

XÂY DỰNG MÔ HÌNH CỦA INVERTER CÓ KHẢ NĂNG ĐIỀU KHIỂN CÔNG SUẤT TÁC DỤNG VÀ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN MẶT TRỜI NỐI LƯỚI KHI XẢY RA SỰ CỐ NGẮN MẠCH

BUILDING A MODEL OF INVERTER CAPABLE OF CONTROLLING ACTIVE POWER AND REACTIVE POWER IN GRID-CONNECTED SOLAR POWER SYSTEM WHEN A SHORT-CIRCUIT FAULT OCCURS

Nguyễn Đức Tuyên¹, Lê Văn Lực^{2,*},
Đỗ Văn Long¹, Nguyễn Hữu Đức³

TÓM TẮT

Các hệ thống điện mặt trời pin quang điện hòa lưới sử dụng inverter thông minh hiện nay có thể thực hiện nhiều chức năng như kiểm soát điều chỉnh công suất để tối ưu và đảm bảo độ tin cậy của hệ thống, đặc biệt khi mà nguồn điện mặt trời ngày càng phát triển và nắm giữ vai trò quan trọng trong việc đảm bảo an ninh năng lượng. Để thể hiện rõ ràng tầm trọng của việc điều khiển công suất trong hệ thống điện mặt trời, bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu khả năng điều chỉnh công suất tác dụng và công suất phản kháng của hệ thống điện mặt trời khi lưới điện vận hành trong trạng thái bình thường và khi gặp sự cố ngắn mạch. Quá trình mô phỏng được thực hiện trên phần mềm PSCAD/EMTDC. Kết quả đạt được đã chỉ ra được khả năng điều khiển công suất của hệ thống.

Từ khóa: Điện mặt trời, inverter, điều khiển công suất, sự cố ngắn mạch.

ABSTRACT

Recently, grid-connected photovoltaic (PV) systems can perform many functions such as controlling power adjustment to optimize and ensure system reliability, especially when solar power is rapidly developing and playing an important role in ensuring energy security. To clearly show the importance of power control in solar power systems, this paper presents the results of research on the ability to control the real power and the reactive power of solar power system when the grid operates in a normal state and when short-circuit fault occurs. The simulation process was performed on PSCAD/EMTDC software. The results have shown the ability to control the power of the system.

Keywords: Photovoltaic system, inverter, power control, short-circuit fault.

¹Viện Điện, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

²Ishan International Pvt. Ltd.

³Khoa Công nghệ Năng lượng, Trường Đại học Điện lực

*Email: levanluc.d8dhn@gmail.com

Ngày nhận bài: 20/5/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/7/2020

Ngày chấp nhận đăng: 18/8/2020

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Điện mặt trời sử dụng pin quang điện (PV) trong vài thập kỉ trở lại đây phát triển vô cùng nhanh chóng do nhu cầu năng lượng của thế giới tăng mạnh. Các vấn đề của hệ thống PV vì thế cũng được tập trung nghiên cứu. Một phương pháp kiểm soát các chức năng của bộ hòa lưới đã được đề xuất [1] và đặc tính động lực học cho một hệ thống điện mặt trời kết nối giao thoa với lưới phân phối cũng đã được thực hiện [2]. Từ đó, trình bày tổng quan về điều khiển và đồng bộ thông số kỹ thuật của bộ hóa lưới với hệ thống phát điện phân tán. Nếu như trước đây các hệ thống PV chỉ được sử dụng để phát công suất tác dụng P thì hiện tại với sự phát triển của điện tử công suất, khả năng điều khiển inverter đã được cải thiện cung cấp khả năng điều chỉnh công suất phản kháng Q. Điều này giúp việc vận hành hệ thống điện trong bối cảnh các nguồn năng lượng tái tạo chiếm tỷ trọng cao trong cơ cấu nguồn điện trở nên tối ưu hơn.

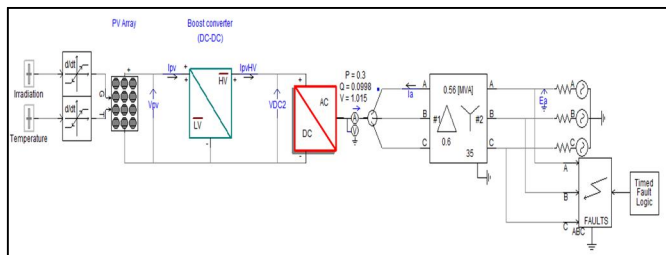
Tuy nhiên, vì sử dụng các thiết bị điện tử công suất nên khả năng điều khiển công suất của hệ thống PV sẽ bị ảnh hưởng nếu như lưới điện gặp sự cố ngắn mạch [3].

Bài báo này trình bày một phương pháp điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng cho hệ thống PV ba pha nối lưới cùng với việc phân tích khả năng điều khiển đó khi lưới điện gặp sự cố ngắn mạch ba pha chạm nhau, loại ngắn mạch tuy ít xảy ra nhưng có khả năng phá hủy hệ thống là rất lớn. Các phần tiếp theo sẽ được trình bày những nội dung chính như sau: Phần 2 mô tả mô hình hệ thống PV ba pha nối lưới. Phần 3 trình bày điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng khi hệ thống gặp sự cố ngắn mạch. Phần 4 sẽ nêu kết quả mô phỏng. Và kết luận của bài báo ở phần 5.

2. HỆ THỐNG PV BA PHA NỐI LƯỚI

Bài báo này đưa ra phương pháp đề xuất dựa trên việc kiểm soát công suất tác dụng và công suất phản kháng

được đưa vào lưới điện. Toàn bộ hệ thống bao gồm bảng điều khiển PV, bộ điều khiển MPPT, bộ chuyển đổi tăng áp DC-DC, bộ hòa lưới nguồn điện áp ba pha gồm 6 van bán dẫn IGBT, bộ điều khiển inverter, bộ lọc sóng hài, máy biến áp nối tam giác / sao và lưới. Số lượng tấm pin mặt trời được chọn là 22×250 để mô hình hóa và mô phỏng bằng phần mềm PSCAD.



