

# ĐỀ XUẤT GIẢI THUẬT PHÂN BỐ TỐI ƯU CÁC MÁY PHÁT PHÂN TÁN TRONG LƯỚI ĐIỆN DỰA TRÊN PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH TIẾP CẬN KẾT HỢP VỚI MÔ HÌNH XẤP XỈ TỶ SỐ TỶ SỐ CÔNG SUẤT

NGUYỄN TRUNG NHÂN

Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh  
nguyentrungnhan@iuh.edu.vn

## TÓM TẮT

Bài báo đề xuất phương pháp tính toán tối ưu việc lắp đặt các máy phát phân tán (DG) trong lưới điện phân phối nhằm giảm tổn thất dựa trên sự kết hợp giữa kỹ thuật phân tích tiếp cận và xấp xỉ tỷ số. Phương pháp đề xuất được kiểm chứng trên hai lưới điện phân phối IEEE chuẩn. Kết quả đạt được của phương pháp đề xuất được so sánh với phương pháp hệ số độ nhạy tổn thất (LFS) để thấy tính hiệu quả.

**Từ khóa:** Nguồn phân tán; xấp xỉ tỷ số; hệ số độ nhạy tổn thất; tối ưu dung lượng; tối ưu vị trí.

## ABSTRACT

This paper proposes an analytical approach based on the approximate loss formula to calculate the optimal size and location for DG placement for minimizing the total power losses in medium voltage distribution systems. The proposed methodology was tested and validated in two IEEE standard distribution test systems. Results obtained from the proposed methodology are compared with the loss sensitivity factor method. Results show that the loss sensitivity factor based approach may not lead to the best placement for loss reduction. Results show that proposed method is effective as compared with LSF solutions. Some interesting results are also discussed in this paper

**Keywords:** Distributed generation; approximate loss formula; load sensitivity factor, Optimum size; Optimum location.

## 1. GIỚI THIỆU

Những năm gần đây, việc phát triển các nguồn điện từ năng lượng tái tạo để bổ sung vào lưới điện hiện hữu được nhiều nước trên thế giới quan tâm. Trong đó, quan tâm nhất vẫn là năng lượng mặt trời và năng lượng gió. Tính đến cuối năm 2018, tổng công suất lắp đặt trên toàn thế giới của điện gió 591 Gigawatts và điện mặt trời là 505 Gigawatts [1]. Tại Việt Nam, chính phủ và các bộ ngành cũng dành nhiều chính sách ưu đãi cho phát triển các nguồn năng lượng này, đặc biệt là năng lượng mặt trời. Tính đến cuối năm 2019, tổng công suất điện mặt trời được lắp đặt và vận hành của cả nước đạt gần 5000 Megawatts. Đó là những tín hiệu rất tích cực. Một đặc điểm quan trọng của các nguồn điện từ năng lượng tái tạo là công suất phát vào lưới có thể được bố trí linh hoạt vào lưới phân phối tại một số khu vực có điều kiện tự nhiên phù hợp, công suất nguồn phát vừa phải. Chính vì vậy, các nguồn phát này được gọi là nguồn (máy) phát phân tán (DG - Distributed Generation).

Sự phát triển nhanh các DG bên cạnh những mặt tích cực cũng phát sinh nhiều vấn đề mang tính kỹ thuật như: (i) chưa có sự quy hoạch bài bản; (ii) quá tải cục bộ lưới truyền tải, phân phối dẫn đến vận hành không hiệu quả; (iii) gây tổn thất điện năng, dao động điện áp; (iv) giảm độ tin cậy cung cấp điện. Để giải quyết các phát sinh trên, một trong những hướng nhận được sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu là tìm giải pháp phân bố các DG trong lưới điện một cách tối ưu với mục tiêu vừa đảm bảo phát công suất, ổn định điện áp, vừa đảm bảo tổn hao công suất trong lưới điện là thấp nhất có thể [2]-[4].

