

# LỰA CHỌN VỊ TRÍ VÀ DUNG LƯỢNG CỦA THIẾT BỊ D-STATCOM NHẪM KHẮC PHỤC SỰ GIẢM ĐIỆN ÁP NGẮN HẠN TRÊN LƯỚI PHÂN PHỐI ĐIỆN 16 NÚT SỬ DỤNG THUẬT TOÁN DI TRUYỀN

## OPTIMIZING THE LOCATION AND SIZE OF D-STATCOM FOR VOLTAGE SAG MITIGATION IN 16 BUS DISTRIBUTION SYSTEM USING GENETIC ALGORITHM

Nguyễn Văn Minh<sup>1</sup>, Bạch Quốc Khánh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long; minhnv@vlute.edu.vn

<sup>2</sup>Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; khanh.bachquoc@hust.edu.vn

**Tóm tắt** - Bài báo đề xuất một phương pháp mới nhằm lựa chọn vị trí và công suất của thiết bị D-Statcom trong lưới phân phối điện nhằm khắc phục hiện tượng sụt giảm điện áp ngắn hạn (SANH) do ngắn mạch. Việc lắp đặt D-Statcom được thực hiện trên quan điểm của bên cấp điện không chỉ để đảm bảo chất lượng điện năng (CLĐN) cho một phụ tải riêng lẻ mà cho phụ tải tại nhiều nút trên lưới điện. Lựa chọn tối ưu vị trí và công suất của D-Statcom được dựa trên cực tiểu hàm chi phí có xét đến đầu tư cho D-Statcom và chi phí phạt do SANH thông qua tổng độ lệch điện áp lưới. Mô phỏng tác dụng cải thiện SANH của D-Statcom được thực hiện nhờ phương pháp ma trận tổng trở nút. Bài báo sử dụng thuật toán di truyền giải bài toán tối ưu và ứng dụng cho lưới phân phối mẫu 16 nút. Bài toán cũng xem xét các trường hợp tổng trở ngắn mạch và vị trí ngắn mạch để thấy ảnh hưởng của các yếu tố này đến kết quả tối ưu hóa vị trí của D-Statcom.

**Từ khóa** - lưới phân phối; chất lượng điện áp; sụt giảm điện áp ngắn hạn; thiết bị điều hòa công suất D-Statcom; tối ưu hóa; giải thuật gen - GA.

### 1. Giới thiệu

Theo IEEE1159, sụt giảm điện áp ngắn hạn (SANH) hay còn gọi là lõm điện áp (voltage sag, voltage dip) là hiện tượng chất lượng điện năng (CLĐN) mà trong đó trị số hiệu dụng của điện áp giảm xuống dưới 0,9 pu trong thời gian dưới 1 phút [1]. Ngắn mạch trong lưới điện, khởi động các động cơ công suất lớn, đóng điện không tải máy biến áp là các nguyên nhân chính dẫn đến SANH, trong đó ngắn mạch là nguyên nhân dẫn đến trên 90% các sự kiện SANH trong hệ thống điện.

Ở Việt Nam, SANH được ghi nhận là nguyên nhân gây nên thiệt hại kinh tế lớn đối với nhiều phụ tải, đặc biệt là phụ tải công nghiệp. Đó là vì các thiết bị điện nhạy cảm với CLĐN nói chung và SANH nói riêng ngày càng được sử dụng nhiều trong lưới phân phối điện, đặc biệt là các thiết bị ứng dụng các linh kiện điện tử công suất. Việc đảm bảo CLĐN cho phụ tải có thể được thực hiện bởi cả khách hàng và bên cấp điện. Có nhiều giải pháp đảm bảo CLĐN đã được xem xét và việc sử dụng các thiết bị FACTS trong lưới phân phối (còn được gọi là D-FACTS) [2] là giải pháp ngày càng được bên cấp điện sử dụng khi giá thành của các thiết bị này giảm dần. Khi ứng dụng các thiết bị D-FACTS trong lưới phân phối, nếu đứng trên quan điểm của bên cấp điện (giả thiết là bên đầu tư cho giải pháp), một vấn đề luôn đặt ra là phải lựa chọn vị trí và công suất của thiết bị D-FACTS. Đây không phải nhiệm vụ dễ dàng vì các tham số trên phụ thuộc nhiều vào loại hiện tượng CLĐN, cấu trúc lưới điện và vị trí phụ tải được bảo vệ. Nhiệm vụ này thường sẽ khả thi hơn nếu chúng ta xét cho từng sự kiện

**Abstract** - The paper introduces a novel method for optimization of D-Statcom's location and size for mitigating voltage sags due to faults in distribution systems. D-Statcom installation is assumed to be made by the utility for improving the power quality for not only a single load, but also for various neighboring load buses in the system of interest. Optimally locating and sizing D-Statcom is based on the minimization of cost function considering either the investment in D-Statcom and the penalty for voltage sag in the form of system bus voltage deviation. Voltage sag mitigation is simulated by using the bus impedance method. The optimization problem is solved by Genetic Algorithm for the case study of a 16 bus test distribution system. The paper also discusses cases of study on different short-circuit fault impedances (voltage sag levels) and fault positions to analyse their influences on the D-Statcom's placement and size.

