

Đề xuất mô hình toán cho chiến lược tái cấu trúc các tấm pin quang điện trong điều kiện bức xạ không đồng nhất

A proposed mathematical model for reconfiguration strategies of photovoltaic panels under non-homogeneous solar irradiation

Ngô Ngọc Thành¹, Nguyễn Phùng Quang²
¹ĐH Điện lực Hà Nội, ²ĐH Bách khoa Hà Nội
 Email: thanhnn_cntt@epu.edu.vn

Abstract

Under non-homogeneous solar irradiation, photovoltaic panels receive different solar irradiance, resulting in a decrease in efficiency of the PV generation system. There are some technical solutions for mismatch problems. One of them is to reconfigure of the PV panels, namely changing the connections of the PV panels from the initial configuration to the optimal configuration. In this paper, a mathematical model for reconfiguration strategies of photovoltaic panels under non-homogeneous solar irradiation using Total-Cross-Tied topology is proposed. The general mathematical model provides researchers better understanding of the problem and is also the basis for evaluating the accuracy of the proposed algorithms.

Keywords

Optimal, photovoltaic, reconfiguration strategies, mathematical model, Total-Cross-Tied

Tóm tắt¹

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 thay đổi kết nối của các TPQĐ từ mạch kết nối ban đầu đến mạch kết nối tối ưu sẽ giúp tăng hiệu suất làm việc của toàn hệ thống. Trong bài báo này tác giả đề xuất mô hình toán tổng quát cho chiến lược tái cấu trúc kết nối các tấm pin quang điện cho mạch kết nối Total-Cross-Tied (TCT). Việc xây dựng mô hình toán tổng quát giúp các nhà nghiên cứu có thể hiểu rõ hơn về bài toán, ngoài ra còn là cơ sở đánh giá độ chính xác của các thuật toán đã đề xuất.

G	Ma trận bức xạ mặt trời cấu hình ban đầu
G_OP	Ma trận bức xạ mặt trời cấu hình cân bằng bức xạ
Q	Mảng giá trị số lần đóng mở khóa các khóa đơn
S	Ma trận giá trị số lần đóng mở khóa các khóa kép
S _{ij}	Số lần đóng mở khóa của tấm pin quang điện j hàng i
MI _{step k}	Số lần đóng mở khóa lần tái cấu trúc thứ k
(MI _{min}) _{step k}	Số lần đóng mở khóa ít nhất lần tái cấu trúc thứ k

Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
m		Số hàng
n _i		Số tấm pin quang điện hàng thứ i
i		Chỉ số hàng
j		Chỉ số cột
n		Tổng số tấm pin quang điện
G _i	W/m ²	Tổng bức xạ mặt trời hàng thứ i
G _{ij}	W/m ²	Bức xạ mặt trời tấm pin quang điện hàng i và cột j
EI		Chỉ số cân bằng

Chữ viết tắt

TPQĐ	Tấm pin quang điện
TCT	Total-Cross-Tied
NLMT	Năng lượng mặt trời
SP	Series-Parallel
DES	Dynamic Electrical Scheme

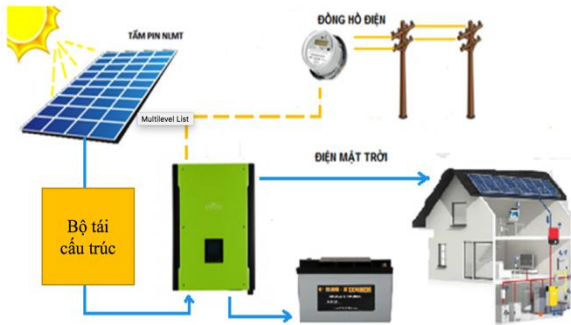
1. Phần mở đầu

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

¹ Ngày nhận bài: 10/10/2018; Ngày nhận bản sửa: 07/02/2019; Ngày chấp nhận: 10/02/2019; Phần biện: Lê Tiến Dũng, Nguyễn Quang Hùng.

bổ 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.



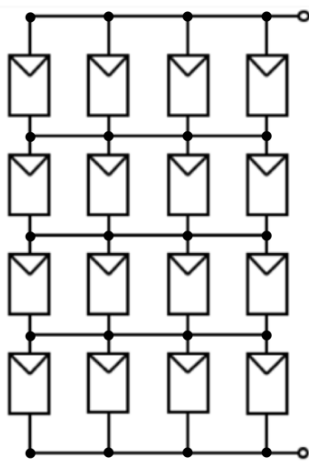
H. 1 Hệ thống NLMT và bộ tái cấu trúc

Hệ thống NLMT căn bản nối lưới hiện nay được mô tả trong H. 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 H. 1.

