

LỰA CHỌN VỊ TRÍ VÀ DUNG LƯỢNG CỦA THIẾT BỊ ĐIỀU ÁP ĐỘNG (DVR) NHẪM HẠN CHẾ HẬU QUẢ CỦA SỤT GIẢM ĐIỆN ÁP NGẮN HẠN TRÊN LƯỚI PHÂN PHỐI ĐIỆN 16 NÚT BẰNG THUẬT TOÁN DI TRUYỀN

OPTIMIZING THE LOCATION AND SIZE OF DVR FOR VOLTAGE SAG MITIGATION IN 16 BUS DISTRIBUTION SYSTEM USING GENETIC ALGORITHM

Nguyễn Văn Minh¹, Bạch Quốc Khánh², Phạm Việt Phương²

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long; minhnv@vnlute.edu.vn

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

Tóm tắt - Bài báo xem xét việc tối ưu hóa vị trí, công suất thiết bị bù điện áp động (DVR) nhằm khắc phục hiện tượng sụt giảm điện áp ngắn hạn trên lưới phân phối. Việc lắp đặt DVR cải thiện chất lượng điện năng được thực hiện trên quan điểm của bên cấp điện, là bên thực hiện lắp đặt DVR. Việc đặt DVR không chỉ để đảm bảo chất lượng điện năng cho phụ tải cụ thể mà nhằm đảm bảo chất lượng điện năng tại nhiều nút trên lưới điện. Lựa chọn tối ưu vị trí và công suất của DVR được thực hiện dựa trên việc xây dựng bài toán dạng tối ưu hóa đa mục tiêu, trong đó đồng thời giảm thiểu chi phí đầu tư cho DVR và giảm thiểu độ lệch điện áp. Giải bài toán tối ưu được thực hiện bởi thuật toán di truyền và ứng dụng cho lưới phân phối mẫu 16 nút. Bài toán xem xét một số tham số liên quan đến nguyên nhân ngắn mạch (tổng trở sự cố) và số lượng DVR dự kiến đặt để thấy được các yếu tố ảnh hưởng đến kết quả tính toán.

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

Abstract - The paper presents the optimization of DVR's location and size for mitigating voltage sags due to faults in distribution systems. DVR placement in a distribution system is considered under the utility's point of view, that means the utility covers the cost for DVR installation and operation. Therefore, using DVRs ensures the power quality for not only a single load, but also for various load buses in the system of interest. Optimally locating and sizing DVR is based on the multi-objective optimization approach where either minimizing the investment in DVR and minimizing the bus voltage deviation (voltage sag) during faults are targeted. The optimization problem is solved by Genetic Algorithm for the case study of 16 bus test distribution system. The paper also discusses different parameters including short-circuit fault impedance (voltage sag levels) and the number of installed DVRs to show the influences on the computation results.

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

1. Giới thiệu

Sụt giảm điện áp (sag) ngắn hạn 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]. Nguyên nhân chính dẫn đến sag chủ yếu là do ngắn mạch trong lưới điện, khởi động các động cơ, đóng điện không tải máy biến áp, trong đó ngắn mạch là nguyên nhân dẫn đến trên 90% các sự kiện sag trong hệ thống điện.

Hiện tượng sụt giảm điện áp ngắn hạn có thể gây nên những hậu quả thiệt hại nặng nề về kinh tế, khi các thiết bị điện nhạy cảm với CLĐN nói chung và sag nói riêng ngày càng được sử dụng nhiều trong lưới điện, đặc biệt là các thiết bị ứng dụng các linh kiện điện tử công suất. Tại Việt Nam gần đây, nhiều khiếu nại của khách hàng sử dụng điện có liên quan đến hậu quả của sag trong lưới phân phối đang đặt ra các vấn đề lớn về đảm bảo CLĐN cho phía cấp điện. Có nhiều giải pháp mà trong đó, hiện nay, sử dụng các thiết bị FACTS nói chung, các thiết bị như bộ điều áp động (Dynamic Voltage Restorer – DVR) kết nối nối tiếp, bộ bù đồng bộ tĩnh (D-STATCOM) kết nối song song với mạch điện nói riêng là hướng giải quyết ngày càng được áp dụng rộng rãi, do giá thành ngày càng giảm của thiết bị FACTS [2]. Về cách thức thực hiện thì có 2 cách tiếp cận. Thứ nhất là khách hàng sẽ bỏ tiền ra để mua thiết bị FACTS để bảo vệ cho riêng họ. Trong trường hợp đó, thường khách hàng sẽ ngại đầu tư vào lưới có CLĐN thấp và giải pháp này chỉ là thụ động. Thứ hai là đảm bảo CLĐN ngay cho lưới điện. Khi đó, chính phía cấp điện là người đầu tư cho thiết bị FACTS. Kết quả là CLĐN được cải thiện một cách tổng

