

ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN NSGA II ĐỂ GIẢI BÀI TOÁN CỰC TIỂU TỶ SỐ CÔNG SUẤT TRÊN LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI

USING ALGORITHM NSGA II TO SOLVE THE PROBLEM OF MINIMIZING POWER LOSS IN ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS

Nguyễn Hữu Hiếu¹, Hoàng Dũng²

¹Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; nhieu@dut.udn.vn

²Trường Cao đẳng Công nghệ, Đại học Đà Nẵng; hdung@dct.udn.vn

Tóm tắt - Giảm tổn thất điện năng luôn là một trong những nhiệm vụ hàng đầu của ngành Điện. Hiện nay, trên lưới điện phân phối hai phương pháp kỹ thuật để tính giảm tổn thất điện năng thường được sử dụng là bù kinh tế và tìm điểm mở tối ưu. Để thực hiện việc này, các nghiên cứu thường sử dụng phần mềm PSS/ADEPT. Khi tính toán có một số hạn chế như mới chỉ xét đến một mục tiêu là chi phí nhỏ nhất, các tham số để tính toán bị hạn chế không thể mở rộng. Bài báo đề xuất sử dụng thuật toán tối ưu đa mục tiêu NSGA II trong tính toán giảm tổn thất công suất và xây dựng chương trình tối ưu trong phần mềm Matlab, giúp người thiết kế, vận hành chọn điểm tối ưu phù hợp với các mục tiêu khác nhau. Các tác giả sử dụng thuật toán đề xuất và chương trình đã xây dựng để tối ưu hóa hệ thống điện phân phối mẫu IEEE-16 nút với các hai mục tiêu cực tiểu tổn thất công suất và cực tiểu thiết bị sử dụng.

Từ khóa - tổn thất công suất; bù kinh tế; điểm mở tối ưu; tối ưu đa mục tiêu; đường cong Pareto.

Abstract - Reducing power loss has been one of primary missions of electricity distribution companies. In order to reduce power losses, many technical and non-technical methods have been employed. Currently, on distribution networks, two popular technical methods are load compensation and finding optimal network opening. To adopt these methods, researchers often use the PSS/ADEPT software. However, in calculation, there are some drawbacks; for example, in load compensation and optimal network opening issues, only minimal cost is taken into account while the other parameters are not. In this paper, the authors propose using the multi-objective optimal algorithm NSGA II to calculate power loss reduction, and establish an optimum program in Matlab environment. This multi-objective optimal algorithm helps network designers and operators locate optimal point corresponding to different objectives. The authors also utilize the proposed algorithm and program to optimize the IEEE-16-bus model distribution network with two objectives: minimizing power losses and minimizing necessary equipment.

Key words - power losses; load compensation; optimal network opening; multi-objective optimization; optimal algorithm NSGA II; Pareto border.

1. Đặt vấn đề

Theo Quyết định 1177/QĐ-BCT của Bộ Công thương phê duyệt Đề án Giảm tổn thất điện năng giai đoạn 2012 – 2016, mỗi năm EVN phải giảm chi tiêu tổn thất điện năng xuống 0,1% để đến năm 2016 tỷ lệ tổn thất điện năng toàn hệ thống giảm xuống còn khoảng 8,9%. Tập đoàn Điện lực Việt Nam cũng đã đề ra và được Bộ Công thương phê duyệt nhóm giải pháp về giảm tổn thất kỹ thuật cũng như tổn thất thương mại.

Hiện nay, có rất nhiều công trình nghiên cứu đề xuất các phương án giảm tổn thất điện năng trên lưới điện phân phối như đề xuất lắp các tụ bù, tìm những điểm mở tối ưu [1]. Các nghiên cứu này thường sử dụng phần mềm PSS/ADEPT [2] để xác định dung lượng bù tối ưu cũng như điểm mở. Tuy nhiên, phương pháp này cũng có nhiều hạn chế như chỉ tìm ra một điểm tối ưu, chưa thể xác định các mối quan hệ giữa điểm tối ưu này với các thông số khác, bộ tham số cố định không thể tự thêm vào để phân tích kinh tế- kỹ thuật.