Trong bài báo này, tác giả trình bày chiến lược tái cấu trúc cho hệ thống NLMT dựa trên cấu hình kết nối TCT, từ đó đề xuất mô hình toán học tổng quát cho hai bài toán tối ưu trong chiến lược tái cấu trúc.

2. Chiến lược tái cấu trúc cho mạch kết nối TCT



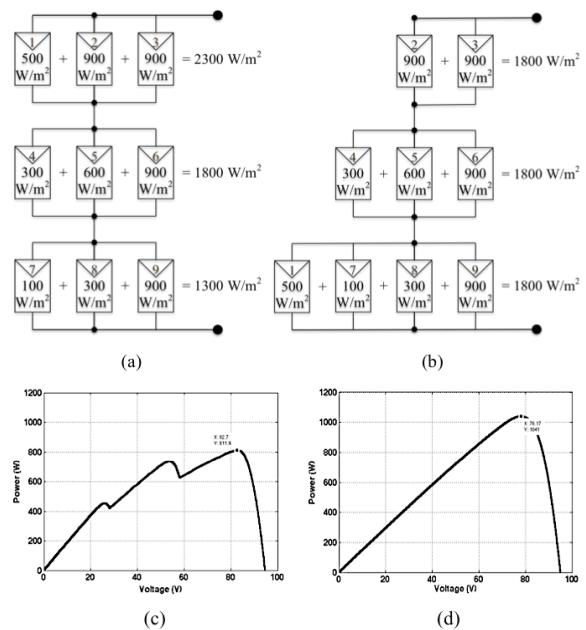
H. 2 Mạch kết nối TCT

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 (H. 2) và có các đặc điểm:

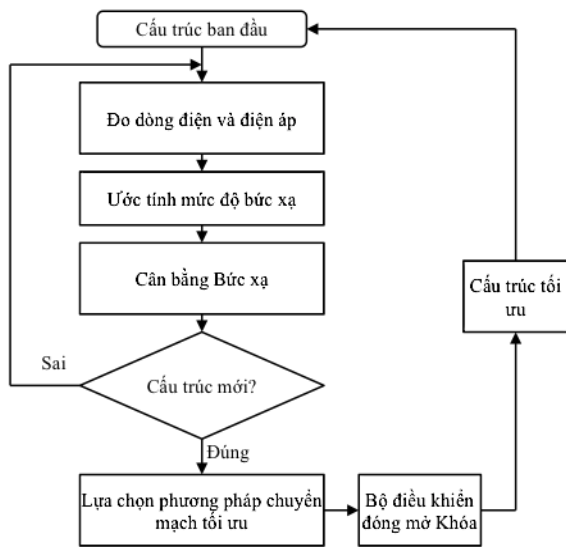
- Điện áp cực đại của các mạch kết nối song song (trong mạch TCT) không bị ảnh hưởng bởi mức độ chiếu sáng nhận được của từng tấm pin quang điện (TPQĐ).
- Dòng điện tạo ra bởi chuỗi các mạch kết nối song song sẽ tỷ lệ thuận với mức độ chiếu sáng nhận được của từng TPQĐ.

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 H. 3 [11]. Trong H. 3, trước khi cân bằng bức xạ, mạch TCT với tổng bức xạ tại các hàng lần lượt là 2300W/m^2 , 1800W/m^2 , 1300W/m^2 (H. 3a). Sau khi thay đổi vị trí tấm pin như trong hình (tấm pin 1 chuyển từ hàng 1 xuống hàng 3), tổng mức độ chiếu sáng cân bằng là 1800W/m^2 tại các hàng (H. 3b). Công suất cực đại trước khi cân bằng là $811,9\text{W}$ với hiện tượng misleading (H. 3c), sau khi cân bằng, công suất cực đại của hệ thống tăng lên 1041W (tăng $28,2\%$ hiệu suất) với duy nhất một điểm cực đại, tránh được hiện tượng misleading (H. 3d).



