

CÔNG SUẤT KẾT NỐI CỦA NGUỒN PHÂN TÁN VÀO LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI TRONG ĐIỀU KIỆN CÓ NHIỀU SÓNG HÀI

HOSTING CAPACITY OF GRID-CONNECTED DISTRIBUTED GENERATION IN HARMONIC DISTORTED DISTRIBUTION NETWORKS

Nguyễn Phúc Huy

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 15/05/2021, Ngày chấp nhận đăng: 28/12/2021, Phản biện: TS. Nguyễn Đình Quang

Tóm tắt:

Bài báo đã xây dựng mô hình tính toán khi kết nối của nguồn phân tán (DG) vào lưới điện phân phối trong các điều kiện xuất hiện nhiều loại sóng hài cả phía lưới điện và phía DG. Phân tích các yếu tố ảnh hưởng tới công suất phát (kết nối) của DG, xác định được mức lớn nhất và nhỏ nhất của DG khi kết nối cho một trường hợp lưới hình tia cụ thể. Trong điều kiện có nhiều sóng hài mà nguồn phát sinh là DG hay từ sóng hài hiện hữu của trên lưới điện có ảnh hưởng là khác nhau. Sự xuất hiện của sóng hài sẽ làm giảm công suất phát của DG lên lưới điện với mức giảm phụ thuộc vào từng trường hợp cụ thể. Ngay cả khi mức nhiễu sóng hài không vượt quá các qui định hiện tại thì công suất phát của DG cũng cần phải giới hạn do lo ngại về quá áp trên lưới. Kết quả bài báo có thể là gợi ý cho các trường hợp trong vận hành lưới điện và các giải pháp có thể đề xuất để giảm mức độ ảnh hưởng của sóng hài.

Từ khóa:

Công suất tới hạn, Nguồn phân tán, Sóng hài, Lưới điện phân phối.

Abstract:

The paper has modeled electric power distribution networks with connected distributed generation under condition of background harmonics of the network or generated harmonics from the DG itself. Effect factors on hosting capacity of DG were also analyzed to show the maximum and minimum level of generation in case of a radial network. Under harmonic distorted conditions where harmonics were generated from DG or propagated from background harmonics, the effects of these harmonics are different. They cause reducing in generated power of DG into the network differently for different cases. Even if harmonic distorted level is not over the regulated limit, the generation power of DG should to be controlled to avoid voltage from exceeding the available limit. The results from this paper are directional in operating and dispatching electric distribution networks, and proposing method to eliminate harmonic and its effects.

Keywords:

Hosting capacity, Distributed Generation, Harmonic, Distribution Networks.

1. MỞ ĐẦU

Trong xu hướng chung hiện nay về phát

triển các nguồn năng lượng tái tạo, tùy thuộc vào qui mô công suất và vị trí mà

chúng được kết nối vào lưới điện ở cấp điện áp khác nhau. Ở phân khúc lưới điện phân phối, các nguồn điện đó có công suất nhỏ và nằm gần phụ tải hơn các nhà máy điện lớn nên được gọi là nguồn phân tán (DG). Sự kết nối các DG vào lưới điện sẽ dẫn tới những thay đổi về cấu trúc và một số vấn đề về kỹ thuật liên quan như khả năng tải, chất lượng điện áp, bảo vệ trong lưới điện, độ tin cậy cung cấp điện... Trong đó, các vấn đề về điện áp có thể kể đến là gia tăng điện áp, suy giảm điện áp, dao động điện áp, sóng hài điện áp, và là ràng buộc trong việc xác định công suất kết nối của DG [1]. Sóng hài điện áp tại điểm kết nối có thể là từ phụ tải phi tuyến, sóng hài lan truyền trên lưới điện hoặc do bản thân các nguồn phân tán có sử dụng các bộ biến đổi gây nên [1-3]. Tiêu chuẩn về sóng hài trên lưới cũng được đề cập trong các tiêu chuẩn [4, 5] và là căn cứ để thực hiện các nghiên cứu xác định mức độ thâm nhập của DG vào lưới điện trong các điều kiện nhiễu sóng hài [5-15].

Các nghiên cứu cũng chỉ ra một số biện pháp nhằm nâng cao công suất kết nối của DG vào lưới điện như sử dụng bộ lọc sóng hài, điều chỉnh phụ tải, điều chỉnh điện áp đầu phân áp máy biến áp, điều chỉnh dải công suất phát phản kháng của DG để nâng cao công suất phát tác dụng [5-15]. Các giải pháp đó không phải luôn được áp dụng mà sẽ phụ thuộc và điều kiện lưới điện cụ thể.

