

PHÂN TÍCH CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG TRONG BÀI TOÁN TỐI ƯU HÓA VỊ TRÍ VÀ DUNG LƯỢNG THIẾT BỊ PHỤC HỒI ĐIỆN ÁP ĐỘNG ĐỂ CẢI THIỆN SỤT ÁP NGẮN HẠN TRONG LƯỚI PHÂN PHỐI

AN ANALYSIS OF INFLUENTIAL PARAMETERS IN THE PROBLEM OF OPTIMIZING THE SIZE AND PLACEMENT OF DYNAMIC VOLTAGE RESTORER FOR VOLTAGE SAG MITIGATION IN DISTRIBUTION SYSTEM

Bạch Quốc Khánh¹, Nguyễn Văn Minh^{1,2}

¹Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; kanh.bachquoc@gmail.com

²Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

Tóm tắt - Lựa chọn vị trí và công suất của thiết bị phục hồi điện áp động (DVR) nhằm cải thiện sụt giảm điện áp ngắn hạn do ngắn mạch (SANH) trong lưới phân phối là bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu với nhiều tham số ảnh hưởng đến kết quả tính toán. Trong khi xem xét đề xuất ứng dụng mô hình nguồn dòng Norton tương đương để mô tả DVR, bài báo này đồng thời phân tích các yếu tố chính ảnh hưởng đến kết quả tính toán, qua đó giúp các đơn vị điện lực có được những cân nhắc cần thiết khi ứng dụng DVR trong lưới phân phối điện. Bài toán tối ưu đa mục tiêu có xét đến chi phí đầu tư cho DVR và cực tiểu hóa tổng độ lệch của SANH toàn lưới. Bài báo sử dụng thuật toán di truyền (GA) giải bài toán tối ưu và ứng dụng cho lưới phân phối mẫu 16 nút.

Từ khóa - lưới phân phối; chất lượng điện áp; sụt giảm điện áp ngắn hạn; thiết bị phục hồi điện áp động - DVR; tối ưu hóa; giải thuật gen - GA.

Abstract - Locating and sizing dynamic voltage restorers (DVR) for mitigating voltage sags due to faults in distribution systems is a problem of multi-objective optimization with various influential parameters to the resulting outcomes. While considering the application of the Norton's equivalent circuit for DVR simulation, the paper analyses significant influential parameters to the results to help the utilities have necessary considerations for DVR application of DVR in distribution system. The multi-objective optimization considers either the investment in DVR and minimizing the system nodal voltage deviation for all load nodes in the system of interest. The optimization problem is solved by GA for the case study of 16 bus test distribution system.

Key words - distribution system; power quality; voltage sag; Dynamic Voltage Restorer - DVR; optimization; Genetic Algorithms - GA.

1. Giới thiệu

Sụt giảm điện áp ngắn hạn (SANH), theo IEEE1159 [1] là hiện tượng chất lượng điện năng (CLĐN) trong đó trị số hiệu dụng của điện áp giảm xuống dưới 0,9 pu ($90\%U_{dm}$) trong thời gian dưới 1 phút. Ngắn mạch trong lưới điện là nguyên nhân gây ra trên 90% SANH [17]. Tại Việt Nam trong những năm qua, SANH là một trong những hiện tượng CLĐN gây nhiều khiếu nại và khó xử lý nhất, đặc biệt là khu vực điện công nghiệp trong đó nhiều thiết bị điện tử công suất được sử dụng. Bài toán nâng cao CLĐN trong lưới phân phối trên quan điểm của người vận hành lưới điện đã thu hút được nhiều sự quan tâm nghiên cứu gần đây khi chi phí cho các giải pháp thiết bị giảm dần trong khi thị trường điện bắt đầu được áp dụng cho khâu phân phối điện.