Trong bài báo này nhóm nghiên cứu đề xuất sử dụng đường cong Pareto [3] cũng như thuật toán tối ưu hóa đa mục tiêu NSGA II [4] để tối ưu hóa lưới điện phân phối với nhiều mục tiêu khác nhau như cực tiểu tổn thất điện năng, cực tiểu chi phí lắp đặt, cực tiểu thiết bị sử dụng... Nhóm tác giả cũng đã xây dựng chương trình tính toán tối ưu trên phần mềm Matlab dựa vào thuật toán NSGA II cũng như thuật toán phân bố công suất Matpower [5].

Để phân tích, đánh giá tính đúng đắn và hiệu quả đạt được, nhóm tác giả đã ứng dụng thuật toán cũng như chương trình tính toán tối ưu trên lưới điện IEEE mẫu 16 nút. Bài báo

đã sử dụng đường cong Pareto để biểu diễn sự tương quan (quan hệ) giữa các hàm mục tiêu cực tiểu tổn thất công suất và cực tiểu thiết bị đầu tư (cực tiểu chi phí đầu tư).

2. Thuật toán NSGA II trong tối ưu đa mục tiêu

2.1. Bài toán đa mục tiêu

Bài toán tối ưu đa mục tiêu có thể viết như sau:

$$\begin{cases} \text{Min (or Max)} [f_{os}_i(Is, Os)] & i = 1..A \\ s \min_k \leq Is_k \leq Is \max_k (1) & k = 1..B \\ Os \min_m \leq Os_m(Is) \leq Os \max_m (2) & m = 1..C \end{cases} \quad (\text{Vd 1})$$

Với:

Min (or Max) $f_{os}_k(Is, Os)$: hệ thống A hàm mục tiêu

Is: Biến đầu vào

Os: Tham số đầu ra

(1): Không gian giá trị của biến đầu vào

(2): Ràng buộc.

$Is \min_k, Is \max_k, Is \text{value}_k, Os \min_m, Is \min_m,$

$Os \text{value}_m$: Giá trị biên cho trước

2.2. Sử dụng đường cong Pareto cho tối ưu đa mục tiêu

2.2.1. Định nghĩa về đường cong Pareto

Một hệ thống điện khi thiết kế cũng như vận hành phải tối ưu (cực đại hay cực tiểu) nhiều mục tiêu khác nhau và thỏa mãn các ràng buộc. Hàm mục tiêu này có thể cực đại về độ tin cậy, cực tiểu về chi phí tính toán hay cực tiểu về

tồn thất điện năng. Thông thường, khi một hàm mục tiêu đạt đến điểm tối ưu thì các hàm mục tiêu khác không thể tốt nhất được. Vì vậy, kết quả tối ưu đa mục tiêu không bao giờ duy nhất, mà thường là một nhóm kết quả thể hiện sự tương quan tốt nhất giữa các hàm mục tiêu. Đường cong Pareto là phương thức để biểu diễn nhóm kết quả này.

2.2.2. Mô hình toán học về đường cong Pareto

a. Định nghĩa về ưu thế

Giải pháp X chiếm ưu thế hơn giải pháp Y khi cả hai điều kiện sau cùng thỏa mãn:

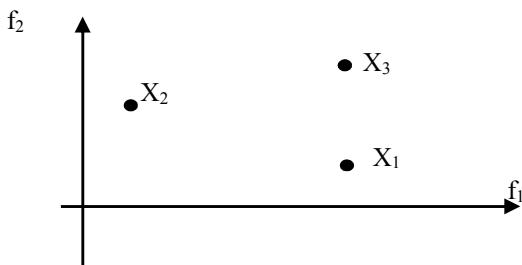
- Giải pháp X ít nhất tốt bằng giải pháp Y cho tất cả hàm mục tiêu.
- Giải pháp X có ít nhất một hàm mục tiêu tốt hơn giải pháp Y.

(lưu ý rằng, giải pháp X, Y đều phải thỏa mãn các ràng buộc được nêu ở phần 2.1)

Về mặt toán học, nếu bài toán tối ưu (Vd 1) với tất cả hàm mục tiêu là cực tiểu, nếu các kết quả X, Y đều thỏa mãn các ràng buộc, X chiếm ưu thế so với Y khi:

$$\begin{cases} \forall i \in [1, A] & f_i(X) \leq f_i(Y) \\ \exists j \in [1, A] & f_j(X) < f_j(Y) \end{cases} \quad (3)$$

Hình 1 đưa ra một ví dụ về định nghĩa ưu thế với hai hàm mục tiêu cực tiểu là f_1 và f_2 . Với 3 điểm trên không gian f_1 và f_2 , ta nhận thấy rằng các giải pháp X_1, X_2 chiếm ưu thế so với giải pháp X_3 .