H. 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

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



H. 4 Lưu đồ chiến lược tái cấu trúc

Chiến lược tái cấu trúc bao gồm các bước:

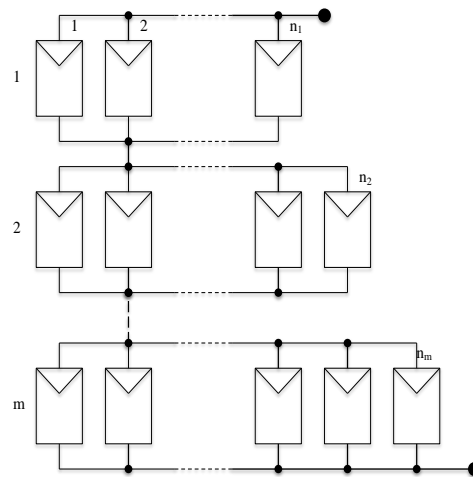
- **Bước 1:** Đo dòng điện và điện áp từng TPQĐ.
- **Bước 2:** Căn cứ vào dòng điện, điện áp ước tính bức xạ mặt trời nhận được bởi từng TPQĐ.
- **Bước 3:** Áp dụng thuật toán cân bằng bức xạ, tìm cấu hình kết nối tối ưu của các TPQĐ.
- **Bước 4:** Kiểm tra cấu hình kết nối mới so với cấu hình kết nối 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 phần sau, tác giả sẽ trình bày chi tiết và từ đó đề xuất mô hình toán cho hai bài toán tối ưu trên.

3. Đề xuất mô hình toán

3.1 Mô hình toán bài toán cân bằng bức xạ

Xét cấu trúc hệ thống NLMT mạch TCT tổng quát như H. 5 bao gồm m hàng kết nối nối tiếp, mỗi hàng là mạch các TPQĐ kết nối song song, hàng thứ i bao gồm n_i TPQĐ kết nối song song.



H. 5 Mạch kết nối TCT tổng quát

Nếu ta coi G_{ij} là giá trị bức xạ của TPQĐ thuộc hàng i và cột j trong mạch TCT. Tổng mức độ bức xạ của hàng i là G_i được xác định theo công thức:

$$G_i = \sum_{j=1}^{n_i} G_{ij} \quad (1)$$

Chỉ số cân bằng (EI) [16] cho mỗi cấu hình kết nối được tính theo công thức:

$$EI = \max_{i=1,m}(G_i) - \min_{i=1,m}(G_i) \quad (2)$$

Cấu hình nào có chỉ số EI nhỏ nhất là cấu hình tối ưu sẽ được lựa chọn.

Tổng quát hàm mục tiêu của phương pháp:

$$EI = \max_{i=1,m}(G_i) - \min_{i=1,m}(G_i) \rightarrow 0 \quad (3)$$

Điều kiện ràng buộc:

$$\begin{cases} n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_m = n \\ G_{i1} + G_{i2} + G_{i3} + \dots + G_{in_i} = G_i \\ n_i > 0 \\ G_{ij} \geq 0 \\ i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n_i} \end{cases}$$

Trong đó:

- EI Chỉ số cân bằng
- n Tổng số TPQĐ
- m Số hàng trong mạch TCT
- n_i Số tấm pin quang điện hàng i
- G_{ij} Giá trị bức xạ tại tấm pin quang điện hàng i , cột j .
- G_i Tổng bức xạ tại hàng i

Cấu hình thỏa mãn hàm mục tiêu của phương pháp Cân bằng bức xạ chính là cấu hình cho hiệu suất hoạt động của hệ thống NLMT là lớn nhất. Gọi G_{OP} là ma trận bức xạ với cấu hình kết nối ban đầu thì G_{OP} là ma trận bức xạ với cấu hình kết nối tối ưu. Trong phần tiếp theo, tác giả sẽ trình bày bài toán lựa chọn phương pháp chuyển mạch từ cấu hình ban đầu (ma trận G) đến cấu hình tối ưu (ma trận G_{OP}).