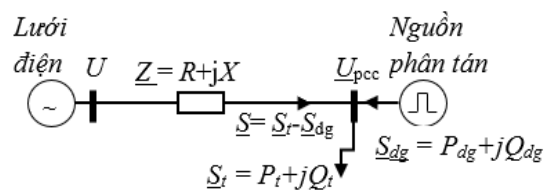
Trong nước ta, các nguồn điện năng lượng tái tạo như gió, mặt trời có công

suất lớn kết nối vào lưới truyền tải, và có nghiên cứu nói về ảnh hưởng của chúng như trong [16]. Đối với lưới điện phân phối và vấn đề xác định mức thâm nhập của DG theo tiêu chuẩn về sóng hài theo qui định [17] thì chưa có công trình nào công bố.

Các phần tiếp theo của bài báo sẽ bàn về khái niệm về công suất kết nối tối hạn của DG cũng như ảnh hưởng của nhiễu sóng hài từ các nguồn khác nhau. Tính toán và mô phỏng được thực hiện trên lưới điện phân phối trung áp với qui định sóng hài cụ thể của Việt Nam, từ đó chỉ rõ phương thức áp dụng các giải pháp nhằm nâng cao mức thâm nhập của DG.

2. CÔNG SUẤT TỐI HẠN CỦA NGUỒN ĐIỆN PHÂN TÁN

Công suất tối hạn (Hosting Capacity - HC) của nguồn phát điện phân tán (DG) là công suất lớn nhất của nó có thể kết nối vào lưới điện mà nếu vượt quá sẽ dẫn đến sự vi phạm một hoặc một số tiêu chuẩn kỹ thuật của lưới điện. Các chỉ tiêu kỹ thuật đó có thể là giới hạn trên hoặc giới hạn dưới về khả năng tải của đường dây, chất lượng điện áp, độ tin cậy, ngưỡng tác động của bảo vệ rơle, sự phối hợp của các thiết bị bảo vệ... [1].



Hình 1. Sơ đồ tính toán ảnh hưởng của DG tới điện áp nút

Trong nghiên cứu ảnh hưởng của DG với lưới điện về chỉ tiêu điện áp, mô hình như hình 1 thường được áp dụng. Khi đó DG phát công suất tác dụng được xác định như sau:

$$P_{dg} = P_t \frac{1+k_1 \cdot \alpha}{1+k_2 \cdot \alpha} - \frac{U_{dm}^2}{R} \frac{\delta_{pcc} (\delta - \delta_{pcc})}{1+k_2 \cdot \alpha} \quad (1)$$

trong đó: U_{dm} - điện áp định mức mạng điện; δ, δ_{pcc} là các tỉ số của điện áp tại điểm đầu nguồn và điểm đầu DG so với giá trị định mức; $\alpha = X/R$ với R, X - điện trở và điện kháng đường dây từ nguồn tới điểm kết nối DG; $k_1 = Q_t/P_t$ và $k_2 = Q_{dg}/P_{dg}$.

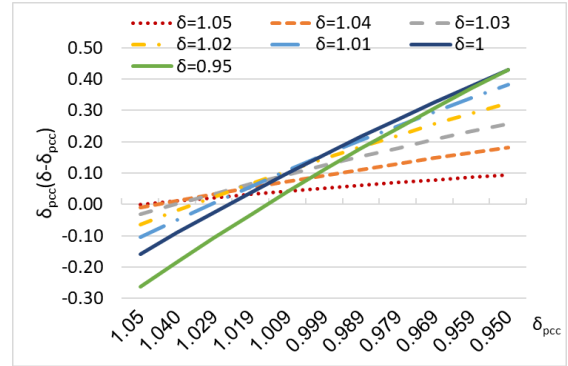
Từ (1) có thể thấy, công suất phát của DG phụ thuộc nhiều yếu tố: công suất phụ tải, hệ số công suất của phụ tải và của bản thân DG, tỉ số X/R của lưới điện. Với mạng điện hình tia (hình 1), khi điểm kết nối càng về cuối đường dây thì điện trở R càng lớn, công suất tải cuối lưới càng nhỏ nên P_{dg} sẽ càng nhỏ. Trong thực tế vận hành lưới điện, hệ số công suất thường được duy trì ở mức trên 0,9 và tỉ lệ X/R của lưới trung áp (≤ 35 kV) ~ 2 , và xét trong điều kiện phụ tải và DG có cùng hệ số công suất ta có:

$$P_{dg} = P_t - \frac{U_{dm}^2}{R} \frac{\delta_{pcc} (\delta - \delta_{pcc})}{2} \quad (2)$$

Từ (2) có thể thấy, công suất phát của DG lớn nhất khi phụ tải phía sau điểm kết nối là lớn nhất và $\delta_{pcc} (\delta - \delta_{pcc})$ nhỏ nhất.