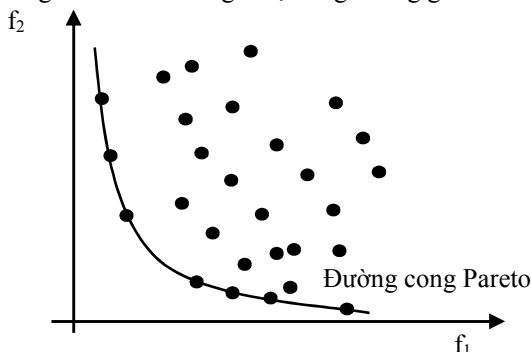


Hình 1. Ví dụ về định nghĩa ưu thế

b. Đường cong Pareto

Giải pháp X là điểm tối ưu Pareto nếu không có bất kỳ giải pháp nào chiếm ưu thế hơn giải pháp X. Tập hợp các giải pháp X gọi là đường cong tối ưu Pareto (gọi tắt là đường cong Pareto).

Hình 2 biểu diễn đường cong Pareto của hai hàm mục tiêu cực tiểu f_1 và f_2 . Trong hình vẽ các dấu ‘.’ biểu diễn những điểm có thể có giá trị trong không gian f_1 và f_2 .



Hình 2. Ví dụ về đường cong Pareto

c. Sử dụng thuật toán NSGA II trong xác định đường cong Pareto

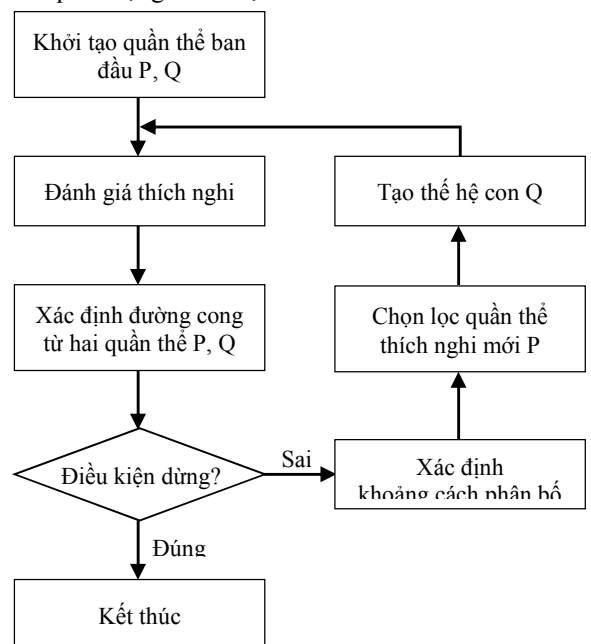
Theo các nghiên cứu hiện nay, có hai nhóm phương pháp để vẽ đường cong Pareto.

Nhóm thứ nhất là chuyển đổi bài toán tối ưu đa mục tiêu về tối ưu một mục tiêu và sử dụng các phương pháp tính toán tối ưu một mục tiêu để xác định đường cong này.

Nhóm thứ hai là xác định đường cong Pareto bằng cách sử dụng chính xác định nghĩa của nó. Độc giả có thể tham khảo chi tiết ở các công trình [6].

Trong bài báo này, các tác giả sử dụng thuật toán NSGA II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) để tính toán. Thuật toán NSGA II là phiên bản thứ 2 của thuật toán NSGA được [4] đề xuất. Thuật toán NSGA II được xây dựng trên cơ sở kết hợp 2 thuật toán: thuật toán tiến hóa để lựa chọn phát triển những điểm (hay còn gọi là cá thể) tối ưu và thuật toán phân bố đều mật độ ước lượng (distance crowding) để có phân bố hợp lý các điểm tối ưu trên đường cong Pareto.

