

PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH VÀ TÍNH TOÁN HỆ THỐNG ĐIỆN CÓ TÍCH HỢP NGUỒN NĂNG LƯỢNG GIÓ

A METHOD FOR ANALYSIS AND CALCULATION OF ELECTRICITY SYSTEMS WITH INTEGRATED WIND ENERGY RESOURCES

Lê Đình Dương¹, Lê Văn Thông¹, Đậu Trọng Tuấn¹, Huỳnh Văn Kỳ², Nguyễn Quốc Tuyền³

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng;

ldduong@dut.udn.vn, levanthongbkdn@gmail.com, trongtuandau.dut@gmail.com

²Đại học Đà Nẵng; hvky@ac.udn.vn

³Điện lực Thuận Nam - Công ty Điện lực Ninh Thuận; tuyennqdlnt@gmail.com

Tóm tắt - Ngày nay, nhu cầu sử dụng điện ngày càng gia tăng trong khi các nguồn năng lượng hoá thạch ngày càng cạn kiệt. Để đáp ứng nhu cầu tiêu thụ điện cũng như giải quyết các vấn đề môi trường, các nguồn năng lượng mới, đặc biệt là năng lượng gió, đã và đang được khai thác và đưa vào sử dụng ngày càng phổ biến ở Việt Nam nói riêng và trên thế giới nói chung. Tuy nhiên, đặc tính ngẫu nhiên của nguồn này gây ra nhiều khó khăn khi kết nối và làm việc trong hệ thống điện. Trong bài báo này, phương pháp mô phỏng nguồn năng lượng gió cũng như phương pháp phù hợp cho phân tích và tính toán hệ thống điện có kết nối nguồn năng lượng gió được tập trung nghiên cứu với mục đích đưa ra những đánh giá toàn diện hơn về hệ thống khi vận hành.

Từ khóa - hệ thống điện; vận tốc gió; công suất gió; đường cong công suất; hàm phân bố.

1. Đặt vấn đề

Ngày nay, cùng với sự phát triển của kinh tế xã hội thì nhu cầu sử dụng điện ngày càng gia tăng, trong khi các nguồn năng lượng hóa thạch như than đá, dầu mỏ, khí đốt, ... ngày càng cạn kiệt. Ngoài ra, việc sử dụng các nguồn hóa thạch là một trong những nguyên nhân gây ra ô nhiễm môi trường. Trước tình hình đó, việc tìm kiếm để đưa vào khai thác sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo (năng lượng sạch) càng trở nên bức thiết. Trong số các nguồn năng lượng này, nguồn năng lượng gió là một trong những nguồn tái tạo phổ biến nhất. Nhà máy điện gió đã và đang được chú trọng đầu tư và xây dựng ngày càng nhiều ở Việt Nam.

Vận tốc gió với đặc tính ngẫu nhiên, thay đổi liên tục kéo theo công suất đầu ra của nhà máy điện gió cũng thay đổi theo. Do đó, khi hòa nhà máy điện gió vào lưới điện sẽ ảnh hưởng trực tiếp tới sự vận hành của lưới. Để có thể tính toán và phân tích hệ thống điện có nguồn gió kết nối vào, cần có phương pháp mô phỏng nguồn gió cũng như có phương pháp tính toán hệ thống điện phù hợp.

Đối với các phương pháp tính toán hệ thống điện truyền thống, các thông tin đầu vào của bài toán như thông số vận hành của lưới điện (công suất phụ tải, công suất đầu ra của các nhà máy điện...), thông số hệ thống (tổng trở đường dây, máy biến áp...) đều được lấy bằng những giá trị cố định. Ngoài ra, cấu trúc lưới xem như đã biết trước. Với thông tin đầu vào như vậy, kết quả đầu ra của bài toán (điện áp nút, công suất truyền tải trên các nhánh, ...) cũng là những giá trị cố định. Như vậy, bài toán tính toán hệ thống bỏ qua sự biến đổi ngẫu nhiên của thông tin đầu vào như sự biến đổi ngẫu nhiên của phụ tải, khả năng sự cố các thiết bị, sự biến đổi ngẫu nhiên của các nguồn năng lượng mới,

Abstract - Today, the demand for electricity is increasing while fossil fuels are becoming increasingly exhausted. To meet the demand for electricity as well as solve environmental problems, renewable energy resources, especially wind power, have been being exploited and widely used in Vietnam in particular and in the world in general. However, the random nature of this source causes many difficulties in integration and operation in the electrical system. In this article, the method for modelling wind energy resources as well as the appropriate method for analyzing and calculating power systems with integrated wind resources is studied for the purpose of giving comprehensive evaluation of the system.