thể cho cả lưới. Với việc giá thành của các thiết bị FACTS ngày càng giảm, bên cấp điện càng có khả năng thực hiện cải thiện CLĐN trên lưới điện một cách chủ động. Nếu bên cấp điện đầu tư cho giải pháp CLĐN thì bài toán tối ưu đặt ra là lựa chọn vị trí và dung lượng các thiết bị FACTS, đặc biệt ứng dụng cho lưới phân phối (D-FACTS).

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]. Vấn đề khó khăn gặp phải của bài toán này là ở chỗ các hiện tượng CLĐN rất đa dạng, phản ứng của D-FACTS với các hiện tượng CLĐN khác nhau đối với từng hiện tượng. Do đó, 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, 13]. Trong bài báo này, hiện tượng CLĐN được xem xét để khắc phục một cách hệ thống là sụt giảm điện áp ngắn hạn và thiết bị D-FACT được xem xét là DVR. 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. Các tiếp cận tối ưu đa mục tiêu được sử dụng để xây dựng hàm mục tiêu và các ràng buộc của bài toán lựa chọn phương án đặt DVR tối ưu. Phương pháp giải bài toán tối ưu được lựa chọn là thuật toán di truyền, là 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, 12]. Việc tính toán lưới điện, tính toán hàm mục tiêu và công cụ tính toán dùng GA được thực hiện trong môi trường MatLab.

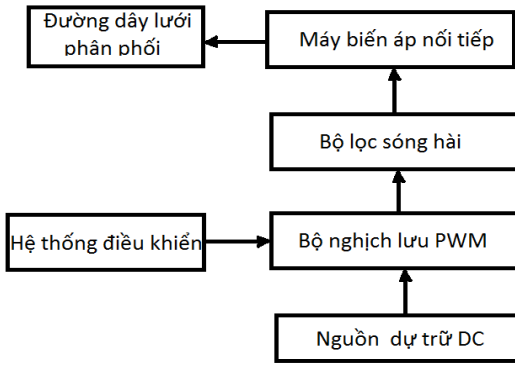
Đây được xem là một trong những cố gắng đầu tiên tại Việt Nam nhằm ứng dụng D-FACTS vào việc nâng cao CLĐN trong lưới phân phối.

Bài báo gồm các phần chính sau đây: Phần 2 trình bày các vấn đề liên quan như mô phỏng DVR, đối tượng tính toán là lưới mẫu 16 nút. Phần 3 xây dựng bài toán tính toán, đánh giá sụt giảm điện áp ngắn hạn và bài toán tối ưu hóa vị trí và công suất DVR, công cụ giải sử dụng thuật toán di truyền. Phần 4 phân tích kết quả với việc xem xét các trường hợp dữ liệu đầu vào trước khi có các kết luận ở Phần cuối.

2. Các vấn đề liên quan

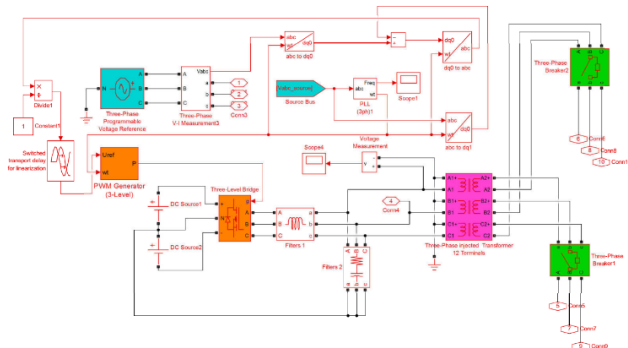
2.1. Giới thiệu về bộ phục hồi động điện áp

Bộ DVR là bộ chuyển đổi điện tử công suất chuyển mạch tốc độ nhanh bao gồm 5 thành phần (Hình 1): bộ dự trữ năng lượng DC, bộ nghịch lưu PWM, bộ lọc sóng hài, máy biến áp nối tiếp, đường dây lưới phân phối.



