

TỐI ƯU HÓA VỊ TRÍ VÀ CÔNG SUẤT CỦA DG TRONG LƯỚI PHÂN PHỐI SỬ DỤNG HỆ SỐ ĐỘ NHẠY TỔN THẤT CÔNG SUẤT VÀ QUY HOẠCH PHI TUYẾN

USING POWER LOSS SENSITIVITY FACTORS AND NON-LINEAR PROGRAMMING TO OPTIMIZE DG PLACEMENT IN POWER DISTRIBUTION SYSTEMS

Nguyễn Trung Tuyên¹, Phạm Năng Văn^{1,*},
Lê Thị Minh Châu¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.043>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp để xác định vị trí và công suất tối ưu của nguồn phân tán (DG) trong lưới điện phân phối với mục tiêu là tối thiểu hóa tổn thất công suất. Phương pháp tính toán gồm hai giai đoạn. Đầu tiên, vị trí đặt của các nguồn phân tán được xác định dựa trên hệ số độ nhạy tổn thất công suất. Sau đó, mô hình quy hoạch phi tuyến (NLP) được áp dụng để tính toán công suất đặt tối ưu cho nguồn DG. Các ràng buộc được xem xét bao gồm hệ phương trình trào lưu công suất, giới hạn điện áp, ràng buộc công suất phát của DG và giới hạn dòng công suất nhánh. Lời giải của mô hình NLP được tính toán sử dụng phần mềm MATPOWER/MATLAB. Lưới điện phân phối IEEE 33 nút được áp dụng để đánh giá phương pháp đề xuất. Kết quả tính toán cho thấy vị trí và công suất đặt tối ưu của nguồn phân tán đóng góp đáng kể vào việc giảm tổn thất công suất và cải thiện chất lượng điện áp của lưới điện phân phối.

Từ khóa: Lưới điện phân phối, nguồn điện phân tán (DG), hệ số độ nhạy, tổn thất công suất, quy hoạch phi tuyến (NLP).

ABSTRACT

This paper presents an approach to optimally determining the location and capacity of distributed generation (DG) in power distribution grids, aiming at power loss minimization. This proposed approach consists of two stages. First, the DG site is determined based on the power loss sensitivity factor. Then, the non-linear programming (NLP) model is adopted to calculate the DG optimal capacity. Constraints considered in the NLP-based formulation comprise the system of power flow equations, voltage magnitude limits, DG's generating output bounds, and line branches' thermal limits. The NLP model was solved by deploying MATPOWER/MATLAB software. The evaluation of the developed method is implemented using an IEEE distribution grid of 33 nodes. The calculation results show that the optimization of DG's location and size significantly contribute to power loss and the voltage quality enhancement of the distribution system.

Keywords: Distribution grids, distributed generation (DG), sensitivity factor, power loss, non-linear programming (NLP).

¹Khoa Điện, Trường Điện - Điện tử, Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: van.phamngang@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 25/10/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 06/02/2023

Ngày chấp nhận đăng: 15/3/2023

1. GIỚI THIỆU

Mức độ thâm nhập ngày càng tăng của nguồn điện phân tán (DG) có tác động tích cực đến đặc tính vận hành của lưới điện phân phối, do khả năng làm giảm tổn thất công suất của đường dây truyền tải, cải thiện độ ổn định điện áp, nâng cao độ tin cậy và giảm sự phát thải các chất ô nhiễm.

Chính vì lợi ích mà nguồn DG đem lại, sự thâm nhập của DG vào lưới phân phối đang trở nên phổ biến. Hiệu quả của DG phụ thuộc nhiều vào việc lựa chọn một cách kỹ lưỡng vị trí và công suất đặt cho DG. Khi sự lựa chọn vị trí và công suất đặt là tối ưu sẽ làm tối đa lợi ích của các nguồn DG được sử dụng và tránh được một số vấn đề như gia tăng tổn thất công suất, mất ổn định điện áp. Vì thế, bài toán liên quan đến tối ưu lựa chọn vị trí và công suất đặt cho DG đang trở thành một chủ đề được quan tâm nghiên cứu, một số kỹ thuật để giải quyết bài toán đã được đưa ra trong các bài nghiên cứu.