Key words - power system; wind speed; wind power; power curve; distribution function.

đặc biệt là năng lượng gió.

Hiện nay, trên thế giới có rất nhiều phương pháp tính toán hệ thống điện có xét đến sự biến đổi ngẫu nhiên của thông tin đầu vào, nhìn chung có các nhóm phương pháp sau đây: phương pháp mô phỏng (điển hình là mô phỏng Monte Carlo) [1 - 5] và phương pháp giải tích [6 - 8]. Mỗi nhóm phương pháp có những ưu, nhược điểm riêng và được lựa chọn ứng dụng một cách phù hợp tùy theo từng mục đích tính toán [9]. Trong phạm vi bài báo này, phương pháp mô phỏng Monte Carlo được lựa chọn vì phương pháp này cho độ chính xác cao, các thông tin đầu vào của bài toán được mô phỏng một cách dễ dàng, đặc biệt là công suất đầu ra của các nhà máy điện gió.

Bài báo trình bày phương pháp mô phỏng nguồn năng lượng gió để từ đó làm đầu vào cho bài toán phân tích và tính toán hệ thống điện có kết nối nguồn gió. Kết quả của bài toán cho phép đưa ra những đánh giá toàn diện hơn về các thông số chế độ của hệ thống điện.

2. Mô phỏng nguồn năng lượng gió dùng cho tính toán hệ thống điện

2.1. Số liệu sử dụng và phương pháp mô phỏng nguồn năng lượng gió

Để cung cấp đầu vào cho bài toán tính toán hệ thống điện có xét đến sự biến đổi ngẫu nhiên của các đại lượng đầu vào [1 - 5, 9], hàm phân bố xác suất của công suất đầu ra nhà máy điện gió được yêu cầu. Từ hàm phân bố xác suất xây dựng được, bộ số liệu ngẫu nhiên mẫu cho nhà máy được phát ra và sử dụng cho bài toán tính toán [1 - 5, 9].

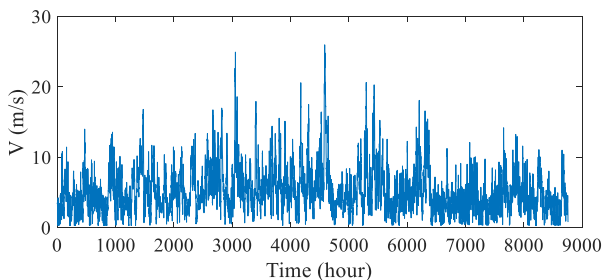
Để tạo ra bộ số liệu ngẫu nhiên thể hiện được đặc tính ngẫu nhiên của công suất phát của nhà máy điện gió, có hai

hướng tiếp cận sau đây:

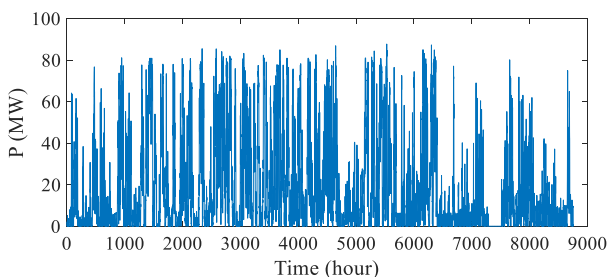
- **Phương pháp 1:** Dùng số liệu đo được từ công suất phát của nhà máy để xây dựng hàm phân bố xác suất phù hợp nhất, sau đó dùng hàm này để phát ra bộ số liệu công suất đầu ra;

- **Phương pháp 2:** Dùng số liệu đo của vận tốc gió để xây dựng hàm phân bố xác suất cho vận tốc gió, dùng hàm này phát ra bộ số liệu ngẫu nhiên của vận tốc, sau đó dùng đường cong công suất (đường cong quan hệ công suất đầu ra theo vận tốc gió) [10] để tạo bộ số liệu ngẫu nhiên của công suất đầu ra.