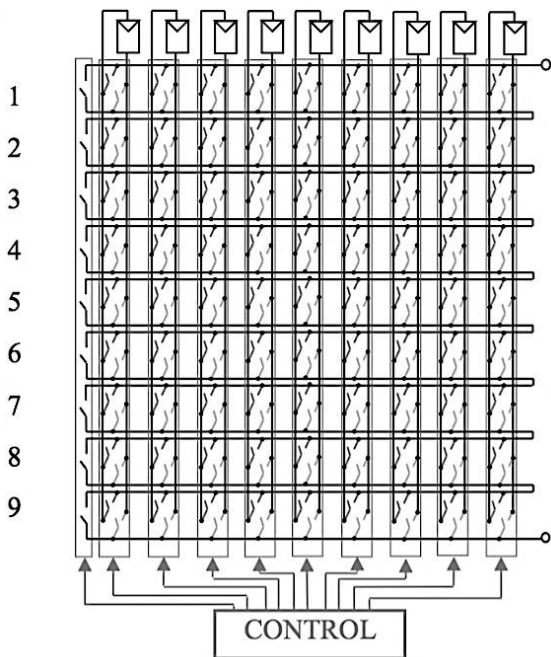
3.2 Mô hình toán bài toán lựa chọn phương pháp chuyển mạch tối ưu

Trong quá trình nghiên cứu tác giả nhận thấy có rất ít công trình nghiên cứu về việc lựa chọn phương pháp chuyển mạch tối ưu, nhằm tăng tuổi thọ của ma trận chuyển mạch, bài toán lựa chọn cấu hình chuyển mạch tối ưu đã được tác giả đề xuất tại [11], được mô tả và xây dựng mô hình toán trong phần tiếp theo sau đây.

3.2.1 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 không 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.

Ma trận chuyển mạch DES (H. 6) đã được đề xuất trong [17] nhằm mục đích thay đổi tùy biến kết nối của hệ thống NLMT, từ 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.

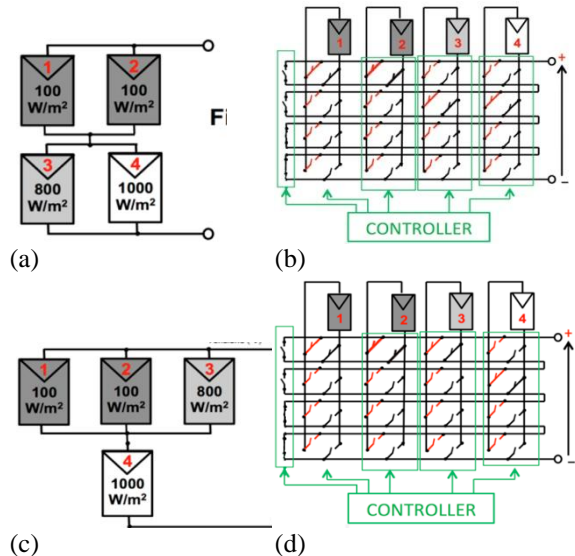


H. 6 Ma trận chuyển mạch Dynamic Electrical Scheme (DES) [17]

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

- Để có được mạch kết nối như H. 7a: Ma trận chuyển mạch H. 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.

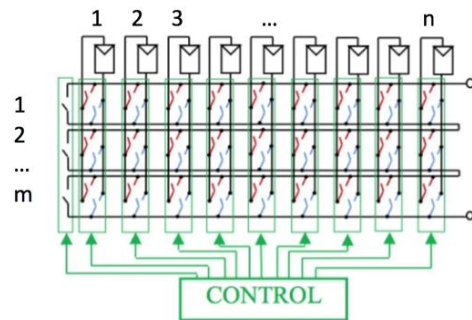
- Để có được mạch kết nối như H. 7c: Ma trận chuyển mạch H.7d khóa TPQĐ số 1, số 2 và số 3 đóng ở hàng 1, khóa TPQĐ số 4 đóng ở hàng 2, các khóa khác mở ra.



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

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 H. 5.

Xét ma trận chuyển mạch tổng quát DES cho n TPQĐ như H. 8.



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

Ma trận chuyển mạch DES được thiết kế gồm các khóa đóng mở mạch, gồm 2 phần chính:

- Phần thứ nhất bao gồm m khóa đơn ngoài cùng bên trái có tác dụng phân cách từng hàng trong mạch TCT. Gọi mảng giá trị Q gồm m phần tử tương ứng với số lần đóng mở khóa của các khóa đơn này, khóa đơn đóng mở theo nguyên tắc hàng nào có khóa kép đóng thì khóa đơn bên trái mở, hàng nào tất cả khóa kép mở thì khóa đơn bên trái đóng.
- Phần thứ 2 bao gồm $m \times n$ khóa kép nằm ở giữa ma trận chuyển mạch DES có tác dụng thay đổi vị trí kết nối các TPQĐ trong các mạch song song.