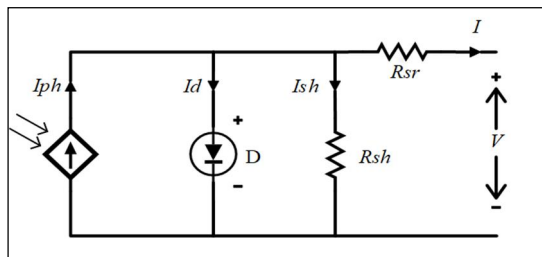
Hình 1. Cấu trúc của hệ thống kết nối lưới PV ba pha.

Một vòng khóa pha (PLL) trong quá trình điều khiển inverter được sử dụng để theo dõi góc pha được yêu cầu bởi sơ đồ khối biến đổi dq – abc. Tín hiệu được chuyển trở lại khung tham chiếu abc và được đưa đến bộ tạo PWM cung cấp xung cho PV inverter được kết nối lưới. Trong các phần sau, mỗi hệ thống con của phương pháp đề xuất được mô tả riêng lẻ. Hình 1 minh họa sơ đồ khối của hệ thống điện mặt trời nối lưới điện quốc gia.

Nguồn điện áp ba pha được sử dụng trong mô phỏng này là nguồn 600V/50Hz và các tham số của các phần tử được chọn phù hợp với mô phỏng hệ thống.

2.1. Mô hình cấu tạo của pin mặt trời

Hình 2 là mạch tương đương của pin mặt trời chứa nguồn dòng quang điện đối song song với diode, điện trở mắc song song và điện trở nối tiếp [4].



Hình 2. Mạch tương đương của pin mặt trời

Quy tắc dòng điện Kirchoff:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \tag{1}$$

$$I_{ph} = I_r \cdot \frac{I_{sc}}{I_{r0}} \tag{2}$$

$$I_0 = \frac{I_{sc}}{\left[\exp\left(\frac{V_{oc}}{nV_t}\right) - 1 \right]} \tag{3}$$

$$I_d = I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{V+IR_{sr}}{nV_t}\right) - 1 \right] \tag{4}$$

$$I_{sh} = \frac{V+IR_{sr}}{R_{sh}} \tag{5}$$

$$V_t = \frac{nkT_c}{q} \tag{6}$$

Do đó, mối quan hệ giữa điện áp và dòng điện đầu ra được biểu thị bằng phương trình sau:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V+IR_{sr}}{nkT_c/q}\right) - 1 \right] - \frac{V+IR_{sr}}{R_{sh}} \tag{7}$$

Trong đó:

I là dòng điện đầu ra PV,

V là điện áp đầu ra PV,

I_{ph} là dòng quang điện,

I_0 là dòng bão hòa,

R_{sr} là điện trở nối tiếp,

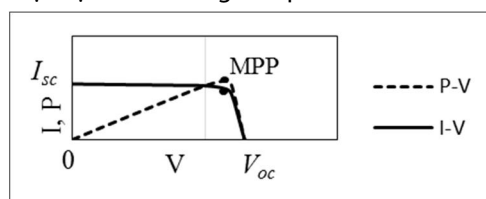
R_{sh} là điện trở shunt,

q là điện tích,

n là hệ số lý tưởng của diode,

K là hằng số Boltzmann,

T_c là nhiệt độ tế bào trong tấm pin.

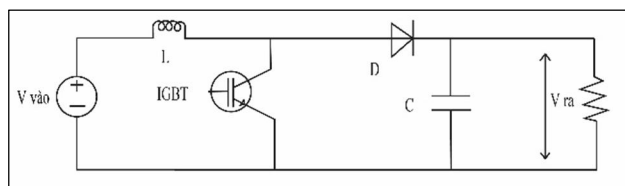


Hình 3. Đặc điểm P-V và I-V của tế bào PV

Hình 3 cho thấy các đặc tính đầu ra điển hình và điểm công suất tối đa của tế bào trong tấm pin PV trong đó MPP là điểm công suất cực đại, V_{oc} là điện áp mạch hở, I_{sc} là điện áp ngắn mạch.

2.2. Bộ chuyển đổi tăng áp DC-DC

Bộ chuyển đổi tăng áp DC-DC làm tăng điện áp đầu ra của mảng PV từ mức điện áp đầu vào thấp đến mức cao của điện áp đầu ra. Bộ chuyển đổi Boost chủ yếu bao gồm điện trở, cuộn cảm, diode và tụ điện hoạt động ở hai chế độ. Trong chế độ đầu tiên khi đóng công tắc, dòng điện tăng qua diode và cuộn cảm. Trong khoảng thời gian này, diode D bị tắt. Trong chế độ thứ hai khi công tắc được mở dòng điện chạy qua cuộn cảm, tụ điện, diode và tải [5]. Hình 4 cho thấy mạch tương đương của bộ chuyển đổi tăng áp DC-DC.



Hình 4. Mạch tương đương của bộ chuyển đổi tăng áp DC-DC

$D = 1 - \frac{V_{vào}}{V_{ra}}$ là tỷ lệ hiệu suất bộ chuyển đổi DC-DC được điều chỉnh bằng cách sử dụng các thuật toán và kỹ thuật MPPT khác nhau. Các thuật toán MPPT sẽ được mô hình hóa trong phần tiếp theo.

