

TỐI ƯU VỊ TRÍ VÀ DUNG LƯỢNG TỤ BÙ TRONG LƯỚI PHÂN PHỐI MẪU 16 NÚT SỬ DỤNG THUẬT TOÁN DI TRUYỀN ĐỂ GIẢM TỔN THẤT ĐIỆN NĂNG

OPTIMAL SIZING AND PLACEMENT OF CAPACITORS IN THE 16 BUS TEST FEEDER USING GA FOR LOSS REDUCTION

Nguyễn Văn Minh, Bạch Quốc Khánh

TÓM TẮT

Vấn đề về chất lượng điện áp và tổn thất công suất trong vận hành lưới phân phối điện luôn được quan tâm đối với các đơn vị vận hành, các tổng công ty điện lực. Tụ bù đang là phương án được sử dụng phổ biến nhất hiện nay trong lưới phân phối điện Việt Nam. Tuy vậy việc đặt tụ bù thế nào cho hiệu quả lại là vấn đề chưa được giải quyết thấu đáo. Về bài toán tối ưu hóa vị trí và dung lượng tụ bù công suất phản kháng, đã có nhiều phương pháp được giới thiệu [1]. Bài báo này sử dụng thuật toán di truyền (GA - Genetic Algorithm) để lựa chọn vị trí và dung lượng tụ bù như một phương án tối ưu giúp cho giải quyết các vấn đề thực tiễn trong vận hành hiện nay tại Việt Nam. Bài báo sử dụng lưới điện phân phối dựa trên lưới mẫu 16 nút của lưới phân phối. Các tham số của của lưới điện mẫu cũng được tham khảo theo điều kiện Việt Nam để nâng cao tính thực tiễn của kết quả tính toán. Các kết quả đạt được sẽ cho phép so sánh với chất lượng điện áp và tổn thất công suất của lưới điện trước và sau khi đặt tụ.

Từ khóa: Lưới phân phối, tối ưu vị trí, vị trí tụ bù, thuật toán GA, hàm mục tiêu, tổn thất công suất.

ABSTRACT

The problems of voltage quality and power loss in distribution system operation are always interested by utilities (Power Corporations). There're various solutions and using the kVAr compensated capacitors is the solution that is often considered and selected for distribution systems in Vietnam. However, the method for locating and sizing the capacitors in the distribution system is still questionable and quite a lot of utilities in Vietnam have not used the capacitor in an effective manner. Theoretically, there're a number of methods introduced for solving this problem [1]. This paper uses GA (Genetic Algorithm) for optimal sizing and placement of capacitors as an alternative for the distribution system operation in practice in Vietnam. The paper tests the GA on a test system based on 16-bus distribution feeder. The results which simulate in Matlab are compared the power loss cost, voltage levels at different buses after and before placement of capacitors.

Keywords: Distribution system, optimal location, capacitor placement, genetic algorithm, objective function, power loss.

Nguyễn Văn Minh

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

Bạch Quốc Khánh

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Email: vanminhnguyen221272@gmail.com

Ngày nhận bài: 20/08/2017

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/09/2017

Ngày chấp nhận đăng: 16/10/2017

1. GIỚI THIỆU

Trên hệ thống điện nói chung và lưới phân phối nói riêng, khi phụ tải tăng, dòng điện trên các phần tử tải điện như đường dây, máy biến áp tăng sẽ làm tăng tổn thất công suất và tổn thất điện năng trên lưới điện. Mặt khác, tổn thất điện áp trên đường dây tải điện cũng tăng dẫn đến điện áp các nút phía phụ tải nhìn chung sẽ giảm. Về mặt định lượng, mối quan hệ điện áp xác lập các nút trong hệ thống được xác định bởi bài toán phân bố công suất [1].

Có nhiều giải pháp giảm tổn thất điện năng trên lưới phân phối trong đó bù công suất phản kháng sử dụng tụ điện đang được sử dụng khá phổ biến trên lưới phân phối ở Việt Nam hiện nay. Về nguyên tắc, việc sử dụng tụ bù sẽ hạn chế lượng công suất phản kháng chạy trên lưới điện và nhờ đó sẽ giảm tổn thất công suất, đồng thời cải thiện được chất lượng điện áp trên lưới điện. Vấn đề là tổn thất điện năng trên lưới điện phụ thuộc vào cả cấu trúc lưới điện và phụ tải và các yếu tố này lại thay đổi theo thời gian, vị trí. Điều đó đặt ra vấn đề phải lựa chọn vị trí và dung lượng bù công suất phản kháng trên lưới điện để đạt được tổn thất trên lưới điện thấp nhất. Việc lắp đặt vị trí và dung lượng tụ bù trên lưới phân phối điện tại Việt Nam chủ yếu dựa trên kinh nghiệm vận hành cũng như những tính toán đơn giản như sử dụng quy tắc đặt tụ bù ở 2/3 khoảng cách đường dây... Chưa có công cụ hiệu quả cho phép tối ưu hóa sử dụng các tụ bù.