**Key words** - distribution system; power quality; voltage sag; Distribution Static Compensator-DVR; optimization; Genetic Algorithms - GA.

CLĐN và từng loại thiết bị.

Cho đến nay, việc xây dựng và giải bài toán tối ưu hóa vị trí đặt thiết bị D-FACTS trong lưới phân phối đã được giới thiệu trong một số nghiên cứu gần đây [3]. Các bài toán tối ưu thường được xây dựng để giải quyết một hoặc một vài hiện tượng CLĐN và cách tiếp cận phổ biến thường dưới dạng bài toán tối ưu đa mục tiêu [9, 10, 11, 12]. Bài báo [13] xem xét bài toán tương tự với DVR nhằm khắc phục SANH trong lưới phân phối 16 nút. Bài báo này vẫn tiếp tục xét hiện tượng CLĐN là SANH do ngắn mạch trên lưới phân phối và thiết bị D-FACT được xem xét là D-Statcom. Bài báo này xây dựng mô hình tính toán dòng điện bù của D-Statcom có xét đến tham số mức độ sụt giảm điện áp của SANH đối với lưới điện và đưa vào hàm mục tiêu của bài toán tối ưu lựa chọn vị trí và dung lượng D-Statcom. Mô hình bài toán được xây dựng cho trường hợp lưới phân phối mẫu 16 nút với các thông số có xem xét đến đặc điểm lưới phân phối tại Việt Nam. Hàm mục tiêu được xây dựng có xét chi phí đầu tư cho D-Statcom và chi phí do SANH thông qua độ lệch điện áp hệ thống trong thời gian tồn tại SANH. Phương pháp giải bài toán tối ưu được lựa chọn là thuật toán di truyền – một công cụ tìm kiếm đã được chứng minh là hiệu quả đối với lớp các bài toán tối ưu khó giải bởi các phương pháp giải tích, cho phép đạt tới lời giải tối ưu [8, 14]. Việc tính toán các thông số của lưới điện, tính toán hàm mục tiêu và giải bài toán tối ưu sử dụng công cụ tính toán dùng GA được thực hiện trong môi trường MatLab. Cùng với [13], nghiên cứu này cũng được xem là một trong những cố gắng đầu tiên tại Việt Nam

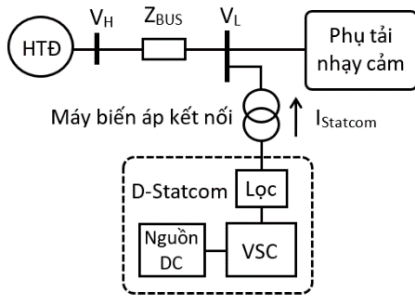
nhằm ứng dụng D-FACTS vào việc nâng cao CLĐN trong lưới phân phối. Bài báo cũng đề xuất việc đưa mô hình mô tả D-Statcom vào bài toán tối ưu để lựa chọn vị trí và công suất của thiết bị này trong những ứng dụng cụ thể.

## 2. Các vấn đề liên quan

### 2.1. Giới thiệu về bù tĩnh D-Statcom

Thiết bị D-Statcom là một dạng thiết bị D-FACTS. Thiết bị này được kết nối song song với phụ tải cần bảo vệ hoặc song song với các nguồn gây ra các vấn đề CLĐN để hạn chế sự lan truyền các vấn đề CLĐN đó. Nhờ vậy, D-Statcom có thể khắc phục được các ảnh hưởng về CLĐN như biến thiên điện áp, không đối xứng điện áp, sóng hài và bù công suất phản kháng trên lưới điện [3, 4, 5].

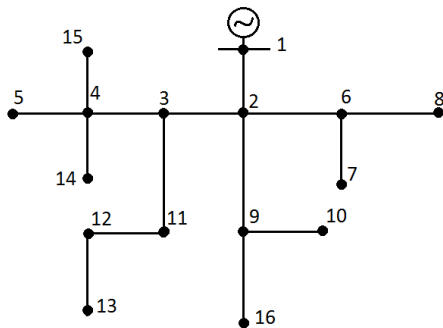
Hình 1 minh họa nguyên lý bù điện áp của D-Statcom khi kết nối song song một D-Statcom với phụ tải nhạy cảm tại nút phụ tải kết nối với lưới điện (điểm kết nối chung - PCC).  $Z_{bus}$  là tổng trở hệ thống điện (HTĐ) nhìn từ vị trí nút tải nhạy cảm. Điện áp tại nút nối với D-Statcom ( $V_L$ ) sẽ được so sánh với một giá trị chuẩn. Sự sai khác điện áp sẽ được bù bởi phản ứng của D-Statcom là bơm công suất vào hoặc tiêu thụ công suất phù hợp.