Hình 1. Cấu trúc vận hành của bộ phục hồi động điện áp

Nguồn dự trữ DC cung cấp năng lượng cho bộ nghịch lưu PWM. Bộ nghịch lưu nhận tín hiệu từ hệ thống điều khiển tạo ra dạng sóng điện áp AC với biên độ thích hợp chèn nối tiếp vào lưới phân phối để cải thiện điện áp sụt giảm. Hệ thống điều khiển DVR so sánh điện áp đầu vào với một tín hiệu tham chiếu thích ứng và nạp điện áp để điện áp đầu ra vẫn nằm trong các thông số kỹ thuật. Trong điều kiện hoạt động bình thường, DVR được cách ly với lưới phân phối để giảm tổn thất. Trong thời gian sụt giảm điện áp, hệ thống điều khiển DVR tính toán và tổng hợp điện áp cần thiết để duy trì điện áp đầu ra và chèn điện áp này trong thời gian thực hiện đồng bộ. Máy biến áp nối tiếp phải được tính toán trong điều kiện dòng điện tải tối đa.



Hình 2. Cấu trúc DVR

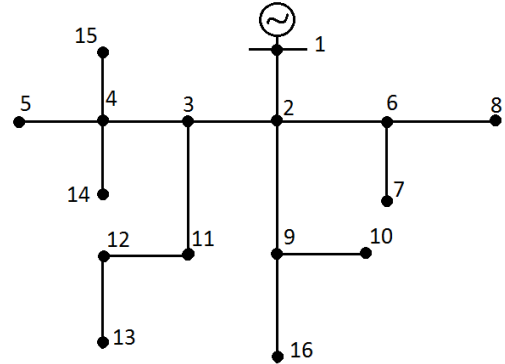
Điện áp chèn nối tiếp của DVR phục hồi điện áp lúc sự

cố tức thời về giá trị trước đó. Khi DVR lắp vào hệ thống lưới phân phối, chẳng hạn giữa nút 11 và nút 3, thì khi có sự cố, điện áp các nút số 11, 12, 13 đều được giữ bằng điện áp trước đó. Phần điện áp thiếu hụt do DVR chèn vào bằng:

$$V_{DVR} = V_{\text{trước sự cố}} - V_{\text{sự cố}} \quad (1)$$

2.2. Tham số 16 nút lưới phân phối

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. Hệ thống có 5 nút PV là 2, 5, 8, 11, 13 và nút nguồn 1 và 7 nút PQ. Điện áp hệ thống là 1,02 pu. Công suất ngắn mạch của hệ thống được giả thiết là 150 MVA.



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

Bảng 1 sau đây tóm tắt các tham số của lưới mẫu 16 nút.

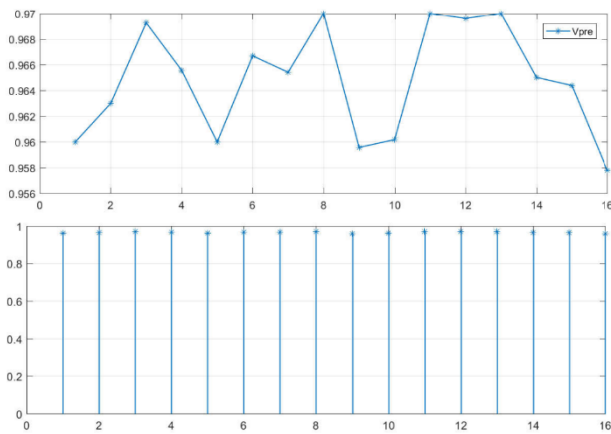
Bảng 1. Thông số lưới phân phối 16 nút dùng để nghiên cứu

Nút	Nhánh		R(Ω)	X(Ω)	P (MW)	Q (MVar)
	Từ nút	Đến nút				
1	1	2	0,0192	0,0575	0	0
2	2	3	0,0452	0,1652	61,7	62,7
3	2	6	0,057	0,1737	2,4	1,2
4	2	9	0,0132	0,1379	7,6	1,6
5	3	4	0,0472	0,1983	24,2	56
6	3	11	0,0581	0,1763	12	5
7	4	5	0,0119	0,1414	22,8	10,9
8	4	14	0,046	0,116	30	67,3
9	4	15	0,0267	0,082	54	22
10	6	7	0,012	0,142	5,8	2
11	6	8	0,0123	0,128	0	16,2
12	9	10	0,0334	0,156	11,2	7,5
13	9	16	0,0232	0,156	0	10,6
14	11	12	0,0312	0,1208	16,2	7,6
15	12	13	0,0124	0,111	28,2	12,5
16					13,5	11,8