Đối với một nhà máy điện gió đã và đang vận hành, số liệu có thể thu thập được là vận tốc gió đo được tại các cột đo gió và công suất phát ra của nhà máy. Đối với nhà máy này, có thể áp dụng cả hai phương pháp tiếp cận trên. Ngược lại, với nhà máy đang trong quá trình khảo sát để xây dựng thì số liệu về công suất phát của nhà máy chưa có, đối với nhà máy này chỉ có thể áp dụng cách tiếp cận thứ 2. Ngoài ra có một thực tế, đó là việc xây dựng hàm phân bố xác suất cho vận tốc gió nhìn chung để thực hiện và cho độ chính xác cao hơn so với xây dựng hàm phân bố trực tiếp cho công suất phát, vì số liệu này thường phân bố theo những quy luật rất phức tạp [10]. Do đó, trong thực tế, phương pháp 2 thường được lựa chọn phổ biến hơn và trong bài báo này, phương pháp 2 cũng được lựa chọn sử dụng. Tuy nhiên, để áp dụng phương pháp 2 thì đường cong công suất cho nhà máy điện gió được yêu cầu, việc xây dựng đường cong này được trình bày trong Mục 2.3. Trong bài báo này, bộ số liệu đo đếm hàng giờ về vận tốc gió (dùng ở Mục 2.2) và công suất phát tại một nhà máy điện gió thực tế ở Ý (công suất lắp đặt 90 MW, vận tốc gió khởi động $V_{cut-in} = 3\text{m/s}$, vận tốc gió dừng máy $V_{cut-out} = 20\text{m/s}$) trong thời gian một năm được sử dụng. Vận tốc gió và công suất đầu ra thu thập được như trong Hình 1 và 2.



Hình 1. Vận tốc gió



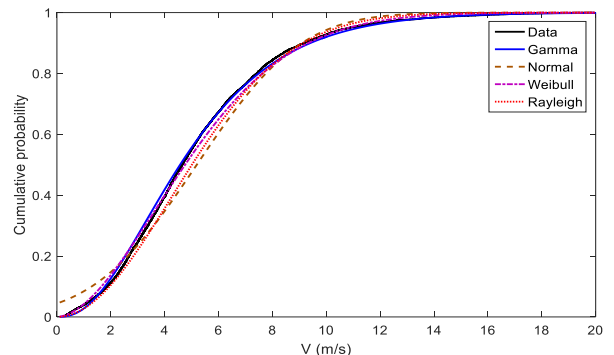
Hình 2. Công suất đầu ra nhà máy điện gió

2.2. Mô tả vận tốc gió

Vận tốc gió trong nghiên cứu thực tế thường được biểu diễn bằng các hàm phân phối xác suất phổ biến như Weibull, Gamma, Rayleigh, ... Hàm phân phối xác suất tích lũy và hàm mật độ xác suất của các hàm này được trình bày

trong [11]. Với mỗi bộ số liệu vận tốc thu thập được từ một nhà máy điện gió thực tế, dùng các phương pháp ước lượng hàm trong xác suất sẽ tìm được hàm phân phối phù hợp nhất đối với bộ số liệu có được.

Hình 3 trình bày các hàm phân phối xác suất tích lũy khác nhau được ước lượng cho vận tốc gió đo đếm tại nhà máy điện gió trình bày ở Mục 1.1, trong đó hàm Gamma (có tham số hình dạng $a = 2,75$ và tham số tỷ lệ $b = 1,93$) [11] là hàm phù hợp nhất (đường cong ứng với hàm Gamma bám sát đường cong số liệu thực tế Data trên Hình 3). Hàm phân bố này được dùng để phát bộ số liệu ngẫu nhiên cho vận tốc gió (với số mẫu tạo ra $N_{\text{sample}} = 5.000$, bằng với số lượng mẫu cần cho bài toán tính toán trong Mục 4).



Hình 3. Hàm phân phối xác suất tích lũy của vận tốc gió

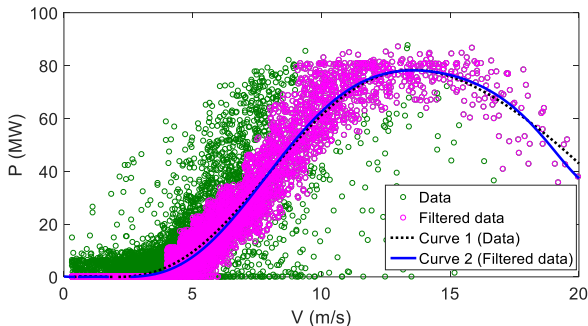
2.3. Xây dựng đường cong công suất cho nhà máy điện gió