Thời gian gần đây, nhiều nhà nghiên cứu đã đề xuất phương pháp để giải quyết bài toán phân bố tối ưu DG trong lưới phân phối; trong đó có thể chia thành các nhóm như: (i) sử dụng giải thuật gen (GA - Genetic Algorithm) phân bố các DG nhằm cực tiểu tổn thất trong lưới phân phối [5]-[7]; (ii) giải thuật tối ưu bầy đàn (PSO - Particle Swarm Optimization) [8]-[10]; (iii) giải thuật kết hợp giữa GA và PSO [11]; (iv) giải thuật bầy ong (ABO - Artificial Bee Colony) [12]; (v) tối ưu đa mục tiêu [13]. Ưu điểm chung của các phương pháp tiến hóa này là cho kết quả tối ưu toàn cục trong không gian khảo sát của bài toán. Tuy nhiên, nhược điểm chung của chúng là thời gian tính toán lâu, thậm chí nếu các thông số ban đầu không tốt thì bài toán có thể không hội tụ. Một trong những công cụ được T. Griffin và các cộng sự của ông đề xuất [14], [15] và được sử dụng phổ biến cho bài toán phân bố tối ưu DG là phương pháp hệ số

tổn thất (LSF – Load Sensitive Factor). Về bản chất, đây là phương pháp giải tích toán học dựa trên nguyên tắc tổn thất công suất trong lưới là hàm bậc 2 lõm theo công suất bơm vào của các máy phát trong lưới điện. Do đó, chúng ta luôn tìm được giá trị bơm vào tối ưu để tổn thất là cực tiểu. Tuy nhiên, khuyết điểm của phương pháp này là chúng ta phải giải hệ phương trình đạo hàm riêng của tổn thất theo công suất bơm vào, điều này dẫn đến khối lượng tính toán lớn, đặc biệt với các lưới điện nhiều nút. Gần đây, nhiều nhà nghiên cứu đã đề xuất sử dụng phương pháp phân tích tiếp cận (Analytical approach) cho bài toán phân bố tối ưu DG [16]-[18]. Ý tưởng của phương pháp này cũng được sử dụng cho các bài toán khác nhau trong nhiều lĩnh vực [19]-[21]. Đặc điểm của phương pháp này là khá đơn giản, luôn cho kết quả chính xác trong toàn bộ không gian tính toán. Tuy nhiên, tùy thuộc vào đặc điểm của từng bài toán mà khối lượng tính toán sẽ rất khác nhau. Đối với bài toán phân bố tối ưu DG, nếu sử dụng phương pháp phân tích tiếp cận thông thường, cứ mỗi bước thay đổi công suất phát của DG chúng ta phải giải lại bài toán phân bố công suất, điều này dẫn đến khối lượng tính toán vô cùng lớn, đặc biệt khi kích cỡ của lưới điện càng lớn thì bài toán tốn thời gian tính rất lâu.

Để có thêm công cụ hiệu quả trong việc giải bài toán phân bố tối ưu DG trong lưới phân phối, trong bài báo này tác giả đề xuất phương pháp tiếp cận mới dựa trên sự kết hợp của phương pháp tiếp cận truyền thống kết hợp với bài toán xấp xỉ tổn thất. Phương pháp đề xuất sẽ kế thừa ưu điểm đơn giản của phương pháp phân tích tiếp cận đồng thời khắc phục nhược điểm của phương pháp này là khối lượng tính toán lớn. Phương pháp đề xuất được áp dụng trên các mạng IEEE chuẩn, kết quả được so sánh với phương pháp LSF để kiểm chứng tính đúng đắn và hiệu quả.

## 2. PHƯƠNG PHÁP XẤP XỈ TỔN THẤT

Như đã nói ở trên, hầu hết mục tiêu chính của bài toán phân bố tối ưu DG là xác định dung lượng và vị trí lắp đặt của các DG sao cho tổng tổn thất công suất thực trong mạng điện là nhỏ nhất với điều kiện điện áp tại các nút không được tăng vượt ngưỡng. Như chúng ta đã biết, đặc điểm của lưới điện phân phối là lưới hình tia, khi đó tổng tổn thất công suất thực trong lưới điện được tính chính xác theo công thức [22]:

$$P_{Le} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left\{ \alpha_{ij} (P_i P_j + Q_i Q_j) + \beta_{ij} (Q_i P_j - P_j P_i) \right\} \quad (1)$$

Ở đây:  $P_{Le}$  là tổn thất công suất thực chính xác của lưới điện;  $N$  là số nút của mạng điện;  $P_i, P_j, Q_i, Q_j$  là công suất thực và công suất phản kháng bơm vào nút  $i$  và nút  $j$  tương ứng; và  $\alpha_{ij}, \beta_{ij}$  là hai hệ số được xác định theo công thức (2) như sau:

$$\begin{cases} \alpha_{ij} = \frac{R_{ij}}{V_i V_j} \cos(\delta_i - \delta_j) \\ \beta_{ij} = \frac{R_{ij}}{V_i V_j} \sin(\delta_i - \delta_j) \end{cases} \quad (2)$$