Hình 1. Mô hình ứng dụng điển hình của D-Statcom

### 2.2. Lưới phân phối mẫu 16 nút

Bài báo này sử dụng lưới phân phối mẫu 16 nút (Hình 2) làm đối tượng để minh họa hiện tượng sụt giảm điện áp ngắn hạn và xem xét các phương án đặt D-Statcom trong các trường hợp tối ưu được xác định bởi GA.



Hình 2. Cấu hình mạng phân phối 16 nút lưới phân phối mẫu

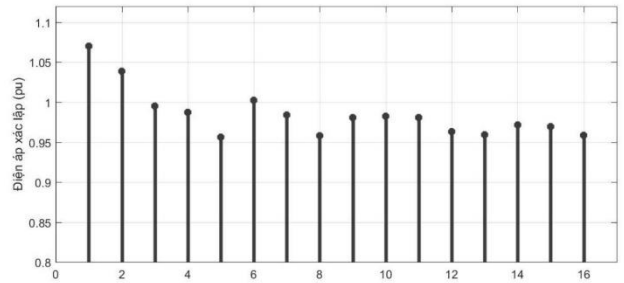
Mô hình lưới mẫu 16 nút được xây dựng dựa trên mô hình lưới phân phối mẫu 13 nút của IEEE nhưng có xem xét đến đặc điểm lưới phân phối điện Việt Nam với các mạch và phụ tải đều là 3 pha đối xứng. Yêu cầu chất lượng điện áp ở chế độ xác lập theo 39/2015/TT-BCT. Điện áp hệ thống là 1,05 pu. Công suất ngắn mạch của hệ thống được giả thiết là 150 kVA, các tham số được cho trong [13].

## 3. Xây dựng bài toán

### 3.1. Mô tả bài toán ở các chế độ làm việc

#### a. Chế độ xác lập

Khi lưới hoạt động bình thường, điện áp tại các nút trên lưới đều lớn hơn 0,95 pu (Hình 3) theo đúng yêu cầu chất lượng điện áp tại Việt Nam.

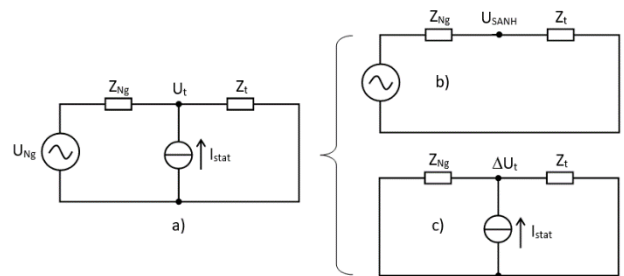


Hình 3. Phân bố điện áp nút trong chế độ làm việc bình thường

#### b. Chế độ ngắn mạch

Khi mô tả sự kiện SANH do sự cố ngắn mạch trên lưới điện, bài báo giả thiết ngắn mạch 3 pha với tổng trở sự cố  $Z_f = R_f + jX_f(\Omega)$ , kết quả tính các điện áp nút thông qua chương trình tính toán ngắn mạch được lập trong Matlab theo từng trường hợp của kịch bản phân tích ở Mục 4.

Để khắc phục SANH trên toàn bộ lưới điện, bài báo xem xét việc đặt một thiết bị D-Statcom. Vị trí và công suất của D-Statcom là mục tiêu phải tính toán. Về mặt lý thuyết, ứng với mỗi vị trí đặt D-Statcom, công suất D-Statcom được tính theo phương pháp xếp chồng [15] như sau:



Hình 4. Sơ đồ lưới điện 1 nút phụ tải có đặt D-Statcom

Trong trường hợp đơn giản, Hình 4a là sơ đồ mô tả lưới điện một nguồn và có bù điện áp bởi D-Statcom tại nút phụ tải.  $Z_{Ng}$  là tổng trở nguồn điện.  $Z_t$  là tổng trở phụ tải. Nhờ có D-Statcom bơm dòng điện  $I_{stat,i}$  vào lưới, điện áp tại nút tải (cũng là nút nối với D-Statcom) có thể được bù đến giá trị  $U_t$ . Để tính trị số dòng điện  $I_{stat}$ , ta có thể coi mạch 4a là xếp chồng của mạch 4b và mạch 4c. Trong đó, mạch 4b mô tả lưới điện chưa xét D-Statcom. Khi đó điện áp tại nút tải là  $U_{SANH}$ . Mạch 4c là sơ đồ lưới điện không xét nguồn lưới. Khi đó chỉ xét mạch bù điện áp  $\Delta U_t$  ( $\Delta U_t = U_t - U_{SANH}$ ) nhờ D-Statcom bơm dòng  $I_{stat}$ . Như vậy ta có thể tính được dòng điện của D-Statcom như sau:

$$I_{stat} = \frac{\Delta U_t}{Z_{th}} = \frac{U_t - U_{SANH}}{Z_{th}} \quad (1)$$