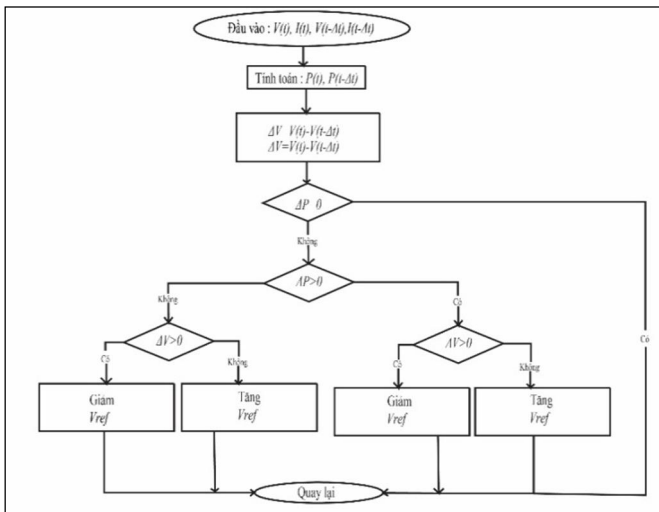
2.3. Thuật toán MPPT Perturb và Observe (P&O)

Theo đó, MPPT lấy đầu vào của điện áp và dòng điện từ đầu ra nguồn PV và đặt tham chiếu điện áp liên kết DC ở phía đầu vào inverter. Kết quả là khi điện áp liên kết DC duy trì giá trị tham chiếu, nguồn PV có thể cung cấp công suất

tối đa có sẵn ở mức chiếu xạ và nhiệt độ nhất định [6]. Ngay khi dòng đầu ra của inverter khớp với dòng MPPT do điểm đặt của điện áp MPPT, inverter sẽ ổn định tại điểm vận hành công suất tối đa [7].

Có nhiều thuật toán MPPT đã được trình bày từ trước đến nay. Tuy nhiên, ba thuật toán thích hợp nhất cho các hệ thống kết nối lưới PV là Perturb và Observe (P&O), incremental conductance (IC) and fuzzy logic control (FLC). Trong phần trình này, thuật toán P&O sẽ được thể hiện một cách rõ ràng [8].

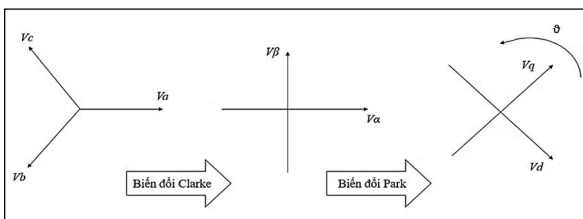
Phương pháp sử dụng thuật toán P&O, dựa trên việc so sánh giá trị thực của công suất với giá trị trước đó, phần nhiễu loạn sẽ được quyết định. Nếu công suất tăng, nhiễu loạn sẽ tiếp tục giữ cùng hướng và nếu công suất giảm, nó sẽ vượt quá MPP từ đó phần nhiễu loạn tiếp theo phải theo hướng ngược lại. Quá trình được lặp lại cho đến khi đạt được MPP. Bởi vì phương pháp chỉ so sánh theo công suất của PV, nên việc thực hiện rất đơn giản. Sơ đồ cấu trúc của thuật toán P&O được hiển thị trong hình 5 [9].



Hình 5. Sơ đồ cấu trúc của thuật toán P&O

3. ĐIỀU KHIỂN CÔNG SUẤT TÁC DỤNG VÀ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG KHI HỆ THỐNG GẶP SỰ CỠ NGẮN MẠCH

Để thực hiện điều khiển công suất tác dụng (P) và công suất phản kháng (Q), các đại lượng như dòng điện và điện áp được chuyển từ khung tham chiếu đứng yên sang khung tham chiếu đồng bộ thông qua biến đổi Clarke và Park [10]. Hình 6 minh họa sự biến đổi Clarke và Park.



Hình 6. Hình minh họa cho biến đổi Clarke và Park

Các ma trận sau đây lần lượt là Biến đổi Clarke và biến đổi nghịch đảo Clarke, tương ứng. Thành phần V_0 không tồn tại trong điều kiện đối xứng cân bằng.

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \\ V_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \\ V_0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Các ma trận sau đây lần lượt là biến đổi Park và biến đổi Park nghịch đảo.

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \\ V_0 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \\ V_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Công suất tác dụng và công suất phản kháng là:

$$Q = V_q I_d - V_d I_q \quad (10)$$

V_q bằng 0 khi khung tham chiếu đồng bộ được đồng bộ hóa với điện áp lưới [11]. Do đó, các phương trình thể hiện công suất giảm xuống là:

$$P = V_d I_d; \quad Q = -V_d I_q \quad (11)$$

Để truyền toàn bộ công suất PV tối đa vào lưới, các dòng tham chiếu có thể được tính như sau:

$$I_{d_ref} = \frac{P_{ref}}{V_d} = \frac{P_{pv}}{V_d} = \frac{P_{max}}{V_d}; \quad I_{q_ref} = \frac{Q_{ref}}{V_d} \quad (12)$$

Đầu ra điện áp của bộ hòa lưới có thể được thiết lập là:

$$L_i' = V - V_{lưới} \quad (13)$$

$$\frac{d}{dx} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega \\ \omega & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d - V_{d_lưới} \\ V_q - V_{q_lưới} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Các phương trình tương đương là:

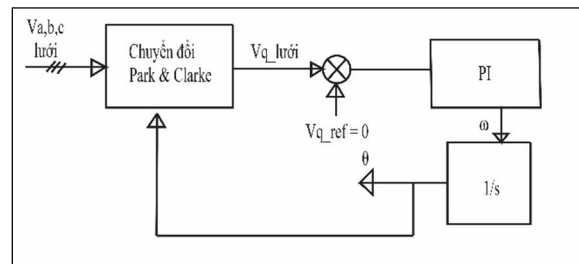
$$V_d = V_{d_lưới} - \omega L I_q; \quad V_q = V_{q_lưới} + \omega L I_d \quad (15)$$

Do đó, điện áp tham chiếu là:

$$V_{d_ref} = V_{d_phản\ hồi} + V_{d_lưới} - \omega L I_q \quad (16)$$

$$V_{q_ref} = V_{q_phản\ hồi} + \omega L I_d \quad (17)$$

Các điện áp tham chiếu (ba pha) sau đó được so sánh với dạng sóng tam giác ở tần số không đổi để điều khiển các công tắc BẬT hoặc TẮT của bộ hòa lưới.