Trong công thức (02)  $R_{ij}$  là thành thực của phần tử tổng trở  $Z_{ij}=R_{ij}+jX_{ij}$  trong ma trận tổng trở của lưới điện khảo sát;  $\delta_i, \delta_j, V_i, V_j$  lần lượt là góc pha và biên độ của điện áp tại các nút  $i$  và  $j$  tương ứng. Từ (1) và (2) ta thấy tổn thất công suất trong lưới điện phụ thuộc vào công suất bơm vào và điện áp tại các nút trong lưới. Theo lý thuyết phương pháp phân tích tiếp cận thông thường, cứ mỗi sự thay đổi của công suất DG chúng ta phải tính lại tổn thất theo công thức (1). Tuy nhiên, để tính tổn thất theo (1) thì ta phải tính các hệ số  $\alpha_{ij}, \beta_{ij}$  mà theo công thức (2) thì các hệ số này chỉ được tính chính xác khi biết điện áp tại các nút khi đó. Để có được điện áp tại các nút khi thay đổi công suất chúng ta phải giải lại bài toán phân bố công suất. Đây là bài toán có khối lượng tính toán lớn dẫn đến khối lượng tính toán của phương pháp phân tích tiếp cận thông thường trong trường hợp này rất lớn. Để ý rằng khi công suất tác dụng tại các nút thay đổi, giá trị điện áp thay đổi không quá lớn dẫn đến các hệ số  $\alpha_{ij}, \beta_{ij}$  sẽ có biên độ dao động không lớn. Mặt khác, trong các bước giải trung gian của phương pháp phân tích tiếp cận dùng để giải bài toán phân bố tối ưu DG chúng ta cần xác định dung lượng và vị trí của DG để tổn thất trong mạng là nhỏ nhất tương ứng với các giá trị thay đổi mà không cần thiết tính chính xác giá trị nhỏ nhất đó là bao nhiêu. Chính vì vậy, chúng ta có thể xem các hệ số  $\alpha_{ij}, \beta_{ij}$  không đổi trong suốt quá trình tính toán các bước trung

gian. Việc không cần tính lại giá trị các hệ số  $\alpha_{ij}$ ,  $\beta_{ij}$  giúp khối lượng tính toán giảm rất nhiều. Khi đó giá trị tổn thất công suất gần đúng trong lưới điện có thể được xác định theo công thức (3) bên dưới:

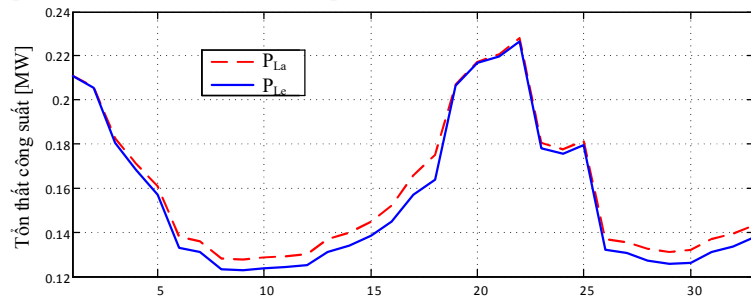
$$P_{La} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left\{ \alpha_{ij}^0 (P_i P_j + Q_i Q_j) + \beta_{ij}^0 (Q_i P_j - Q_j P_i) \right\} \quad (3)$$

Với

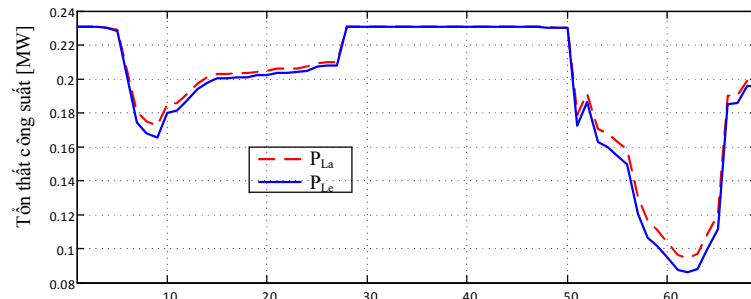
$$\begin{cases} \alpha_{ij}^0 = \frac{R_{ij}}{V_i^0 V_j^0} \cos(\delta_i^0 - \delta_j^0) \\ \beta_{ij}^0 = \frac{R_{ij}}{V_i^0 V_j^0} \sin(\delta_i^0 - \delta_j^0) \end{cases} \quad (4)$$

Ở đây các giá trị  $\alpha_{ij}^0$ ,  $\beta_{ij}^0$  sẽ được xác định một lần duy nhất khi chưa đặt các DG vào lưới điện.