3. Xây dựng bài toán

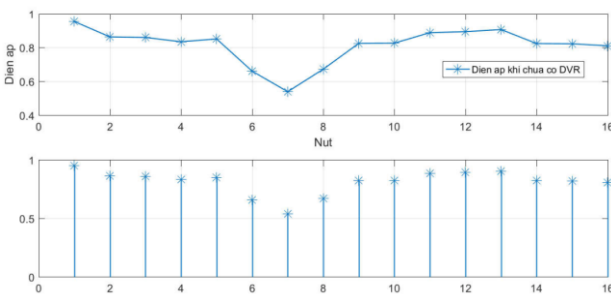
3.1. Mô tả bài toán ở các chế độ làm việc

Khi lưới hoạt động bình thường, các giá trị điện áp tại các nút đều lớn hơn 0,9 pu. Các thiết bị đảm bảo điện áp vận hành bình thường. Điện áp các nút như Hình 4.



Hình 4. Dạng sóng điện áp lúc hoạt động bình thường

Như phân tích trên, sụt áp ngắn hạn có biên độ thấp nhất 50% nên giả thiết sự cố ngắn mạch 3 pha đối xứng trong các điểm tải của mạch 16 nút lưới phân phối. Khi hệ thống có sự cố ngắn mạch, giả sử tại nút 7 qua một tổng trở sự cố $Z_f = 0,4 + j0,3 (\Omega)$, kết quả tính profile điện áp của lưới điện có dạng Hình 5 sau đây:



Hình 5. Điện áp tại các nút khi chưa có DVR

Điện áp thấp nhất tại nút số 7 là 0,5373 pu, thấp hơn ngưỡng chịu áp của thiết bị theo SEMI F47-2000 là 90% trong 30 chu kỳ cho các thiết bị và quá trình bán dẫn công nghiệp. Các biên độ điện áp lân cận nút sự cố đều nhỏ hơn 0,9 pu, chỉ có nút nguồn 1 giữ giá trị 1 pu.

Do vậy, đa số các thiết bị kết nối vào hệ thống gần như bị ngưng làm việc hoặc làm việc không đúng, có thể gây thiệt hại lớn cho khách hàng dùng điện.

Để giảm thiệt hại do sự cố sụt giảm điện áp gây ra, giải pháp đơn giản nhất là lắp ngay trước các phụ tải nhạy cảm một DVR tương ứng công suất tải, nó sẽ bảo vệ tuyệt đối cho thiết bị vượt qua sự cố và làm việc chính xác bởi đặc tính bảo vệ nhanh và chính xác của DVR [4, 5, 6]. Phương án này hiệu quả cao nhưng rất tốn kém vì phải đặt số lượng rất lớn DVR và nhà quản lý lưới điện không quản lý và điều khiển, giám sát được chất lượng điện năng, vì vậy, đây chỉ là giải pháp riêng lẻ. Nhìn về phía nhà quản lý, vận hành lưới điện phải kiểm soát được chất lượng điện áp của mình cung cấp trong bất kỳ sự kiện nào xảy ra trong lưới. Họ phải hợp đồng với những khách hàng có phụ tải nhạy cảm với điện áp và đưa ra giải pháp tối ưu khi đầu tư thiết bị bảo vệ chống sụt áp (DVR) đặt ở những vị trí tối ưu và công suất nhỏ nhất để đảm bảo điều kiện kinh tế hoàn vốn. Đây chính là giải pháp đề xuất của nghiên cứu này, là dùng giải thuật GA để xác định tối ưu vị trí, công suất cho từng DVR khi lắp đặt trong lưới phân phối có xét đến tối ưu hóa chi phí và ràng buộc về biên độ điện áp.

Trong nghiên cứu này, bù điện áp khi bị sự cố về giá trị điện áp ràng buộc theo đường đặc tính điện áp chịu SEMI F47-2000: $0,9 \text{ pu} \leq V_i \leq 1,05 \text{ pu}$.