Các tác giả trong bài báo [1] kết hợp độ nhạy điện áp (VSI) và độ nhạy tổn thất (LSI) thành độ nhạy tổn thất điện áp (LVSI) để xây dựng danh sách thứ tự ưu tiên đặt DG dựa trên chỉ số LVSI này. Phương pháp MMFO xác định vị trí và công suất đặt tối ưu cho DG nhằm tăng tốc độ hội tụ và khả năng tìm nghiệm của phương pháp MFO được trình bày trong bài báo [2]. Bài báo [3] và [4] đề xuất mô hình MISOCP dựa trên mô hình quy hoạch nón bậc hai (SOCP) để tối ưu đồng thời vị trí và công suất đặt cho DG. Phương pháp HHO-PSO được đề xuất trong bài báo [5] nhằm tối ưu vị trí và công suất đặt cho nguồn năng lượng tái tạo trong lưới phân phối dựa trên sự cải tiến thuật toán tối ưu Harris Hawks (HHO) sử dụng mô hình tối ưu bầy đàn để đưa ra một hàm đa mục tiêu giảm tổn thất công suất, cải thiện điện áp, độ ổn định của hệ thống và giảm chi phí vận hành. Thứ tự ưu tiên đặt DG được xác định bằng chỉ số VSI được xây dựng dựa vào tổn thất điện áp trên đường dây và phân tích độ ổn định của điện áp được trình bày trong bài báo [6]. Kỹ thuật I-DBEA dựa trên sự kết hợp các bài toán biến

nguyên phi tuyến, không lỗi được trình bày trong bài báo [7] nhằm giảm tổn thất công suất, độ lệch điện áp và nâng cao độ ổn định điện áp. Hệ số phân bố công suất (GLDFs) được sử dụng trong bài báo [8] để phân tích dòng công suất và chi phí truyền tải khi có thêm DG trong hệ thống điện sử dụng phương pháp MW-Mile nhằm tối đa lợi nhuận cho nhà đầu tư, giảm chi phí đầu tư và vận hành trong thị trường điện.

Trong thực tế, lưới phân phối có cấu hình khác nhau với số lượng lớn nút. Ngoài ra, mức tải ở các thời điểm cũng không giống nhau và vị trí các nút còn chịu ràng buộc về mặt địa lý. Điều này đồng nghĩa với một số lượng lớn nút có thể kết nối thêm nguồn DG, làm cho lựa chọn tối ưu vị trí đặt trở nên phức tạp và tốn nhiều thời gian. Giải pháp tốt nhất cho vấn đề này chính là lựa chọn số nút phù hợp để kết nối nguồn DG, tiết kiệm thời gian nghiên cứu. Một phương pháp được đề xuất trong bài báo này dựa trên hệ số độ nhạy tổn thất nhằm đưa ra danh sách thứ tự ưu tiên (BLI) xác định vị trí kết nối nguồn DG.

Mục đích của bài báo này là dựa vào hệ số độ nhạy tổn thất công suất để xây dựng danh sách thứ tự ưu tiên vị trí đặt DG trong lưới phân phối. Sau đó, mô hình quy hoạch phi tuyến (NLP) với mục tiêu tối thiểu tổng tổn thất công suất hệ thống được giải trên phần mềm MATPOWER/MATLAB để xác định công suất đặt tối ưu cho DG.

Đóng góp của bài báo này là áp dụng mô hình bài toán quy hoạch phi tuyến (NLP) vào việc xác định công suất đặt DG sao cho tổng tổn thất công suất của hệ thống là nhỏ nhất. Mô hình bài toán NLP trong phần mềm MATPOWER/MATLAB có mục đích xác định công suất phát của các tổ máy để tối thiểu hóa chi phí sản xuất toàn hệ thống. Để áp dụng bài toán NLP cho hàm mục tiêu là tối thiểu tổn thất công suất lưới phân phối, hàm chi phí sản xuất của tổ máy được mô tả lại. Tổn thất công suất được tính bằng hiệu giữa công suất phát và công suất tải, khi công suất phát là tối thiểu và giá trị của tải là hằng số, tổn thất công suất sẽ là nhỏ nhất. Do đó, lời giải của bài toán NLP chính là công suất đặt tối ưu cho DG với hàm mục tiêu cực tiểu tổn thất công suất của lưới điện.

