

# TỐI ƯU VỊ TRÍ D-STATCOM ĐỂ CẢI THIẾN HIỆN TƯỢNG SỤT ÁP NGẮN HẠN TRONG LƯỚI PHÂN PHỐI

## OPTIMIZING D-STATCOM POSITION TO IMPROVE SHORT-TERM VOLTAGE IN DISTRIBUTION NETWORK

LÊ TRỌNG DUY<sup>1,a</sup>, NGUYỄN VĂN MINH<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Sư phạm Kỹ Thuật Vĩnh Long

<sup>a</sup>Tác giả liên hệ: letrongduy77@gmail.com

Nhận bài(Received):5/5/2023; Phản biện (Reviewed):17/5/2023 ; Chấp nhận(Accepted):15/10/2023

### TÓM TẮT

Bài báo này nghiên cứu đề xuất phương pháp lựa chọn để tối ưu hóa vị trí và công suất của thiết bị D-Statcom trong lưới phân phối điện nhằm khắc phục hiện tượng sụt áp ngắn hạn (SANH) do ngắn mạch. Việc lắp đặt thiết bị D-Statcom nhằm mục đích đảm bảo chất lượng điện năng cho lưới điện. Bên cạnh đó, việc lựa chọn vị trí tối ưu và công suất của D-Statcom được thực hiện dựa trên cực tiểu hàm chi phí đầu tư D-Statcom và chi phí phạt SANH thông qua tổng độ lệch áp lưới. Phương pháp ma trận tổng trở nút được áp dụng để mô phỏng tác dụng cải thiện SANH của D-Statcom. Nghiên cứu này áp dụng thuật toán di truyền để giải bài toán tối ưu và ứng dụng vào lưới phân phối mẫu 16 nút. Bài toán cũng xem xét các trường hợp tổng trở ngắn mạch và vị trí ngắn mạch để xem xét đến các ảnh hưởng của các yếu tố này đến kết quả tối ưu vị trí của D-Statcom

**Từ khóa:** D-Statcom, SANH, GA, tối ưu vị trí, ma trận tổng trở nút.

### ABSTRACT

*This paper studies and proposes a selection method to optimize the position and capacity of D-Statcom equipment in the power distribution network to overcome short-term voltage drops (SANH) caused by short circuits. The installation of D-Statcom equipment is aimed at ensuring power quality for the grid. In addition, the optimal location and capacity of D-Statcom is selected based on the minimization of the D-Statcom investment cost function and the SANH penalty cost through the total grid voltage deviation. The node impedance matrix method is applied to simulate the SANH improvement effect of D-Statcom. This study applies the genetic algorithm to solve the optimization problem and uses it to a 16-node sample distribution grid. The problem also considers the cases of short-circuit impedance and short-circuit position to assess the effects of these factors on the optimal position results of D-Statcom.*

**Keywords:** D-Statcom, SANH, GA, optimal position, node impedance matrix.

## 1. Giới thiệu

### 1.1 Giới thiệu chung:

Chất lượng điện năng (CLĐN) được quan tâm nhiều ở các nước phát triển và Việt Nam hiện tại cũng ngày càng được chú trọng và đây cũng là một trong những yếu tố để hội nhập với thế giới. Điện áp là một trong những chỉ tiêu quan trọng để đánh giá chất lượng điện năng. Ổn định điện áp là khả năng duy trì điện áp tại tất cả các nút trong hệ thống trong một phạm vi cho phép ở điều kiện vận hành bình thường. Tùy thuộc vào tính chất mỗi nút mà phạm vi dao động cho phép của điện áp sẽ khác nhau. Hệ thống sẽ đi vào trạng thái không ổn định khi xuất hiện các kích động như tăng tải đột ngột hay thay đổi các thông số của hệ thống. Các thay đổi có thể làm cho quá trình giảm điện áp xảy ra và nặng nề nhất là có thể rơi vào tình trạng không thể điều khiển được, gọi là sụp đổ điện áp (hay là sụt áp). Nguyên nhân chủ yếu dẫn đến sự mất ổn định và sụt áp thường là do ngắn mạch ở một vùng lân cận và phụ thuộc vào thời gian tác động bảo vệ. Để nâng cao chất lượng điện năng và ổn định điện áp cho hệ thống điện đã có rất nhiều nghiên cứu về việc ứng dụng các thiết bị bù điện áp sự cố. Các thiết bị thuộc nhóm hệ thống truyền tải điện xoay chiều linh hoạt (FACTS – Flexible Alternating Current Transmission Systems) đã đáp ứng được yêu cầu về độ phản ứng nhanh nhạy trong việc phát ra năng lượng để bù điện áp sụt giảm lúc sự cố.