Trong thuật toán này, có hai quần thể có kích thước không đổi được sử dụng: P là quần thể tốt nhất được chọn lọc qua các thế hệ, Q là quần thể con được sinh ra từ quần thể P bởi các quy luật di truyền (qua các phương pháp lai ghép và đột biến). Sơ đồ thuật toán được trình bày trong Hình 3. Trong bài báo này, nhóm tác giả chỉ trình bày các phần quan trọng của thuật toán.



Hình 3. Sơ đồ thuật toán NSGA II

• Xác định các đường cong ưu thế

Đầu tiên, đánh số thứ tự của các đường cong ưu thế và xác định các thể trong hai quần thể P và Q nằm trong từng đường cong. Đường cong ưu thế đầu tiên bao gồm tất cả các cá thể không bị bất kỳ cá thể khác chiếm ưu thế. Đây cũng chính là đường cong Pareto cần xác định. Đường cong thứ hai chứa tất cả các cá thể mà chỉ bị cá thể ở đường cong thứ 1 (hay còn gọi là đường cong Pareto) chiếm ưu thế.

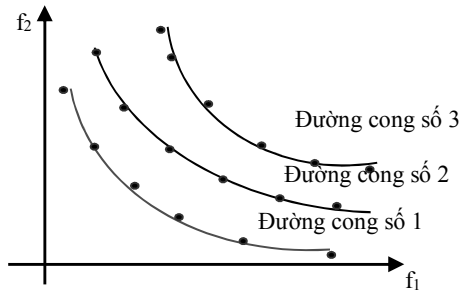
Nếu hai cá thể X và Y đều thỏa mãn các ràng buộc, điều kiện (3) được sử dụng để xác định cá thể X chiếm ưu thế

hơn cá thể Y. Nếu hai cá thể X và Y, có ít nhất 1 cá thể không thỏa mãn các ràng buộc, để xác định việc chiếm ưu thế, nhóm tác giả đã lựa chọn phương pháp do [4] đề xuất:

- ✓ Nếu X thỏa mãn các ràng buộc, Y không thỏa mãn một ràng buộc bất kỳ thì X luôn luôn chiếm ưu thế so với Y.
- ✓ Nếu cả X và Y đều không thỏa mãn một điều kiện ràng buộc nào đó, X chiếm ưu thế so với Y khi

$$\begin{cases} \forall i \in [1, A] & f_i(X1) \leq f_i(X2) \\ \exists j \in [1, A] & f_j(X1) < f_j(X2) \end{cases}$$

Hình 4 biểu diễn sự sắp xếp các cá thể trên các đường cong ưu thế với các hàm mục tiêu cực tiểu f_1, f_2 .



Hình 4. Sắp xếp các cá thể trên các đường cong ưu thế

• Xác định khoảng cách phân bố

Khoảng cách phân bố (distance crowding) cho phép xác định mật độ các cá thể trong một quần thể. Thuật toán xác định khoảng cách phân bố được tính như Hình 5. Vì vậy, khoảng cách phân bố (distance crowding) đại diện cho ước lượng khoảng cách của cá thể X_i với những cá thể xung quanh nó. Cá thể càng nằm cách xa các cá thể khác thì có giá trị khoảng cách $D(X_i)$ càng lớn.

• Lựa chọn quần thể thích nghi mới P

Trong thuật toán tiến hóa, việc chọn lựa các cá thể để tiếp tục lai ghép đóng vai trò quan trọng. Trong giải thuật NSGA II, phép chọn lựa được thực hiện theo nguyên tắc như sau:

- ✓ Những cá thể nằm trên đường cong ưu thế có số thứ tự nhỏ thì tốt hơn các cá thể nằm trên đường cong ưu thế có số thứ tự lớn hơn.

Đối với mỗi đường cong ưu thế Fr_a ($a = 1 \dots$ số lượng đường cong ưu thế)

- ❖ L = số lượng cá thể trên đường cong Fr_a ;
- ❖ Với mọi cá thể X_i nằm trên đường cong ưu thế Fr_a , ta đặt: $D(X_i) = 0$;

- ❖ Đối với từng hàm mục tiêu j ($j = 1 \dots A$)
 - Sắp xếp L cá thể trên đường cong ưu thế Fr_a theo giá trị của hàm mục tiêu f_j theo thứ tự tăng dần;
 - Đặt $D(X_1) = D(X_L) = \infty$;
 - Đối với từng cá thể i ($i = 2 \dots L$), tính giá trị khoảng cách phân bố theo công thức sau:

$$D(X_i) = D(X_i) + \frac{f_j(X_{i+1}) - f_j(X_{i-1})}{f_j(X_L) - f_j(X_1)}$$

Hình 5. Thuật toán xác định khoảng cách phân bố

- ✓ Nếu hai cá thể cùng nằm trên một đường cong ưu thế, thì cá thể nào có khoảng cách phân bố nhỏ thì tốt hơn.