Với bộ số liệu vận tốc gió và công suất đầu ra của nhà máy điện gió thu thập được, dùng công cụ Curve Fitting Toolbox [12] trong Matlab có thể cho phép ước lượng được đường cong công suất phù hợp nhất cho từng nhà máy. Tuy nhiên, trong thực tế, bộ số liệu thu thập được thường chứa đựng một số lượng số liệu lỗi nhất định do một số nguyên nhân như lỗi do thiết bị đo, lỗi do thiết bị truyền dữ liệu, lỗi sao chép, lưu trữ, ... Các cặp số liệu lỗi này không tuân theo quy luật quan hệ công suất - vận tốc đúng với hoạt động bình thường của nhà máy và các cặp số liệu này nên được loại bỏ trước khi ước lượng để đạt được kết quả chính xác nhất. Các cặp số liệu lỗi thường gặp ứng với các trường hợp như [10]: vận tốc gió có giá trị âm; vận tốc gió có giá trị lớn hơn $V_{cut-out}$ nhưng công suất phát khác 0; công suất phát có giá trị nhỏ hơn 0 hoặc lớn hơn công suất lắp đặt; số liệu vận tốc gió duy trì, ít thay đổi trong khoảng thời gian dài vài giờ, ... Sau khi loại các cặp số liệu này xong, số liệu vận tốc gió từ V_{cut-in} đến $V_{cut-out}$ được chia theo các khoảng đều nhau 0,5 m/s để hình thành các bin (thùng) [10], số liệu công suất ứng với vận tốc trong từng bin có độ lệch quá xa so với công suất trung bình trong từng bin sẽ bị loại ra (trong bài báo này số liệu lệch so với giá trị trung bình quá 4 lần phương sai sẽ bị loại) [10]. Hình 4 biểu diễn số liệu sau khi lọc (Filtered data) và số liệu ban đầu (Data).

Trong công cụ Curve Fitting [12] có rất nhiều phương pháp và đường cong để ước lượng cho bộ số liệu vận tốc, công suất như Fourier, Polynomial, Smoothing spline, ... Sau khi chạy cho tất cả các phương pháp, sự phù hợp của các phương pháp được đánh giá bằng giá trị Goodness-of-Fit Statistics, và dựa vào giá trị này sẽ chọn được phương pháp phù hợp nhất với bộ số liệu. Hình 4 biểu diễn đường cong ước lượng được ứng với bộ số liệu lúc chưa lọc

(Curve 1) và bộ số liệu sau khi lọc (Curve 2), cả hai đều tương ứng với hàm Polynomial (bậc 8). Đường Curve 2 được chọn dùng để làm đường cong quan hệ công suất - vận tốc cho nhà máy điện gió đang xét.

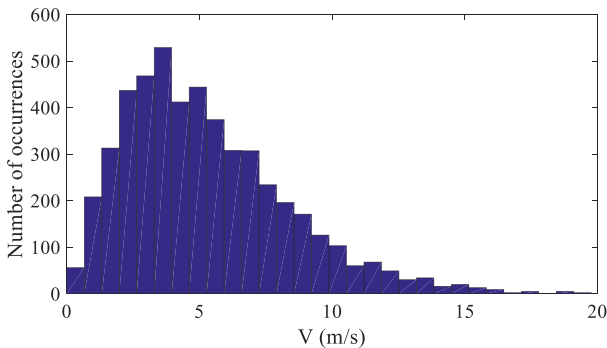
Đối với một máy phát điện gió, quan hệ công suất - vận tốc là một quan hệ phi tuyến [10]. Mỗi quan hệ phi tuyến công suất - vận tốc của một nhà máy điện gió càng phức tạp hơn vì nhà máy bao gồm nhiều tuốc bin gió và các tuốc bin này khi gió thổi qua sẽ ảnh hưởng lẫn nhau và ảnh hưởng đến đặc tính công suất - vận tốc của từng hệ thống tuốc bin - máy phát. Đặc biệt, trên Hình 4 cho thấy khi vận tốc gió lớn hơn khoảng 14 m/s, những ảnh hưởng trên làm cho công suất đầu ra của nhà máy có xu hướng giảm xuống.