Điện áp thích hợp của DVR chèn vào lưới bù cho điện áp thiếu hụt trong suốt thời gian sự cố. Điện áp tải có thể bù lý tưởng nhưng do tối ưu chi phí điện áp và góc pha của DVR khi bù theo (Ravi Kumar and Siva Nagaraju, 2007):

$$V_{DVR} = \sqrt{V_S^2 + V_L^2 - 2V_S V_L \cos(\theta_S - \theta_L)} \quad (2)$$

$$\theta_{DVR} = \tan^{-1} \left(\frac{V_L \sin \theta_L - V_S \sin \theta_S}{V_L \cos \theta_L - V_S \cos \theta_S} \right) \quad (3)$$

và khi đó, công suất của DVR là:

$$P_{DVR} = I_L (V_L \cos \theta_L - V_S \cos \theta_S) \quad (4)$$

3.2. Xây dựng bài toán tối ưu

Trong nghiên cứu này, bài toán tối ưu được xây dựng có dạng tiếp cận tối ưu hóa đa mục tiêu, trong đó, hàm mục tiêu xác định vị trí và công suất của DVR là tối thiểu hóa số nút bị sụt áp dưới ngưỡng với việc xem xét chi phí đầu tư và tối thiểu hóa độ lệch điện áp:

Tối thiểu tổng chi phí đầu tư DVR

$$f_1: C_{DVR} = \sum_{i=1}^k (S_{DVR} C_{DVR} + C_{0-i}) \quad (5)$$

Trong đó: C_{DVR} : Suất chi phí đầu tư (đ/KVA) của DVR,

S_{DVR} : Công suất DVR lắp ở nút i ,

C_{0-i} : Chi phí lắp đặt (cố định).

Tối thiểu hóa độ lệch điện áp

Độ lệch điện áp của lưới điện là đại lượng xác định độ lệch biên độ của tất cả các nút trong hệ thống lưới phân phối so với điện áp định mức (điện áp tham chiếu). Do đó, có M nút trong hệ thống thì độ lệch điện áp được tính như sau:

$$f_2: V_{dev} = \sqrt{\sum_{i=1}^M (V_{i-ref} - V_i)^2} \quad (6)$$

Điều kiện ràng buộc

Để đảm bảo ổn định điện áp, mỗi nút i phải duy trì trong khoảng giá trị cho phép, V_{min} và V_{max} . V_i là giá trị hiệu dụng tại nút thứ i . Trong nghiên cứu này, chọn $V_{min} = 0,9 \text{ pu}$ và $V_{max} = 1,05 \text{ pu}$.

Các nút tải phía sau DVR lắp đặt luôn có giá trị:

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} \quad (7)$$

Hàm mục tiêu tổng hợp:

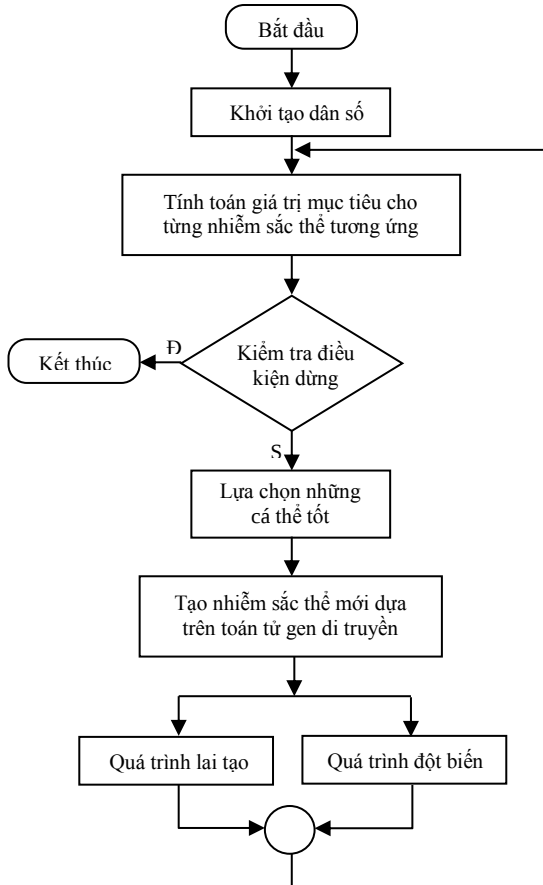
$$F = \alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2 \rightarrow Min \quad (8)$$

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

Giải bài toán tối ưu F_{min} là tìm ra giải pháp chống lại hiện tượng sụt giảm điện áp trong lưới phân phối tốt nhất, với giá trị hàm tối ưu nhỏ nhất và thỏa mãn các biểu thức (6) đến (8). Trong nghiên cứu này, số lượng DVR được chọn tùy ý, hàm mục tiêu liên quan đến vị trí và công suất để tối thiểu hóa chi phí gồm chi phí DVR, chi phí lắp đặt cũng như tối thiểu độ lệch điện áp. Trong quá trình nghiên cứu, khi thay đổi số lượng DVR dẫn đến thay đổi vị trí và công suất DVR nên hàm mục tiêu và các thông số mạch sẽ được tính lại. Có nhiều cách giải bài toán dạng tối ưu đa mục tiêu trên đây, 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]

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 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 các giá trị tối ưu toàn cầu đạt được.