Phương pháp chọn lựa này cho phép giữ lại những cá thể tốt nhất qua nhiều thế hệ tiến hóa, đồng thời giúp phân phối đều các cá thể trên đường cong Pareto.

3. Xây dựng chương trình để tính toán tối ưu

Hiện nay, có nhiều phần mềm để tính toán tối ưu vận hành hệ thống điện phân phối, PSS/ADEPT [2] là một ví dụ. Phần mềm này cho phép giải 2 bài toán tối ưu như sau:

- Bài toán TOPO (Tie Open Point Optimization) phân tích điểm mở tối ưu: tìm ra những điểm có tổn thất nhỏ nhất trên lưới và đó là chính là điểm mở lưới trong mạng vòng 3 pha.

- Bài toán CAPO (Optimal Capacitor Placement) đặt tụ bù tối ưu: tìm ra những điểm tối ưu để đặt các bộ tụ bù cố định và tụ bù ứng động sao cho tổn thất công suất trên lưới là thấp nhất.

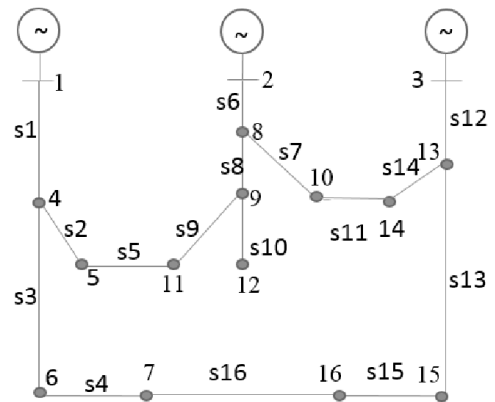
Đối với các phần mềm này, việc phân tích các bài toán đa mục tiêu không thể giải được. Trong khi đó, trong tính toán thiết kế cũng như vận hành, các bài toán tối ưu đa mục tiêu cần được sử dụng. Vì vậy, nhóm tác giả đề xuất xây dựng chương trình tối ưu đa mục tiêu trên phần mềm Matlab.

Phần mềm tính toán tối ưu gồm có hai phần:

- Phần tính toán phân bố công suất: nhóm tác giả sử dụng module Matpower tích hợp trong Matlab do [5] đề xuất.
- Các thuật toán tối ưu: Các thuật toán tối ưu (ở đây là thuật toán NSGA II) được xây dựng trong Matlab.

4. Ứng dụng tính toán tối ưu trong lưới điện phân phối

Các tác giả ứng dụng thuật toán và chương trình đã xây dựng để tối ưu hóa vận hành mạng điện [8]. Mạng điện tiêu chuẩn IEEE 16 nút gồm 3 nút nguồn và 13 nút phụ tải, điện áp định mức 11kV, tổng công suất phụ tải là 28,7 MW (Hình 6) được sử dụng. Tham số đường dây cũng như phụ tải được trình bày trong Bảng 1 [8].



Hình 6. Lưới điện IEEE mẫu 16 nút [8]

Bảng 1. Tham số mạng điện IEEE mẫu 16 nút [8]

Đường dây từ nút đến nút	Điện trở (pu)	Điện kháng (pu)	Công suất tác dụng tại nút cuối đường dây (MW)	Công suất phản kháng tại nút cuối đường dây (MVar)	Tụ bù cố định tại nút cuối đường dây (MVar)
1-4	0,075	0,10	2,0	1,6	1,1
4-5	0,08	0,11	3,0	1,5	1,2
4-6	0,09	0,18	2,0	0,8	
6-7	0,04	0,04	1,5	0,2	
2-8	0,11	0,11	4,0	2,7	
8-9	0,08	0,11	5,0	3,0	1,2