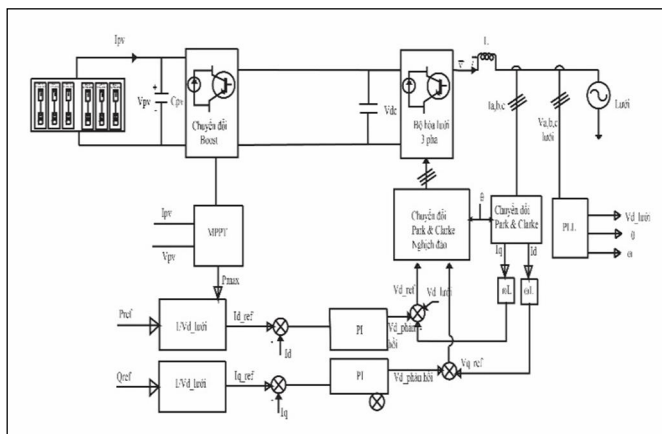


Hình 7. Sơ đồ khối sơ đồ của PLL

Sơ đồ điều khiển đã được thể hiện trong hình 8. Trong hình này, vòng khóa pha (PLL) giữ tín hiệu đầu vào tham

chiếu với tín hiệu đầu ra được đồng bộ hóa theo bộ hòa lưới và pha. Cấu trúc PLL cơ bản nhất bao gồm một khối đầu đo pha để tạo một tín hiệu lỗi pha giữa tín hiệu đầu vào và tín hiệu đầu ra của PLL [12]. Hình 7 là sơ đồ khối cơ bản của PLL. K_p và K_i được chọn trong mô hình này lần lượt là 0,16 và 2,51. Bộ điều khiển PI của điều khiển dòng được thiết kế theo cách tương tự với PLL với K_p và K_i là 9,701 và 2405, tương ứng.

Dựa vào những công thức trên có thể phân tích được trong trường hợp sự cố ngắn mạch, việc điều khiển tăng giảm công suất phản kháng và công suất tác dụng sẽ ảnh hưởng đến lưới điện. Vì công suất tác dụng phụ thuộc vào I_d hiện tại, do đó, để cung cấp công suất thực cho lưới điện, I_d phải được điều chỉnh để tuân theo tín hiệu tham chiếu được chỉ định I_{d_ref} , công suất phản kháng vào lưới được đặt thành 0. Do đó $I_{q_ref} = 0$. Điện áp và dòng điện hiện tại V_{PV} và I_{PV} của các mảng PV được sử dụng để tính toán đầu ra công suất tác dụng của bộ hòa lưới cung cấp cho lưới điện. Đối với hệ số công suất đồng nhất, lệnh I_{q_ref} được đặt thành 0.



Hình 8. Mô hình chi tiết hệ thống điều khiển

Vậy khi xảy ra sự cố, điện áp sẽ giảm xuống trong khi dòng điện lại tăng. Khi đó khả năng điều khiển P và Q của hệ thống cũng bị ảnh hưởng nhưng vẫn thực hiện được yêu cầu cung cấp công suất đưa lên lưới trong quá trình xảy ra sự cố. Sau khi tăng công suất phản kháng phát lên lưới thì điện áp tại điểm ngắn mạch được cải thiện và dòng điện ngắn mạch giảm, như vậy có thể thực hiện chức năng hỗ trợ vượt qua sự cố của inverter (Low Voltage Ride Through) giúp hệ thống điện tránh tan rã khi xảy ra sự cố, đặc biệt trong điều kiện tỷ trọng lớn các nguồn điện dùng inverter nối lưới.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Mô phỏng hoạt động trên hệ thống sử dụng các tấm pin năng lượng mặt trời gồm 22x250 module nối tiếp - song song được kết nối lại với nhau với thông số của hệ thống được cho trong bảng 1. Kết quả mô phỏng thực hiện dưới điều kiện môi trường tiêu chuẩn. Ta sẽ tiến hành mô phỏng trong 2 trường hợp và phân tích khả năng điều khiển công suất của inverter. Trường hợp đầu tiên là khi hệ thống hoạt động trong điều kiện lưới điện không có sự cố

có xét đến sự thay đổi của bức xạ mặt trời và trường hợp thứ hai đánh giá khả năng điều khiển của hệ thống khi có sự cố ngắn mạch 3 pha chạm nhau xảy ra trên lưới.

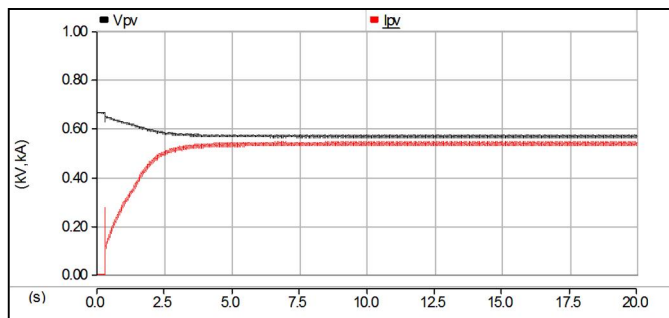
Bảng 1. Thông số kỹ thuật của hệ thống

Thông số kĩ thuật của hệ thống	
Nhiệt độ	25°C
Cường độ bức xạ	1000W/m ²
Công suất max của hệ thống pin	0,3MW
Điện áp đầu ra DC-DC boost	1kV
Điện áp dây hiệu dụng từ lưới	35kV
Tần số	50Hz
Điện cảm bộ lọc tích cực	L = 425.10 ⁻⁶ H
Tụ liên kết DC-AC	C = 1950.10 ⁻⁶
Tần số đóng cắt IGBT	8kHz
Máy biến áp Δ/y-0.6/35kV	560kVA

