Phân tích đánh giá ảnh hưởng của hệ thống điện mặt trời mái nhà tới tổn thất công suất của lưới điện phân phối đô thị hình tia ở Việt Nam

Vũ Hoàng Giang[1], Trần Đông[2], Nguyễn Hữu Đức[1*]

[1]Trường Đại học Điện lực, Số 235 Đường Hoàng Quốc Việt, Quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam.
[2]Khoa Điện- Tự động hoá, Trường Đại học Kinh tế-Kỹ thuật Công nghiệp, Số 353 Trần Hưng Đạo, TP.Nam Định, Nam Định, Việt Nam.
[*]Email: ducnh@epu.edu.vn
Nhận bài: 24/7/2023; Hoàn thiện: 23/11/2023; Chấp nhận đăng: 08/4/2024; Xuất bản: 22/04/2024.
DOI: https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.94.2024.48-54

TÓM TẮT

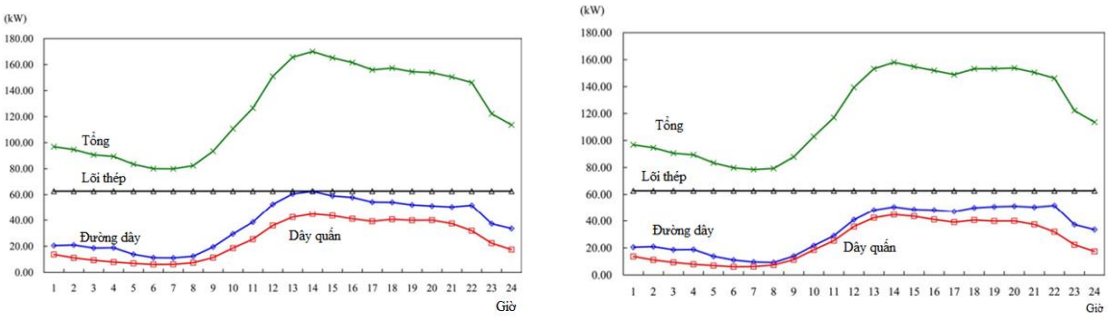
Sự thâm nhập của điện mặt trời vào lưới điện phân phối nói chung đã làm thay đổi căn bản về tính chất của phụ tải từ tiêu thụ công suất thuần túy sang vừa tiêu thụ vừa phát công suất vào lưới điện. Cũng vì vậy, trào lưu công suất trong lưới điện cũng thay đổi, có trường hợp công suất chạy ngược từ phụ tải về phía đầu xuất tuyến. Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu đánh giá sự ảnh hưởng của điện mặt trời mái nhà (PV) lên tổn thất công suất của lưới điện phân phối đô thị ở Việt Nam. Trước hết, cấu trúc hình tia điển hình của lưới điện phân phối được lựa chọn để mô phỏng trong các điều kiện về mức độ thâm nhập và vị trí đặt của hệ thống pin mặt trời trên từng pha theo chiều dài của đường dây. Cường độ bức xạ của mặt trời và đồ thị của tải điển hình của lưới điện phân phối đô thị cũng được xét đến để quan sát sự thay đổi tổn thất công suất của lưới. Kết quả nghiên cứu cho thấy dưới tác động của điện mặt trời mái nhà, tổn thất công suất đã có sự thay đổi rất lớn khi tích hợp PV và sự biến thiên của phụ tải.

Từ khoá: Điện mặt trời mái nhà; Lưới điện phân phối hình tia; Trào lưu công suất ngược; Tổn thất công suất.