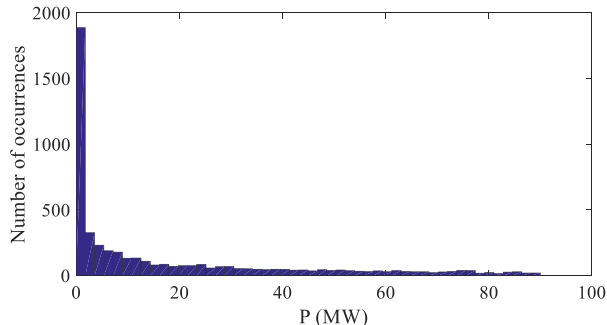
Hình 4. Số liệu và đường cong công suất xây dựng cho nhà máy điện gió

2.4. Kết quả

Bộ số liệu vận tốc gió được phát ra từ hàm phân bố ước lượng được ở Mục 2.2 và bộ số liệu công suất đạt được sau khi dùng bộ số liệu vận tốc gió phát ra và đường cong ước lượng được ở Mục 2.3 lần lượt biểu diễn trên Hình 5 và Hình 6.



Hình 5. Vận tốc gió được phát ra từ hàm phân bố xây dựng được từ số liệu thực tế (dạng histogram)



Hình 6. Công suất đầu ra của nhà máy điện gió có được từ số liệu vận tốc gió phát ra và đường cong công suất xây dựng được (dạng histogram)

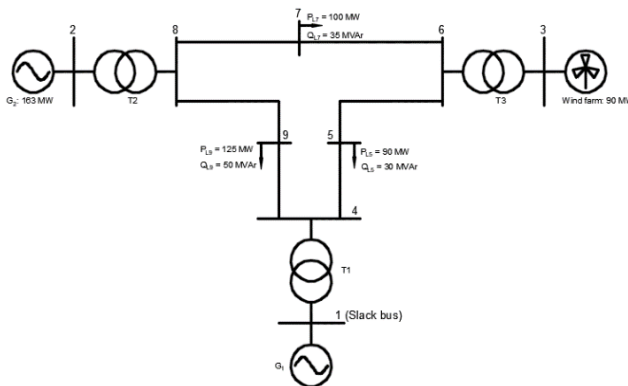
3. Thuật toán tính toán và phân tích hệ thống điện có kết nối nguồn năng lượng gió

Như đã phân tích ở trên, phương pháp mô phỏng Monte Carlo [9] được áp dụng trong bài báo này, các bước thực hiện như sau:

- *Bước 1:* Nhập thông tin đầu vào của bài toán tính toán hệ thống điện (truyền thống) như thông số hệ thống, cấu trúc lưới.
- *Bước 2:* Dựa vào số liệu thu thập được đối với từng biến đầu vào (công suất phụ tải, công suất đầu ra các nhà máy điện, xác suất sự cố các phần tử...), xây dựng hàm phân bố cho từng đại lượng. Trong bài báo này, nhóm tác giả tập trung đi sâu vào việc xây dựng hàm phân bố cho công suất nhà máy điện gió.
- *Bước 3:* Chọn số lượng mẫu (Nsample) và phát ra các bộ số liệu mẫu cho từng biến đầu vào dựa trên hàm phân bố đạt được ở Bước 2.
- *Bước 4:* Chạy bài toán tính toán chế độ xác lập cho tất cả các mẫu (Nsample) và lưu lại kết quả đầu ra (gồm Nsample kết quả đầu ra cho điện áp nút, công suất truyền tải các nhánh...).
- *Bước 5:* Dùng bộ số liệu đầu ra cho từng đại lượng, xây dựng hàm phân bố và đánh giá khả năng quá tải, quá hoặc thiếu điện áp, ... (nếu có) để từ đó đưa ra giải pháp khắc phục. Các hàm này phản ánh một cách đầy đủ quy luật biến đổi của các đại lượng trong suốt quá trình vận hành để từ đó có thể đánh giá một cách đầy đủ sự làm việc cũng như mức độ an toàn của hệ thống.

4. Áp dụng

Phương pháp mô phỏng và xây dựng bộ số liệu ngẫu nhiên cho nguồn gió và phương pháp tính toán hệ thống điện có xét đến sự biến đổi ngẫu nhiên của thông tin đầu vào trình bày ở Mục 3 [9] được áp dụng cho hệ thống điện mẫu IEEE-9 nút có sửa đổi như Hình 7 [13]. Các thông tin về công suất phát các nhà máy, công suất phụ tải tại các nút 5, 7, 9 được cho trên Hình 7 [13]. Nhà máy nối vào nút 3 là nhà máy điện gió trình bày ở Mục 2.