Tức là, công suất phát của DG phụ thuộc vào điện áp đầu nguồn, tổn thất điện áp

trên đường dây, và giới hạn trên của điện áp. Tức là nếu sụt áp càng lớn, giới hạn điện áp càng cao thì công suất DG kết nối sẽ càng tăng, thể hiện như hình 2.



Hình 2. Công suất phát của DG phụ thuộc sụt áp và giới hạn điện áp trên lưới điện

3. ẢNH HƯỞNG CỦA SÓNG HÀI

Trong vận hành, các nguồn phân tán kết nối qua bộ biến đổi nguồn áp sẽ phát sinh sóng hài bơm vào lưới điện. Lượng sóng hài phát sinh của các bộ biến đổi được khống chế theo tiêu chuẩn nên ảnh hưởng tới mức phát của DG là nhỏ [7], tuy nhiên chúng vẫn tương tác với lưới điện và có những ảnh hưởng nhất định cần được xem xét [8-12].

Bên cạnh đó, trong lưới điện còn tồn tại các phụ tải phi tuyến, cộng với sự lan truyền sóng hài trong nhiều trường hợp trở về điểm kết nối của DG cũng làm cho giới hạn sóng hài tại đó bị vi phạm [8-12]. Công thức (1) và (2) được xây dựng cho trường hợp lưới điện không có sóng hài, các đại lượng tương ứng ở tần số cơ bản của lưới điện. Khi có sóng hài ta có thể mở rộng công thức cho từng thành phần sóng hài xuất hiện như (3).

$$P_{dg} = \sum_{h=1}^{h_{max}} \left[\frac{P_t(h)}{R} - \frac{U_{dm}^2 \delta_{pcc}(h) [\delta(h) - \delta_{pcc}(h)]}{2} \right] \quad (3)$$

trong đó h là bậc sóng hài, h_{max} là bậc sóng hài lớn nhất được xét tới; $\delta(h)$, $\delta_{pcc}(h)$ là tỉ số điện áp của các thành phần điện áp hài đầu nguồn và tại điểm kết nối DG.

Có thể thấy, ngoài thành phần công suất cơ bản ở tần số 50 Hz còn có thêm các thành phần công suất ở các tần số khác. Khi biên độ các thành phần sóng hài riêng lẻ tăng, tổng độ méo THD_v tăng, dẫn tới công suất DG kết nối sẽ bị giảm xuống.

4. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Mô hình mô phỏng của hệ thống được thể hiện như trong hình 1. Hệ thống điện có cấp điện áp 22 kV, công suất ngắn mạch 500 MVA, điện áp đầu nguồn là 1,02 p.u.; đường dây trung áp sử dụng dây AC có $r_0 = 0,27 \Omega/\text{km}$, $x_0 = 0,37 \Omega/\text{km}$; DG kết nối cách nguồn 5 km, DG kết nối qua MBA phân phối 22/0,4 kV có $x_B = 5\%$; ở tần số cơ bản phụ tải lớn nhất toàn bộ lưới điện phía sau điểm kết nối DG là 10 MW, $\cos\varphi = 0,9$. Phụ tải cực tiểu bằng 25% phụ tải cực đại.

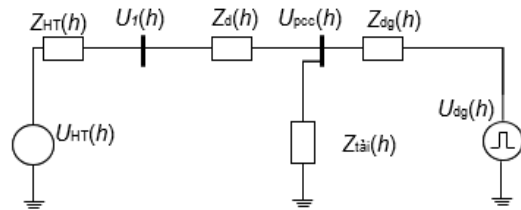
Từ (2) có thể thấy trong trường hợp không có sóng hài $P_{dgmax} = 10,02 \text{ MW}$ và $P_{dgmin} = 2,48 \text{ MW}$.

Sơ đồ thay thế tính toán mạng điện thể hiện như hình 3.

Chế độ xác lập của mạng điện có thể được tính toán qua việc giải phương trình mô tả qua quan hệ sau:

$$\mathbf{I}_h = \mathbf{Y}_h \cdot \mathbf{U}_h \quad (4)$$

trong đó \mathbf{Y}_h , \mathbf{I}_h , \mathbf{U}_h là các ma trận các đại lượng vectơ phức tổng dẫn, dòng điện và điện áp các nút ở từng bậc hài h .