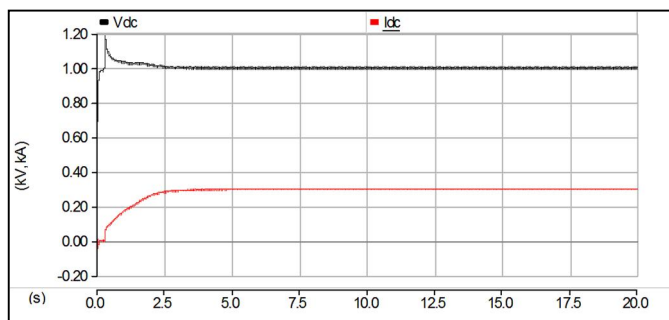
Mô hình được mô phỏng trên phần mềm PSCAD. PSCAD rất phù hợp cho việc mô tả các hệ thống điều khiển, các bộ điện tử công suất. Do vậy việc xây dựng hệ thống mặt trời áp mái trên PSCAD sẽ giúp cho việc nghiên cứu các chế độ vận hành và điều khiển chính xác và thuận lợi.

4.1. Vận hành bình thường

Để thị thể hiện giá trị điện áp và dòng điện đầu ra của dàn pin mặt trời được trình bày ở hình 9. Giá trị điện áp và dòng điện của dàn pin sau khi hoạt động ổn định là 0,57kV và 0,53kA. Qua bộ tăng áp DC-DC, ta thu được đồ thị giá trị điện áp và dòng điện của hệ thống ở hình 10.



Hình 9. Đồ thị điện áp và dòng điện đầu ra của hệ thống pin mặt trời

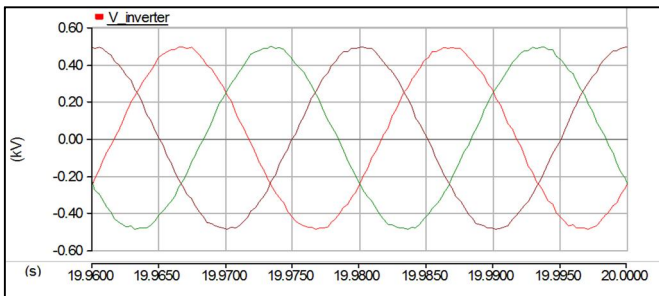


Hình 10. Đồ thị điện áp và dòng điện đầu ra của bộ biến đổi tăng áp DC-DC

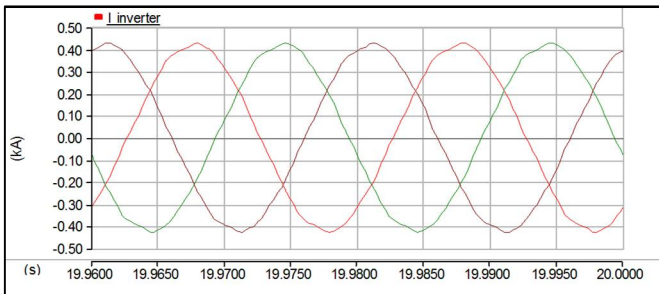
Hệ thống điện mặt trời được tính toán có công suất phát vào khoảng 0,3MW. Bộ biến đổi tăng áp DC-DC theo đó được thiết kế có công suất lớn nhất là 0,5MW và điện áp

đầu ra là 1kV. Ta có thể thấy rằng ở hình 10 điện áp đầu ra của bộ biến đổi DC-DC đạt giá trị 1kV sau khoảng thời gian 2,5s từ khi hệ thống bắt đầu hoạt động và duy trì ổn định ở mức này. Giá trị dòng điện đo được từ bộ DC-DC là khoảng xấp xỉ 0,3kA. Sự hao tổn công suất từ dàn pin mặt trời qua bộ biến đổi tăng áp từ 0,57kV lên 1kV và qua inverter là khoảng 0,01MW

Sau đó khi đi qua inverter ta thu được dạng sóng dòng điện và điện áp hình sin lẫn lượt ở hình 11 và 12. Tuy nhiên có thể thấy rõ dạng sóng dòng điện bị méo do sự ảnh hưởng của sóng hài gây ra bởi việc đóng cắt các van bán dẫn với tần số cao.



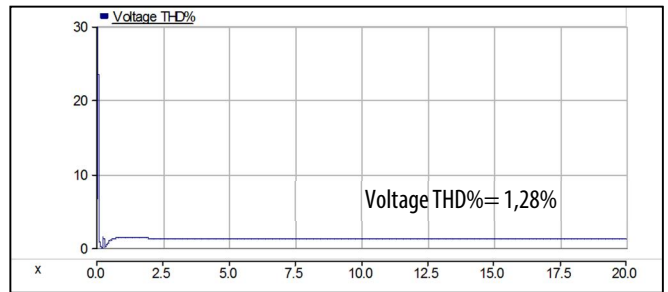
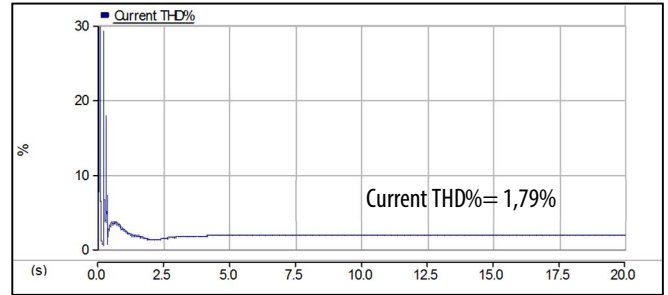
Hình 11. Dạng sóng điện áp đầu ra inverter