Theo IEEE1159, sụt giảm điện áp ngắn hạn (SANH) hay còn gọi là lồi điện áp (voltage sag, voltage dip) là hiện tượng chất lượng điện năng 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

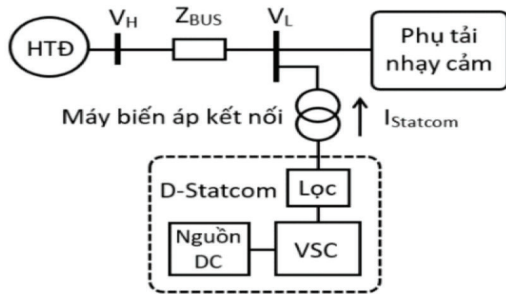
cơ công suất lớn, đóng điện không tải máy biến áp là các nguyên nhân chính dẫn đến SANH, trong đó ngắn mạch là nguyên nhân dẫn đến trên 90% các sự kiện SANH trong hệ thống điện.

Với sự xuất hiện ngày càng nhiều STATCOM trong hệ thống, việc nghiên cứu để nâng cao hiệu quả vận hành, cải thiện ngắn mạch và độ ổn định điện áp hoặc chất lượng điện năng là vấn đề mang tính thời sự và cần được nghiên cứu. Vì vậy, bài báo nghiên cứu tối ưu hóa chất lượng điện năng trên lưới điện, cải tiến các giải thuật điều khiển của thiết bị D-STATCOM nhằm cải thiện chất lượng và nâng cao ổn định điện áp lưới điện phân phối. Từ đó, đề xuất áp dụng các bộ điều khiển cải tiến cho thiết bị D-STATCOM vào lưới điện theo thông số thực tế.

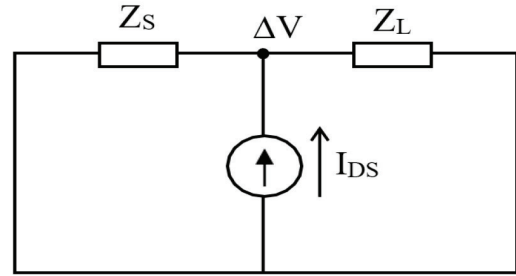
### 1.2 Giới thiệu về bù tĩnh D-Statcom:

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). D-Statcom được kết nối thông qua máy biến áp kết nối.  $Z_{bus}$  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.



a- Sơ đồ nguyên lý của D-Statcom



b- Sơ đồ thay thế tính  $I_{DS}$

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

Hình 1-a mô tả sơ đồ nguyên lý của D-Statcom. Dòng điện  $I_{DS}$  bơm vào hệ thống với điện áp  $V_{th}$  để bù sụt giảm điện áp bằng cách điều chỉnh điện áp thông qua tổng trở nguồn  $Z_S$  của hệ thống. Giá trị của  $I_{DS}$  có thể được điều khiển bằng cách điều chỉnh điện áp đầu ra của bộ biến đổi. Dòng điện  $I_{DS}$  và điện áp tải  $V_L$  có thể được viết như sau:

$$I_{DS} = I_L - I_S = I_L - \frac{(V_{th} - V_L)}{Z_S} \quad (1)$$

$$V_L = V_{th} + (I_{DS} - I_L) \cdot Z_S \quad (2)$$

Hình 1-b biểu diễn sơ đồ tính toán dòng điện của D-Statcom để bù SANH bằng cách bơm dòng điện  $I_{sh}$  vào trong lưới, trong đó  $Z_S$  là tổng trở nguồn,  $Z_L$  tổng trở tải và  $\Delta V$  là độ sụt giảm điện áp cần bù.

$$\Delta V = V_L - \dot{V}_{SANH} \quad (3)$$

Do đó,

$$I_{DS} = \frac{Z_S \cdot Z_L}{Z_S + Z_L} \cdot (V_L - \dot{V}_{SANH}) \quad (4)$$

Công suất của D-Statcom cung cấp năng lượng bù điện áp có thể được tính bởi biểu thức sau:

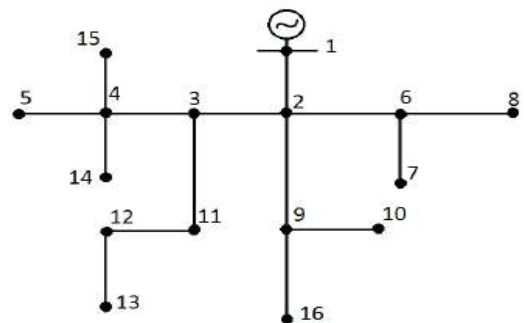
$$S_{DS} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_{DS} \quad (5)$$

Có thể nói rằng hiệu quả của D-Statcom trong việc hiệu chỉnh điện áp giảm phụ thuộc vào giá trị của  $Z_S$  hoặc mức sự cố của nút tải. Khi dòng điện  $I_{DS}$  được giữ vuông góc với điện áp tải  $V_L$ , điện áp điều chỉnh

mong muốn có thể đạt được mà không bơm bất kỳ công suất tác dụng nào vào hệ thống. Mặt khác, khi giá trị của  $I_{DS}$  được giảm thiểu, cùng một điện áp hiệu chỉnh có thể đạt được với việc bơm năng lượng tối thiểu vào hệ thống.

### 1.3 Giới thiệu về 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 điển hình**

### 1.4 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

khiến 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.

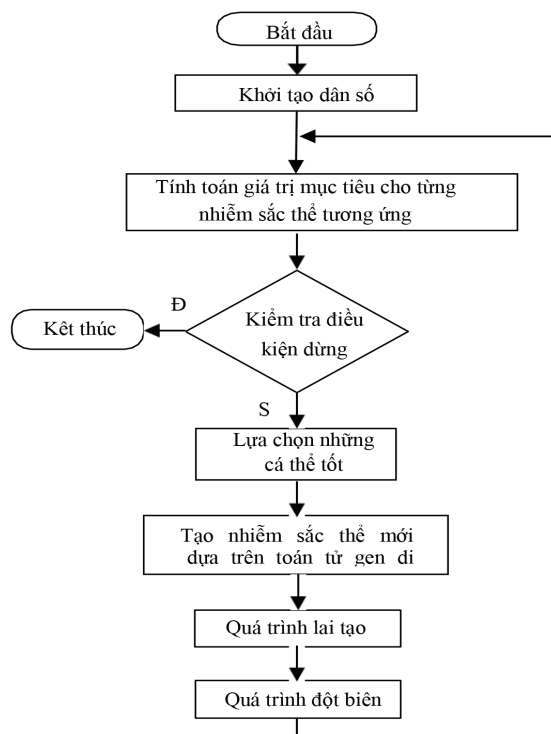
Thuật toán GA (hình 3) được thực hiện thông qua 6 bước:

*Bước 1:* Khởi tạo một quần thể ban đầu gồm các chuỗi nhiễm sắc thể. *Bước 2:* Xác định giá trị mục tiêu cho từng nhiễm sắc thể tương ứng. *Bước 3:* Tạo các nhiễm sắc thể mới dựa trên các toán tử di truyền.

*Bước 4:* Xác định hàm mục tiêu cho các nhiễm sắc thể mới và đưa vào quần thể.

*Bước 5:* Loại bớt các nhiễm sắc thể có độ thích nghi thấp.

*Bước 6:* Kiểm tra thỏa mãn điều kiện dừng (hàm mục tiêu nhỏ nhất). Nếu điều kiện đúng, lấy ra nhiễm sắc thể tốt nhất, giải thuật dừng lại; ngược lại, quay về bước 3



Hình 3. 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 3.

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].

## 2. Xây dựng bài toán

### 2.1 Mô tả bài toán ở các chế độ làm việc

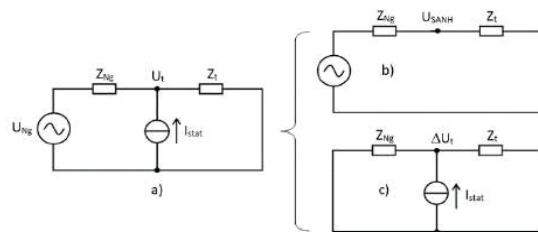
#### a. Chế độ xác lập

Khi lưới hoạt động bình thường, điện áp tại các nút trên lưới đều lớn hơn 0,9 pu theo đúng yêu cầu chất lượng điện áp tại Việt Nam.