Bài toàn lựa chọn vị trí và dung lượng tụ bù công suất phản kháng trong lưới phân phối là bài toán tối ưu hóa sớm được đặt ra và đã có nhiều đề xuất về phương pháp giải. Cho đến nay, các đề xuất phương pháp giải có thể chia thành ba nhóm: nhóm các phương pháp phân tích (Analytical), nhóm các phương pháp quy

hoạch tối ưu (programming) và nhóm các phương pháp tìm kiếm thông minh (heuristics) [1, 2]. Nhóm các phương pháp phân tích thường đưa ra các giả thiết làm kém tính thực tế như giả thiết phụ tải phân bố đều, đường dây cùng thiết diện, dung lượng tụ bù có giá trị liên tục để đơn giản hóa cách tính mà điển hình nhất là quy tắc 2/3, trong đó tụ điện có dung lượng bằng 2/3 công suất phản kháng cực đại của mạch điện sẽ được đặt tại vị trí 2/3 chiều dài đường dây sẽ cho phép giảm tối đa tổn thất công suất. Nhóm các phương pháp quy hoạch tối ưu sử dụng kỹ thuật lập để cực đại hoặc cực tiểu hóa hàm mục tiêu của các biến quyết định. Đối với bài toán chọn vị trí và dung lượng tụ bù tối ưu thì hàm mục tiêu là tổng tổn thất công suất của lưới hoặc tổng chi phí tiết kiệm được nhờ giảm tổn thất. Điện áp nút, dòng nhánh, dung lượng tụ bù và vị trí tụ bù là các biến quyết định. Các biến quyết định này cũng phải thỏa mãn một số ràng buộc như độ lệch điện áp nút tối đa, dung lượng tụ bù tối đa. Nhiều phương pháp quy hoạch tối ưu cũng đã được đề xuất tùy theo việc giả thiết các biến quyết định là nguyên hay thực, hay phối hợp dùng tụ bù với thiết bị điều chỉnh điện áp, các giả thiết về cấu trúc lưới điện... như quy hoạch nguyên hỗn hợp (mixed integer programming), quy hoạch toàn phương (quadratic programming), quy hoạch phi tuyến. Tuy vậy các phương pháp này có nhược điểm lớn là khó hội tụ, đặc biệt khi kích thước bài toán lớn như nhiều biến, áp dụng cho lưới điện lớn. Gần đây, việc phát triển các lớp phương pháp tìm kiếm thông minh (heuristics) được áp dụng ngày càng rộng rãi trong các bài toán kỹ thuật. Các kỹ thuật này hỗ trợ giải các bài toán tối ưu mà các phương pháp phân tích và quy hoạch tối ưu không hoặc khó giải bằng cách giảm không gian tìm kiếm trong khi vẫn giữ cho kết quả cuối cùng của hàm mục tiêu gần với giá trị tối ưu tổng thể. Nhìn chung các phương pháp tìm kiếm thông minh chưa thể khẳng định tính tối ưu của kết quả, nhưng cho phép tìm kiếm nhanh đến kết quả và thực tiễn cho thấy hiệu quả của việc sử dụng các phương pháp.

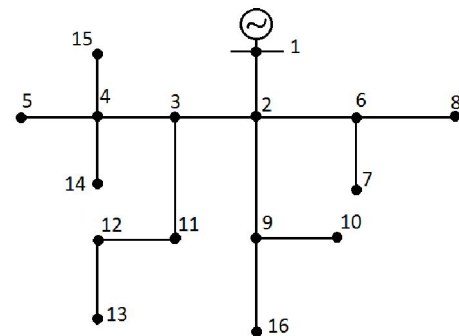
Trong các phương pháp heuristics dựa trên trí tuệ nhận tạo (Artificial Intelligent), thuật toán di truyền (Genetic Algorithm) là một kỹ thuật tìm kiếm tổng thể để giải các bài toán tối ưu, dựa trên lý thuyết chọn lọc tự nhiên, quá trình động lực cho sự tiến hóa của sinh vật. Thuật toán di truyền đã chứng tỏ là một công cụ rất hiệu quả và công cụ 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 [3, 4]. Bài toán lựa chọn vị trí và dung lượng các tụ bù trong lưới phân phối cũng là trường hợp ứng dụng phù hợp của GA. Các bước chính của thuật GA chọn vị trí và dung lượng tụ bù để giảm tổn thất lưới phân phối được cho ở hình 2.