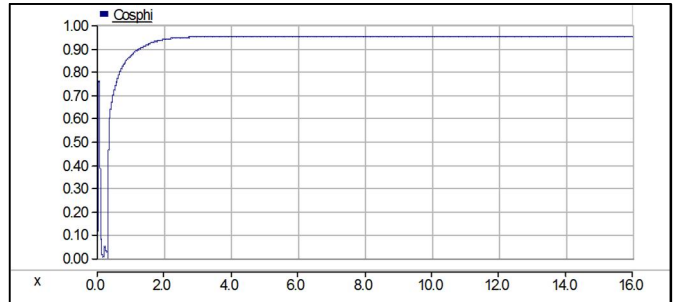
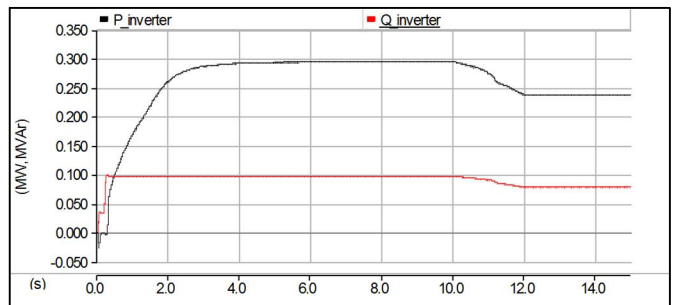
Hình 12. Dạng sóng dòng điện đầu ra inverter

Để đánh giá tiêu chuẩn về yêu cầu tổng độ biến dạng sóng hài (THD%: Total Harmonic Distortion), hình 13 đưa ra dạng đồ thị thể hiện THD% của dòng điện và điện áp đầu ra inverter. Con số này được tính toán lần lượt ở mức 1,79% và 1,28% phù hợp với yêu cầu của Bộ Công Thương đưa ra trong Thông tư số 30/2019/TT-BCT cho hệ thống điện phân phối hạ áp. Có nhiều cách để cải thiện sóng hài dòng điện và điện áp của bộ inverter, điển hình là việc sử dụng máy biến áp dạng sao tam giác, các sóng hài dòng điện bội ba chạy trong cuộn dây phía nối sao sẽ có tổng đại số bằng không dẫn đến có thể giảm đáng kể loại biến dạng đơn lẻ bội ba này. Ngoài ra người ta thường thiết kế các bộ lọc sóng hài phía trước điểm hòa lưới có dạng phức tạp hơn như dạng LC hay LCL để có thể hạn chế tối đa việc sóng hài ảnh hưởng tới hệ thống.

Vì có thể điều khiển độc lập công suất phản kháng và công suất tác dụng nhờ việc chuyển đổi hệ quy chiếu nên hệ thống có thể điều chỉnh để yêu cầu giữ cố định hệ số công suất đầu ra cosphi khi có sự thay đổi về nhiệt độ hay cường độ bức xạ. Hình 14 mô tả đồ thị giá trị của công suất phản kháng Q và công suất tác dụng P trong điều kiện lưới không gặp sự cố theo thời gian.



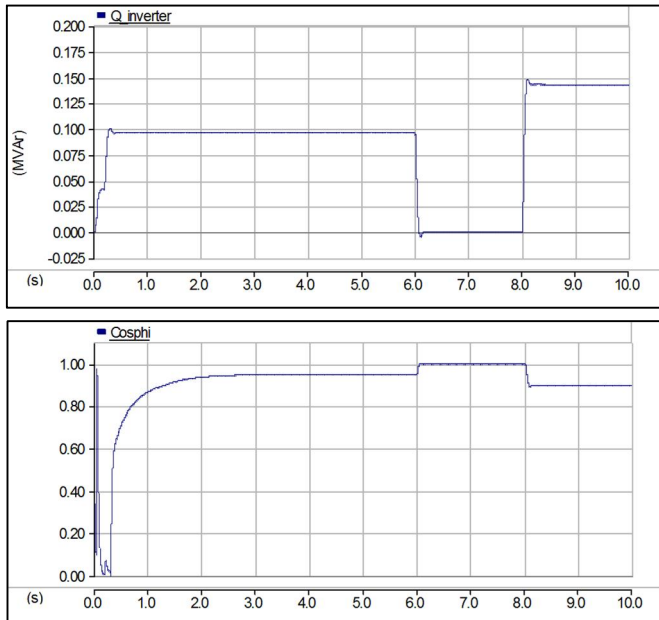
Hình 13. Tổng biến dạng sóng hài THD% của dòng điện và điện áp inverter



Hình 14. Đồ thị giá trị công suất tác dụng và công suất phản kháng thay đổi theo thời gian

Trong 10 giây đầu tiên, hệ thống hoạt động ổn định với hệ số công suất được đặt là 0,95 trong điều kiện cường độ bức xạ là 1000W/m² với P = 0,295MW và Q = 0.097MVar. Ở giây thứ 10, ta thực hiện thay đổi cho cường độ bức xạ đột ngột xuống còn 800W/m² ngay lập tức giá trị P và Q cũng lần lượt được điều chỉnh một cách nhanh chóng xuống P = 0,238MW và Q = 0,078MVar. Quá trình quá độ này diễn ra trong khoảng 2 giây.

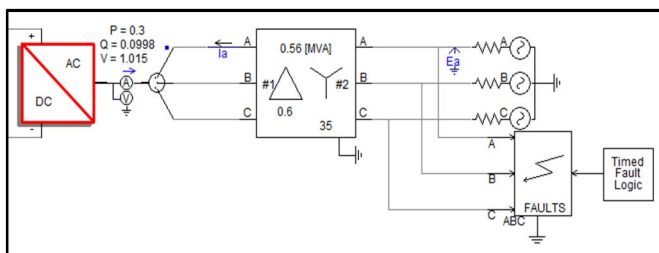
Ngoài ra khi điều kiện thời tiết thuận lợi khả năng điều chỉnh công suất phản kháng Q được thể hiện trong hình 15 khi giá trị Q đặt được thay đổi và P được phát toàn bộ công suất. Trong hình 15 tại thời điểm ban đầu hệ số công suất bằng 0,95 sau đó lần lượt thay đổi thành 1 và 0,9 ở thời điểm giây thứ 6 và thứ 8.