Gọi ma trận giá trị S gồm m hàng và n cột tương ứng với số lần đóng mở khóa của các khóa kép này.

Tổng quát số lần đóng mở khóa của ma trận chuyển mạch thể hiện trong H. 9.

Chỉ số hàng	Chỉ số cột				
		1	2	...	n
1	Q_1	S_{11}	S_{12}	...	S_{1n}
2	Q_2	S_{21}	S_{22}	...	S_{2n}
...
m	Q_m	S_{m1}	S_{m2}	...	S_{mn}

H. 9 *Mảng Q và ma trận S thể hiện số lần đóng mở Khóa của ma trận chuyển mạch*

Trong quá trình hoạt động của hệ thống NLMT và bộ tái cấu trúc, sau mỗi lần tái cấu trúc, số lần đóng mở khóa của ma trận chuyển mạch thay đổi. Trong nghiên cứu này, tác giả quan tâm đến việc tối thiểu số lần đóng mở khóa của các khóa kép.

Quy ước về số lần đóng mở khóa:

- Tại thời điểm ban đầu:

$$S_{ij} = 0 \quad \forall i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n} \quad (4)$$

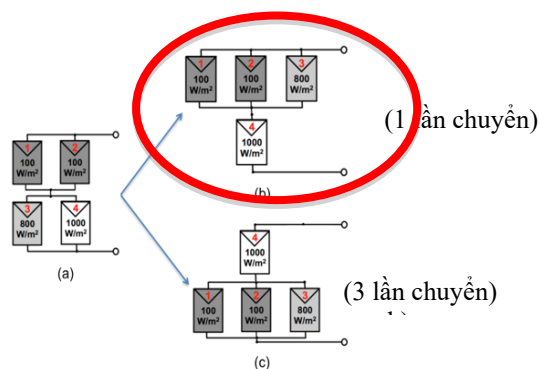
- Trong quá trình hoạt động, khi thay đổi vị trí một TPQĐ p từ hàng i chuyển sang hàng j , thì số lần đóng mở khóa của ma trận S thay đổi như sau:

$$\begin{aligned} S_{ip} &= S_{ip} + 1 \\ S_{jp} &= S_{jp} + 1 \end{aligned} \quad (5)$$

Như vậy gọi số TPQĐ chuyển vị trí là z thì số lần đóng mở khóa của Ma trận chuyển mạch là $2 \times z$.

- Trong quá trình hoạt động, khi phát hiện cấu hình kết nối mới tốt hơn cấu hình kết nối cũ, hệ thống tự động thay đổi cấu hình kết nối.

3.2.2 Bài toán phương pháp lựa chọn cấu hình chuyển mạch tối ưu



H. 10 *Ví dụ về cấu hình cân bằng bức xạ nhưng có số lần chuyển mạch khác nhau*

Bài toán phương pháp lựa chọn cấu hình chuyển mạch tối ưu được áp dụng sau khi có kết quả của bài toán cân bằng bức xạ, tức là có ma trận bức xạ mặt trời G ban đầu và ma trận bức xạ mặt trời G_{OP} sau khi cân

bằng bức xạ. Mục đích điều khiển ma trận chuyển mạch chuyển từ cấu hình ban đầu G đến cấu hình cân bằng bức xạ G_{OP} sao cho số lần đóng mở khóa của ma trận chuyển mạch S là ít nhất.

Ở các nghiên cứu của tác giả Quesada [18], Romano [17], Wilson [19] đã đề xuất các thuật toán cân bằng bức xạ, song đều chưa đề cập đến việc tìm phương pháp chuyển mạch tối ưu mà phương pháp chuyển mạch được sử dụng hoàn toàn dựa trên hệ quả của bài toán tìm cấu trúc kết nối tối ưu, dẫn đến số lần chuyển mạch lớn, chưa quan tâm đến tuổi thọ của ma trận chuyển mạch.