Trong bài báo này, dùng giải thuật GA để tối ưu vị trí và công suất tụ trong lưới 16 nút. Việc tối ưu được thực hiện khi quan tâm đến việc tối đa hóa chi phí tiết kiệm và tối thiểu hóa hàm mục tiêu. Nghiên cứu việc giảm tổn thất, 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 tụ bao gồm chi phí đầu tư, chi phí vận hành và sửa chữa [5].

2. MÔ TẢ HỆ THỐNG

Hình 1 mô tả lưới phân phối 16 nút như một trường hợp mẫu cho lưới phân phối ở Việt Nam trong đó, các phần tử đều là ba pha, cấu trúc hình tia và liên thông, để phân tích việc đặt tụ trong các trường hợp tối ưu được xác định bởi GA. Lưới gồm 5 nút PV (2, 5, 8, 11, 13), 7 nút PQ và nút nguồn 1. Điện áp nguồn hệ thống là 1,02 pu. Việc mô phỏng lưới điện và tính toán chế độ xác lập được thực hiện trong môi trường Matlab với các thông số như trong bảng 1.



Hình 1. Cấu hình mạng phân phối 16 nút lưới phân phối mẫu

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

Nút	Nhánh đường dây		R (Ω)	X (Ω)	P (kW)	Q (kVAr)
	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. THÀNH LẬP BÀI TOÁN VÀ PHƯƠNG PHÁP GIẢI

Bài toán chọn vị trí và dung lượng tụ bù trong lưới phân phối là bài toán tối ưu với hàm mục tiêu và các ràng buộc như sau:

3.1. Hàm mục tiêu

Cực tiểu hóa hàm chi phí gồm hai thành phần: chi phí đầu tư cho tụ bù và chi phí cho tổn thất [5] như sau:

$$f = K_c \times \sum_{i=1}^n Q_{ci} + K_e \times \Delta P \rightarrow Min \quad (1)$$

Trong đó

- Q_{ci} : Dung lượng tụ bù (kVAR) ở nút i ($i = 1 \div n$);
- n : Số vị trí đặt tụ bù trong lưới điện đang xét;
- K_c : Suất đầu tư cho tụ bù (đ/kVAR);
- ΔP : Tổng tổn thất công suất trong lưới điện;
- K_e : Giá tổn thất công suất (đ/kW).

Việc tính toán tổn thất công suất lưới điện được thực hiện dựa trên bài toán tính toán trào lưu công suất lưới điện. Trong đó tổn thất trên mỗi nhánh i - j bất kỳ được tính như sau:

$$\Delta P_{ij} = R_{ij} \times [(V_i - V_j) \times Y_{ij}]^2 \quad (2)$$

Trong đó

- V_i : Điện áp tại nút thứ i ;
- V_j : Điện áp nút j ;
- Y_{ij} : Tổng dẫn nhánh i - j ;
- R_{ij} : Điện trở nhánh i - j .

Tổng tổn thất công suất lưới điện được tính như sau:

$$\Delta P = \sum_{i,j}^m \Delta P_{ij} \quad (3)$$

Trong đó, m là số nút của lưới điện

3.2. Điều kiện ràng buộc

- Ràng buộc cân bằng công suất nút.
- Ràng buộc về chất lượng điện áp (độ lệch điện áp nút):

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad (i = 1 \dots m) \quad (4)$$

Các biến của bài toán là điện áp nút V_i , dung lượng tụ bù tại nút Q_{ci} .

3.3. Phương pháp giải tổng quát

Việc giải bài toán tối ưu được thực hiện bằng thuật toán GA với các bước sau:

Bước 1: Khởi tạo một quần thể ban đầu gồm các chuỗi nhiễm sắc thể.