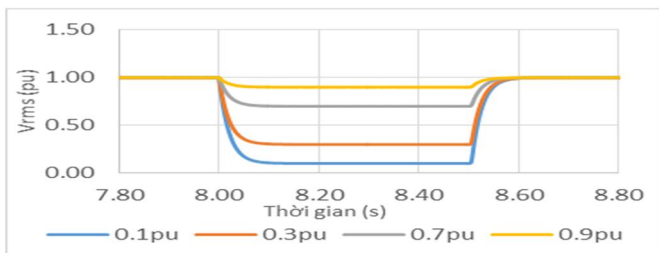
Hình 15. Đồ thị thể hiện khả năng thay đổi Q của inverter theo hệ số cosphi

4.2. Lưới gặp sự cố ngắn mạch

Trong trường hợp này ta đặt công suất phản kháng sinh ra cố định là 0,1MVar cũng như điều kiện thời tiết tiêu chuẩn cường độ bức xạ 1000W/m² ở nhiệt độ 25°C. Khi xảy ra sự cố ngắn mạch 3 pha chạm nhau, điện áp lưới bị giảm đột ngột cùng với dòng điện ngắn mạch lớn có khả năng dẫn đến sự thay đổi trong hệ thống PV. Ở mô phỏng này ngắn mạch xảy ra với điện trở ngắn mạch là 1Ω. Hình 17 thể hiện giá trị điện áp hiệu dụng của lưới khi xảy ra sự cố vào giây thứ 8 trong 4 trường hợp xét tới là khi điện áp hiệu dụng giảm xuống lần lượt 0,1pu, 0,3pu, 0,7pu và 0,9pu, thời gian xảy ra sự cố là 0,5 giây.



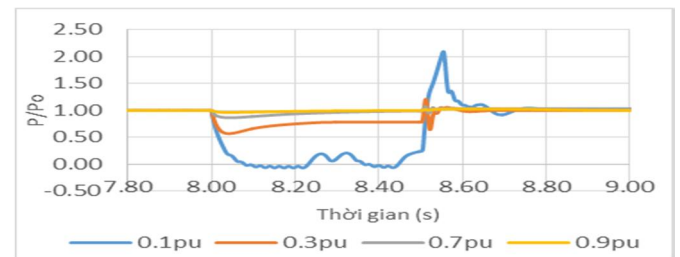
Hình 16. Mô phỏng hiện tượng ngắn mạch 3 pha chạm nhau



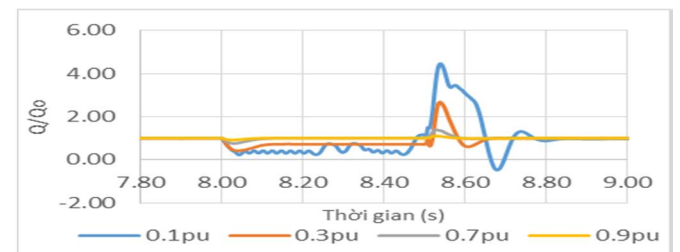
Hình 17. Điện áp hiệu dụng của lưới khi xảy ra sự cố

Khi đó khả năng điều khiển P và Q của hệ thống cũng bị ảnh hưởng. Trong trạng thái hoạt động bình thường và ổn định công suất tác dụng và công suất phản kháng P₀, Q₀ của hệ thống lần lượt là 0,29MW và 0,1MVar. Có thể thấy

trong hình 18 và 19, P và Q sinh ra trong thời gian bị sự cố của trường hợp sụt áp mức 0,9pu và 0,7pu gần như không đáng kể. Sự thay đổi rõ rệt chỉ xảy ra khi điện áp giảm xuống mức 0,3pu và 0,1pu. Lúc này hệ thống không còn duy trì được việc cung cấp P và Q một cách ổn định. Đối với trường hợp điện áp giảm còn 0,3pu, P và Q xuống ngay lập tức chỉ còn khoảng 75% và 70% so với giá trị P₀ và Q₀. Tương tự ở mức 0,1pu, giá trị P gần như không còn được duy trì, giá trị Q còn ở mức 25% so với Q₀ nhưng dao động rất lớn. Ngoài ra trong quá trình quá độ khi chuyển từ chế độ sự cố sang vận hành bình thường ở mức 0,1pu và 0,3pu, P và Q đều tăng rất cao trong quá trình này, ảnh hưởng đến sự ổn định của hệ thống.

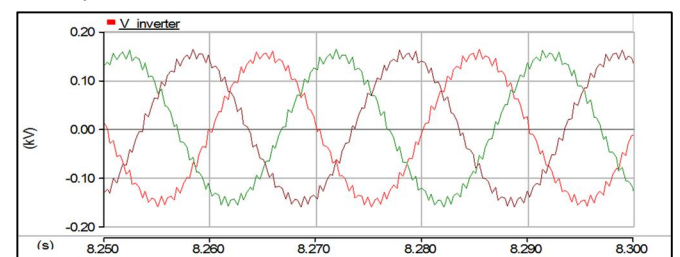


Hình 18. Công suất tác dụng của PV khi xảy ra sự cố

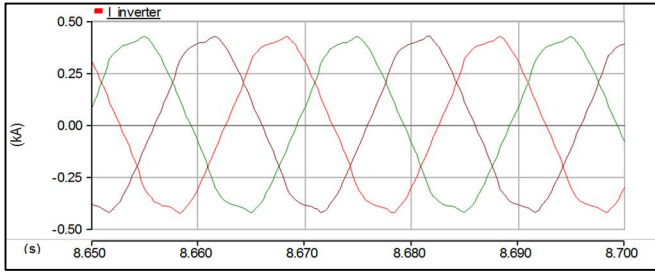


Hình 19. Công suất phản kháng của PV khi xảy ra sự cố

Mặt khác, khi xảy ra sự cố, điện áp và dòng điện lưới thay đổi đột ngột khiến việc lấy các thông số tham chiếu cho bộ điều khiển inverter xảy ra sự dao động lớn. Sự cố này ảnh hưởng đến hoạt động của inverter cả trong và sau khi ngắn mạch. Khi ngắn mạch xảy ra quá trình quá độ giữa hai trạng thái làm cho dạng sóng của bộ inverter không còn giữ được hình sin mà méo hơn do ảnh hưởng bởi sóng hài. Đối với điện áp điều này được thể hiện rõ ràng khi sự cố xảy ra như hình 20 còn sự biến dạng của dạng sóng đồ thì xảy ra rõ nét ở thời điểm sau khi trạng thái sự cố kết thúc và kéo dài trong khoảng 2 giây như trong hình 21. Tuy nhiên sau khi xác lập lại chế độ hoạt động bình thường thì hệ thống vẫn cung cấp công suất với dạng sóng dòng điện và điện áp hình sin.