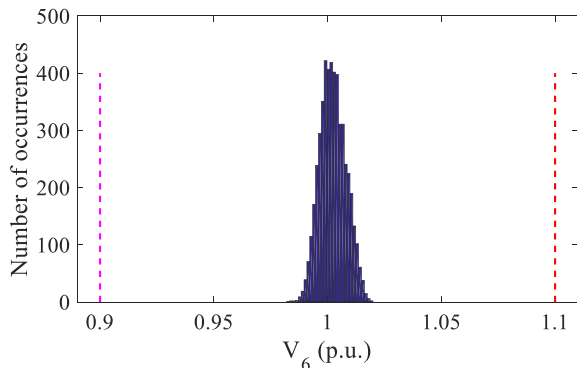


Hình 7. Hệ thống điện IEEE-9 nút sửa đổi

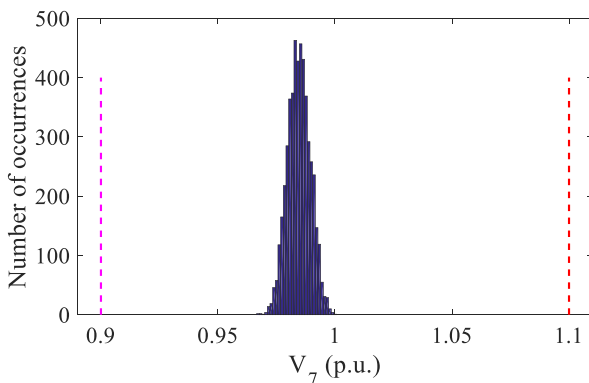
Trong phần này, biến đầu vào cho bài toán tính toán hệ thống điện (trình bày ở Mục 3) giả sử chỉ có các biến ngẫu nhiên là công suất phát nhà máy điện gió nối vào nút 3 và công suất phụ tải tại các nút 5, 7, 9. Các đại lượng đầu vào khác xem như hằng số (giả sử không xét sự ngẫu nhiên). Do không có số liệu thực tế của phụ tải để ước lượng hàm phân bố, các phụ tải giả sử biến đổi theo quy luật phân bố chuẩn [14] với giá trị kỳ vọng là giá trị xác lập và độ lệch

chuẩn bằng 8% kỳ vọng. Các hàm này được dùng để phát mẫu cho phụ tải (với $N_{\text{sample}} = 5.000$ mẫu).

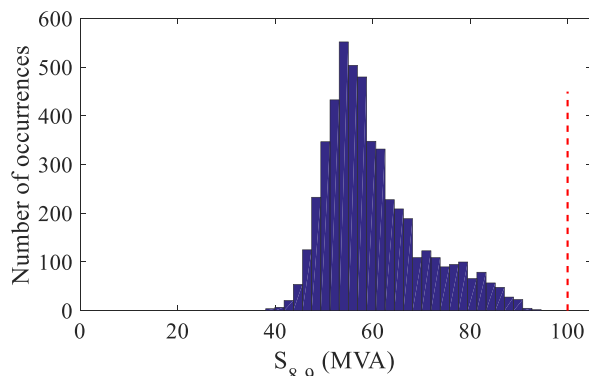
Hình 8, 9, 10, 11 lần lượt trình bày minh họa hàm phân bố của điện áp tại nút 6, điện áp nút 7, công suất truyền qua nhánh 8-9 và 4-5. Trong trường hợp này, điện áp tất cả các nút dù có biến đổi ngẫu nhiên nhưng không có trường hợp quá áp hoặc thiếu áp (hai đường giới hạn vẽ nét đứt trên Hình 8 và 9). Trong khi đó, luồng công suất truyền tải qua các nhánh biến đổi mạnh theo sự biến đổi ngẫu nhiên của phụ tải và nguồn gió nối vào lưới. Trong trường hợp đang xét, các luồng công suất qua các nhánh đều không bị quá tải, trừ trường hợp nhánh 4-5 có nguy cơ bị quá tải (công suất cực đại cho phép truyền $S_{\text{max}} = 95$ MVA) với xác suất quá tải là 2,42%. Tùy theo khả năng quá tải mà đơn vị quản lý vận hành lưới điện sẽ có giải pháp phù hợp để giảm bớt nguy cơ xảy ra quá tải cho hệ thống điện.