Hình 3. Sơ đồ thay thế tính toán mạng điện

Để có thể tính toán được chế độ xác lập, các phần tử trong sơ đồ thay thế của mạng điện phải thể hiện được sự thay đổi theo tần số, tức là tổng dẫn hài của chúng.

Tổng dẫn của đường dây được xét tới là:

$$Y_{h,d} = \frac{1}{R_d + jhX_d} \quad (5)$$

trong đó h là bậc sóng hài; R_d là điện trở và X_d là giá trị điện kháng ở tần số cơ bản ($\omega_0 = 2\pi f_0$) của lưới điện.

Phụ tải tuyến tính $P_{tai} + jQ_{tai}$ trên lưới điện được mô tả là nhánh song song điện trở và điện kháng:

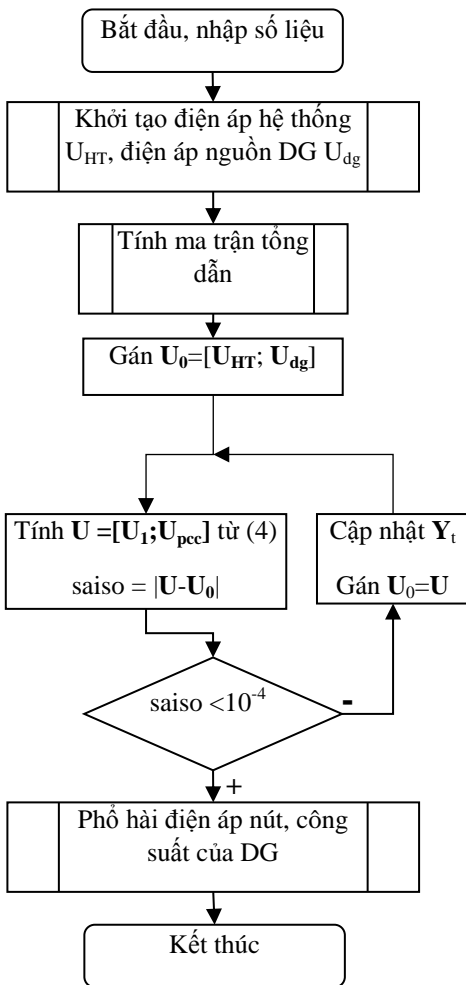
$$Y_{h,tai} = \frac{1}{U^2} \left(P_{tai} - j \frac{Q_{tai}}{h} \right) \quad (6)$$

Các nguồn gây hài trong hệ thống được mô tả như các nguồn áp trong sơ đồ thay thế Thevenin.

Quá trình tính toán được thực hiện như trong hình 4.

Với phân tích đã được chỉ ra trong mục 3, sóng hài từ DG hoặc sóng hài hiện hữu trên lưới điện đều có thể có ảnh hưởng, tiến hành khảo sát trong các trường hợp sau:

- TH1: Nguồn hài từ DG. Để quan sát rõ hơn ảnh hưởng của sóng hài, ta xét trường hợp các mức hài của các nguồn tương ứng nguồn hài của bộ biến đổi 6 xung, bao gồm các sóng hài chủ yếu là 5, 7, 11, 13; trong đó lớn nhất là 4% sóng bậc 5;
- TH2: Nguồn hài từ lưới, xét sự xuất hiện các sóng hài có thể xuất phát từ lưới điện là 5% hài bậc 5;
- TH3: Ảnh hưởng kết hợp cả nguồn hài từ lưới và từ DG.



Hình 4. Sơ đồ khối mô phỏng

Để làm cơ sở so sánh, ta xét trường hợp

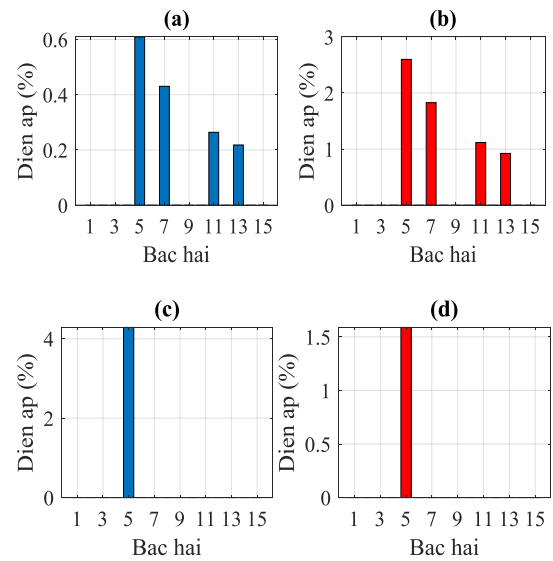
hệ thống tuyến tính, các nguồn hoàn toàn sin chuẩn (TH0). Kết quả như sau:

$$U_1 = 1,015 \text{ p.u.}; \text{THD}_{U_1} = 0 \%;$$

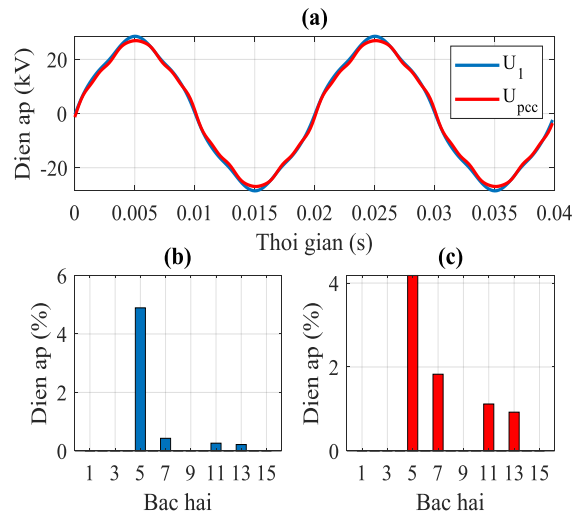
$$U_{pcc} = 0,98 \text{ p.u.}; \text{THD}_{U_{pcc}} = 0 \%;$$

$$P_{dg} = 8,434 \text{ MW};$$

Kết quả các trường hợp được thể hiện trong các hình sau:



Hình 5. Phổ hài điện áp các nút U_1 (trái), U_{dg} (phải) trong TH1 (a, b) và TH2 (c, d)



Hình 6. Dạng sóng và phổ hài điện áp TH3

Bảng 1. Kết quả tính toán các trường hợp

TH	U_{rms} (p.u.)	THD _{U1} (%)	U_{pccrms} (p.u.)	THD _{U_{pcc}} (%)	P_{dg} (MW)
0	1,015	-	0,980	-	8,434
1	1,030	0,808	1,043	3,568	8,412
2	1,058	4,221	0,994	1,623	8,421
3	1,073	4,850	1,059	4,892	8,428

Quan sát kết quả từ các trường hợp trên ta có thể nhận thấy rằng mặc dù quá mức hài 4% của sóng bậc 5, qua MBA kết nối thì tỉ lệ giảm xuống dưới 3%. Tổng độ méo sóng hài cũng nhỏ nhưng cũng làm điện áp tại điểm kết nối DG tăng cao, nhưng cũng không làm công suất DG tăng mà còn giảm so với trường hợp cơ sở (TH0).

Trong trường hợp sóng hài hiện hữu từ lưới điện trong TH2 với 5% sóng hài bậc 5 vượt qui định, gây nhiều một mức THD nhỏ của điện áp tại điểm kết nối, nhưng công suất DG cũng giảm nhiều do điện áp tại đó cũng không cao (liên quan tổn thất điện áp). Sự lan truyền sóng hài này còn tùy thuộc vào tỉ lệ X/R của lưới điện và nếu xuất hiện cộng hưởng tại các tần số của sóng hài hiện hữu thì có thể gây giảm công suất phát DG nhiều hơn.

Trong trường hợp TH3, tổng hợp hai nguồn có thể dẫn tới quá điện áp tại các

điểm trên lưới, đặc biệt là điểm kết nối DG mặc dù THD nằm trong giới hạn cho phép. Chính sự tăng điện áp tại các điểm dẫn tới mức giảm công suất phát có thể nhỏ hơn. Chính vì lý do quá áp mà các trường hợp cần phải xem xét kỹ để có đánh giá tổng quan đưa ra các giải pháp khắc phục.

5. KẾT LUẬN

Trong lưới điện có kết nối nguồn phân tán, sóng hài xuất hiện trên lưới điện có thể làm giảm công suất kết nối của chúng. Điều đó có thể không đến từ việc tỉ lệ các thành phần sóng hài hay tổng độ méo bị vi phạm, mà cũng có thể do điện áp tại điểm kết nối tăng quá mức cho phép.