Xét từ quan điểm của bên cấp điện (giả thiết là bên đầu tư cho giải pháp), việc ứng dụng các thiết bị D-FACTS (thiết bị FACTS dùng cho lưới phân phối) trong lưới phân phối luôn đặt ra vấn đề là phải lựa chọn vị trí và công suất của thiết bị và [2, 3] đã tổng hợp các nghiên cứu liên quan bài toán này. 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]. Đối với bài toán hạn chế SANH trong lưới phân phối do ngắn mạch, một trong những khó khăn là mô hình hóa thiết bị D-FACTS trong trường hợp tính toán ngắn mạch. Nếu như việc mô tả các thiết bị bù song song như STATCOM hay SVC là tương đối dễ vì có thể sử dụng mô hình nguồn dòng rất phù hợp khi mô tả lưới điện theo ma trận tổng dẫn nút, thì mô tả thiết bị bù nối tiếp như DVR lại khó khăn vì DVR thường được mô tả như một điện áp bù nối tiếp. Để vượt qua khó khăn trên đây, [18] đã bước đầu đề xuất sử dụng mô hình dạng nguồn dòng tương đương được biến đổi từ mô hình nguồn áp truyền thống để mô tả DVR vào bài toán tính toán

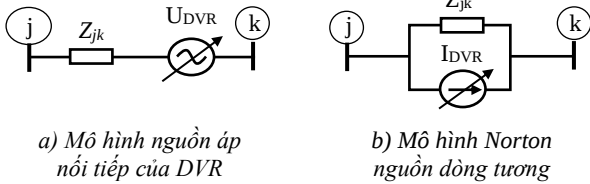
ngắn mạch nhằm cải thiện SANH của lưới phân phối. Tuy vậy, bài toán này còn tồn tại rất nhiều yếu tố ảnh hưởng mà trực tiếp nhất chính là các yếu tố liên quan đến nguyên nhân sinh ra SANH là ngắn mạch. Bài báo này sẽ tiếp tục xem xét các yếu tố ảnh hưởng đó để làm căn cứ cho bên sử dụng, là các nhà quản lý lưới phân phối, có những tính toán thiết kế phù hợp cho thực tiễn ứng dụng của mình.

Mô hình bài toán vẫn 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. Khác với [18], cách tiếp cận khi xây dựng mô hình bài toán tối ưu là tối ưu hóa đa mục tiêu, trong đó hàm mục tiêu có xét tối thiểu hóa chi phí đầu tư cho DVR và tối thiểu hóa lượng điện năng bị mất do SANH. Phương pháp giải bài toán tối ưu được lựa chọn là thuật toán di truyền (Genetic Algorithms – GA) – một công cụ tìm kiếm đã được chứng minh 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. 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.

2. Các vấn đề liên quan

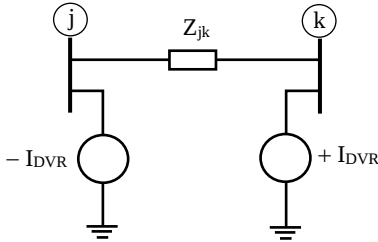
2.1. Tóm tắt việc mô tả mô hình thiết bị phục hồi điện áp động – DVR [18]

Mô tả DVR trong tính toán chế độ xác lập được cho dưới dạng một nguồn điện áp nối tiếp với tổng trở của nhánh có DVR nối vào như Hình 1a. Mô hình nguồn áp có thể được biến đổi tương đương thành mô hình nguồn dòng Norton như Hình 1b [13, 18], với giả thiết bỏ qua tổng trở DVR.



Hình 1. Mô hình DVR dạng nguồn dòng Norton tương đương. Trong đó: U_{DVR} : Điện áp bù nối tiếp của DVR; I_{DVR} : Dòng điện bơm vào mạch của DVR; Z_{jk} : Tổng trở nhánh jk

Trong mô hình tính toán chế độ xác lập, mô hình nguồn dòng tương đương của DVR có thể được biểu diễn tương đương một dòng điện tải ở nút ra và một nguồn dòng ở nút vào như Hình 2 sau đây. Trong đó nút k là nút sẽ được bù điện áp theo chức năng của DVR.