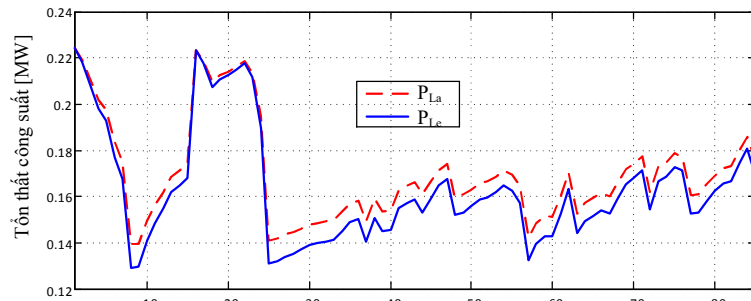
Để minh họa cho điều này, tác giả đã cho thực nghiệm đề xuất trên ba hệ thống điện IEEE chuẩn gồm hệ thống IEEE 33 nút, IEEE 69 nút và IEEE 85 nút. Cách thức thực nghiệm là đặt một DG với công suất cho trước tại lần lượt các nút trong lưới điện và tiến hành tính tổn thất bằng phương pháp chính xác theo công thức (1) và xấp xỉ theo công thức (3). Kết quả được minh họa ở Hình 1, Hình 2 và Hình 3.



Hình 1. Biểu đồ giá trị tổn thất chính xác và xấp xỉ khi thực nghiệm trên mạng IEEE 33 nút



Hình 2. Biểu đồ giá trị tổn thất chính xác và xấp xỉ khi thực nghiệm trên mạng IEEE 69 nút



Hình 3. Biểu đồ giá trị tổn thất chính xác và xấp xỉ khi thực nghiệm trên mạng IEEE 85 nút

Kết quả thực nghiệm cho thấy biểu đồ tổn thất được tính bằng phương pháp xấp xỉ luôn tương đồng và tiệm cận với cách tính bằng biểu thức chính xác; đặc biệt tại các vị trí mà tổn thất chính xác đạt cực tiểu thì tổn thất xấp xỉ cũng đạt cực tiểu. Như vậy, mô hình tính toán tổn thất xấp xỉ hoàn toàn có thể dùng thay thế cho việc tính chính xác trong các bước tính trung gian của bài toán phân tích tiếp cận áp dụng cho phân bố tối ưu DG.

### 3. PHƯƠNG PHÁP ĐỀ XUẤT

Bài toán phân bố tối ưu DG trong lưới điện thực tế bao gồm ba bài toán con: (i) tối ưu dung lượng lắp đặt DG ở một số nút nào đó trong lưới điện được xác định trước; (ii) tối ưu vị trí lắp đặt của DG khi cho trước dung lượng của chúng; (iii) vừa tối ưu dung lượng và vị trí khi cho trước số lượng DG cần lắp đặt. Để hiểu rõ từng đề xuất, trong bài báo này tác giả sẽ giới thiệu phương pháp đề xuất cho từng bài toán con.

#### 3.1. Giải thuật đề xuất cho bài toán (i) (GT1)

*Begin*

*Bước 1:* Khai báo thông số lưới điện, số lượng vị trí lắp đặt ( $N_{vt}$ ), công suất lớn nhất của các DG ( $P_{DGmax}$ ), độ thay đổi công suất  $\Delta P$ ,  $i=1:N_{vt}$ ,  $Ng=size(round(0:\Delta P:P_{DGmax}))$ ,  $k=1:Ng$ ;

*Bước 2:* Giải bài toán phân bố công suất để xác định các giá trị  $\alpha_{ij}^0$ ,  $\beta_{ij}^0$  theo công thức (4);

*Bước 3:*  $i=1$ ,  $P_{DG}(vt1)^1=\Delta P$ , cập nhật  $P(vt1)^1=P(vt1)+P_{DG}(vt1)^1$  tính tổn thất xấp xỉ  $P_{La}(1)$  theo công thức (3); thực hiện tiếp tục theo công thức  $P_{DG}(vt1)^k=k\Delta P$ , cập nhật  $P(vt1)^k=P(vt1)+P_{DG}(vt1)^k$  tính tổn thất xấp xỉ  $P_{La}(k)$  cho đến khi  $k=Ng$ ;

*Bước 4:* Tính  $\min(P_{La})$ , công suất lắp đặt DG tối ưu tại nút thứ nhất được xác định:  $P_{DGTU}(vt1)=P_{DG}(vt1)^k$  nếu  $P_{DG}(vt1)^k=\min(P_{La})$ ;

*Bước 5:* Cập nhật giá trị  $P_{DGTU}(vt1)$  và hệ thống:  $P(vt1)=P(vt1)+P_{DGTU}(vt1)$ . Lặp lại bước 3 và 4 với vị trí  $i=2$  cho đến  $N_{vt}$ ;

*Bước 6:* Cập nhật tất cả các giá trị  $P_{DGTU}$  và hệ thống, giải lại bài toán phân bố công suất để tính lại tổn thất công suất chính xác, xác định điện áp tại các nút.