Trong đó

$Z_{th}$ : Tổng trở Thevenin của lưới điện nhìn từ nút tải (theo Hình 4c gồm  $Z_{Ng}$  song song  $Z_t$ );

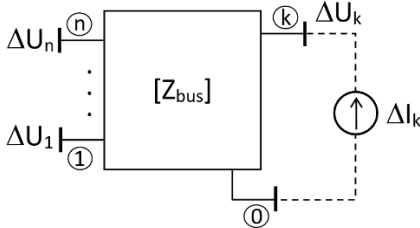
$U_t$ : Điện áp nút tải sau khi có đặt D-Statcom, được giả thiết sẽ trong vùng điện áp an toàn của đặc tính chịu điện

áp của thiết bị điện. Với lưới phân phối, thời gian tồn tại SANH chính là thời gian làm việc của bảo vệ, chủ yếu là bảo vệ quá dòng với thời gian trên 30 chu kỳ. Do đó, nếu giả sử đặc tính chịu điện áp của phụ tải là đường ITIC theo [17, trang 42], thì:

$$0,8 \leq U_t \leq 1,1 \quad (3)$$

Ta có thể chọn  $U_t = 1$ .

Thực tế, đối với lưới điện như lưới mẫu 16 nút, việc tính  $I_{stat}$  cũng theo nguyên tắc xếp chồng dựa trên định lý Thevenin đối với ma trận tổng trở nút như sau [16]:



**Hình 5.** Lưới điện mô tả theo tổng trở nút và xét một D-Statcom nối vào nút k

Giả sử trạng thái ban đầu là khi lưới ngắn mạch, chưa xét D-Statcom, ta có phương trình điện áp nút:

$$[U^0] = [Z_{bus}] \times [I^0] \quad (4)$$

Trong đó:

$[U^0]$ : Ma trận điện áp nút ở trạng thái ban đầu (SANH tại các nút trên lưới điện khi có ngắn mạch);

$[I^0]$ : Ma trận dòng điện bơm vào các nút ở trạng thái ban đầu;

$[Z_{bus}]$ : Ma trận tổng trở nút của lưới điện.  $[Z_{bus}]$  được tính từ ma trận tổng dẫn nút:  $[Z_{bus}] = [Y_{bus}]^{-1}$ .

Cũng cần lưu ý rằng, điểm ngắn mạch cũng có thể được giả thiết là phụ tải với tổng trở phụ tải chính là tổng trở ngắn mạch  $Z_f$ .

Khi có xét D-Statcom, tương tự như khi ta bơm dòng  $\Delta I_k = I_{stat}$  vào nút k thì phương trình điện áp nút của lưới điện được tính như sau theo định lý Thevenin:

$$\begin{aligned} [U] &= [Z_{bus}] \times ([I^0] + [\Delta I]) \\ &= [Z_{bus}] \times [I^0] + [Z_{bus}] \times [\Delta I] \\ &= [U^0] + [\Delta U] \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{trong đó } [\Delta U] = [Z_{bus}] \times [\Delta I] \quad (6)$$

hay là:

$$\begin{bmatrix} \Delta U_1 \\ \dots \\ \Delta U_k \\ \dots \\ \Delta U_n \end{bmatrix} = [Z_{bus}] \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \Delta I_k \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{1k} \\ \dots \\ Z_{kk} \\ \dots \\ Z_{nk} \end{bmatrix} \times I_{stat} \quad (7)$$

Trong đó:

$\Delta U_i$ : Độ tăng điện áp nút i,  $i = 1, n$  khi bơm thêm dòng  $\Delta I_k$  vào nút k ( $I_{stat}$ ).

Vì chỉ xét 1 D-Statcom nên ma trận dòng bơm thêm vào các nút  $[\Delta I]$  chỉ có phần tử  $\Delta I_k \neq 0$ , còn các phần tử khác đều bằng 0.