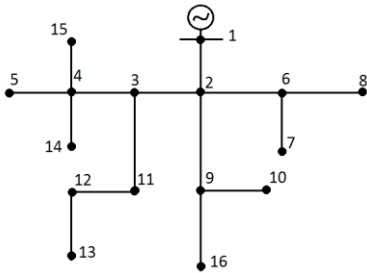


Hình 2. Mô hình DVR trong tính toán chế độ xác lập

2.2. Lưới phân phối mẫu 16 nút

Bài báo này sử dụng lưới phân phối mẫu 16 nút (Hình 3) làm đối tượng để minh họa hiện tượng sụt giảm điện áp ngắn hạn và xem xét các phương án đặt DVR trong các trường hợp tối ưu được xác định bởi GA.

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 tham số được cho trong [18].

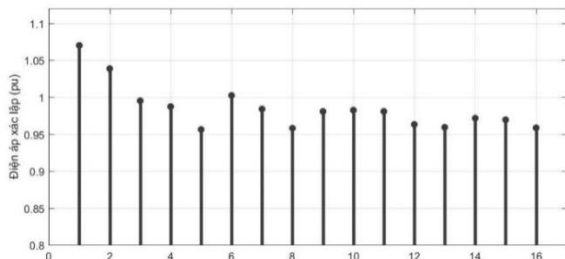


Hình 3. Cấu hình mạng phân phối 16 nút lưới phân phối mẫu

3. Xây dựng bài toán

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

a. Chế độ xác lập



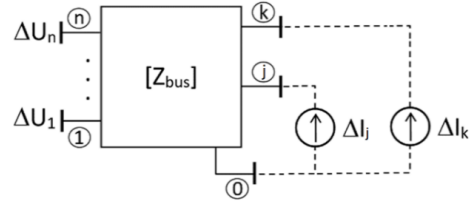
Hình 4. Phân bố điện áp nút trong chế độ làm việc bình thường

Khi lưới hoạt động bình thường, điện áp tại các nút trên lưới đều lớn hơn 0,95 pu (Hình 4) 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 thiết ngắn mạch 3 pha với tổng trở sự cố $Z_f = R_f + jX_f$ (pu). Việc tính toán ngắn mạch được thực hiện theo phương pháp sử dụng ma trận tổng trở nút. Nút ngắn mạch được xem là nút tải có tổng trở là tổng trở ngắn mạch. 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 DVR. Vị trí và công suất của DVR là mục tiêu phải tính toán. Theo [18], ứng với mỗi vị trí đặt DVR, công suất DVR được tính dựa trên phương pháp xếp chồng theo định lý Thevenin như Hình 5.



Hình 5. Lưới điện mô tả theo tổng trở nút và xét một DVR nối vào nhánh j-k

Khi đặt 1 DVR vào nhánh j-k nào đó, từ mô hình DVR được đề xuất ở Hình 2, ta có thể coi như DVR có hành vi bơm vào nút k dòng điện $\Delta I_k = I_{DVR}$ và rút ra dòng điện $\Delta I_j = -I_{DVR}$ từ nút j. Do đó, phương trình điện áp nút của lưới điện được viết như sau theo định lý Thevenin [15, 16]:

$$\begin{aligned} [U] &= [Z_{bus}] \times ([I^0] + [\Delta I]) \\ &= [Z_{bus}] \times [I^0] + [Z_{bus}] \times [\Delta I] \\ &= [U^0] + [\Delta U] \end{aligned} \quad (1)$$

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).

$$[U^0] = \begin{bmatrix} \dot{U}_{SANH1} \\ \vdots \\ \dot{U}_{SANHk} \\ \vdots \\ \dot{U}_{SANHn} \end{bmatrix} = [Z_{bus}] \times [I^0] = [Z_{bus}] \times \begin{bmatrix} I_{f1} \\ \vdots \\ I_{fk} \\ \vdots \\ I_{fn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$[I^0]$: Ma trận dòng điện bơm vào các nút ở trạng thái ban đầu (ngắn mạch).

$[Z_{bus}]$: Ma trận tổng trở nút của lưới điện. $[Z_{bus}]$ được tính từ ma trận tổng dẫn nút: $[Z_{bus}] = [Y_{bus}]^{-1}$. Trong bài báo, có xét tổng trở tại điểm ngắn mạch Z_f . Khi đó Z_f đã được tính vào trong $[Z_{bus}]$.