*End*

Kết quả của bài toán (i) chúng ta đạt được dung lượng công suất lắp đặt tối ưu cho các DG tại các nút cho trước.

#### 3.2. Giải thuật đề xuất cho bài toán (ii) (GT2)

*Begin*

*Bước 1:* Khai báo thông số lưới điện, số lượng DG cần lắp đặt ( $N_{DG}$ ) với công suất tương ứng của mỗi DG được cho trước,  $k=1:N_{DG}$ , số nút của hệ thống  $N$ ,  $i=1:N$ ;

*Bước 2:* Giải bài toán phân bố công suất để xác định các giá trị  $\alpha_{ij}^0$ ,  $\beta_{ij}^0$  theo công thức (4);

*Bước 3:*  $k=1$ , lần lượt đặt DG(1) vào các nút  $i=2$  đến  $N$ , sau khi đặt giá trị công suất tại nút  $i$  được cập nhật lại  $P(i)=P(i)+P_{DG}(1)$ ; lần lượt tính tổn thất xấp xỉ  $P_{La}(1)^i$  theo công thức (3) cho  $N-1$  lần đặt của DG(1);

*Bước 4:* Tính  $\min(P_{La}(1))$ , vị trí lắp đặt tối ưu cho DG(1) là  $m$  ( $2 \leq m \leq N$ ) được xác định theo điều kiện:  $P_{La}(1)^m=\min(P_{La}(1))$ ;

*Bước 5:* Cập nhật giá trị vào hệ thống  $P(m)=P(m)+P_{DG}(1)$ . Lặp lại bước 3 và 4 với các DG tiếp theo đến khi kết thúc  $k=N_{DG}$ ;

*Bước 6:* Cập nhật tất cả công suất tại các điểm có lắp thêm DG vào hệ thống, giải lại bài toán phân bố công suất để tính lại tổn thất công suất chính xác, xác định điện áp tại các nút.

*End*

Kết quả của bài toán (ii) chúng ta đạt được các vị trí tối ưu để lắp đặt các DG với dung lượng cho trước.

#### 3.3. Giải thuật đề xuất cho bài toán (iii) (GT3)

*Begin*

*Bước 1:* Khai báo thông số lưới điện, số DG cần lắp đặt, công suất lớn nhất của các DG ( $P_{DGmax}$ ), độ thay đổi công suất  $\Delta P$ ,  $Ng=size(round(0:\Delta P:P_{DGmax}))$ ,  $k=1:Ng$ , số nút của hệ thống  $N$ ,  $i=1:N$ ;

*Bước 2:* Giải bài toán phân bố công suất để xác định các giá trị  $\alpha_{ij}^0$ ,  $\beta_{ij}^0$  theo công thức (4);

*Bước 3:*  $k=1$ , sử dụng GT1 để xác định  $P_{DGTU}$  cho lần lượt các nút  $i=2:N$ , kết quả trả về một mảng giá trị các công suất tối ưu của DG thứ nhất cần lắp đặt tại các nút  $i$  tương ứng  $P_{DGTU-IT}$  ( $i=2:N$ );

- Bước 4:* Tính  $\min(P_{DG_{TU-1T}})$ , dung lượng và vị trí lắp đặt tối ưu cho DG(1) tương ứng là  $P_{DG_{TU-1}}$  và  $n$  ( $2 \leq n \leq N$ ) được xác định theo điều kiện:  $P_{DG_{TU-1}} = \min(P_{DG_{TU-1T}})$  và  $P_{DG_{TU-1T}(n)} = P_{DG_{TU-1}}$ ;  
*Bước 5:* Cập nhật giá trị DG đã xác định dung lượng và vị trí tối ưu vào hệ thống  $P(n) = P(n) + P_{DG_{TU-1}}$ . Lặp lại bước 3 và 4 với các DG tiếp theo đến khi kết thúc  $k = N_{DG}$ ;  
*Bước 6:* Cập nhật tất cả công suất tại các điểm có lắp thêm DG vào hệ thống, giải lại bài toán phân bố công suất để tính lại tổn thất công suất chính xác, xác định điện áp tại các nút.