100	100	1000		
800	1000	100	100	800

(a)

1000		
100	100	800

(b)

H. 11 *Ma trận G (a) và ma trận G_{OP} (b)*

H. 10 là ví dụ về việc phương pháp tìm kiếm cấu hình chuyển mạch tối ưu. H. 10a là cấu trúc kết nối ban đầu của hệ thống (ma trận G tương ứng với H. 11a). H. 10b và H. 10c là 2 cấu trúc khác nhau của cùng 1 ma trận G_{OP} (H. 11b) - kết quả của bài toán tìm cấu trúc cân bằng bức xạ.

Để dàng nhận thấy để chuyển mạch từ cấu trúc ban đầu H. 10a đến cấu trúc cân bằng bức xạ H. 10b chỉ mất 1 lần chuyển vị trí TPQĐ (chuyển tấm pin 3 từng hàng 2 lên hàng 1), số lần đóng mở khóa bằng 2. Mặt khác từ cấu trúc ban đầu đến cấu trúc cân bằng bức xạ H. 10c mất 3 lần chuyển vị trí TPQĐ khóa (chuyển tấm pin 1, 2 từ hàng 1 xuống hàng 2; chuyển tấm pin 4 từ hàng 2 lên hàng 1), trong trường hợp này số lần đóng mở khóa bằng 6.

Nhận thấy, số lần đóng mở khóa phụ thuộc vào thứ tự các hàng trong ma trận G_{OP} , vậy cấu hình G_{OP} nào với số lần đóng mở khóa ít nhất sẽ được lựa chọn.

Gọi MI_{stepk} là số lần đóng mở khóa của lần tái cấu trúc thứ k , $(S_{ij})_{stepk}$ là tổng số lần đóng mở khóa của khóa có chỉ số hàng i và cột j trong ma trận chuyển mạch, tính đến hết lần tái cấu trúc thứ k . MI_{stepk} được tính theo công thức:

$$MI_{stepk} = \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=n} (S_{ij})_{stepk} - \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=n} (S_{ij})_{stepk-1} \quad (6)$$

Trong đó:

- m Số hàng trong mạch TCT
- n Số tấm pin quang điện
- MI_{stepk} Số lần đóng mở khóa cho lần tái cấu trúc thứ k

Trong quá trình hoạt động, có thể tấm pin hay bị che phủ nhất sẽ chuyển mạch nhiều nhất, dẫn đến sự mất cân bằng trong số khóa chuyển mạch toàn ma trận, lúc này, tuổi thọ của ma trận sẽ phụ thuộc vào khóa chuyển mạch nhiều nhất. Vậy bài toán đặt ra: trong nhiều trường hợp, cấu hình với số lần đóng mở khóa ít nhất chưa chắc đã được lựa chọn, phải lựa

chọn cấu hình kết nối khác, sao cho tối thiểu hóa số lần đóng mở của khóa có tần suất đóng mở lớn nhất. $(MI_{min})_{step k}$ là số lần đóng mở khóa ít nhất của lần tái cấu trúc thứ k . Ta có hàm mục tiêu của bài toán lựa chọn phương pháp chuyển mạch tối ưu:

$$\left\{ \begin{array}{l} \max_{\substack{i=1,m \\ j=1,n}}(S_{ij})_{stepk} - \max_{\substack{i=1,m \\ j=1,n}}(S_{ij})_{stepk-1} \rightarrow 0 \\ MI_{stepk} = \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^{\substack{i=m \\ j=n}}(S_{ij})_{stepk} - \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^{\substack{i=m \\ j=n}}(S_{ij})_{stepk-1} \rightarrow (MI_{min})_{stepk} \end{array} \right. \quad (7)$$

Ràng buộc:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{ij} \geq 0 \\ \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^{\substack{i=m \\ j=n}}(S_{ij})_{step0} = 0 \end{array} \right.$$

Trong đó:

$(MI_{min})_{stepk}$ Số lần đóng mở khoá ít nhất cho lần tái cấu trúc thứ k

Sau khi lựa chọn được cấu hình kết nối và phương pháp chuyển mạch tối ưu theo hai bài toán đã xây dựng mô hình toán ở trên, bộ điều khiển được thiết kế điều khiển các khóa trong ma trận chuyển mạch đóng mở một cách hợp lý, chuyển từ cấu hình kết nối ban đầu đến cấu hình kết nối tối ưu.

4. Kết luận

Trong các công bố nghiên cứu gần đây [11-15], tác giả đã tập trung nghiên cứu, đề xuất các giải pháp nâng cao hiệu suất làm việc cho hệ thống NLMT dựa trên phương pháp cân bằng bức xạ, sử dụng mạch kết nối TCT.