Hình 20. Dạng sóng điện áp trong khoảng thời gian xảy ra sự cố sụt áp ở mức 0,3pu



Hình 21. Dạng sóng dòng điện trong khoảng thời gian xảy ra sự cố sụt áp ở mức 0,3pu

Đánh giá về sóng hài trong khoảng thời gian trước, trong và sau thời gian xảy ra sự cố có thể thấy được tổng độ biến dạng sóng hài thay đổi rất lớn, hầu hết đều tăng cao trong quá trình chuyển tiếp giữa hai trạng thái lưới vận hành bình thường và khi lưới gặp sự cố. Các thông số đo được đối với sóng hài của điện áp và dòng điện lớn nhất trong trường hợp sụt áp mức 0,3pu là 56% và 50%. Nhưng thông số này trở lại ở mức phù hợp với tiêu chuẩn rất nhanh sau khi sự cố kết thúc ở mức 3% đối với điện áp và 3,9% đối với dòng điện.

Theo dõi khả năng hỗ trợ lưới khi gặp sự cố bởi khả năng điều khiển công suất của bộ inverter thấy được rằng: khi tăng công suất phản kháng phát lên lưới thì dòng điện ngắn mạch giảm, như vậy có thể hỗ trợ việc bảo vệ hệ thống khi xảy ra sự cố.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã thể hiện rõ cấu trúc mô hình điều khiển và thuật toán áp dụng của hệ thống điện mặt trời. Đồng thời phân tích ảnh hưởng của hệ thống khi điều chỉnh P, Q trong điều kiện lưới điện vận hành bình thường và khi lưới gặp sự cố ngắn mạch ba pha chạm nhau.

Khi lưới hoạt động ổn định, công suất tác dụng và công suất phản kháng cũng lần lượt được điều chỉnh một cách nhanh chóng. Ngoài ra khi điều chỉnh công suất phản kháng Q thì P vẫn có thể phát toàn bộ công suất. Khi lưới gặp sự cố ngắn mạch, các giá trị P, Q sau thời gian quá độ giữa hai trạng thái vẫn được điều khiển và cung cấp công suất đưa lên lưới khi xảy ra sự cố.

Từ đó thấy được việc điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng giúp hệ thống điện mặt trời làm việc hiệu quả ở điều kiện thường và nhanh chóng ổn định trở lại khi xảy ra sự cố.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. A. Yazdani, P. P. Dash, 2009. *A Control Methodology and Characterization of Dynamics for a Photovoltaic (PV) System Interfaced with a Distribution Network*. IEEE Transactions on Power Delivery, vol.24, no.3, pp.1538-1551.

[2]. F. Blaabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre, A. V. Timbus, 2006. *Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.53, no.5, pp.1398-1409.

[3]. Prakash Kumar Hota, Babita Panda, Bhagabat Panda, 2016. *Fault Analysis of Grid Connected Photovoltaic System*. American Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol.5, no.4, pp.35-44.

[4]. H. Park and H. Kim, 2013. *PV cell modeling on single-diode equivalent circuit*. IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.), no. 8, pp. 1845-1849.

[5]. H. Bellia, R. Youcef, M. Fatima, 2014. *A detailed modeling of photovoltaic module using MATLAB*. NRIAG J. Astron. Geophys., vol. 3, no. 1, pp. 53-61.

[6]. K. Chatterjee, B. G. Fernandes, G. K. Dubey, 1999. *An instantaneous reactive volt-ampere compensator and harmonic suppressor system*. IEEE Trans. Power Electron., vol. 14, no. 2, pp. 381-392.

[7]. S. A. Rahman, R. K. Varma, 2011. *PSCAD/EMTDC model of a 3-phase grid-connected photovoltaic solar system*. NAPS 2011 - 43rd North Am. Power Symp.

[8]. W. Xiao, W. G. Dunford, 2004. *A modified adaptive hill climbing MPPT method for photovoltaic power systems*. PESC Rec. - IEEE Annu. Power Electron. Spec. Conf., vol. 3, pp. 1957-1963, 2004.

[9]. T. Selmi, M. Abdul-Niby, L. Devis, A. Davis, 2014. *P&O MPPT implementation using MATLAB/Simulink*. 2014 9th Int. Conf. Ecol. Veh. Renew. Energies, EVER 2014.

[10]. C. J. O'Rourke, M. M. Qasim, M. R. Overlin, J. L. Kirtley, 2019. *A Geometric Interpretation of Reference Frames and Transformations: dq0, Clarke and Park*. IEEE Trans. Energy Convers., vol.34, no. 4, pp. 2070 - 2083.

[11]. E. Muljadi, M. Singh, V. Gevorgian, 2013. *PSCAD Modules Representing PV Generator*. <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/58189.pdf>

[12]. B. Liu, F. Zhuo, Y. Zhu, H. Yi, F. Wang, 2015. *A three-phase PLL algorithm based on signal reforming under distorted grid conditions*. IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no. 9, pp. 5272-5283.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Duc Tuyen¹, Le Van Luc², Do Van Long¹, Nguyen Huu Duc³

¹School of Electrical Engineering, Hanoi University of Science and Technology

²Ishan International Pvt. Ltd.

³Faculty of Energy Technology, Electric Power University