Giả thiết điện tại nút k nối với D-Statcom sẽ tăng từ  $U_k^0 = U_{SANH,k}$  lên đến  $U_k = 1$ . Thế thì dòng điện  $I_{stat}$  của

D-Statcom tương ứng sẽ là:

$$I_{stat} = \Delta I_k = \frac{\Delta U_k}{Z_{kk}} = \frac{1}{Z_{kk}} \cdot (1 - U_{SANH,k}) \quad (8)$$

và suy ra công suất của D-Statcom sẽ là:

$$S_{stat,k} = U_k \times I_{stat} \quad (9)$$

Cũng từ đó suy ra độ tăng điện áp tại các nút i ( $i=1-n$ ;  $i \neq k$ ) khi lưới có D-Statcom sẽ được tính như sau:

$$U_i = \Delta U_i + U_i^0 = Z_{ik} \times I_{stat} + U_{SANH,i} \quad (10)$$

Tất cả các tính toán như mô tả lưới  $Z_{bus}$ , tính toán công suất  $S_{stat}$  của D-Statcom và kiểm tra độ lệch điện áp khi có lắp đặt D-Statcom trên lưới được lập trình trong Matlab.

### 3.2. Xây dựng bài toán tối ưu

Trong nghiên cứu này, bài toán xác định vị trí và công suất của D-Statcom tối ưu được xây dựng có dạng (11), trong đó có xét chi phí đầu tư cho D-Statcom và chi phí phạt do CLĐN xấu (do SANH) thông qua tổng độ lệch điện áp lưới điện trong thời gian tồn tại SANH:

$$f = C_1 \times S_{stat} + C_2 \times \Delta U \Rightarrow \text{Min} \quad (11)$$

Trong đó:

$C_1$ : Suất đầu tư cho 1 kVA thiết bị D-Statcom

$$C_1 = C_m + C_{ld} \quad (12)$$

$C_m$ : Suất chi phí mua thiết bị D-Statcom (USD/kVA),

$C_{ld}$ : Suất chi phí cho lắp đặt D-Statcom (USD /kVA),

$C_2$ : Suất thiệt hại do độ lệch điện áp lưới (USD /p.u),

$S_{stat}$ : Công suất D-Statcom (kVA) được tính theo (9),

$\Delta U$ : Tổng độ lệch điện áp (p.u).

Độ lệch điện áp của lưới điện xét đến toàn bộ các độ lệch điện áp nút trên lưới điện đang xét và được tính bằng trung bình nhân của độ lệch điện áp n nút trên lưới điện:

$$\Delta U = \sqrt{\sum_{i=1}^n (U_{ref} - U_i)^2} \quad (13)$$

Trong đó:

$U_{ref}$ : Điện áp tiêu chuẩn của lưới điện, lấy bằng 1 p.u.

$U_i$ : Điện áp nút i sau khi lưới có đặt bù với D-Statcom. Điện áp các nút trên lưới  $U_i$  khi có D-Statcom được xác định theo (10).

Trong bài báo, các tham số sau được giả thiết cho tính toán:

- Suất chi phí đầu tư và lắp đặt D-Statcom:

$$C_D = 400 \text{ USD/kVA}; C_{ld} = 10 \text{ USD/kVA},$$

- Suất chi phí độ lệch điện áp lưới điện:  $C_2 = 150 \text{ USD/p.u}$ .

- Công suất cơ sở của D-Statcom: 1 p.u. = 100 kVA.

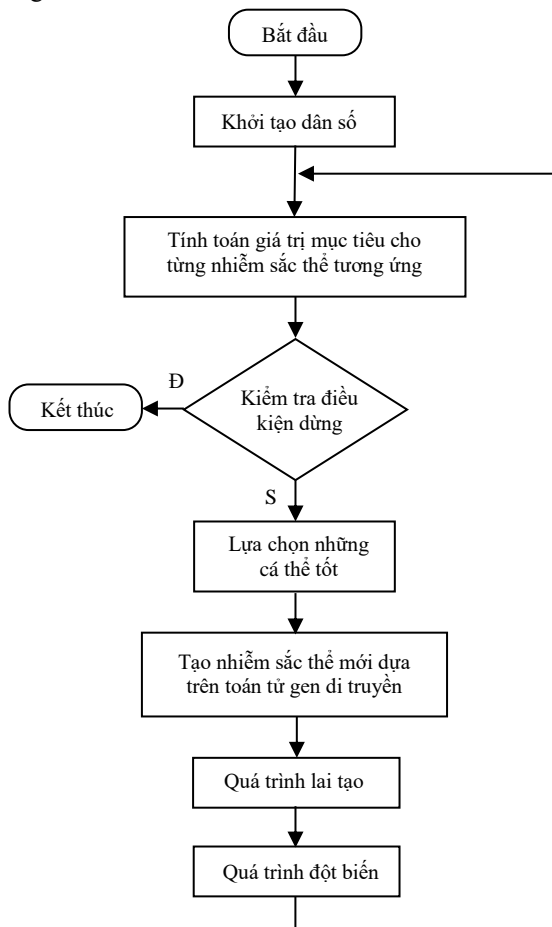
Bài toán (11) là bài toán tối ưu, trong đó ẩn là vị trí và công suất của D-Statcom được xác định tương ứng một sự kiện ngắn mạch nhất định. Các phương án cần xem xét là các vị trí đặt D-Statcom. Ứng với mỗi vị trí đặt ta sẽ tính được một công suất D-Statcom tương ứng theo đặc trưng biên độ điện áp của SANH tại vị trí đó ( $U_{SANH,k}$ ) theo (8). Nghiệm của bài toán là chọn được một vị trí tối ưu để ứng với vị trí đó, công suất D-Statcom  $S_{stat}$  và tổng độ lệch điện áp của lưới điện  $\Delta U$  tương ứng sẽ cực tiểu hóa hàm mục tiêu (11).