Hình 6. Các bước thực hiện thuật toán GA

Bài toán lựa chọn vị trí và dung lượng các DVR trong lưới phân phối cũng là trường hợp ứng dụng phù hợp của GA. Các bước chính của thuật toán GA là chọn vị trí và dung lượng DVR để cải thiện điện áp để giúp các thiết bị vượt qua sự cố sụt giảm điện áp lưới phân phối được cho ở Hình 3.

Trong bài báo này, dùng giải thuật GA để tối ưu vị trí và công suất DVR trong lưới 16 nút. Việc tối ưu được thực hiện khi quan tâm đến tối đa hóa chi phí tiết kiệm đầu tư DVR và tối thiểu hóa hàm mục tiêu. Nghiên cứu việc cải thiện điện áp, đảm bảo điều kiện ràng buộc điện áp tại các nút, tối ưu công suất phản kháng, công suất phản kháng cân bằng tại các nút, và ràng buộc về công suất phản kháng cho trước. Chi phí của DVR bao gồm chi phí đầu tư, chi phí vận hành và sửa chữa [2, 4].

Mô tả vị trí đặt DVR trong mạng điện được trình bày bởi lưu đồ GA tối thiểu hóa hàm mục tiêu và xác định vị trí đặt DVR tại các nút khác nhau.

4. Phân tích kết quả

4.1. Các trường hợp nghiên cứu và kết quả

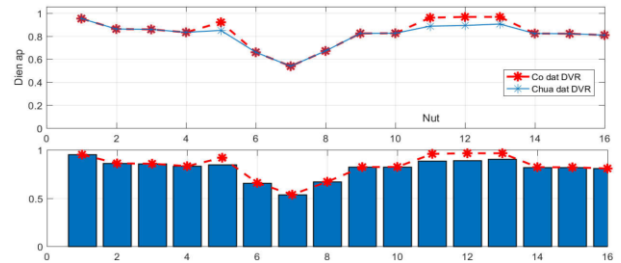
Dữ liệu đầu vào của chương trình là chọn:

- Số lượng DVR cần lắp trong hệ thống: x chọn tùy ý, với $x \leq n$ (n là số nhánh có thể lắp DVR). Trong nghiên cứu này, các nhánh không chế không được đặt là giữa nút 1 và 2, 3 và 6, vì có tổng công suất nếu đặt sẽ lớn;

- Sự kiện ngắn mạch ba pha qua tổng trở sự cố khác nhau (Z_f) 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.

4.2. Trường hợp 1

Chọn $x = 3$; $Z_f = 0,4 + j0,3 (\Omega)$. Điện áp khi sự cố có giá trị như Hình 5. Bù 03 vị trí với 03 DVR.



Hình 7. Điện áp trước và sau khi lắp 3 DVR

Bảng 2. Các thông số khi có 03 DVR lắp đặt

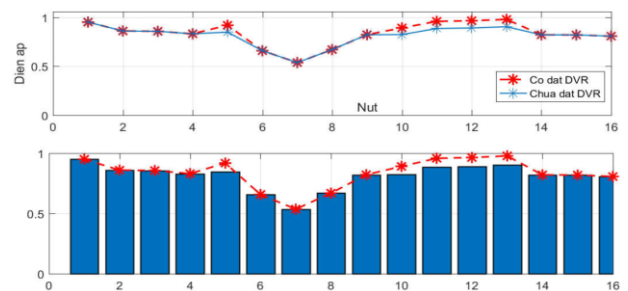
Nhánh có đặt DVR	3-11	4-5	11-12	Tổng
Giá trị hàm $F_{\min}$ (pu)				1,249
Công suất DVR (pu)	0,0236	0,0725	0,0336	0,1297
Điện áp chèn (pu)	0,0736	0,0705	0,0741	0,2182