#### b. Chế độ ngắn mạch:

Khi mô tả sự kiện SANH do sự cố ngắn mạch trên lưới điện, bài báo giả thuyết 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 3.

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  $I_{stat}$  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 lưới 4a là xếp chồng của lưới 4b và lưới 4c. Trong đó, lưới 4b mô tả lưới điện chưa xét D-Statcom. Khi đó điện áp tại nút tải là  $U_{SANH}$ . Lưới 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

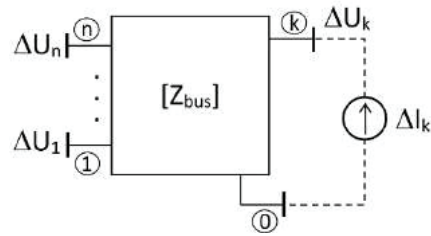
$Z_{th}$ : Tổng trở Thevenin của lưới điện nhìn từ nút tải (theo Hình 4c gồm  $Z_{Ng}$  song song  $Z_t$ );

$U_t$ : Điện áp nút tải sau khi có đặt D-Statcom, được giả thuyết 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:

$$0,8 \leq U_t \leq 1,1 \quad (2)$$

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:

$$[U^0] = [Z_{bus}] \times [I^0] \quad (3)$$

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 thuyết là phụ tải với tổng trở phụ tải chính là tổng trở ngắn mạch  $Z_r$ .

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:

$$\begin{aligned} [U] &= [Z_{bus}] \times ([I^0] + [\Delta I]) \quad (4) \\ &= [Z_{bus}] \times [I^0] + [Z_{bus}] \times [\Delta I] \\ &= [U^0] + [\Delta U] \end{aligned}$$

$$\text{trong đó } [\Delta U] = [Z_{bus}] \times [\Delta I] \quad (5)$$

hay là:

$$\begin{bmatrix} \Delta U_1 \\ \dots \\ \Delta U_k \\ \dots \\ \Delta U_n \end{bmatrix} = [Z_{bus}] \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \Delta I_k \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{1k} \\ \dots \\ Z_{kk} \\ \dots \\ Z_{nk} \end{bmatrix} \times I_{stat} \quad (6)$$

Trong đó:

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

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 thuyết điện tại nút  $k$  nối với D-Statcom sẽ tăng từ  $U_{k0} = U_{SANH.k}$  lên đến  $U_k = 1$ . Thế thì dòng điện  $I_{stat}$  của D-Statcom tương ứng sẽ là:

$$I_{stat} = \Delta I_k = \frac{\Delta U_k}{Z_{kk}} = \frac{1}{Z_{kk}} \cdot (1 - U_{SANH.k}) \quad (7)$$

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

$$S_{stat.k} = U_k \times I_{stat} \quad (8)$$

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:

$$U_i = \Delta U_i + U_i^0 = Z_{ik} \times I_{stat} + U_{SANH.i} \quad (9)$$

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.

## 2.2. 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 (10), 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:

$$f = C_1 \times S_{stat} + C_2 \times \Delta U \Rightarrow \text{Min} \quad (10)$$

Trong đó:

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

$$C_1 = C_m + C_{ld} \quad (11)$$

$C_m$ : 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),

Sstat: 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:

$$\Delta U = \sqrt{\sum_{i=1}^n (U_{ref} - U_i)^2} \quad (12)$$

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 (9).

Trong bài báo, các tham số sau được giả thuyết 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 (10) 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 (7). 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 (10).

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. Phân tích kết quả

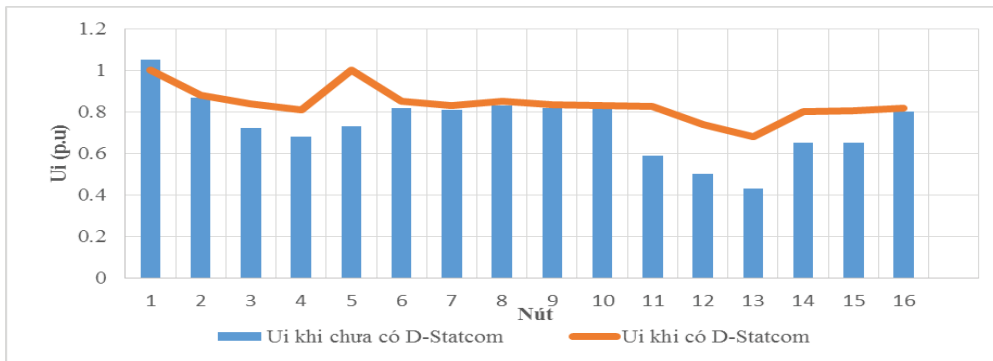
#### 3.1. Các trường hợp nghiên cứu và kết quả

