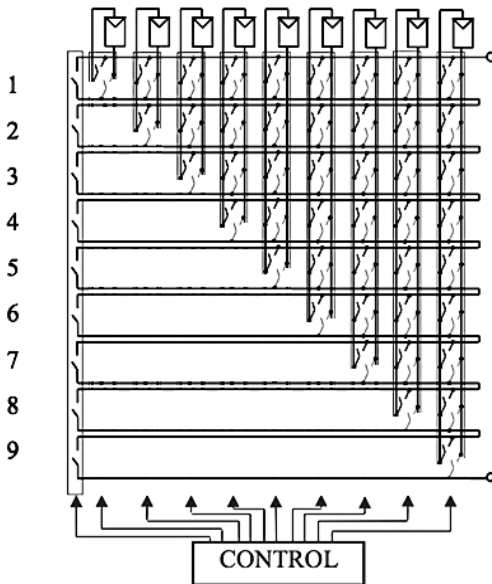
$$nS_{DES}=2\times m\times n$$



Hình 8. Ma trận chuyển mạch DES tổng quát cho n tấm pin quang điện, m mạch nối tiếp

3.2. Đề xuất ma trận chuyển mạch Dynamic Electrical Scheme cải tiến (DES)

Trong nghiên cứu này, tác giả đề xuất ma trận chuyển mạch DES cải tiến, như hình 9.



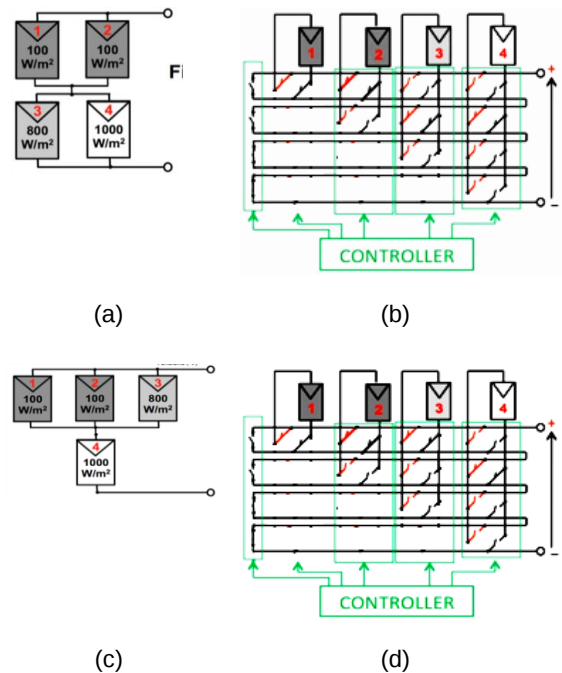
Hình 9. Ma trận chuyển mạch DES cải tiến

Ma trận chuyển mạch DES cải tiến hình 9 được xây dựng với số khóa chuyển mạch chỉ bằng một nửa ma trận chuyển mạch DES thông thường nhưng vẫn đáp ứng tất cả các trường hợp cần thiết của cấu trúc TCT tổng quát nhằm tăng hiệu suất làm

việc của hệ thống NLMT trong điều kiện chiếu sáng không đồng nhất. Số khóa chuyển mạch cần sử dụng trong ma trận DES cải tiến:

$$nS_{improveDES}=2\times m\times n$$

Ví dụ hoạt động của ma trận chuyển mạch DES cải tiến (hình 10) tương ứng ví dụ hình 7.



Hình 10. Ma trận chuyển mạch Dynamic Electrical Scheme (b-d) tương ứng với cấu hình kết nối (a-c)

Nhận thấy, mặc dù giảm một nửa số khóa, ma trận chuyển mạch DES vẫn đáp ứng yêu cầu hoạt động của hệ thống trong quá trình tái cấu trúc, chuyển mạch từ cấu trúc ban đầu đến cấu trúc tối ưu.