*End*

Kết quả của bài toán (iii) chúng ta đạt được các dung lượng và vị trí tối ưu tương ứng để lắp đặt các DG với số lượng cho trước.

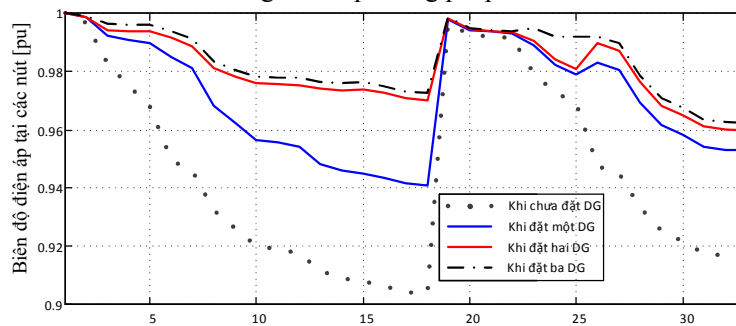
#### 4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Để kiểm chứng tính đúng đắn và hiệu quả của phương pháp đề xuất, tác giả đã thực nghiệm trên mạng điện phân phối chuẩn IEEE 33 nút [23] và IEEE 69 nút [24]; kết quả của phương pháp đề xuất cũng được so sánh với phương pháp hệ số độ nhạy tổn thất (LSF) [14]. Quá trình kiểm chứng thực nghiệm trên mỗi mạng điện được thực hiện với ba trường hợp: chỉ lắp đặt 1 DG, lắp đặt lần lượt 2 DG và lắp đặt lần lượt 3 DG. Bảng 1 thể hiện kết quả thực nghiệm trên lưới điện chuẩn IEEE 33 nút.

Bảng 1: Kết quả chạy thực nghiệm trên lưới IEEE chuẩn 33 nút

Số DG lắp đặt	Phương pháp	Vị trí lắp đặt			Công suất lắp đặt (kW)			Tổng công suất DG (kW)	Tổn thất công suất (kW)
1 DG	LSF	18			743			743	146.82
	Đề xuất	6			2490			2490	111.15
2 DG	LSF	18	33		720	900		1620	100.69
	Đề xuất	6	15		2490	470		2960	94.84
3 DG	LSF	18	33	25	720	810	900	2430	85.07
	Đề xuất	6	15	25	2490	470	630	3590	86.86
0 DG									211

Kết quả từ Bảng 1 cho thấy phương pháp đề xuất đạt được tổn thất sau khi lắp đặt DG giảm so với phương pháp LSF. Điều này có được là nhờ kết quả của lời giải bằng phương pháp đề xuất tìm được các vị trí và công suất lắp đặt tối ưu hơn. Bên cạnh đó, tổng dung lượng lắp DG cũng được nâng lên đáng kể mà không ảnh hưởng đến quá tải lưới điện. Đây là điều mà các nhà đầu tư lắp đặt DG luôn mong muốn. Để thấy rõ hơn tính đúng đắn và hiệu quả, Hình 4 biểu diễn biểu đồ điện áp tại các nút khi chưa lắp đặt DG, lắp đặt 1 DG, 2 DG và 3 DG theo lời giải của phương pháp đề xuất.



Hình 4. Biểu đồ điện áp tại các nút trước và sau khi lắp đặt DG của lưới điện IEEE 33 nút

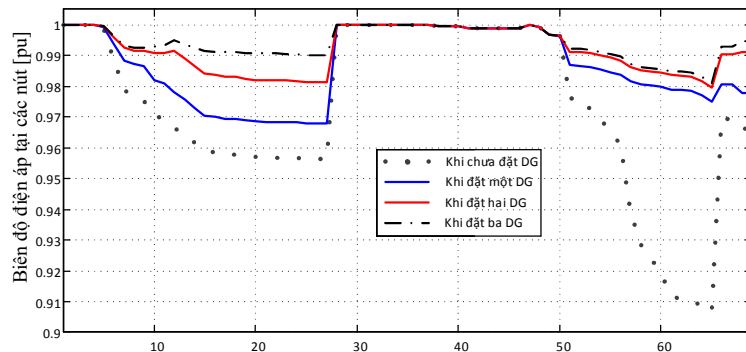
Như đã trình bày ở trên, phương pháp đề xuất sẽ càng hiệu quả khi không gian giải bài toán càng lớn. Bảng 2 mô tả kết quả thực nghiệm của phương pháp đề xuất trên mạng IEEE chuẩn 69 nút. Kết quả từ Bảng 2 cho thấy, phương pháp đề xuất có kết quả vượt trội so với phương pháp LSF, độ giảm tổn thất công suất sau khi lắp đặt rất đáng kể, tổng công suất lắp đặt DG cũng nâng lên nhiều hơn. Đặc biệt, từ kết quả Bảng 1 và Bảng 2 cho thấy lời giải của phương pháp đề xuất luôn nhất quán tức là sau khi lắp đặt các DG tiếp theo thì giá trị công suất và vị trí của các DG đã lắp đặt trước đó phải được cố định. Điều này đảm bảo tính khả thi trong áp dụng kết quả của bài toán vào lắp đặt thực tế. Không thể có chuyện sau khi