Cấu trúc của bài báo gồm năm phần: Phần 1 giới thiệu về nội dung nghiên cứu; Phần 2 trình bày phương pháp xác định vị trí để đặt DG dựa vào hệ số độ nhạy tổn thất công suất; Phần 3 trình bày về công thức của mô hình NLP dùng cho mục đích xác định công suất đặt tối ưu cho DG; Kết quả tính toán sử dụng phương pháp đề xuất trong bài báo cho lưới phân phối IEEE 33 nút được thể hiện trong phần 4; Các kết luận được trình bày trong phần 5.

2. THỨ TỰ ƯU TIÊN ĐẶT DG

Sự thay đổi dòng công suất bơm vào một nút bất kỳ cũng làm thay đổi tổng tổn thất công suất của toàn hệ thống (P_L). Theo khái niệm này, thứ tự ưu tiên đặt DG được sắp xếp dựa trên chỉ số BLI được tính như trong [9].

Chỉ số BLI cho mỗi nút được tính theo công thức:

$$BLI_k = \omega_k \frac{\partial P_L}{\partial P_k} + (1 - \omega_k) \frac{\partial P_L}{\partial Q_k} \tag{1}$$

với ω_k là trọng số được xác định theo tỉ số giữa điện trở và điện kháng của đường dây.

$$\omega_k = \frac{R_{ik}/X_{ik}}{(R_{ik}/X_{ik}) + 1} \tag{2}$$

Hệ số độ nhạy tổn thất công suất khi mô tả theo phương trình toán học được tính dựa trên ∂P_L/∂P_k và ∂P_L/∂Q_k, trong đó chúng lần lượt là đạo hàm riêng của tổn thất công suất tác dụng theo công suất tác dụng và công suất phản kháng bơm vào nút k. Hệ số độ nhạy tổn thất công suất được tính như trong [10]:

$$\begin{bmatrix} \partial P_L / \partial P_k \\ \partial P_L / \partial Q_k \end{bmatrix} = \mathbf{J}^{-1} \begin{bmatrix} \partial P_L / \partial \theta \\ \partial P_L / \partial \mathbf{U} \end{bmatrix} \tag{3}$$

J là ma trận Jacobian được định nghĩa như sau:

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Delta \mathbf{P}}{\partial \theta} & \frac{\partial \Delta \mathbf{P}}{\partial \mathbf{U}} \\ \frac{\partial \Delta \mathbf{Q}}{\partial \theta} & \frac{\partial \Delta \mathbf{Q}}{\partial \mathbf{U}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^k}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^k}{\partial \theta_n} & \frac{\partial P_2^k}{\partial |U_2|} U_2 & \dots & \frac{\partial P_2^k}{\partial |U_n|} U_n \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial P_n^k}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^k}{\partial \theta_n} & \frac{\partial P_n^k}{\partial |U_2|} U_2 & \dots & \frac{\partial P_n^k}{\partial |U_n|} U_n \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial Q_2^k}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^k}{\partial \theta_n} & \frac{\partial Q_2^k}{\partial |U_2|} U_2 & \dots & \frac{\partial Q_2^k}{\partial |U_n|} U_n \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^k}{\partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^k}{\partial \theta_n} & \frac{\partial Q_n^k}{\partial |U_2|} U_2 & \dots & \frac{\partial Q_n^k}{\partial |U_n|} U_n \end{bmatrix} \tag{4}$$

Với $\frac{\partial \Delta \mathbf{P}}{\partial \theta}, \frac{\partial \Delta \mathbf{P}}{\partial \mathbf{U}}$ lần lượt là đạo hàm riêng của độ lệch giữa công suất tác dụng nút tính toán và cho trước theo góc pha (θ) và mô-đun điện áp (U); $\frac{\partial \Delta \mathbf{Q}}{\partial \theta}$ và $\frac{\partial \Delta \mathbf{Q}}{\partial \mathbf{U}}$ lần lượt là đạo hàm riêng của độ lệch giữa công suất phản kháng nút tính toán và cho trước theo góc pha và mô-đun điện áp.