5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, tác giả đã đề xuất phương pháp cải tiến ma trận chuyển mạch DES, nhằm giảm thiểu số khóa đóng mở mạch trong ma trận DES. Việc

cải tiến ma trận chuyển mạch DES giúp giảm chi phí sản xuất, tăng khả năng đáp ứng của hệ thống, giúp tăng tính thực tiễn của chiến lược tái cấu trúc các TPQĐ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Belhachat, F. and C. Larbes, Global maximum power point tracking based on ANFIS approach for PV array configurations under partial shading conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. 77.
- [2] Bendib, B., H. Belmili, and F. Krimb, A survey of the most used MPPT methods: Conventional and advanced algorithms applied for photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5/2015. 45.
- [3] A.Eltawil, M. and Z. Zhao, MPPT techniques for photovoltaic applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12/2013. 25: p. 793-813.
- [4] Veerasamy, B., W. Kitagawa, and T. Takeshita, MPPT method for PV modules using current control-based partial shading detection, in 2014 International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA). 2014.
- [5] SAADSAOUD, M., a.H. AHmed, and k. salah, Study of Partial Shading Effects on Photovoltaic Arrays with Comprehensive Simulator for Global MPPT control. *International Journal of Renewable Energy Research-IJRER*, 2016. 6(2).
- [6] Choudhury, S. and P.K. Rout, Adaptive Fuzzy Logic based MPPT Control for PV System Under Partial Shading Condition. *International Journal of Renewable Energy Research-IJRER*, 2015. 5(4).
- [7] Chander, S., et al., Impact of temperature on performance of series and parallel connected mono-crystalline silicon solar cells. *Energy Reports*, 2015. 1: p. 175-180.
- [8] Reis, F., et al., Modeling the Effects of Inhomogeneous Irradiation and Temperature Profile on CPV Solar Cell Behavior. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 2015. 5(1): p. 112-122.
- [9] Wysocki, J.J. and P. Rappaport, Effect of Temperature on Photovoltaic Solar Energy Conversion. *Journal of Applied Physics*, 2004. 31(571).
- [10] Singh, P., et al., Temperature dependence of I-V characteristics and performance parameters of silicon solar cell. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2008. 92(12): p. 1611-1616.
- [11] Sanseverino, E.R., et al., Dynamic programming and Munkres algorithm for Optimal Photovoltaic Arrays Reconfiguration. *Solar Energy*, 12/2015. 122: p. Pages 347–358.
- [12] Thanh, N.N., N.P. Quang, and P.T. Cat, Improved control algorithm for increase efficiency of photovoltaic system under non-homogeneous solar irradiance. *Special issue control and automation*, 2016. 16: p. 12.
- [13] Thanh, N.N. and N.P. Quang, Chiến lược tái cấu trúc kết nối các tấm pin năng lượng mặt trời dựa trên phương pháp cân bằng bức xạ. *Hội nghị - Triển lãm quốc tế lần thứ 4 về Điều khiển và Tự động hoá - VCCA 2017*, 12/2017.
- [14] Ngoc, T.N., et al., Increasing efficiency of photovoltaic systems under non-homogeneous solar irradiation using improved Dynamic Programming methods. *Solar Energy*, 2017. 150: p. 325-334.
- [15] Thanh, N.N. and N.P. Quang, Simulation of reconfiguration system using Matlab-Simulink environment. *Journal of Computer Science and Cybernetics*, 2018. 34.

- [16] Romano, P., et al., Optimization of photovoltaic energy production through an efficient switching matrix. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 2013. 1(3): p. 227-236.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Ngô Ngọc Thành tốt nghiệp Trường Đại học Điện lực năm 2011, nhận bằng Thạc sĩ năm 2014 tại Đại học Palermo, Cộng hòa Italia. Tác giả hiện là giảng viên Trường Đại học Điện lực và là nghiên cứu sinh tại Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Lĩnh vực nghiên cứu: cấu trúc dữ liệu và giải thuật, các bài toán tối ưu trong hệ thống điện, năng lượng tái tạo.



Tác giả Nguyễn Ngọc Trung tốt nghiệp đại học ngành hệ thống điện, nhận bằng Thạc sĩ ngành kỹ thuật điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội vào các năm 2003 và 2006; nhận bằng Tiến sĩ ngành kỹ thuật điện năm 2014 tại Đại học Palermo, Cộng hòa Italia.

Lĩnh vực nghiên cứu: lưới điện thông minh-SmartGrid, giám sát điều khiển, bảo vệ và tự động hóa trong hệ thống điện.