Bảng 3. Điện áp 16 nút trước và sau khi có DVR

Nút	Điện áp xác lập	Điện áp có sự cố khi không có DVR	Điện áp khi có DVR
1	0,96	0,9524	0,9524
2	0,943	0,8615	0,8615
3	0,98	0,8581	0,8581
4	0,90	0,8326	0,8326
5	0,95	0,8495	0,9200
6	0,89	0,6589	0,6589
7	0,89	0,5373	0,5373
8	0,98	0,6704	0,6704
9	0,90	0,8233	0,8233
10	0,88	0,8245	0,8245
11	0,96	0,8864	0,9600
12	0,93	0,8924	0,9665
13	0,98	0,9049	0,9665
14	0,91	0,8222	0,8222
15	0,89	0,8207	0,8207
16	0,90	0,8085	0,8085

4.3. Trường hợp 2

Chọn $x = 5$; $Z_f = 0,4 + j0,3 (\Omega)$. Điện áp khi sự cố có giá trị như Hình 5. Bù 05 vị trí với 05 DVR.



Hình 8. Điện áp trước và sau khi lắp 5 DVR

Bảng 4. Các thông số khi có 05 DVR lắp đặt

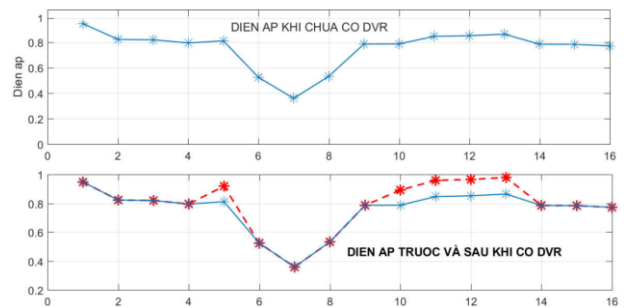
Nhánh đặt DVR	3-11	4-5	9-10	11-12	12-13	Tổng
Giá trị hàm $F_{\min}$ (pu)						1,2335
Công suất DVR (pu)	0,0236	0,0725	0,0271	0,0336	0,0061	0,1629
Điện áp chèn (pu)	0,0736	0,0705	0,0685	0,0741	0,0751	0,3618

Bảng 5. Điện áp 16 nút trước và sau khi có 5 DVR

Nút	Điện áp xác lập	Điện áp có sự cố khi không có DVR	Điện áp khi có DVR
4	0,90	0,8326	0,8326
5	0,95	0,8495	0,9200
....			
10	0,88	0,8245	0,9030
11	0,96	0,8864	0,9600
12	0,93	0,8924	0,9665
13	0,98	0,9049	0,9800

4.4. Trường hợp 3

Chọn $x = 5$; $Z_f = 0,2 + j0,1 \text{ (}\Omega\text{)}$. Điện áp Sag khi sự cố có giá trị như Hình 9 (Điện áp khi chưa có DVR). Bù 05 vị trí với 05 DVR.



Hình 9. Điện áp trước và sau khi lắp 5 DVR

Bảng 6. Các thông số khi có 05 DVR lắp đặt với Z_f thay đổi

Nhánh đặt DVR	3-11	4-5	9-10	11-12	12-13	Tổng
Giá trị hàm $F_{\min}$ (pu)						2,1077
Công suất DVR (pu)	0,0362	0,1110	0,0415	0,0514	0,0093	0,2494
Điện áp chèn (pu)	0,1127	0,1080	0,1048	0,1134	0,1150	0,5539

Bảng 7. Điện áp 16 nút trước và sau khi có 5 DVR

Nút	Điện áp xác lập	Điện áp có sự cố khi không có DVR	Điện áp khi có DVR
1	0,96	0,9481	0,9481
2	0,943	0,8235	0,8235
3	0,98	0,8203	0,8203
4	0,90	0,7959	0,7959
5	0,95	0,8120	0,9200
6	0,89	0,5242	0,5242
7	0,89	0,3591	0,3591
8	0,98	0,5334	0,5334
9	0,90	0,7870	0,7870
10	0,88	0,7882	0,9030
11	0,96	0,8473	0,9600
12	0,93	0,8530	0,9665
13	0,98	0,8650	0,9800
14	0,91	0,7860	0,7860
15	0,89	0,7845	0,7845
16	0,90	0,7728	0,7728

Từ các Hình 7, 8, 9, rõ ràng điện áp được cải thiện rõ nét khi có lắp đặt các DVR vào các vị trí tối ưu tùy số lượng vị trí cần đặt. Với càng nhiều vị trí đặt, tương ứng với nhiều DVR trong hệ thống thì các nút (thanh cái) nằm phía sau DVR về phía tải đều được nâng điện áp trên 0,9 pu. Có nghĩa là, tất cả các phụ tải kết nối vào nút này đều vượt qua sự kiện Sag. Như trường hợp 1, các khách hàng kết nối vào các thanh cái số 5, 11, 12, 13 và trường hợp 2, 3 ở các thanh cái 5, 10, 11, 12, 13 sẽ an toàn trong suốt sự kiện Sag.