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

hay là

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{U}_1 \\ \vdots \\ \Delta \dot{U}_k \\ \vdots \\ \Delta \dot{U}_n \end{bmatrix} = [Z_{bus}] \times \begin{bmatrix} \Delta \dot{I}_1 \\ \vdots \\ \Delta \dot{I}_k \\ \vdots \\ \Delta \dot{I}_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

Trong đó:

$\Delta \dot{U}_i$: Độ tăng điện áp nút i , $i = 1, n$ sau khi đặt DVR vào nhánh $j-k$.

$\Delta \dot{I}_i$: Dòng điện bơm thêm vào nút i , $i = 1, n$ sau khi đặt DVR. Rõ ràng là $\Delta \dot{I}_i = 0$ với mọi nút $i = 1, n$; $i \neq j$ và $i \neq k$.

$$\Delta \dot{I}_k = +\dot{I}_{DVR} \text{ và } \Delta \dot{I}_j = -\dot{I}_{DVR}$$

Thay các trị số $\Delta \dot{I}_i$ trên đây vào (4) ta rút ra:

$$\Delta \dot{U}_k = \Delta \dot{I}_k \times Z_{kk} + \Delta \dot{I}_j \times Z_{kj} = \dot{I}_{DVR} \times (Z_{kk} - Z_{kj}) \quad (5)$$

Theo mô hình DVR, nút k là nút được bù điện áp đến giá trị mong muốn tức là tăng từ $U_k^0 = \dot{U}_{SANH.k}$ lên đến $U_k = 1$. Thế thì:

$$\Delta \dot{U}_k = 1 - \dot{U}_{SANH.k} \quad (6)$$

Thay (6) vào (5) rút ra dòng điện $\dot{I}_{DVR}$ của DVR tương ứng sẽ là:

$$\dot{I}_{DVR} = \Delta \dot{I}_k = \frac{\Delta \dot{U}_k}{Z_{kk} - Z_{kj}} = \frac{1 - \dot{U}_{SANH.k}}{Z_{kk} - Z_{kj}} \quad (7)$$

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

$$S_{DVR.k} = \sqrt{3} \times \dot{I}_{DVR} \times \Delta U_k \quad (8)$$

Từ đó suy ra độ tăng điện áp các nút i ($i = 1-n$; $i \neq k$) khác trong lưới điện:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U}_i &= \Delta \dot{I}_k \times Z_{ik} + \Delta \dot{I}_j \times Z_{ij} = \dot{I}_{DVR} \times (Z_{ik} - Z_{ij}) \\ &= (1 - \dot{U}_{SANH.k}) \times \frac{Z_{ik} - Z_{ij}}{Z_{kk} - Z_{kj}} \end{aligned} \quad (9)$$

Cuối cùng tính được điện áp các nút lưới điện sau khi đặt DVR:

$$\begin{aligned} \dot{U}_i &= \Delta \dot{U}_i + \dot{U}_{SANH.i} \\ &= (1 - \dot{U}_{SANH.k}) \times \frac{Z_{ik} - Z_{ij}}{Z_{kk} - Z_{kj}} + \dot{U}_{SANH.i} \end{aligned} \quad (10)$$

Từ trị số U_i sau khi đặt DVR, tính được lượng năng lượng bị mất tại các nút tải sau khi đặt DVR như (13).

Tất cả các tính toán như mô tả lưới Z_{bus} , tính toán công suất S_{DVR} của DVR và (13) 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 DVR tối ưu được xây dựng có dạng bài toán tối ưu đa mục tiêu, trong đó các mục tiêu bao gồm:

- *Cực tiểu chi phí đầu tư DVR*

$$f_1 = C \times S_{DVR} \Rightarrow \text{Min} \quad (11)$$

Trong đó:

$$C: \text{ Suất đầu tư cho 1kVA thiết bị DVR;} \\ C = C_m + C_{ld} \quad (12)$$

C_m : Suất chi phí mua thiết bị DVR (USD/kVA);

C_{ld} : Suất chi phí cho lắp đặt DVR (USD/kVA);

S_{DVR} : Công suất DVR (kVA) được tính theo (8);

ΔU : Tổng độ lệch điện áp (p.u.).