tính toán lắp đặt xong thì khi giải các bài toán lắp đặt cho các DG kế tiếp thì công suất của DG đã lắp phải thay đổi.

Bảng 2: Kết quả chạy thực nghiệm trên lưới IEEE chuẩn 69 nút

Số DG lắp đặt	Phương pháp	Vị trí lắp đặt			Công suất lắp đặt (kW)			Tổng công suất DG (kW)	Tổn thất công suất (kW)
1 DG	LSF	65			1520			1520	109.77
	Đề xuất	62			1800			1800	85.84
2 DG	LSF	65	27		1440	540		1980	98.74
	Đề xuất	62	12		1800	800		2600	72.68
3 DG	LSF	65	27	61	1360	510	510	2380	90.84
	Đề xuất	62	12	20	1800	800	200	2800	70.79
0 DG									230.60

Để kiểm tra tính đúng đắn của phương pháp đề xuất, biểu đồ điện áp tại các nút trong các trường hợp được minh họa ở Hình 5.



Hình 5. Biểu đồ điện áp tại các nút trước và sau khi lắp đặt DG của lưới điện IEEE 69 nút

Kết quả Hình 4 và Hình 5 cho thấy, phương pháp đề xuất không những tìm được lời giải tối ưu cho việc lắp đặt các DG để đảm bảo tổn thất công suất là nhỏ nhất với dung lượng lắp đặt lớn mà còn có khả năng cải thiện điện áp đáng kể sau khi lắp đặt các DG này vào lưới điện.

## 5. KẾT LUẬN

Phân bố tối ưu các DG trong lưới điện là vấn đề nhận được nhiều quan tâm của các nhà nghiên cứu trong thời gian gần đây khi mà sự tham gia của các nguồn điện từ năng lượng tái tạo ngày càng nhiều vào lưới điện truyền thống. Trong bài báo này tác giả đã đề xuất một cách tiếp cận mới dựa trên phương pháp phân tích tiếp cận kết hợp với mô hình tính toán xấp xỉ tổn thất công suất. Giải thuật của phương pháp đề xuất được lập trình trên công cụ Matlab và chạy thử nghiệm trên hai mạng điện IEEE chuẩn 33 nút, 69 nút. Kết quả chạy thử nghiệm được so sánh với phương pháp LSF qua đó thấy được tính đúng đắn và hiệu quả của phương pháp đề xuất. Kết quả còn cho thấy lời giải của phương pháp đề xuất không chỉ đảm bảo tổn thất trong lưới đạt cực tiểu khi lắp đặt các DG mà điện áp tại các nút cũng được cải thiện đáng kể. Lời giải nhất quán khi yêu cầu bài toán cần lắp đặt lần lượt nhiều DG giúp cho thấy phương pháp đề xuất có có tính ưu việt so với các phương pháp trước đây và khả năng áp dụng thực tế rất cao.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>

[2] M. Bazrafshan, N. Gatsis and E. Dall'Anese, "Placement and Sizing of Inverter-Based Renewable Systems in Multi-Phase Distribution Networks," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 34, no. 2, pp. 918-930, 2019.