8-10	0,11	0,11	1,0	0,9	
9-11	0,11	0,11	0,6	0,1	0,6
9-12	0,08	0,11	4,5	2,0	3,7
3-13	0,11	0,11	1,0	0,9	
13-14	0,09	0,12	1,0	0,7	1,8
13-15	0,08	0,11	1,0	0,9	
15-16	0,04	0,04	2,1	1,0	1,8
5-11	0,04	0,04			
10-14	0,04	0,04			
7-6	0,12	0,12			

Bài toán tối ưu hóa vận hành của mạng điện IEEE mẫu 16 nút được nghiên cứu nhiều trong cũng như ngoài nước, đơn cử như [8], [9], [10], tuy nhiên mới dừng lại với một mục tiêu giảm tổn thất công suất khi lắp đặt tụ bù hoặc tìm điểm mở tối ưu. Như đã trình bày ở trên, nhóm tác giả xây dựng các bài toán tối ưu đa mục tiêu trong vấn đề vận hành tối ưu này:

- Tìm điểm mở tối ưu: Theo nguyên tắc, khi càng nhiều điểm mở thì tổn thất công suất sẽ càng giảm (độ tin cậy cung cấp điện cũng sẽ giảm đi). Trong bài toán này, nhóm tác giả xác định đường cong Pareto biểu diễn sự tương quan giữa số điểm mở tối ưu và tổn thất công suất trong mạng điện.

- Bù kinh tế công suất phản kháng: Khi thực hiện bù kinh tế công suất phản kháng, tổn thất công suất sẽ giảm. Nhóm tác giả nghiên cứu sự tương quan giữa công suất phản kháng cần bù và lượng tổn thất công suất trong mạng điện.

4.1. Bài toán 1

Xác định các điểm mở trong mạng điện phân phối đã cho với bài toán tối ưu đa mục tiêu được định nghĩa như sau:

- Biến: Tìm $x = \{x_i\}$ ($i = 1 \dots N_o$) là vị trí các điểm mở (N_o : số lượng các điểm mở).

- Hàm mục tiêu: cực tiểu số điểm mở và cực tiểu tổn thất công suất trong mạng điện được xác định như sau:

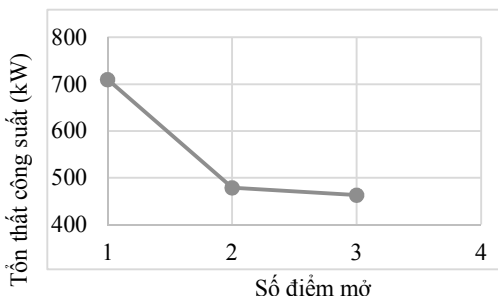
- Min $f_1(x) = N_o$
- Min $f_2(x) = \sum \Delta P_j = \sum \frac{P_j^2 + Q_j^2}{U_{dm}^2}$

Với ΔP_j : Tổn thất công suất trên đường dây thứ j.

- Ràng buộc: Các điều kiện ràng buộc sau đây phải được thỏa mãn [8]:

- Đảm bảo cung cấp điện cho các phụ tải;
- Điện áp tại các nút phải nằm trong giới hạn cho phép ($0,9 - 1,1$ pu)
 $0,9 \leq U_i \leq 1,1$ (U_i : điện áp tại nút i, $i = 1 \dots 16$);

Sử dụng thuật toán và chương trình đã được xây dựng, kết quả thu được như Hình 7.



Hình 7. Đường cong Pareto biểu diễn kết quả tối ưu hai mục tiêu cực tiểu về tổn thất công suất và số điểm mở

Theo Hình 7, ta có những nhận xét sau:

- Để cực tiểu tổn thất công suất trên mạng điện, ta cần sử dụng 3 điểm mở. Điều này phù hợp với nhiều nghiên cứu đã có trong và ngoài nước (xem Bảng 2).

Bảng 2. Tổng hợp các nghiên cứu về tìm điểm mở tối ưu

Phương pháp	Khóa mở	Tổn thất công suất (kW)
Mạng điện nguyên trạng [8]	s5, s11, s16	511,4
Các nghiên cứu hiện nay [8]	s7, s9, s16	469,4
NSGAII	s7, s8, s16	462,9

Như vậy, để tính toán điểm tối ưu, thuật toán NSGAII và chương trình tối ưu sử dụng cho kết quả phù hợp với các nghiên cứu hiện nay. NSGAII cho kết quả tốt hơn nhưng không đáng kể.