Có thể có nhiều cách giải bài toán tối ưu trên. Bài báo này sử dụng thuật toán GA. Các tính toán lập trình và sử

dụng các công cụ tính toán được thực hiện trong MatLab.

### 3.3. Giới thiệu về giải thuật GA áp dụng [12, 14]

Thuật toán di truyền là một kỹ thuật tìm kiếm tổng thể để giải các bài toán tối ưu, dựa trên lý thuyết chọn lọc tự nhiên, quá trình động lực cho sự tiến hóa của sinh vật. Thuật toán di truyền đã chứng tỏ là một công cụ rất hiệu quả cho các bài toán điều khiển vận hành hệ thống điện. Khả năng mạnh hơn về tìm kiếm xác suất (stochastic heuristic search) cũng như khả năng hội tụ dễ dàng, ứng dụng cho nhiều dạng bài toán tối ưu đã làm cho GA là một lựa chọn tốt để giải các bài toán tối ưu [7, 8]. Nó đã được tìm thấy là sự lựa chọn đúng để đạt được giá trị tối ưu toàn cục.



Hình 6. Các bước thực hiện thuật toán GA

Bài toán lựa chọn vị trí và công suất D-Statcom trong lưới phân phối cũng là trường hợp ứng dụng phù hợp của GA. Các bước chính của thuật toán GA để giải bài toán chọn vị trí và công suất D-Statcom nhằm cải thiện điện áp lưới khi có ngắn mạch được cho ở Hình 6.

Mỗi nhiễm sắc thể là một tập hợp 16 bit nhị phân ứng với 16 nút lưới, trong đó 0 là nút không nối với D-Statcom, 1 là có nối với D-Statcom. Trình tự giải tương tự như ứng dụng thuật toán GA trong [13].

## 4. Phân tích kết quả

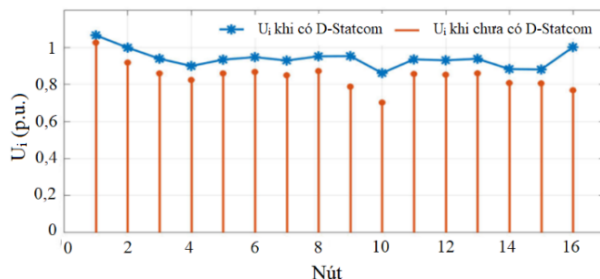
### 4.1. Các trường hợp nghiên cứu và kết quả

- Vị trí 01 thiết bị D-Statcom lắp đặt bất kỳ tại các nút trong lưới trừ nút gần nguồn.
- Sự kiện ngắn mạch ba pha qua tổng trở sự cố  $Z_f$  khác

nhau sẽ cho dữ liệu điện áp sự cố trên lưới phân phối 16 nút tương ứng khác nhau và hàm mục tiêu có giá trị khác nhau. Trong nghiên cứu này,  $Z_f$  được chọn sao cho biên độ điện áp tại các điểm nút riêng lẻ, kể cả nút sự cố lớn hơn 0,5 pu. Bài báo xét hai phương án tổng trở sự cố và hai phương án vị trí sự cố để xem xét ảnh hưởng của các yếu tố này.

### 4.2. Trường hợp 1

Chọn  $Z_f = 0,8 + j0,5$  ( $\Omega$ ), ngắn mạch tại nút 10. Điện áp các nút của lưới điện ở chế độ ngắn mạch ứng với việc có và không lắp đặt D-Statcom như Hình 7.



Hình 7. Điện áp trước và sau khi lắp D-Statcom

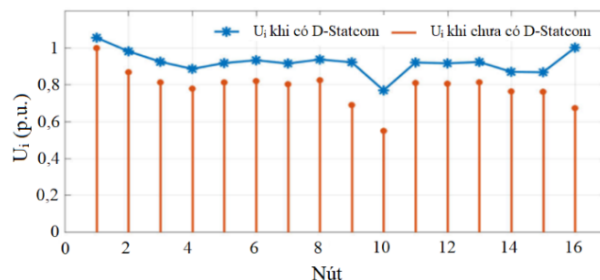
Vị trí tối ưu để đặt D-Statcom cũng với công suất và hàm chi phí trong trường hợp này được cho ở Bảng 1. Ở vị trí đặt bù là nút 16, điện áp được giả thiết bù lên đến 1 để xác định dòng điện và công suất của D-Statcom theo thuật toán được giới thiệu ở (8).