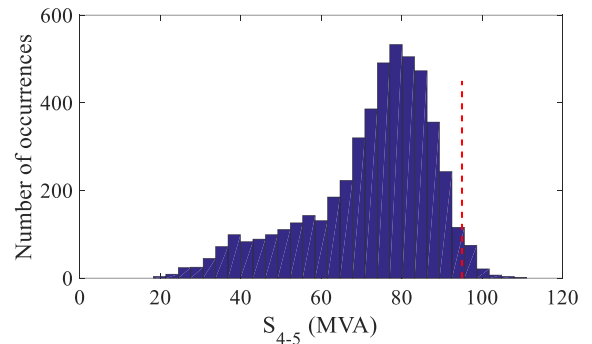
Hình 8. Hàm phân bố của điện áp tại nút 6



Hình 9. Hàm phân bố của điện áp tại nút 7



Hình 10. Hàm phân bố của công suất truyền tải trên đường dây 8-9



Hình 11. Hàm phân bố của công suất truyền tải trên đường dây 4-5

5. Kết luận

Bài báo trình bày phương pháp mô phỏng nguồn năng lượng gió và phương pháp tính toán, phân tích hệ thống điện có xét đến sự biến đổi ngẫu nhiên của các đại lượng đầu vào trong đó có nguồn năng lượng gió. Kết quả đạt được cho phép đưa ra những đánh giá toàn diện hơn về các thông số chế độ của hệ thống điện cũng như ảnh hưởng của sự biến đổi ngẫu nhiên của nguồn gió đến hệ thống điện. Phương pháp trình bày trong bài báo có thể triển khai áp dụng cho các hệ thống điện có nhà máy điện gió trong thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. Cui and F. Franchetti, "A Quasi-Monte Carlo Approach for Radial Distribution System Probabilistic Load Flow", *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, 2013 IEEE PES, 24-27 Feb. 2013, pp. 1-6.
- [2] R. Billinton and W. Li, *Reliability Assessment of Electrical Power Systems Using Monte Carlo Methods*, Plenum Press, New York, 1994.
- [3] Liu, J. S., *Monte Carlo Strategies in Scientific Computing*, Springer-Verlag, New York, USA, 2001.
- [4] Rubinstein, R. Y. and D. P. Kroese, *Simulation and the Monte Carlo Method*, 2nd Ed. Wiley, Hoboken, NJ, USA, 2008.
- [5] J. M. Hammenley and D. C. Handscomb, *Monte Carlo Methods*, Norwich: Fletcher and Son Ltd, 1964.
- [6] P. Zhang and S. T. Lee, "Probabilistic Load Flow Computation Using The Method of Combined Cumulants and Gram-Charlier", *IEEE Trans. Power Syst.*, 19(1), Feb. 2004, pp. 676-682.
- [7] M. Fan, V. Vittal, G. T. Heydt, and R. Ayyanar, "Probabilistic Power Flow Studies for Transmission Systems with Photovoltaic Generation Using Cumulants", *IEEE Trans. Power Syst.*, 27(4), Nov. 2012, pp. 2251-2261.
- [8] C. L. Su, "Probabilistic Load-Flow Computation Using Point Estimate Method", *IEEE Trans. Power Syst.*, 20(4), 2005, pp. 1843-1851.
- [9] Lê Đình Dương, Nguyễn Thị Ái Nhi, Huỳnh Văn Kỳ, "Giải pháp tính toán và phân tích các chế độ vận hành hệ thống điện bằng phương pháp xác suất", *Hội nghị Khoa học & Công nghệ Điện lực toàn quốc 2014*, trang 492-503.
- [10] D. D. Le, G. Gross, and A. Berizzi, "Probabilistic Modeling of Multisite Wind Farm Production for Scenario-based Applications", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, No. 6(3), 2015, pp. 748-758.
- [11] Eugene C. Morgan, Matthew Lackner, Richard M. Vogel, Laurie G. Baise, "Probability Distributions for Offshore Wind Speeds", *Energy Conversion and Management*, 52, 2011, pp. 15-26.
- [12] Online, <https://www.mathworks.com/help/curvefit/evaluating-goodness-of-fit.html>
- [13] Online: <http://www.pserc.cornell.edu/matpower/>
- [14] K. Krishnamoorthy, *Handbook of Statistical Distributions with Applications*, CRC Press, 2006.