Xét về hàm chi phí, rõ ràng hàm chi phí $F_{val2} < F_{val1}$, trường hợp 2 thấp hơn chi phí trường hợp 1 do số phụ tải trường hợp 2 vượt qua ngưỡng Sag nhiều hơn, vì vậy, chi phí về điện áp thấp hơn, tổng $V_{chen2} > V_{chen1}$.

Xét về chi phí đầu tư và lắp đặt DVR. Xem $C_1=250$ USD/kVA, chi phí lắp đặt $C_0 = 1$ USD/kVA. Công suất cơ sở của DVR: 1 pu = 150 MVA. Tính theo biểu thức (5):

Bảng 8. Chi phí đầu tư DVR các trường hợp

Trường hợp	Số vị trí	S-DVR (pu)	S-DVR (kVA)	Tổng chi phí DVR (USD)	Tổng chi phí đầu tư F_{val} (pu)
1	3	0,1297	19.455	4.883.205	1,249
2	5	0,1629	24.435	6.133.185	1,2335
3	5	0,2494	37.410	9.389.910	2,1077

Bảng 8 cho thấy, khi cùng một sự kiện Sag thì chi phí DVR càng tăng khi vị trí tăng nhưng hàm mục tiêu giảm. Điều này do việc cải thiện điện áp nhiều vị trí thanh cái mà phụ tải nhạy cảm kết nối với điện áp được đảm bảo an toàn cho các sự kiện Sag với chi phí tối ưu nhất. Đặc biệt, trường hợp thứ 3, cũng cùng 5 vị trí lắp đặt nhưng nếu xét với sự kiện Sag sâu hơn ($V_{sag-min} = 0,3591$ pu) thì DVR phải có công suất cao hơn để chèn vào điện áp lớn hơn khắc phục sự cố Sag. Vì vậy chi phí DVR và hàm mục tiêu tăng đột biến gần 2 lần.

5. Kết luận

Tối ưu hóa dùng giải thuật GA xác định được vị trí và công suất DVR trong lưới phân phối 16 nút điển hình của mạng hình tia để cải thiện chất lượng điện áp. Phương pháp giải được thực hiện trên phần mềm Matlab. Các kết quả đã được phân tích, đánh giá với mục tiêu tối thiểu chi phí đầu tư, chi phí lắp đặt DVR có xét đến các ràng buộc về điện áp vận hành.

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

Để phân tích chất lượng điện năng, ý nghĩa khi lắp DVR 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] P. R. Sanchez, E. Acha, J. E. Ortega-Calderon, V. Feliu, A. Gareia-Cerrada, "A versatile control scheme for a Dynamic Voltage Restorer for power quality improvement", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 24, No. 1, January 2009, pp. 277-284.
- [5] A. Rai, A. K. Nadir, "Modeling & Simulation of Dynamic Voltage Restorer (DVR) for enhancing Voltage Sag", *Sensor & Transducers Journal*, Vol. 87, Issue 1, January 2008, pp. 85-93.
- [6] Muni, B P, Venkateshwarlu S, Makthal H V, "Review of dynamic voltage restorer for power quality improvement", *IEEE Industrial Electronics Society*, Nov.2004, pp.749-754.
- [7] T. Gozel, U. Eminoglu, *A tool for voltage stability and opyimization in radial distribution system using matlab GUI" simulation modelling practice and theory* 16, Science Direct, 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)*, Volume 1, Issue 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, Issue.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", *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] L.Davis, *Handbook of Genetic Algorithms*, Van Nortrand Reinhold, 1991.
- [13] Bruno Canizes, João Soares, Student Member, IEEE, Zita Vale, Senior Member, IEEE, and Cristina Lobo, "Optimal Approach for Reliability Assessment in Radial Distribution Networks", *IEEE Systems Journal*, Volume 11, Issue 3, Sept. 2017, pp 1846-1856.

(BBT nhận bài 02/10/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 24/10/2017)