1. MỞ ĐẦU

Nhu cầu điện năng tăng cao và yêu cầu cắt giảm khí thải nhà kính với các cam kết về môi trường tại hội nghị thượng đỉnh toàn cầu như COP26 [1] đã thúc đẩy hơn nữa sự phát triển các nguồn điện sử dụng năng lượng tái tạo, trong đó có điện mặt trời. Theo đó, hệ thống điện truyền thống đã có thay đổi như các hộ tiêu thụ đơn thuần trước đây có thể đóng vai trò nguồn phát điện vào lưới trong những khoảng thời gian nhất định của ngày. Tuy nhiên, nguồn điện mặt trời cũng mang lại nhiều vấn đề cần giải quyết liên quan đến chất lượng điện năng, ổn định và độ tin cậy hệ thống điện. Chúng có thể dẫn đến các hệ quả khác về quá tải các phần tử trong hệ thống, tăng tổn thất và các tác động đến hệ thống bảo vệ [2]. Ảnh hưởng của PV sẽ làm thay đổi các yêu cầu về chất lượng điện năng, điều khiển công suất, điều chỉnh điện áp và đáp ứng của hệ thống trong các điều kiện không bình thường, tính an toàn và hệ thống bảo vệ [3]. Sự ảnh hưởng tiêu cực khi tích hợp điện mặt trời mái nhà vào lưới điện phân phối bao gồm các tác động liên quan đến điện áp như sự tăng cao và sự không đối xứng của điện áp [4], chất lượng điện năng (sự không đối xứng và sự tăng cao của điện áp, biến dạng sóng hài) [5]. Nhiều nghiên cứu đề cập tới sự tác động rộng hơn bên cạnh tác động về chất lượng điện áp (tổn thất điện năng, công suất chạy ngược, sự tăng cao, không đối xứng và dao động của điện áp, dao động công suất phản kháng), chất lượng điện năng (tần số, sóng hài, hệ số công suất, sụt áp), các tác động đến tính ổn định và hệ thống bảo vệ cũng được đề cập tới [6]. Trong hệ thống điện, các nguồn điện sử dụng năng lượng tái tạo xuất hiện phổ biến ở dạng nguồn phát điện phân tán (DG). Các nguồn điện này ở gần phụ tải và làm thay đổi bản chất của các tải truyền thống từ đặc tính chỉ tiêu thụ thành vừa phát và vừa tiêu thụ điện năng. Sự thay đổi này dẫn đến trào lưu công suất trong lưới điện cũng khác so với trong lưới điện truyền thống không có sự tham gia của nguồn năng lượng tái tạo phân tán. Tích hợp các nguồn DG với công suất và vị trí lắp đặt phù hợp được xem là một trong các biện pháp giảm tổn thất trong lưới điện phân phối [6-8]. Các tác giả trong [7] đã tiến hành đánh giá tổn thất trên lưới ứng

với xuất tuyến có và không có điện mặt trời.



a) b)

Hình 1. *Tổn hao tổng, trên đường dây, trong dây quấn và lõi thép của MBA khi a) không có PV; b) có PV [7].*

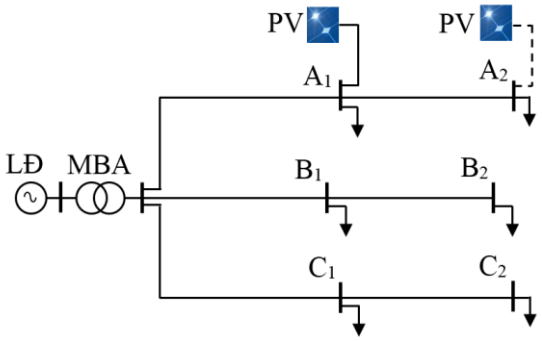
Tổn thất lớn nhất trên đường dây giảm rõ rệt khi có PV, điển hình là vào thời điểm 2 giờ chiều, xem hình 1. Nhờ có nguồn PV cung cấp tại chỗ, công suất truyền tải trên các đường dây có thể giảm thiểu và nhờ đó tổn thất trên lưới điện phân phối cũng giảm theo [7, 8]. Tuy nhiên, trong lưới điện đô thị có tích hợp điện mặt trời mái, mức độ thâm nhập sẽ quyết định sự tăng hay giảm tổn thất trong lưới điện. Bài báo giới thiệu kết quả phân tích đánh giá ảnh hưởng của PV đến tổn thất công suất và tổn thất điện năng trong lưới điện đô thị với việc thâm nhập của PV, có xét đến sự biến thiên đặc trưng của phụ tải. Phần tiếp theo của bài báo được bố cục như sau: mục 2 giới thiệu về cấu trúc và mô hình các phần tử chính của lưới điện phân phối đô thị hình tia. Tiếp theo, mục 3 trình bày kết quả mô phỏng, từ đó đưa ra các phân tích đánh giá về sự ảnh hưởng của PV đến tổn thất của lưới điện. Mục 4 nêu lên các kết luận về vấn đề nghiên cứu.

2. LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI ĐÔ THỊ VÀ MÔ HÌNH CÁC PHẦN TỬ

Mục này giới thiệu lưới điện phân phối đô thị về cấu trúc điển hình và mô hình các phần tử chính, bao gồm: máy biến áp, đường dây và hệ thống điện mặt trời kết nối.

2.1. Cấu trúc của lưới điện phân phối

Hình 2 minh họa cấu trúc hình tia của lưới điện phân phối hạ áp được cung cấp qua máy biến áp hạ áp.

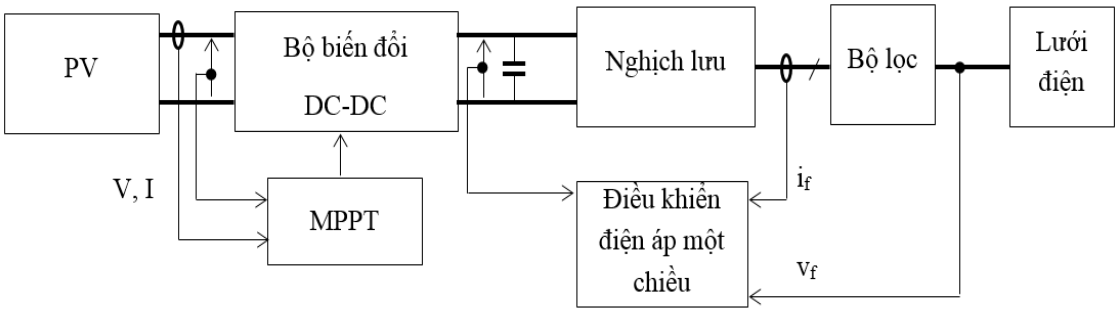


Hình 2. *Sơ đồ xuất tuyến hạ áp có điện mặt trời một pha.*

Lưới điện đô thị ở Việt Nam được thiết kế dạng lưới kín nhưng vận hành hở. Khi đó, trong điều kiện vận hành bình thường, lưới điện có thể được phân tích dạng lưới điện hình tia.Trong nghiên cứu này, cấu trúc lưới điện trên hình 2 được lựa chọn để phân tích đánh giá. Lưới điện hạ áp 3 pha A,B,C; trên mỗi pha có 2 tải tập trung tại các nút $\left(A_1,A_2,B_1,B_2,C_1,C_2\right)$; điện mặt trời mái nhà được nối tới nút A_1.

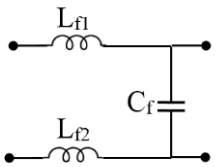
2.2. Hệ thống điện mặt trời

Hình 3 thể hiện sơ đồ khối của hệ thống điện mặt trời nối lưới một pha với các bộ phận chính sau: pin mặt trời (PV); bộ biến đổi đầu ra DC-DC cùng bộ điều khiển bám điểm công suất cực đại (MPPT); nghịch lưu được điều khiển điện áp một chiều. Hệ thống được nối tới lưới điện qua bộ lọc thụ động.