- *Tối thiểu hóa lượng năng lượng bị mất do SANH*

$$f_2 = \Delta U = \sqrt{\sum_{i=1}^n (U_{ref} - U_i)^2} \Rightarrow \text{Min} \quad (13)$$

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 DVR được xác định

theo (12).

Trong bài báo, các tham số sau được giả thiết cho tính toán: - Suất chi phí đầu tư và lắp đặt DVR:

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

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

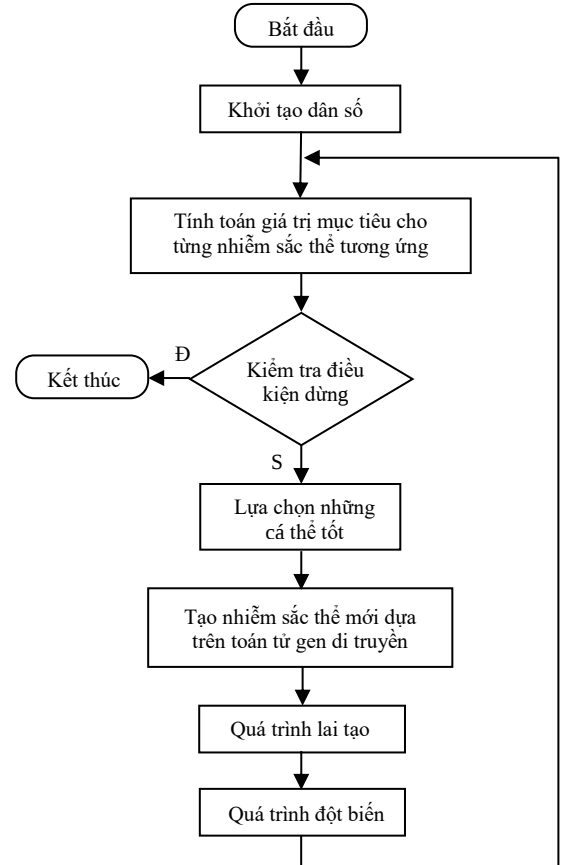
Ấn số của bài toán tối ưu là vị trí và công suất của DVR được xác định tương ứng một sự kiện ngắn mạch nhất định. Các phương án cần xem xét là các vị trí đặt DVR. Ứng với mỗi vị trí đặt, ta sẽ tính được một công suất DVR tương ứng theo đặc trưng biên độ điện áp của SANH ($U_{SANH.k}$) tại vị trí đó (8). Nghiệm của bài toán là chọn được một vị trí tối ưu để ứng với vị trí đó, chi phí đầu tư cho DVR theo công suất DVR S_{DVR} cực tiểu và tối thiểu hóa lượng năng lượng bị mất do SANH. Bài toán có thể đưa về hàm mục tiêu tổng hợp như sau [19]:

$$F = \alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2 \rightarrow \text{Min} \quad (14)$$

Trong đó, α_1, α_2 là các trọng số của hàm mục tiêu.

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]



Hình 6. Các bước thực hiện thuật toán GA

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

dùng cho nhiều dạng bài toán tối ưu đã làm cho GA là một lựa chọn tốt để giải các bài toán tối ưu [6, 7, 8].

Bài toán lựa chọn vị trí và công suất DVR 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 DVR nhằm cải thiện SANH của 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 DVR, 1 là có nối với DVR. Trình tự giải tương tự như ứng dụng thuật toán GA trong [18].

4. Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến kết quả tính toán

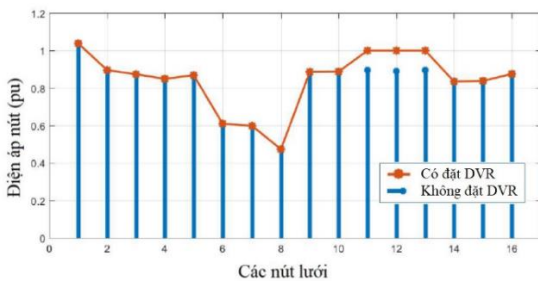
4.1. Các trường hợp tham số và kết quả

- Xét việc lắp đặt 1 DVR tại bất kỳ nhánh nào trên lưới trừ nhánh tải dòng điện ngắn mạch để bảo vệ DVR.

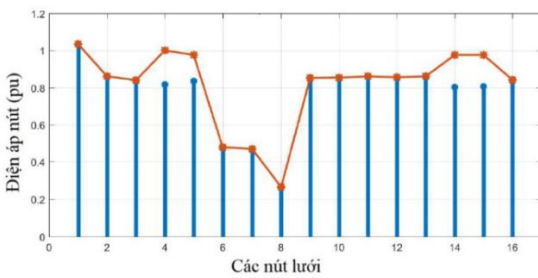
- Các trọng số của hàm mục tiêu tổng hợp xét với $\alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = 5000$.

- Từ Mục 3.1.b, có thể thấy rằng giá trị hàm mục tiêu rất phụ thuộc vào vị trí điểm ngắn mạch. Do đó bài báo xét ngắn mạch tại các điểm khác nhau bao gồm các nút 5, 8 và 13. Sự kiện ngắn mạch ba pha qua tổng trở sự cố Z_f khác nhau. Bài báo xét hai giá trị là $Z_f = 0,25 + j0,16$ (pu) và $Z_f = 0,1 + j0,08$ (pu).

4.2. Trường hợp 1: Ngắn mạch tại nút 8



a) $Z_f = 0,25 + j0,16$ (pu)



b) $Z_f = 0,01 + j0,08$ (pu)

Hình 7. Điện áp trước và sau khi lắp DVR, ứng với ngắn mạch 3 pha tại nút 8

Với $Z_f = 0,25 + j0,16$ (pu), điện áp các nút của lưới điện ở chế độ ngắn mạch ứng với việc có và không lắp đặt DVR như Hình 7a. DVR được chọn đặt tại nhánh 3-11.

Với $Z_f = 0,1 + j0,08$ (pu), điện áp các nút của lưới điện ở chế độ ngắn mạch ứng với việc có và không lắp đặt DVR như Hình 7b. DVR được chọn đặt tại nhánh 3-4.

Với các vị trí đặt này thì điện áp tại nút về phía tải của các nhánh có đặt DVR là các nút 4 và nút 11 sẽ được bù lên bằng 1 pu và công suất DVR được tính theo (8). Bảng 1 tổng hợp kết quả tính toán hàm mục tiêu tổng hợp và công suất DVR.

Bảng 1. Các kết quả của Trường hợp 1

Tổng trở sự cố Z_f (pu)	$0,1 + j0,08$	$0,25 + j0,16$
Vị trí đặt tối ưu DVR	Nhánh 3-4	Nhánh 3-11
Giá trị hàm F	559100	406980
Công suất (pu)	0,2884	0,1793

4.3. Trường hợp 2: Ngắn mạch tại nút 5

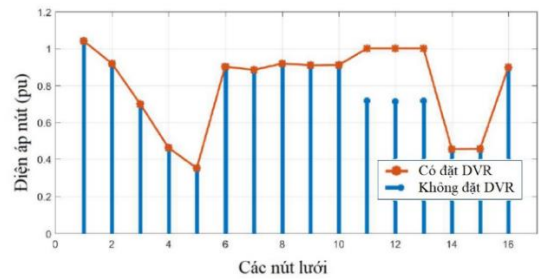
Với $Z_f = 0,25 + j0,16$ (pu), điện áp các nút của lưới điện ở chế độ ngắn mạch ứng với việc có và không lắp đặt DVR như Hình 8a. DVR được chọn đặt tại nhánh 3-11.