Kết quả của bài báo cho thấy việc xét tổng thể và toàn diện các trường hợp xuất hiện sóng hài và ảnh hưởng là cần thiết để có phương án vận hành và giải pháp loại trừ ảnh hưởng của sóng hài phù hợp. Trường hợp các DG có tỉ lệ phát sinh sóng hài là chủ yếu (có thể không vi phạm giới hạn cho phép) thì cần phải hạn chế công suất phát của DG. Bên cạnh đó sóng hài hiện hữu trên lưới điện lan truyền có thể triệt tiêu bằng các giải pháp bù đơn giản.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Math H.J. Bollen, Fainan Hassan, Integration of Distributed Generation in the Power System, John Wiley & Son, Hoboken, New Jersey, Canada, 2011.
- [2] J. Arrillaga, N.R. Watson, Power System Harmonics, pp:(61-67), John Wiley & Son, England, Second Edition, 2003.
- [3] Kamran Zeb, and others, A comprehensive review on inverter topologies and control strategies for grid connected photovoltaic system, Renewable and Sustainable Energy Reviews 94 (2018) 1120–1141.
- [4] IEEE Std. 519-2014, Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.

- [5] IEC/TR 61000-3-6, Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 3-6: Limits assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems, edition 2, 2008.
- [6] Namhun Cho, and others, Analysis of Harmonic Hosting Capacity of IEEE Std. 519 with IEC 61000-3-6 in Distribution Systems, Proceedings of the 2019 IEEE PES GTD Asia, p.730-734.
- [7] Tiago E.C. de Oliveira, and others, PV Hosting Capacity Dependence on Harmonic Voltage Distortion in Low-Voltage Grids: Model Validation with Experimental Data. *Energies*, Vol. 11, No. 2, 2018.
- [8] Ibrahim Cagri Barutcu, Engin Karatepeb, Mutlu Boztepe, Impact of harmonic limits on PV penetration levels in unbalanced distribution networks considering load and irradiance uncertainty, *Electrical Power and Energy System s* 118 (2020) 105780.
- [9] Ivan N. Santos, and others, Considerations on hosting capacity ofr harmonic distortions on transmission and distribution systems, *Electric Power System Researchh*, Vol.119, pp: 199-206, 2015.
- [10] Ivan N. Santos, Marth H. J. Bollen, Paulo F. Ribeiro, Exploring the concept of hosting capacity for harmonic distortions assesement, *2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, Denver, CO, USA, 2015, pp. 1-5.
- [11] Selcuk Sakar, and others, Hosting capacity assessment and improvement for photovoltaic-based distributed generation in distorted distribution networks, *2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, Florence, Italy, 2016, pp. 1-6.
- [12] Selsuk Sakar, and others, Integration of large-scale PV plants in non-sinusoidal environments: Considerations on hosting capacity and harmonic distortion limits, *Renewable an sustainable energy reviews*, Vol. 82, pp 176-186, 2018.
- [13] Rafael Amaral Shayani, and others, Photovoltaic Generation penetration limits in Radial Distribution Systems, *IEEE transactions on power systems*, Vol. 26, No. 3, August, 2011.
- [14] Sherif Mohsen Ismael, and others, Hosting Capacity Enhancement of Electrical Distribution Systems under Sinusoidal and Non- Sinusoidal Conditions, *2018 Twentieth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, Cairo University, Egypt, p.168-173
- [15] Mateus D. Braga, and others, Harmonic Hosting Capacity Approach in a Radial Distribution System due to PV Integration Using OpenDSS, *2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications*, p.222-228.
- [16] Dương Minh Quân và cộng sự, Nghiên cứu ảnh hưởng của nhà máy điện mặt trời Phong Điền đến lưới điện Tỉnh Thừa Thiên-Huế, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, số 11 (132), pp. 59-63, 2018.
- [17] Thông tư 30/2019/TT-BCT, ngày 18/11/2019 của Bộ trưởng Bộ Công Thương về Sửa đổi, bổ sung một số điều của TT số 25/2016/TT-BCT và TT số 39/2015/TT-BCT.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Phúc Huy tốt nghiệp đại học và nhận bằng Thạc sĩ tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội vào các năm 2003 và 2010. Năm 2015 nhận bằng Tiến sĩ ngành hệ thống điện và tự động hóa tại Trường Đại học Điện lực Hoa Bắc, Bắc Kinh, Trung Quốc.

Lĩnh vực nghiên cứu: chất lượng điện năng, ứng dụng điện tử công suất, độ tin cậy của hệ thống điện.