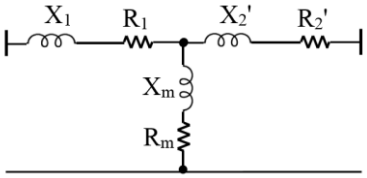


Hình 3. *Sơ đồ khối của hệ thống điện mặt trời 1 pha.*

Trong nghiên cứu, mô hình một đi-ốt được sử dụng để mô phỏng PV [9]. Bộ biến đổi tăng áp (boost converter) được sử dụng để biến đổi điện áp DC-DC giữa điện áp đầu ra của PV và điện áp của DC-link. Bộ lọc thụ động 1 pha kiểu LC, hình 4, được sử dụng để kết nối phía xoay chiều của nghịch lưu với lưới điện.



Hình 4. *Bộ lọc thụ động.*



Hình 5. *Sơ đồ thay thế hình T của máy biến áp.*

2.3. Mô hình các phần tử của lưới điện

2.3.1. Máy biến áp

Mô hình phổ biến hình T như trên hình 5 được sử dụng cho máy biến áp, các thông số chính bao gồm: điện trở và điện kháng phía sơ cấp (R_1, X_1), thứ cấp (R_2', X_2') và nhánh từ hóa (R_m, X_m).

2.3.2. Đường dây hạ áp

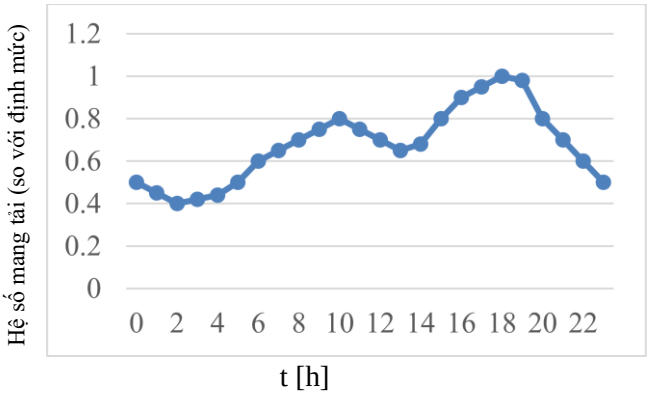
Đường dây hạ áp được mô hình hóa với thông số tập trung gồm điện kháng và điện trở của đường dây. Các thông số này được tính toán theo điện kháng đơn vị, điện trở đơn vị và chiều dài của đường dây.

3. MÔ PHỎNG, PHÂN TÍCH VÀ ĐÁNH GIÁ

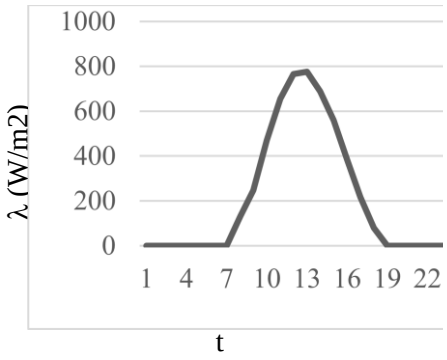
Tiến hành mô phỏng lưới điện trên phần mềm Matlab/Simulink với công suất tải biến thiên với các điều kiện sau:

- Xuất tuyến có sơ đồ như trên hình 2. Lưới điện hạ áp được cung cấp thông qua máy biến áp (MBA) phân phối.
- Để so sánh tổn thất công suất và điện năng giữa hai trường hợp có và không có PV đặt tại nút A_1, công suất của phụ tải 2 pha A và B được lựa chọn như nhau. Ngoài ra, để đánh giá về sự ảnh hưởng của vị trí đặt đến tổn thất, so sánh kết quả mô phỏng giữa hai trường hợp PV được đặt tại nút A_1 hoặc A_2.