Sau khi chỉ số BLI của các nút được tính toán, thứ tự ưu tiên đặt DG được xác định theo danh sách tăng dần của giá trị BLI. Điều này có nghĩa là giá trị BLI của một nút càng âm thì càng phù hợp để đặt DG vào vị trí nút đó.

3. MÔ HÌNH QUY HOẠCH PHI TUYẾN

Hàm mục tiêu của bài toán NLP được mô tả như [10]:

$$\min F = \sum_{i=1}^{N_G} f_i(P_{Gi}) = \sum_{i=1}^{N_G} (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) \tag{5}$$

Các ràng buộc của bài toán NLP bao gồm giới hạn công suất phát của tổ máy, giới hạn điện áp và cân bằng công suất.

$$P_i = P_{Gi} - P_{Di} \tag{6}$$

$$Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di} \tag{7}$$

$$P_{Gi}^{min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{max}; \quad i = 1, 2, \dots, N_G \tag{8}$$

$$Q_{Gi}^{min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{max}; \quad i = 1, 2, \dots, N_G \tag{9}$$

$$U_i^{min} \leq U_i \leq U_i^{max} \tag{10}$$

$$\sum_{i=1}^{N_G} P_{Gi} = \sum_{i=1}^{N_D} P_{Di} + P_L \tag{11}$$

trong đó, F_i là chi phí vận hành của tổ máy (\$/h); N_G là số tổ máy; P_{Gi} là công suất phát của tổ máy; a_i, b_i, c_i là hệ số đặc trưng cho đặc tính tiêu hao nhiên liệu của tổ máy; P_{Di}, Q_{Di} lần lượt là công suất tác dụng và công suất phản kháng của tải tại nút i ; $P_{Gi}^{min}, P_{Gi}^{max}$ lần lượt là giới hạn dưới và giới hạn trên của công suất phát tổ máy i ; Q_{Gi} là công suất phản kháng của tổ máy; $Q_{Gi}^{min}, Q_{Gi}^{max}$ giới hạn dưới và giới hạn trên của công suất phản kháng của tổ máy i ; U_i là điện áp tại nút i ; U_i^{max}, U_i^{min} là giới hạn trên và giới hạn dưới của điện áp tại nút i ; N_D là số nút tải (nút PQ); P_L là tổng tổn thất công suất của lưới điện.

Công suất truyền tải từ nút i đến nút k trên đường dây ik được tính như sau:

$$P_{ik} = U_i^2 y_{ik} \cos(\delta_{ik}) - U_i U_k y_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k - \delta_{ik}) + \frac{1}{2} U_i^2 y_{ik}^{sh} \cos(\delta_{ik}^{sh}) \tag{12}$$

$$Q_{ik} = -U_i^2 y_{ik} \sin(\delta_{ik}) - U_i U_k y_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k - \delta_{ik}) - \frac{1}{2} U_i^2 y_{ik}^{sh} \sin(\delta_{ik}^{sh}) \tag{13}$$

trong đó:

- $y_{ik} = y_{ik} \angle \delta_{ik}$ là tổng dẫn dọc của nhánh ik ;
- $y_{ik}^{sh} = y_{ik}^{sh} \angle \delta_{ik}^{sh}$ là tổng dẫn ngang của nhánh ik ;
- $U_i = U_i \angle \theta_i$ là điện áp tại nút i .

Mô hình tối ưu NLP có thể được giải sử dụng phương pháp hàm Lagrange như mô tả dưới đây. Hàm Lagrange:

$$\tilde{C}_T = \sum_{i=1}^{N_G} f_i(P_{Gi}) - \lambda \left[\sum_{i=1}^{N_G} P_{Gi} - \Delta P(P_{G2}, P_{G3}, \dots, P_{GN_G}) - P_D \right] \tag{14}$$