Với $Z_f = 0,1 + j0,08$ (pu), điện áp các nút của lưới điện ở chế độ ngắn mạch ứng với việc có và không lắp đặt DVR như Hình 8b. DVR được chọn đặt tại nhánh 2-6.

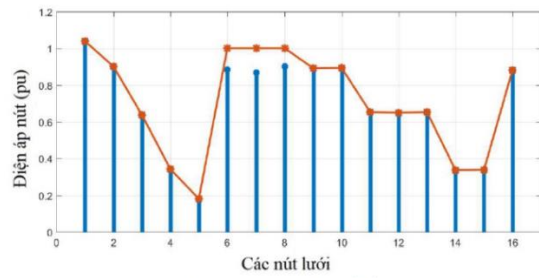
Với các vị trí đặt này thì điện áp tại nút về phía tải của các nhánh có đặt DVR là các nút 6 và nút 11 sẽ được bù lên bằng 1 pu và công suất DVR cũng được tính theo (8). Bảng 2 tổng hợp kết quả tính toán hàm mục tiêu tổng hợp và công suất DVR.

Bảng 2. Các kết quả của Trường hợp 2

Tổng trở sự cố Z_f (pu)	$0,1 + j0,08$	$0,25 + j0,16$
Vị trí đặt tối ưu DVR	Nhánh 2-6	Nhánh 3-11
Giá trị hàm F	750020	597170
Công suất (pu)	0,1266	1,2143



a) $Z_f = 0,25 + j0,16$ (pu)



b) $Z_f = 0,01 + j0,08$ (pu)

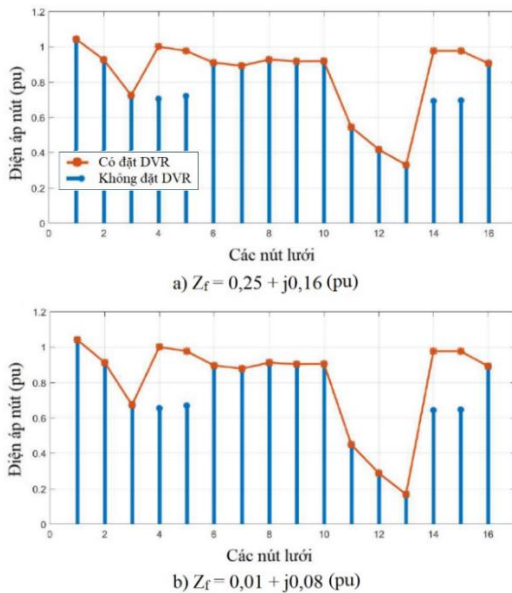
Hình 8. Điện áp trước và sau khi lắp DVR, ứng với ngắn mạch 3 pha tại nút 5

4.4. Trường hợp 3: Ngắn mạch tại nút 13

Với $Z_f = 0,25 + j0,16$ (pu), điện áp các nút của lưới điện ở chế độ ngắn mạch ứng với việc có và không lắp đặt DVR như Hình 9a. DVR được chọn đặt tại nhánh 3-4.

Với $Z_f = 0,1 + j0,08$ (pu), điện áp các nút của lưới điện ở chế độ ngắn mạch ứng với việc có và không lắp đặt DVR như Hình 9b. DVR vẫn được chọn đặt tại nhánh 3-4.

Với vị trí đặt này thì điện áp tại nút về phía tải của nhánh có đặt DVR là nút 4 sẽ được bù lên bằng 1 pu và công suất DVR cũng được tính theo (8). Bảng 3 tổng hợp kết quả tính toán hàm mục tiêu tổng hợp và công suất DVR.



Hình 9. Điện áp trước và sau khi lắp DVR, ứng với ngắn mạch 3 pha tại nút 13

Bảng 3. Các kết quả của Trường hợp 3

Tổng trở sự cố Z_f (pu)	0,1 + j0,08	0,25 + j0,16
Vị trí đặt tối ưu DVR	Nhánh 3-4	Nhánh 3-4
Giá trị hàm F	684130	555560
Công suất (pu)	1,0257	0,7775

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 DVR vào vị trí tối ưu. Tất cả các trường hợp, các khách hàng kết nối vào các nút sau vị trí đặt bù DVR nhìn từ phía nguồn đều được nâng cao trong suốt sự kiện SANH.