- Công suất cực đại của phụ tải tại các nút A_1, A_2, B_1, B_2 bằng $P_{max} = 45kW, \cos\phi = 0,9$. Công suất của phụ tải biến thiên trong ngày theo dạng đồ thị phụ tải đặc trưng của lưới đô thị như được thể hiện trên hình 6.
- Cường độ bức xạ được lấy theo dữ liệu của PVGIS tại Ninh Kiều, thành phố Cần Thơ, xem hình 7.

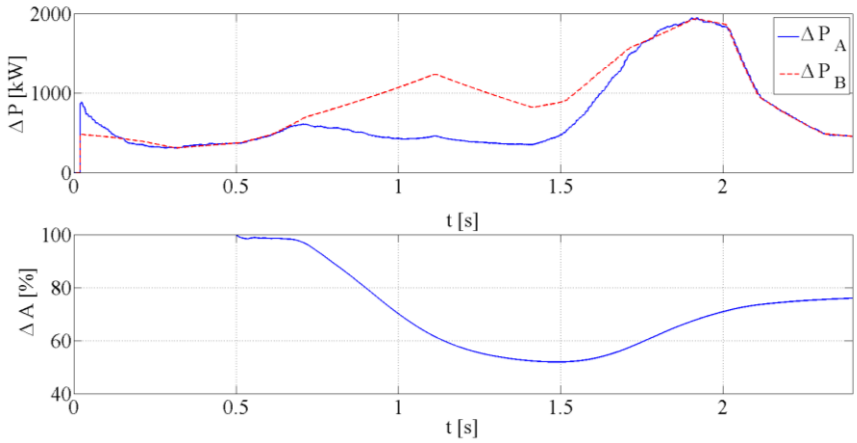


Hình 6. *Đồ thị phụ tải điển hình của lưới phân phối đô thị.*



Hình 7. *Cường độ bức xạ một ngày ở Ninh Kiều, Cần Thơ.*

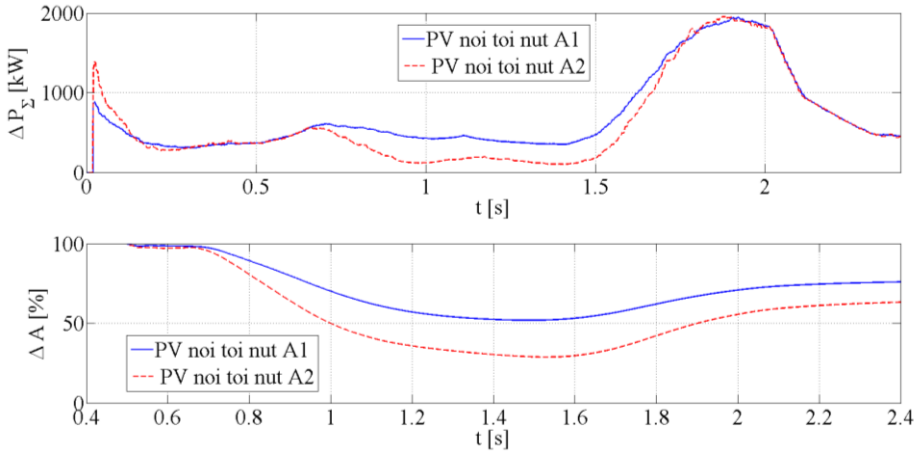
- Tổng công suất của PV gần bằng 87 kWp. Thông số của các phần tử chính được cho trong phụ lục.