Lấy đạo hàm bậc nhất của Lagrange theo λ và P_{Gi} :

$$\frac{\partial \tilde{C}_T}{\partial \lambda} = \sum_{i=1}^{N_G} P_{Gi} - \Delta P(P_{G2}, P_{G3}, \dots, P_{GN_G}) - P_D = 0 \tag{15}$$

$$\frac{\partial \tilde{C}_T}{\partial P_{G1}} = \frac{dC_1}{dP_{G1}} - \lambda = 0 \tag{16}$$

$$\frac{\partial \tilde{C}_T}{\partial P_{Gi}} = \frac{dC_i(P_{Gi})}{dP_{Gi}} - \lambda \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{Gi}} \right) = 0; \quad i = 2, 3, \dots, N_G \tag{17}$$

Từ (15)-(17), ta có:

$$\frac{1}{\left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{Gi}} \right)} \times \frac{dC_i(P_{Gi})}{dP_{Gi}} = \lambda \tag{18}$$

Hệ số phạt L_i đối với máy phát thứ i được định nghĩa như sau:

$$L_1 = 1; \quad L_i = \frac{1}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{Gi}}}; \quad i = 2, 3, \dots, N_G \tag{19}$$

Do đó, điều kiện phân bố tối ưu khi có xét tổn thất công suất:

$$L_1 \frac{dC_1}{dP_{G1}} = L_2 \frac{dC_2}{dP_{G2}} = L_3 \frac{dC_3}{dP_{G3}} = \dots = L_{N_G} \frac{dC_{N_G}}{dP_{N_G}} = \lambda \tag{20}$$

với λ là suất tăng chi phí của hệ thống (\$/h).

Từ phương trình (11), tổn thất công suất của hệ thống có thể tính như sau:

$$P_L = \sum_{i=1}^{N_G} P_{Gi} - \sum_{i=1}^{N_D} P_{Di} \tag{21}$$

Để hàm mục tiêu (5) là cực tiểu tổng tổn thất công suất của lưới điện theo(21), ta cần cho các hệ số a_i, b_i, c_i của tất cả các tổ máy lần lượt bằng 0, 1 và 0.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trong bài báo này, hệ thống lưới phân phối IEEE 33 nút [11] được áp dụng để đánh giá hiệu quả của phương pháp đề xuất. Giả thiết ở đây là trong hệ thống ban đầu không có bất kì nguồn DG nào và tất cả tải được tăng lên 200% để quan sát sự ảnh hưởng của vị trí và công suất đặt đến tổn thất công suất và điện áp tại các nút trong hệ thống. Hệ số công suất của tất cả các nguồn DG được giả định là không đổi và có giá trị bằng 0,95. Giới hạn điện áp nút cho phép trong khoảng từ 0,95pu đến 1,05pu.

Phân tích trào lưu công suất ban đầu và giải mô hình tối ưu NLP để xác định công suất đặt tối ưu được thực hiện bằng phần mềm MATPOWER/MATLAB R2019a [12] trên máy tính 3,00GHz Ryzen 5 với 16GB RAM.

Kết quả tính toán chỉ số ưu tiên đặt DG (BLI) được thể hiện trong bảng 1. Năm vị trí đầu tiên trong kết quả này được chọn làm vị trí ưu tiên để đặt DG.

Từ kết quả trong bảng 1, năm vị trí thuận lợi nhất để đặt DG là tại vị trí nút 18, 17, 16, 33 và nút 32. Để đánh giá ảnh hưởng của vị trí và số lượng DG đến tổn thất công suất và công suất đặt DG, các kịch bản đặt DG khác nhau được xét đến như sau:

- Kịch bản 1: Tổng số vị trí đặt DG bằng 1;
- Kịch bản 2: Tổng số vị trí đặt DG bằng 2;
- Kịch bản 3: Tổng số vị trí đặt DG bằng 3.

Bảng 1. Thứ tự ưu tiên vị trí đặt DG

Nút	BLI	Nút	BLI	Nút	BLI	Nút	BLI
18	-0,2886	13	-0,2593	8	-0,1817	4	-0,0735
17	-0,2862	30	-0,2565	27	-0,1728	23	-0,0585

16	-0,2786	29	-0,2407	7	-0,1632	3	-0,0495
33	-0,2765	12	-0,2358	26	-0,1627	22	-0,0191
32	-0,2756	11	-0,2295	6	-0,1553	21	-0,0179
15	-0,2730	10	-0,2259	5	-0,0982	20	-0,0166
31	-0,2722	28	-0,2115	25	-0,0834	19	-0,0093
14	-0,2675	9	-0,2042	24	-0,0749	2	-0,0082

Khi chưa có DG:

Tổn thất công suất toàn hệ thống là 0,851MW, giá trị điện áp nút nhỏ nhất là 0,871pu tại nút 18, vi phạm giới hạn điện áp cho phép (nhỏ hơn 0,95pu).