Bảng 1. Các thông số khi có D-Statcom lắp đặt

Vị trí đặt tối ưu	Nút 16
Giá trị hàm $F_{\min}$	<b>4147,4</b> (USD)
Công suất (pu)	<b>0,6641pu</b>

### 4.3. Trường hợp 2

Chọn  $Z_f = 0,4 + j0,3$  ( $\Omega$ ). Sự cố vẫn xét tại nút 10. Điện áp các nút của lưới điện ở chế độ ngắn mạch ứng với việc có và không lắp đặt D-Statcom như Hình 8.



Hình 8. Điện áp trước và sau khi lắp D-Statcom

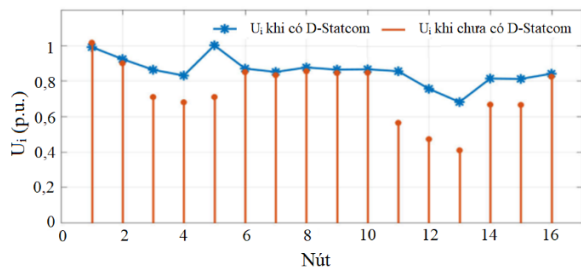
Vị trí tối ưu để đặt D-Statcom cũng với công suất và hàm chi phí trong trường hợp này được cho ở Bảng 2.

Bảng 2. Các thông số khi có lắp đặt D-Statcom

Vị trí đặt tối ưu	Nút 16
Giá trị hàm $F_{\min}$	<b>5109,6</b> (USD)
Công suất (pu)	<b>0,9354pu</b>

### 4.4. Trường hợp 3

Chọn  $Z_f = 0,4 + j0,3$  ( $\Omega$ ), ngắn mạch bây giờ xét tại nút 13. Điện áp các nút của lưới điện ở chế độ ngắn mạch ứng với việc có và không lắp đặt D-Statcom như Hình 9.



**Hình 9.** Điện áp trước và sau khi lắp D-Statcom

Vị trí tối ưu để đặt D-Statcom cũng với công suất và hàm chi phí trong trường hợp này được cho ở Bảng 3.

**Bảng 3.** Các thông số khi có D-Statcom lắp đặt

Vị trí đặt tối ưu	Nút 5
Giá trị hàm $F_{\min}$	<b>6119,5 (USD)</b>
Công suất (pu)	<b>1,0263pu</b>

Một số nhận xét chính:

Từ các Hình 7, 8 và 9, rõ ràng điện áp được cải thiện rõ nét khi có lắp đặt các D-Statcom vào các vị trí tối ưu. Ứng với tổng trở sự cố khác nhau, D-Statcom sẽ bơm các giá trị dòng điện tương ứng để cải thiện điện áp toàn lưới. Tổng trở ngắn mạch càng nhỏ gây sụt áp càng sâu thì yêu cầu D-Statcom bơm công suất càng lớn và chi phí đầu tư lớn, như trong Bảng 1 ( $S_{\text{stat}}=0,6641\text{pu}$ ) và Bảng 2 ( $S_{\text{stat}}=0,9354\text{pu}$ ) tương ứng với  $Z_f=0,8+j0,5 (\Omega)$  và  $Z_f=0,4+j0,3 (\Omega)$  và ngược lại. Khi có D-Statcom lắp vào lưới với công suất tối ưu, hầu như tất cả các phụ tải kết nối vào lưới này đều vượt qua sự kiện SANH. Các kết quả cũng cho thấy ở cả ba trường hợp hầu như tất cả các nút đều an toàn trong suốt sự kiện SANH.

Các Bảng 1 và 3 cho thấy chi phí D-Statcom khác nhau khi vị trí sự cố khác nhau. Do đó, nghiên cứu này sẽ có tính thực tiễn khi giả thiết sự cố chỉ xảy ra ở một số vị trí nhất định gần nhau trên lưới. Khi đó ta sẽ có phương án đặt D-Statcom để hiệu quả bảo vệ là tốt nhất cho cả lưới điện.