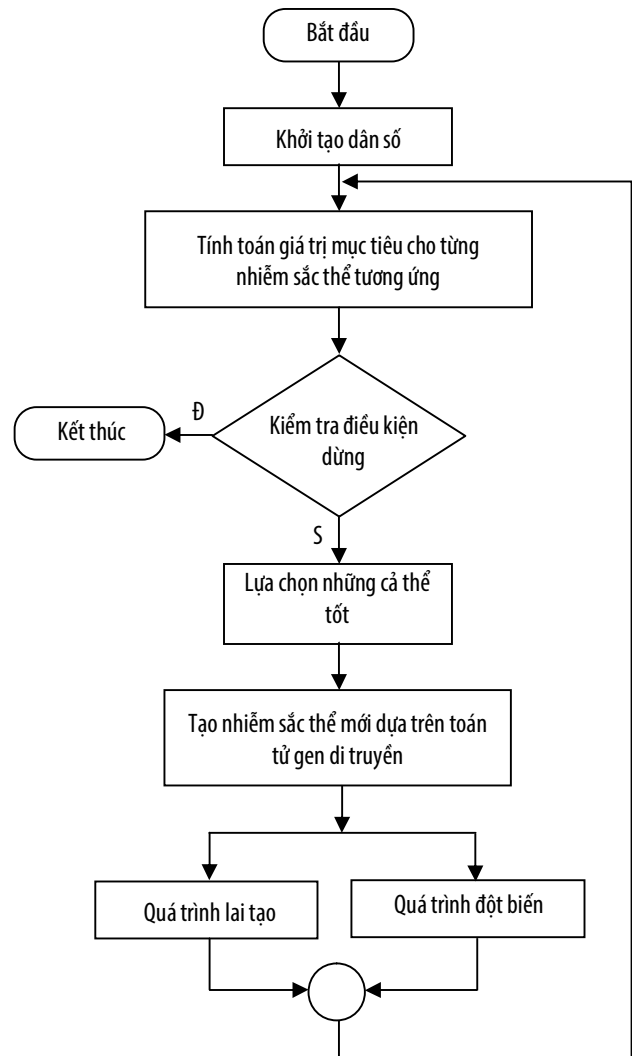
Bước 2: Xác định giá trị mục tiêu cho từng nhiễm sắc thể tương ứng.

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 2. Các bước thực hiện GA

3.4. Áp dụng thuật toán di truyền để giải bài toán tối ưu hóa vị trí và dung lượng bù công suất phản kháng

Trình tự tính toán như lưu đồ hình 2 cho phép giải nhiều trường hợp bài toán chọn vị trí và dung lượng bù công suất phản kháng trên lưới điện nhằm giảm tổn thất công suất. Dựa trên thực tiễn yêu cầu đặt tụ bù để giảm tổn thất công suất trên lưới phân phối trung áp tại Việt Nam khi một đơn vị điện lực được phân bổ một dung lượng tụ bù nhất định và phải tìm vị trí đặt tụ bù để hiệu quả giảm tổn thất nhiều nhất, trong bài báo này biến lựa chọn sẽ là vị trí đặt tụ bù. Dung lượng tụ bù là tham số được chọn trước. Chẳng hạn nếu cho trước dung lượng bù tại 3 vị trí đều là 10kVar thì trong 16 nút của lưới điện mẫu, tổ hợp 3 vị trí nào cần được chọn để hàm mục tiêu (1) đạt cực tiểu.