Kịch bản 1: Đặt 1 DG vào một trong năm vị trí đặt thuận lợi nhất

Với kịch bản đặt 1 DG, vị trí đặt tối ưu là nút 32 với công suất đặt là 3,09MW; tổng tổn thất công suất là 0,364MW; giá trị điện áp nút nhỏ nhất là 0,932pu tại nút 18, vi phạm giới hạn điện áp cho phép (nhỏ hơn 0,95pu).

Kịch bản 2: Đặt 2 DG vào hai trong năm vị trí đặt thuận lợi nhất

Vị trí đặt tối ưu cho kịch bản 2 là tại nút 16 và 32. Công suất đặt tối ưu trong kịch bản này là 1,62MW tại nút 16 và 2,42MW tại nút 32. Tổng tổn thất công suất cho trường hợp này là 0,201MW và giá trị điện áp nhỏ nhất tại nút 25 với giá trị 1,009pu.

Kịch bản 3: Đặt 3 DG vào ba trong năm vị trí đặt thuận lợi nhất

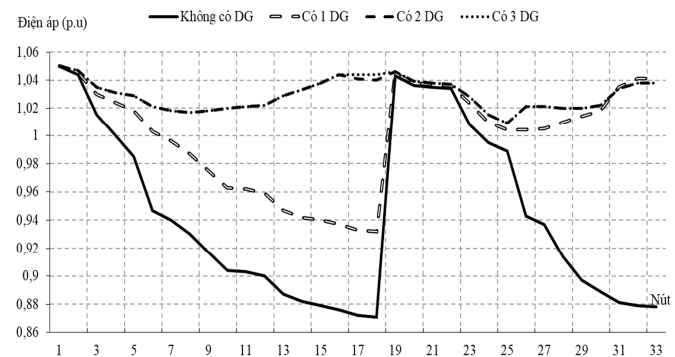
Vị trí đặt tối ưu cho kịch bản này là tại nút 16, 18 và nút 32. Công suất đặt tại từng nút ứng với nút 18, 16, 32 lần lượt là 1,34MW; 0,28MW và 2,42MW. Tổng tổn thất công suất trong trường hợp này là 0,20MW và giá trị điện áp nhỏ nhất là 1,009pu tại nút 25.

Bảng 2. Ảnh hưởng của số lượng DG

Kịch bản	Nút	Công suất đặt DG (MW)	Tổng công suất đặt DG (MW)	Tổn thất công suất (MW)	Độ giảm tổn thất công suất (%)	Điện áp nút nhỏ nhất (p.u)
Không có DG			0	0,851		0,871
1	32	3,09	3,09	0,364	57,23	0,932
2	16	1,62	4,04	0,201	76,38	1,009
	32	2,42				
3	16	1,34	4,04	0,200	76,50	1,009
	18	0,28				
	32	2,42				

Từ kết quả trong bảng 2, tổn thất công suất tác dụng có thể giảm khi tăng số lượng và công suất DG. Cụ thể, khi đặt 1 DG (kịch bản 1) thì tổn thất công suất giảm 0,487 MW; độ giảm tương ứng 57,23% so với khi không có DG. Khi đặt 2 DG (kịch bản 2) thì tổn thất công suất giảm 0,650MW; độ giảm tương ứng 76,38% so với khi không đặt DG. Tuy nhiên, với kịch bản 3 (đặt 3 DG) thì sự giảm tổn thất công suất là không đáng kể so với kịch bản 2. Vì vậy, đặt 2 DG

như kịch bản 2 là phù hợp về tính kinh tế cho lưới phân phối IEEE 33 nút. Hình 1 mô tả điện áp nút trong lưới phân phối ứng với từng kịch bản khác nhau, trong đó thể hiện sự tăng đáng kể của điện áp nhỏ nhất của lưới (từ 0,871pu khi không có DG đến 1,009pu khi đặt 2 hoặc 3 DG).