## 5. Kết luận

Bài báo đã trình bày bài toán tối ưu hóa dùng giải thuật GA để xác định vị trí và công suất D-Statcom nhằm cải thiện chất lượng điện áp trong lưới phân phối mẫu 16 nút, điển hình cho lưới phân phối Việt Nam. Hàm chi phí có xét đến đầu tư cho D-Statcom (trong đó công suất được chọn phụ thuộc vào đặc tính biên độ của SANH từ phương trình ma trận tổng trở nút) và chi phí phạt do tổng độ lệch điện áp của lưới do SANH. Các tính toán được thực hiện trên phần mềm Matlab. Các kết quả đã được phân tích, đánh giá để thấy được hiệu quả cải thiện SANH mang tính hệ thống khi sử dụng D-Statcom.

Với kết quả đạt được như trên, góp phần khẳng định việc lắp đặt các thiết bị D-Statcom vào lưới phân phối có ý nghĩa kinh tế và đảm bảo chất lượng điện áp cho các tải nhạy cảm ngày càng đòi hỏi nguồn cấp ổn định và đảm bảo CLĐN.

Để phân tích CLĐN, ý nghĩa khi lắp D-Statcom vào hệ

thống điện ngoài việc cải thiện điện áp còn có ảnh hưởng thế nào về sóng hài trong lưới, là một trong những nghiên cứu tiếp theo trong thời gian tới.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] IEEE Std. 1159-2009, *IEEE Recommended Practice for Monitoring Power Quality*, IEEE, 2009.
- [2] A. Ghosh and G. Ledwich, *Power Quality Enhancement Using Custom Power Devices*, Kluwer Academic Publishers, London, 2002.
- [3] M. Farhoodnea, A. Mohamed, H. Shareef, H. Zayandehroodi, "A Comprehensive Review of Optimization Techniques Applied for Placement and Sizing of Custom Power Devices in Distribution Networks", PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 88 NR 11a/2012.
- [4] Nguyen Van Minh, Bach Quoc Khanh, Pham Viet Phuong, "On a MATLAB/SIMULINK Comparative Simulation of Voltage Sag Mitigation in IEEE 13-Bus Distribution Test Feeder by DVR and D-Statcom", *Journal of Science and Technology*, English version, Hanoi University of Industry, No 43, 2017, pp. 25-30.
- [5] S. A. Taher, S. A. Afsari, "Optimal Location and Sizing of DSTATCOM in Distribution Systems by Immune Algorithm", *ScientificDirect, International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 60, September 2014, pp. 34-44.
- [6] S. M. S. Hussain, M. Subbaramiah, "An Analytical Approach for Optimal Location of D-Statcom in Radial Distribution System", *IEEE proceedings, ICEETS 2013*, 10-12 April, 2013, pp.1365-1369 Nagercoil, India.
- [7] T. Gozel, U. Eminoglu, "A Tool for Voltage Stability and Optimization in Radial Distribution System Using Matlab GUI", *Science Direct, Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 16, Iss. 5, 2008, pp. 505-518.
- [8] Mr. Manish Gupta, Dr. Balwinder Singh Surjan, "Optimal Sizing and Placement of Capacitors for Loss Minimization In 33-Bus Radial Distribution System Using Genetic Algorithm in MATLAB Environment", *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, Vol. 1, Iss. 8, October 2012, pp. 122-127.
- [9] Yan Zhang, Jovica V. Milanovic, "Global Voltage Sag Mitigation With FACTS-Based Devices", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 25, Iss. 4, Oct. 2010, pp. 2842-2850.
- [10] C. S. Chang & S. W. Yang, "TABU Search Application for Optimal Multi-objective Planning of Dynamic Voltage Restorer", *IEEE Proceedings, IEEE PES WM 2000*, Vol. 4, Jan. 2000, pp.2751-2756.
- [11] M. A. Ali, Manoj Fozdar, K. R. Niazi, A. R. Phadke, "Optimal Placement of Static Compensators for Global Voltage Sag Mitigation and Power", *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 10(5), 2015, pp. 484-494.
- [12] Bruno Canizes, João Soares, Zita Valeand Cristina Lobo, "Optimal Approach for Reliability Assessment in Radial Distribution Networks", *IEEE Systems Journal*, Vol. 11, Iss. 3, Sept. 2017, pp. 1846-1856.
- [13] Nguyen Van Minh, Bach Quoc Khanh, Pham Viet Phuong, "Lựa chọn vị trí và dung lượng của thiết bị điều áp động (DVR) nhằm hạn chế hậu quả của sụt giảm điện áp ngắn hạn trên lưới phân phối 16 nút bằng thuật toán GA", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, Số 11(120), 2017, trang 67-72.
- [14] L. Davis, *Handbook of Genetic Algorithms*, Van Nortrand Reinhold, 1991.
- [15] Math H. J. Bollen, *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*, IEEE Press, John Wiley & Sons, Inc, 2000.
- [16] J. J. Grainger, W. D. Stevenson, *Power System Analysis*, McGraw-Hill, Inc. 1994.
- [17] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, H. W. Beauty, *Electric Power System Quality*, McGraw Hill, 2004.