- 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

#### 3.2. Trường hợp 1



Hình 6. Điện áp trước và sau khi lắp D-Statcom

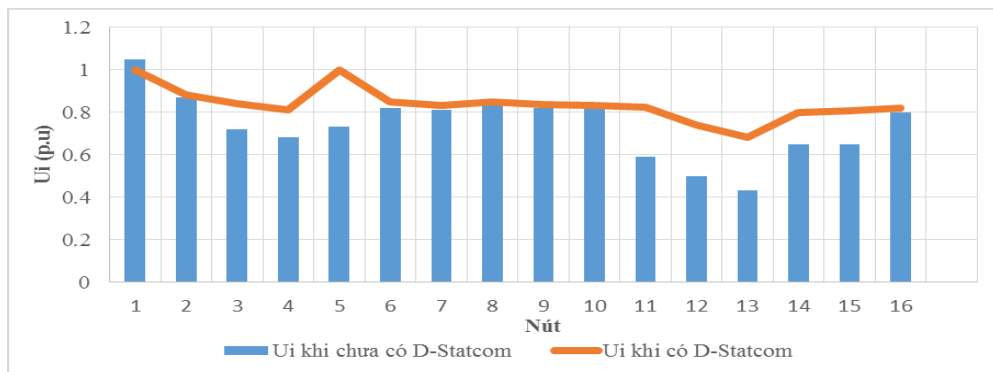
Chọn  $Z_f = 0,9 + j0,8 (\Omega)$ , ngắn mạch tại nút 10. Điện áp các nút của lưới điện ở chế độ ngắn mạch ứng với việc có và không lắp đặt D-Statcom như Hình 6.

Vị trí tối ưu để đặt D-Statcom có công suất là 0,6832pu và hàm chi phí trong trường hợp này được là 4245,6USD

#### 3.3. Trường hợp 2

Chọn  $Z_f = 0,45 + j0,36 (\Omega)$ . 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 7.

Vị trí tối ưu để đặt D-Statcom có công suất là 0,9561pu và hàm chi phí trong trường hợp này được là 5897,3USD.

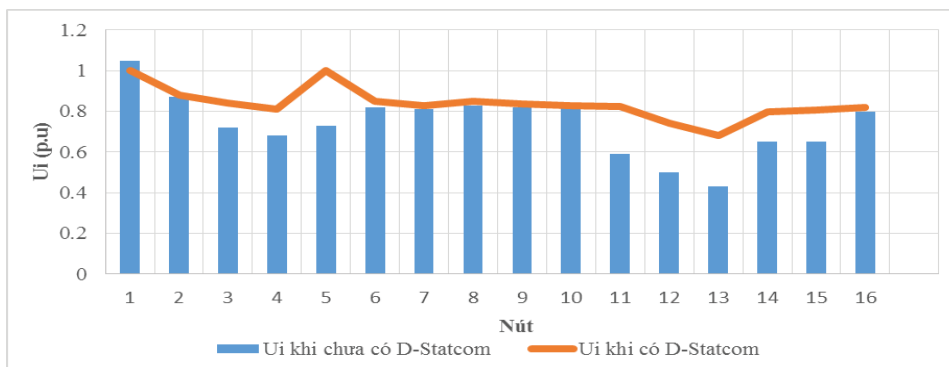


Hình 7. Điện áp trước và sau khi lắp D-Statcom

### 3.4. Trường hợp 3

Chọn  $Z_f = 0,45 + j0,36(\Omega)$ , ngắn mạch bảy 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 8. Điện áp trước và sau khi lắp D-Statcom

Vị trí tối ưu để đặt D-Statcom có công suất là 1,228pu và hàm chi phí trong trường hợp này được là 6312,9USD.

Một số nhận xét chính: Từ các Hình 6, 7 và 8, 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 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.

Ta 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 thuyết 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.

## 4. 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*”, ScienDirect, 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 Opyimization in Radial Distribution System Using Matlab GUP*”, 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*, McGrawHill, Inc. 1994.
- [17] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, H. W. Beauty, *Electric Power System Quality*, McGraw Hill, 2004.