Trong bài báo này, tác giả tập trung phân tích, đề xuất mô hình toán cho hai bài toán chính trong các nghiên cứu trước đó, xây dựng các hàm mục tiêu và các ràng buộc rõ ràng, là cơ sở lý luận để đánh giá chất lượng, độ chính xác của các thuật toán đã đề xuất, từ đó xây dựng các thuật toán tối ưu hơn các thuật toán trước đó.

Tài liệu tham khảo

[1] Belhachat F, Larbes C (2017) *Global maximum power point tracking based on ANFIS approach for PV array configurations under partial shading conditions*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 77

[2] Bendib B, Belmili H, Krimb F (2015) *A survey of the most used MPPT methods: Conventional and advanced algorithms applied for photovoltaic systems*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 45

[3] Eltawil MA, Zhao Z (2013) *MPPT techniques for photovoltaic applications*. Renewable and

Sustainable Energy Reviews, vol. 25, pp. 793-813

[4] Veerasamy B, Kitagawa W, Takeshita T (2014) *MPPT Method for PV Modules Using Current Control-based Partial Shading Detection*. International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA)

[5] Saadsaoud M, Ahmed AH, Salah K (2016) *Study of Partial Shading Effects on Photovoltaic Arrays with Comprehensive Simulator for Global MPPT control*. International Journal of Renewable Energy Research-IJRER, vol. 6(2)

[6] Choudhury S, Rout PK (2015) *Adaptive Fuzzy Logic based MPPT Control for PV System Under Partial Shading Condition*. International Journal of Renewable Energy Research-IJRER, vol. 5(4)

[7] Chander S, Purohit A, Sharma A, Nehra SP, Dhakaa MS (2015) *Impact of temperature on performance of series and parallel connected mono-crystalline silicon solar cells*. Energy Reports, vol. 1, pp. 175-180

[8] Reis F, Guerreiro C, Batista F, Pimentel T, Pravettoni M, Wemans J, Sorasio G, Brito MC (2015) *Modeling the Effects of Inhomogeneous Irradiation and Temperature Profile on CPV Solar Cell Behavior*. IEEE Journal of Photovoltaics, vol. 5(1), pp. 112-122

[9] Wysocki JJ, Rappaport P (2004) *Effect of Temperature on Photovoltaic Solar Energy Conversion*. Journal of Applied Physics, vol. 31(571)

[10] Singh P, Singh SN, Lal M, Husain M (2008) *Temperature dependence of I-V characteristics and performance parameters of silicon solar cell*. Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 92(12), pp. 1611-1616

[11] Sanseverino ER, Thanh NN, Cardinale M, Vigni VL, Musso D, Romano P, Viola F (2015) *Dynamic programming and Munkres algorithm for Optimal Photovoltaic Arrays Reconfiguration*. Solar Energy, vol. 122, pp. 347-358

[12] Thanh NN, Quang NP, Cat PT (2016) *Improved Control Algorithm for Increase Efficiency of Photovoltaic System under Non-Homogeneous Solar Irradiance*. Special issue control and automation, vol. 16, pp. 12

[13] Thanh NN, Quang NP (2017) *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

[14] Thanh NN, Quang NP, Linh NT, Sanseverino ER, Romano P, Viola F (2017) *Increasing Efficiency of Photovoltaic Systems under Non-Homogeneous Solar Irradiation Using Improved Dynamic Programming Methods*. Solar Energy, vol. 150, pp. 325-334

- [15] Thanh NN, Quang NP (2018) *Simulation of Reconfiguration System Using Matlab-Simulink Environment*. Journal of Computer Science and Cybernetics, accepted
- [16] Manna DL, Vigni VL, Sanseverino ER, Dio VD, Romano P (2014) *Reconfigurable Electrical Interconnection Strategies for Photovoltaic Arrays: A Review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews
- [17] Romano P, Candela R, Cardinale M, Vigni VL, Musso D, Sanseverino ER (2013) *Optimization of Photovoltaic Energy Production through an Efficient Switching Matrix*. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, vol. 1(3), pp. 227-236
- [18] Velasco G, Guinjoan F, Pique R (2009) *Electrical PV Array Reconfiguration Strategy for Energy Extraction Improvement in Grid-Connected PV Systems*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 56(11), pp. 4319-4331