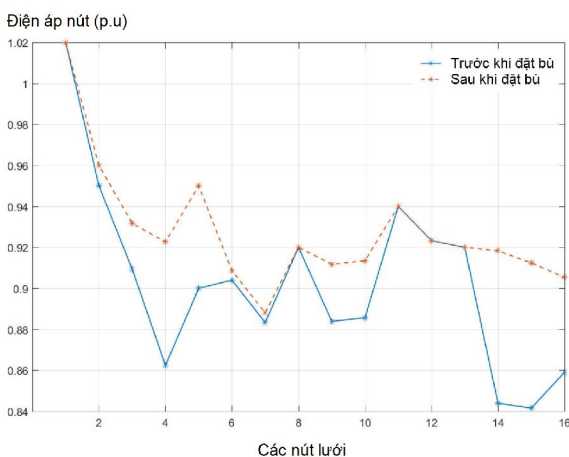
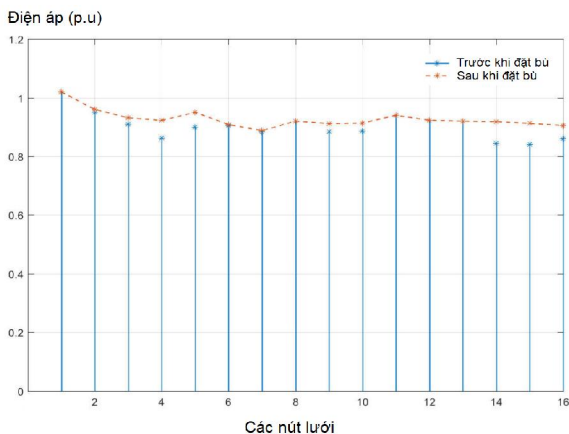
Nếu xem một tổ hợp 3 nút đặt bù trong 16 nút của lưới điện là một nhiễm sắc thể, thì mỗi nhiễm sắc thể sẽ có dạng tương ứng 16 bit nhị phân ví dụ "1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0", trong đó "0" tức là không đặt tụ bù và "1" có đặt tụ bù. Thuật giải GA [6] sẽ thực hiện theo quy trình tìm kiếm để tìm ra một nhiễm sắc thể tốt nhất trong tổng nhiễm sắc

thể là $2^{16}/3 = 21845$. Toàn bộ các bước giải của GA được thực hiện bởi hàm GA.m của Matlab. Các tham số ban đầu bao gồm Dân số ban đầu chọn 100 (nhiệm sắc thể) tương đương gần 0,5% tổng dân số, xác suất lai tạo: 0,95, xác suất đột biến: 0,05. Gọi chương trình mẫu GA trong Matlab để chạy bài toán theo các bước theo lưu đồ hình 2.

4. KẾT QUẢ

Áp dụng thuật toán GA giải bài toán tối ưu (1), toàn bộ các bước tính toán trong mô hình được thực hiện trên Matlab, trong đó việc tính toán trào lưu công suất sử dụng thuật toán Newton-Raphson để kiểm tra cân bằng công suất nút và độ lệch điện áp nút, tính toán tổn thất công suất lưới điện, giải thuật di truyền cũng được lập trên Matlab để giải bài toán tối ưu (1). Bài toán xét hai kịch bản lựa chọn tụ bù. Các kết quả tính toán chính cho từng kịch bản như sau:

4.1. Trường hợp 1: Chọn công suất tụ 10kVar số lượng 3 tụ cần tìm vị trí tối ưu. Kết quả chỉ ra vị trí tối ưu đặt tụ bù sẽ là các nút 14, 15, 16.

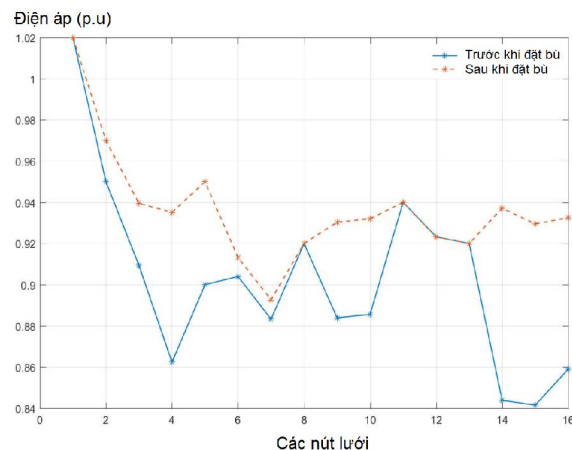
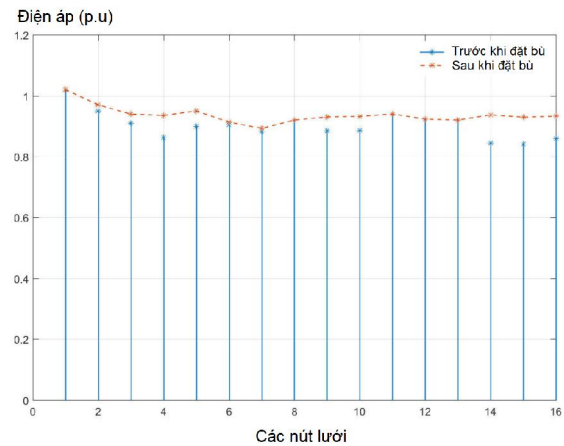


Hình 3. Biên độ điện áp các nút trước bù tối ưu và sau bù bằng tụ 10kVar.