Hình 8. *So sánh tổn thất công suất trên giữa pha A và pha B (trên); tỷ lệ tổn thất điện năng của pha A (có PV) và pha B (không có PV) (dưới).*

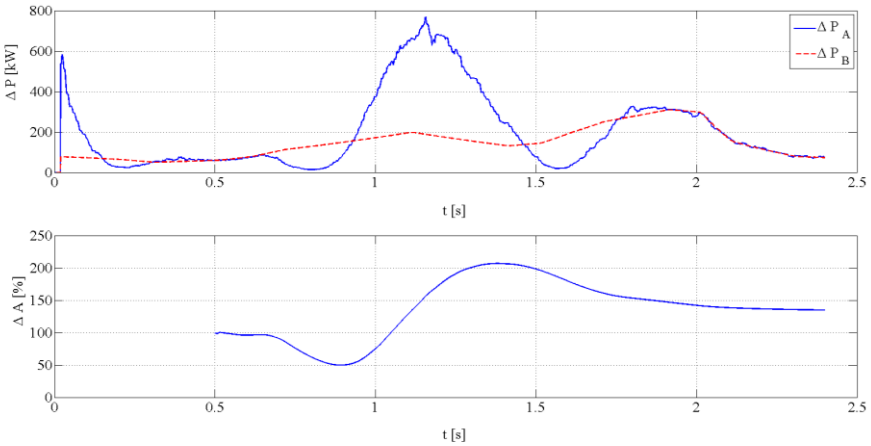
Kết quả mô phỏng so sánh và tính toán trong hai trường hợp PV được đặt tại nút A_1 hoặc A_2 được thể hiện trên hình 8 và hình 9. Hình 8 (trên) so sánh tổn thất công suất của pha A có PV đặt tại A_1 và pha B không có PV. Thời gian mô phỏng được rút gọn bằng 2,4 s tương ứng với 24 h trong ngày. Bước thời gian mô phỏng là 0,1 s tương ứng với thời gian giả định nghiên cứu thực tế là 1 h. Nhận thấy, trong thời gian ban ngày khi có cường độ bức xạ mặt trời, tổn thất công suất của pha A (đường nét liền, màu xanh) giảm đáng kể so với pha B (đường nét đứt, màu đỏ). Với sơ đồ hình tia như đang xét, nhờ có công suất của PV tại chỗ, dòng công suất truyền tải từ nguồn tới nút tương ứng được giảm đáng kể dẫn đến tổng thất công suất giảm theo.

Thực hiện tính toán lượng điện năng lũy tích trong ngày, bắt đầu từ thời điểm 5 h (ứng với thời điểm t = 0,5 s trong mô phỏng) nhận thấy tỷ lệ tổn thất điện năng trên toàn pha A giảm xuống rõ rệt, có thời điểm còn lại khoảng 50% so với pha B, xem đường cong phía hình dưới của hình 8.



Hình 9. *So sánh tổn thất công suất trên giữa pha A khi PV được nối tới nút A_1 hoặc A_2 (trên); so sánh tỷ lệ tổn thất điện năng của pha A khi PV được nối tới nút A_1 hoặc A_2 (dưới).*

Để đánh giá sự ảnh hưởng của phân bố PV dọc theo từng pha lên tổn thất của pha đó, mô phỏng được lặp lại khi cho PV nối tới nút cuối A_2 của pha A. Kết quả cho thấy, tổn thất công suất và tỷ lệ giảm tổn thất điện năng của pha A giảm đáng kể khi PV đặt về phía cuối của đường dây, xem hình 9. Nguyên nhân là khi PV càng đặt về phía cuối của đường dây thì số đoạn đường dây có công suất giảm càng nhiều, cụ thể là trường hợp PV nối vào nút A_1 thì chỉ có công suất trên đoạn $O-A_1$ giảm, công suất trên đoạn A_1-A_2 giữ nguyên; nhưng khi PV nối vào nút A_2 thì công suất trên cả hai đoạn kể vừa đề cập đều giảm, nhờ đó tổn thất trong trường hợp sau giảm nhiều hơn.