Các vị trí đặt DVR khác nhau sẽ có công suất DVR khác nhau vì sự khác nhau của SANH do sự thay đổi điểm ngắn mạch và sự thay đổi về số lượng phụ tải được bù phía sau các nhánh đặt DVR khác nhau.

Với $Z_f = 0,25 + j0,16$ (pu), trường hợp 1 và 2 tuy vẫn chọn cùng vị trí đặt là nhánh 3-11, tuy nhiên trường hợp 2 công suất DVR lớn hơn vì SANH tại các nút phụ tải sâu hơn. Tương tự, với $Z_f = 0,1 + j0,08$ (pu), trường hợp 1 và 3 đều chọn nhánh 3-4 để đặt DVR. Tuy vậy trường hợp 3 có SANH sâu hơn nên công suất DVR cũng lớn hơn. Còn riêng đối với trường hợp 3, $Z_f = 0,1 + j0,08$ (pu) khiến cho SANH sâu hơn khi $Z_f = 0,25 + j0,16$ (pu), và do đó công suất của DVR cũng lớn hơn.

5. Kết luận

Bài toán lựa chọn vị trí và dung lượng của DVR nhằm cải thiện SANH trong lưới phân phối là bài toán tối ưu hóa với nhiều tham số ảnh hưởng và rất cần xem xét một cách toàn diện để việc áp dụng trong thực tế có hiệu quả. Bài báo xem xét bài toán tối ưu này với cách tiếp cận đa mục tiêu, đồng thời xem xét nhiều vị trí sự cố ngắn mạch và mức độ ngắn mạch thông qua trị số tổng trở ngắn mạch. Các kết quả tính toán cho thấy sự ảnh hưởng đáng kể của các yếu tố trên đây, nên khi áp dụng thực tế, người thiết kế cần cân nhắc các khu vực có nhiều khả năng xảy ra sự cố

trên lưới điện để thực hiện việc lắp đặt DVR thích hợp nhằm cải thiện tổng thể CLĐN trên toàn lưới điện.

Kết quả đạt được như trên cũng góp phần khẳng định việc lắp đặt các thiết bị DVR vào lưới phân phối có ý nghĩa kinh tế và đảm bảo chất lượng điện áp cho các tải nhạy cảm. Phương pháp phân tích cũng mở ra hướng nghiên cứu xét với nhiều DVR và nhiều điểm sự cố sẽ được tiếp tục phát triển sau này.

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", *Przeglad Elektrotechniczny*, 88(11a), 2012, pp. 261-265.
- [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, Electrical Power and 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, Nagercoil, India* 10-12 April, 2013, pp.1365-1369.
- [7] T. Gozel, U. Eminoglu, "A Tool for Voltage Stability and Opyimization in Radial Distribution System Using Matlab GUI" *Science Direct, Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 16, Iss. 5, 2008, pp. 505-518.
- [8] M. Gupta, B. S. 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, M. 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] B. Canizes, J. Soares, Z. Vale, C. Lobo, "Optimal Approach for Reliability Assessment in Radial Distribution Networks", *IEEE Systems Journal*, Vol. 11, Iss. 3, Sept. 2017, pp. 1846-1856.
- [13] T. Ratniyomchai, T. Kulworawanichpong, "Steady-State Power Flow Modeling for a Dynamic Voltage Restorer", *Proceedings, 5th WSEAS, ICAEE, Prague, Czech Rep.*, March 12-14, 2006.
- [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.
- [18] Khanh Q. Bach, Minh V. Nguyen, "Using the Norton's Equivalent Circuit of DVR in Optimizing the Location of DVR for Voltage Sag Mitigation in Distribution System", *GMSARN International Journal*, Vol. 12, No. 3, Sep. 2018, pp 139-144.
- [19] Tim Marler, *Multi-Objective Optimization: Concepts and Methods for Engineering*, VDM Verlag, May, 2009.