Kết quả trên hình 3 cho thấy, điện áp được cải thiện rõ rệt tại các nút bù tụ điện tại các nút: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 14, 15, 16 với công suất tụ bù cố định là 10kVar. Điện áp toàn mạng tăng và lớn hơn 0,86 pu giúp cải thiện điện áp của mạng điện thỏa mãn điều kiện điện áp ràng buộc. Tổn thất công suất trong mạng trước khi bù là: 74,88kW và sau khi

bù là: 66,524kW. Phần công suất tiết kiệm được là: 8,356kW. Tương ứng hàm chi phí nhỏ nhất là $f_{\min} = 66,698.10^6$ (đồng) trong đó giả thiết $K_e = 1,405.10^3$ đ/kW trung thế; $K_c = 300.10^3$ đ/kVar tụ bù ABB trung thế phản ảnh thực tế chi phí tại Việt Nam.

4.2. Trường hợp 2: Chọn công suất tụ 15kVar số lượng 3 tụ cần tìm vị trí tối ưu. Kết quả cũng chỉ ra vị trí tối ưu đặt tụ bù sẽ là các nút 14, 15, 16.



Hình 4. Biên độ điện áp các nút trước bù tối ưu và sau bù bằng tụ 15kVar.

Kết quả trên hình 4 cho thấy, điện áp cải thiện rõ rệt tại các nút bù tụ điện tại các nút: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 14, 15, 16 với công suất tụ bù cố định là 15kVar. Điện áp toàn mạng tăng và lớn hơn 0,86 pu. giúp cải thiện điện áp tốt hơn trường hợp 1 của mạng điện thỏa mãn điều kiện điện áp ràng buộc.

Tổn thất công suất trong mạng trước khi bù là: 74,88kW và sau khi bù là: 63,287kW. Phần công suất tiết kiệm được là: 11,593kW. Hàm chi phí nhỏ nhất là $f_{\min} = 56,639.10^6$ (đồng).

Tương tự có thể chọn trước công suất tụ bù thực tế và số lượng vị trí cần lắp đặt tụ bù. Sau đó chạy GA, sẽ tìm ra các vị trí cần đặt bù mà tổn thất công suất toàn lưới điện là nhỏ nhất.

Đương nhiên, khi dung lượng bù tăng lên thì tổn thất giảm xuống và điện áp các nút trên toàn bộ lưới điện càng được cải thiện.

Điện năng tiết kiệm có ý nghĩa cho ngành công nghiệp, có có tính hiệu quả khi phụ tải xem xét có giá trị và công suất càng lớn.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất và áp dụng thành công giải thuật GA để xác định vị trí và công suất đặt tụ tại các nút trong lưới 16 nút với việc tối thiểu hàm mục tiêu. Nội dung quan tâm đến cải thiện điện áp toàn hệ thống theo tiêu chuẩn với việc bù tối ưu công suất phản kháng để tăng điện áp, giảm tổn thất công suất và giảm chi phí vận hành hệ thống.

Với các kết quả đạt được như trên cho thấy rằng dùng GA tối ưu hóa vị trí, công suất cho tụ bù là phương pháp hữu ích và để giảm tổn thất công suất và cải thiện điện áp toàn hệ thống xem xét.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Tanuj Manglani, Y.S.Shishodia, A Survey of Optimal Capacitor Placement Techniques on Distribution Lines to Reduce Losses, International Journal of Recent Research and Review, Vol. 1, March 2012

[2]. Om Prakash Mahela, Devendra Mittal Lalit Goyal, Optimal Capacitor Placement Techniques in Transmission and Distribution Networks to Reduce Line Losses and Voltage Stability Enhancement: A Review, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) Volume 3, Issue 4 PP 01-08, Nov. - Dec. 2012.

[3]. M. Ponnaikko and K. S. Prakasa Rao, "Optimal choice of fixed and switched shunt capacitors on radial distributors by the method of local variations," IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, vol. 102, no. 6, pp. 1607–1615, June 1983.

[4]. M. E. Baran and F. F.Wu, "Optimal capacitor placement on radial distribution systems," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 4, no. 1, pp. 725–734, Jan. 1989.

[5]. Manish Gupta, 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.

[6]. L. Davis, *Handbook of Genetic Algorithms*: Van Nortrand Reinhold, 1991.