Hình 1. Phân bố điện áp lưới phân phối với các kịch bản khác nhau

5. KẾT LUẬN

Bài báo đề xuất phương pháp xây dựng danh sách thứ tự ưu tiên đặt DG dựa trên độ nhạy tổn thất công suất, và phương pháp tính toán công suất đặt DG tối ưu theo mô hình quy hoạch phi tuyến (NLP) nhằm tối thiểu hóa tổn thất công suất trong lưới phân phối. Khi áp dụng phương pháp đề xuất cho lưới phân phối IEEE 33 nút, kết quả tính toán cho thấy rằng việc lựa chọn vị trí và công suất đặt DG hợp lý có ảnh hưởng tích cực đến đặc tính vận hành của hệ thống. Đối với lưới phân phối 33 nút này, đặt tối ưu hai DG góp phần làm giảm tổng tổn thất công suất bằng 76% và giá trị điện áp nút nhỏ nhất tăng từ 0,871pu lên 1,009pu so với khi không đặt DG.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. K. B. J. Anuradha, U. Jayatunga, H. Y. R. Perera, 2019. *Voltage-Loss Sensitivity Based Approach for Optimal DG Placement in Distribution Networks*. Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS). 553–558.
- [2]. E. E. Elattar, S. K. Elsayed, 2020. *Optimal Location and Sizing of Distributed Generators Based on Renewable Energy Sources Using Modified Moth Flame Optimization Technique*. IEEE Access. Vol. 8, pp. 109625–109638
- [3]. Shanghai University of Electric Power, et al., 2018. *Optimal siting and sizing of distributed renewable energy in an active distribution network*. CSEE J. Power Energy Syst. Vol. 4, no. 3, pp. 380–387.
- [4]. W. Gil-González, A. Garces, O. D. Montoya, J. C. Hernández, 2021. *A Mixed-Integer Convex Model for the Optimal Placement and Sizing of Distributed Generators in Power Distribution Networks*. Appl. Sci., 11, 627, 15p.
- [5]. M. R. Elkadeem, M. Abd Elaziz, Z. Ullah, S. Wang, S. W. Sharshir, 2019. *Optimal Planning of Renewable Energy-Integrated Distribution System Considering Uncertainties*. IEEE Access. vol. 7, pp. 164887–164907,
- [6]. A. Patwa, T. Thakur, S. C. Gupta, 2020. *Voltage stability index based optimal sizing and placement of DG*. 2020 IEEE Students Conference on Engineering & Systems (SCES).

[7]. A. Ali, M. U. Keerio, J. A. Laghari, 2021. *Optimal Site and Size of Distributed Generation Allocation in Radial Distribution Network Using Multi-objective Optimization*. J. Mod. Power Syst. Clean Energy. Vol. 9, no. 2, pp. 404–415.

[8]. A. Avar, M. K. Sheikh-Eslami, 2021. *Optimal DG placement in power markets from DG Owners' perspective considering the impact of transmission costs*. Electr. Power Syst. Res. Vol. 196, p. 107218.

[9]. J. Radosavljevi, M. Jevti, 2007. *Optimal location and sizing of distributed generators in radial distribution networks using genetic algorithm*. Proc 28th Conf JUKO CIGRE Vrnjacka Banja Serbia.

[10]. J. Zhu, 2015. *Optimization of power system operation*, Second edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc.

[11]. S. H. Dolatabadi, M. Ghorbanian, P. Siano, N. D. Hatziargyriou, 2021. *An Enhanced IEEE 33 Bus Benchmark Test System for Distribution System Studies*. IEEE Trans. Power Syst. Vol. 36, no. 3, pp. 2565–2572.

[12]. R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sanchez, R. J. Thomas, 2011. *MATPOWER: Steady-State Operations, Planning, and Analysis Tools for Power Systems Research and Education*. IEEE Trans. Power Syst. Vol. 26, no. 1, pp. 12–19.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Trung Tuyen, Pham Nang Van, Le Thi Minh Chau

Department of Electrical Engineering, School of Electrical and Electronic Engineering, Hanoi University of Science and Technology