- [3] K. Suvarchala, T. Yuvaraj and P. Balamurugan, "A brief review on optimal allocation of Distributed Generation in distribution network," 2018 4th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES), Chennai, 2018, pp. 391-396.
- [4] K. Karimizadeh, S. Soleymani and F. Faghihi, "Optimal placement of DG units for the enhancement of MG networks performance using coalition game theory," IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 14, no. 5, pp. 853-862, 2020.
- [5] K. H. Kim, Y. J. Lee, S. B. Rhee, S. K. Lee, and S. K. You, "Dispersed generator placement using fuzzy-GA in distribution systems," Proc. IEEE Power Eng. Soc. Summer Meet., 2002, vol. 3, pp. 1148–1153.
- [6] A. Silvestri, A. Berizzi, and S. Buonanno, "Distributed generation plan-ning using genetic algorithms," Proc. IEEE Int. Conf. Elect. Power Eng., PowerTech Budapest, 1999, p. 257.
- [7] E. A. Almabsout, R. A. El-Sehiemy, O. N. U. An and O. Bayat, "A Hybrid Local Search-Genetic Algorithm for Simultaneous Placement of DG Units and Shunt Capacitors in Radial Distribution Systems," IEEE Access, vol. 8, pp. 54465-54481, 2020.
- [8] W. Prommee and W. Ongsakul. "Optimal multiple distributed generation placement in microgrid system by improved reinitialized social structures particle swarm optimization." *Euro. Trans. Electr. Power*. Vol. 21, no. 1, pp. 489–504, Jan, 2011.
- [9] M. Gomez-Gonzalez *et al.* "Optimization of distributed generation systems using a new discrete PSO and OPF." *Elect. Power Syst. Res.* Vol. 84, no. 1, pp. 174–180, Mar, 2012.
- [10] A. M. El-Zonkoly. "Optimal placement of multi-distributed generation units including different load models using particle swarm optimization." *IET Gener., Transm., Distrib.* Vol. 5, no. 7, pp. 760–771, Jul, 2011.
- [11] M. H. Moradi and M. Abedini. "A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems." *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* Vol. 34, no. 1, pp. 66–74, Jan, 2012.
- [12] R. Deshmukh and A. Kalage, "Optimal Placement and Sizing of Distributed Generator in Distribution System Using Artificial Bee Colony Algorithm," IEEE Global Conference on Wireless Computing and Networking (GCWCN), Lonavala, India, 2018, pp. 178-181.
- [13] A. Selim, S. Kamel, A. S. Alghamdi and F. Jurado, "Optimal Placement of DGs in Distribution System Using an Improved Harris Hawks Optimizer Based on Single- and Multi-Objective Approaches," IEEE Access, vol. 8, pp. 52815-52829, 2020.
- [14] Griffin T, Tomosovic K, Secrest D, Law A. "Placement of dispersed generations systems for reduced losses". In: Proceedings of the 33<sup>rd</sup> Hawaii international conference on sciences, Hawaii, 2000.

- [15] N. Acharya *et al.* "An analytical approach for DG allocation in primary distribution network." *Int. J. Elect. Power Energy Syst.* Vol. 28, no. 10, pp. 669–678, Sep, 2006.
- [16] H. L. Willis, "Analytical methods and rules of thumb for modeling DG-distribution interaction," 2000 Power Engineering Society Summer Meeting (Cat. No.00CH37134), Seattle, WA, 2000, pp. 1643-1644 vol. 3.
- [17] D. Q. Hung *et al.* "Analytical expressions for DG allocation in primary distribution networks." *IEEE Trans. Energy Convers.* Vol. 25, no. 3, pp. 814–820, Sep, 2010.
- [18] D. Q. Hung and N. Mithulanathan. "Multiple Distributed Generator Placement in Primary Distribution Networks for Loss Reduction." *IEEE Transactions on Industrial, Electronics.* Vol. 60, No. 4, pp. 1701–1708, 2013.
- [19] Nguyen, Trung Nhan, et al. "Generalised design method for improving control quality of hybrid active power filter with injection circuit." *IET Power Electronics.* Vol. 7, No. 5 pp. 1204-1215, 2014.
- [20] Nguyen, Trung Nhan, An Luo, and Mingfei Li. "A simple and robust method for designing a multi-loop controller for three-phase VSI with an LCL-filter under uncertain system parameters." *Electric power systems research.* Vol 117, pp. 94-103, 2014.
- [21] Nguyen, Trung Nhan, and An Luo. "A generalized design method for multifunction converters used in a photovoltaic system." *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences.* Vol. 24, No. 3, pp. 882-895, 2016.
- [22] Elgerd IO. *Electric energy system theory: an introduction.* McGraw-Hill; 1971.
- [23] M. A. Kashem, V. Ganapathy, G. B. Jasmon, and M. I. Buhari, "A novel method for loss minimization in distribution networks," *Proc. IEEE Int. Conf. Elect. Utility Deregulation Restruct. Power Technol.*, 2000, pp. 251–256.
- [24] M. E. Baran and F. F. Wu, "Optimum sizing of capacitor placed on radial distribution systems," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 4, no. 1, pp. 735–743, 1989.

*Ngày gửi bài: 12/04/2020*

*Ngày chấp nhận đăng: 05/05/2020*