Hình 10. *So sánh tổn thất công suất trên giữa pha A và pha B (trên); tỷ lệ tổn thất điện năng của pha A (có PV) và pha B (không có PV) (dưới), mức thâm nhập cao so với công suất tải.*

Mô phỏng được lặp lại với công suất tải tại các nút của pha A và B giảm xuống $P_{max} = 20\ kW$, $\cos\phi = 0{,}9$, PV được đặt tại nút A_2 với công suất đỉnh không thay đổi. Kết quả cho thấy, trong những thời điểm PV phát công suất lớn đã có hiện tượng công suất chạy ngược về nguồn và làm tăng tổn thất như được thể hiện ở hình trên của hình 10. Trong thời gian ban ngày, tổn thất điện năng tích lũy trong ngày cũng tăng cao rõ rệt như mô tả trên hình 10.

4. KẾT LUẬN

Hiện nay, các nguồn điện mặt trời mái nhà ngày càng tích hợp nhiều vào các lưới điện phân phối, đặc biệt là các lưới điện phân phối tại đô thị Việt Nam. Do vậy, việc nghiên cứu phân tích các ảnh hưởng của nguồn điện mặt trời phân tán tới lưới điện phân phối là cấp thiết. Trong bài báo này, ảnh hưởng của nguồn điện mặt trời phân tán tới tổn thất công suất trên đường dây được xem xét đánh giá bằng phương pháp mô phỏng trường hợp điển hình. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng: nếu mức độ thâm nhập và vị trí lắp đặt không hợp lý có thể dẫn đến quá tải của xuất tuyến và làm cho tổn thất trên lưới điện tăng lên. Đặc biệt trong trường hợp công suất phát ra của các nguồn DG vượt quá công suất tiêu thụ của phụ tải tại nút tương ứng có thể dẫn đến hiện tượng trào ngược công suất về phía đầu xuất tuyến và làm cho tổn thất của lưới điện tăng lên. Tổn thất công suất được giảm thiểu nhiều nhất trong trường hợp các nguồn phát được đặt ngay tại vị trí của tải. Đây chính là trường hợp phổ biến thường gặp của điện mặt trời mái nhà. Tuy nhiên, hướng nghiên cứu tiếp theo sẽ đánh giá ảnh hưởng của các nguồn điện phân tán tới tổn thất năng lượng (xét thời gian vận hành dài). Ngoài ra, sự phối hợp các giải pháp nhằm giảm tổn thất công suất và năng lượng của các lưới điện phân phối khi có sự thâm nhập lớn các nguồn điện phân tán nói chung cũng sẽ là hướng nghiên cứu tiếp theo của nhóm tác giả.

PHỤ LỤC

Bảng 1. *Thông số của các phần tử chính trong lưới điện được mô phỏng.*

Tham số	***Giá trị***	***Đơn vị***	***Tham số***	***Giá trị***	***Đơn vị***
Lưới điện			***Đường dây***		
Điện áp pha-pha (dây) hiệu dụng	*24*	*kV*	*Điện trở đơn vị*	*0,125*	*Ω/km*
Tỷ số ngắn mạch X/R	*7*	*-*	*Điện cảm đơn vị*	*1,1*	*mH/km*
Máy biến áp			***Hệ thống PV***		
Công suất định mức	*400*	*kVA*	*Công suất lớn nhất, P_{mp}*	*305,2*	*W*
Điện áp định mức sơ cấp	*24*	*kV*	*Điện áp ứng với công suất lớn nhất, V_{mp}*	*54,70*	*V*
Điện áp định mức thứ cấp	*0,4*	*kV*	*Dòng điện ứng với công suất lớn nhất, I_{mp}*	*5,58*	*A*
Điện trở của cuộn dây sơ cấp, thứ cấp	*0,001*	*đvtđ*	*Điện áp hở mạch*	*64,20*	*V*
Điện kháng rò của cuộn dây sơ cấp, thứ cấp	*0,03*	*đvtđ*	*Dòng điện ngắn mạch, I_{sc}*	*5,96*	*A*
Điện trở nhánh từ hóa	*500*	*đvtđ*	*Điện trở nối tiếp của mô hình, R_s*	*0,038*	*Ω*
Điện kháng nhánh từ hóa	*500*	*đvtđ*	*Điện trở song song của mô hình, R_p*	*993,5*	*Ω*
Bộ lọc thụ động đầu ra			*Số chuỗi nối song song*	*19*	*-*
Hệ số tự cảm	*0,0037*	*H*	*Số tấm pin nối nối tiếp*	*5*	*-*
Điện dung	*3,3*	*μF*			

Lời cảm ơn: *Nghiên cứu này được hỗ trợ của nhiệm vụ Nghị định thư với CHLB Đức "Research on PV integration for sustainable energy development in urban areas in Vietnam" (NĐT/DE/21/06) do Bộ Khoa học Công nghệ (MOST) và Bộ Nghiên cứu và phát triển CHLB Đức (BMBF) cấp. Nhóm tác giả xin cảm ơn Trường Đại học Điện lực (EPU) đã hỗ trợ.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. *"COP26 The Glasgow Climate Pact"*, in UN climate change conference UK, (2021). [Online]. Available at: https://ukcop26.org/wp-content/uploads/2021/11/COP26-Presidency-Outcomes-The-Climate-Pact.pdf

[2]. F. Peprah, S. Gyamfi, M. Amo-Boateng, en E. Effah-Donyina, *"Impact assessment of grid tied rooftop PV systems on LV distribution network"*, Sci. African, vol 16, bl e01172, (2022).

[3]. Y. K. Wu, J. H. Lin, en H. J. Lin, *"Standards and guidelines for grid-connected photovoltaic generation systems: A review and comparison."*, IEEE Trans. Ind. Appl., vol 53, no 4, bll 3205–3216, (2017).

[4]. A. M. M. Nour, A. Y. Hatata, A. A. Helal, en M. M. El-Saadawi, *"Review on voltage-violation mitigation techniques of distribution networks with distributed rooftop PV systems"*, IET Gener. Transm. Distrib., vol 14, no 3, bll 349–361, (2020).

[5]. A. Kharrazi, V. Sreeram, en Y. Mishra, *"Assessment techniques of the impact of grid-tied rooftop photovoltaic generation on the power quality of low voltage distribution network-A review"*, Renew. Sustain. Energy Rev., vol 120, bl 109643, (2020).

[6]. B. Uzum, A. Onen, H. M. Hasanien, en S. M. Muyeen, *"Rooftop Solar PV Penetration Impacts on Distribution Network and Further Growth Factors - A Comprehensive Review"*, Electronics, vol 10, no 55, bl 55, (2021).

[7]. W. L. Hsieh et al., *"Impact of PV generation to voltage variation and power losses of distribution systems"*, bll 1474–1478, (2011).

[8]. T. Adefarati en R. C. Bansal, *"Integration of renewable distributed generators into the distribution system: A review"*, IET Renew. Power Gener., vol 10, no 7, bll 873–884–873–884, (2016).

[9]. K. H. Hussein, I. Muta, T. Hoshino, en M. Osakada, *"Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions"*, vol 142, bll 59–64, (1995).

ABSTRACT

Technical assessment of the influence of rooftop solar power system on power loss of the ray-shaped urban distribution grid in Vietnam

The penetration of solar power into the distribution grid, in general, has fundamentally changed the nature of the load from only power consumption to both consumption and power generation into the grid. Because of that, the flow of current in the grid also changes, there are cases where the current runs backwards from the load to the transformer. This paper introduces the results of research to assess the influence of rooftop solar power (PV) on the power loss of urban distribution grids in Vietnam. First, the typical structure of the distribution grid is selected to simulate the conditions of penetration and locations of PV on each phase along the length of the line. The solar radiation intensity and the typical load profile of the urban distribution grid are also taken into account to observe changes in power loss in the grid. The research results show that under the influence of PV, the power loss has a great change according to the penetration level and the variation of the load.

Keywords: Rooftop solar power; Ray-shaped distribution grid; Reverse power flow; Power loss.