- Ngoài ra, thuật toán NSGA II còn cho biết thêm một số thông tin như sau: 3 điểm mở sẽ đạt được tối ưu về tổn thất công suất. Tuy nhiên, lợi thế về tổn thất công suất này so với 2 điểm mở không nhiều lắm (15,7 kW). Tùy thuộc vào kinh phí lắp đặt để mở điểm mở (thiết bị, chi phí lắp đặt, vận hành...), công ty vận hành sẽ quyết định nên đầu tư 3 hay 2 điểm mở.

Bảng 3. Tổng hợp các thông tin trên đường cong Pareto

Số điểm mở	Khóa mở	Tổn thất công suất (kW)
1	s6	710,9
2	s7, s8	478,6
3	s7,s8,s16	462,9

4.2. Bài toán 2

Bù kinh tế mạng điện đã cho với các định nghĩa như sau:

- Biến: Tìm $Q_b = \{Q_{b_i}\}$ ($i = 1 \dots 16$) là dung lượng cần bù tại các nút.

- Hàm mục tiêu: cực tiểu về công suất phản kháng cần bù và cực tiểu tổn thất công suất được xác định như sau:

- Min $f_1(x) = \sum Q_{b_i}$ ($i = 1 \dots 16$)
- Min $f_2(x) = \sum \Delta P_j = \sum \frac{P_j^2 + Q_j^2}{U_{dm}^2}$

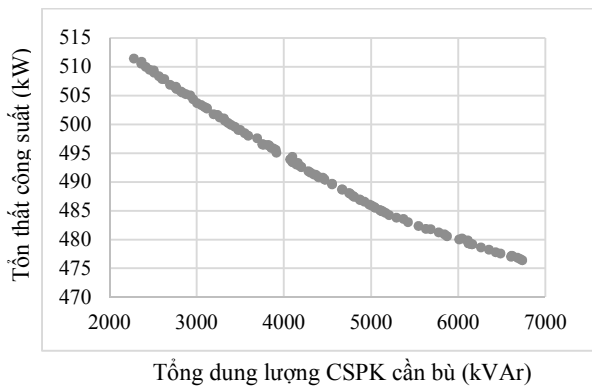
Với ΔP_j : Tổn thất công suất trên đường dây thứ j.

- Ràng buộc: Các điều kiện ràng buộc sau đây phải được thỏa mãn [8]:

- Đảm bảo cung cấp điện cho các phụ tải;
- Điện áp tại các nút phải nằm trong giới hạn cho phép ($0,9 - 1,1$ pu)
 $0,9 \leq U_i \leq 1,1$ (U_i : điện áp tại nút i, $i = 1 \dots 16$);

Sử dụng thuật toán và chương trình đã được xây dựng, kết quả thu được như Hình 8.

Đường cong Pareto trên Hình 8 thể hiện quan hệ chặt chẽ giữa việc giảm tổn thất công suất và dung lượng bù được lắp đặt trên lưới điện. Dung lượng bù càng tăng thì tổn thất công suất sẽ giảm và đến một giới hạn (6735 kVAr) thì việc bù không làm cho công suất phản kháng trên lưới giảm hơn nữa (tổn thất công suất không thể nhỏ hơn 476 kW). Tại mỗi điểm của đường cong Pareto, chương trình cũng cho biết giá trị công suất phản kháng cần bù tại từng nút.



Hình 8. Đường cong Pareto biểu diễn kết quả tối ưu hai mục tiêu cực tiểu về tổn thất công suất và cực tiểu về dung lượng bù

5. Kết luận

Giảm tổn thất điện năng là một trong những nhiệm vụ quan trọng của ngành Điện Việt Nam. Bài báo đã nghiên cứu ứng dụng giải thuật NSGA II trong bài toán giảm tổn thất công suất trên lưới điện phân phối. Mục tiêu chính của nghiên cứu là tìm hiểu mối tương quan giữa giảm tổn thất công suất với yêu cầu đầu tư trang thiết bị để giảm tổn thất này. Từ kết quả nghiên cứu cho thấy, có thể biểu diễn các mối quan hệ giữa các hàm mục tiêu khác nhau thông qua đường cong Pareto. Dựa vào đường cong này, các công ty, doanh nghiệp sẽ lựa chọn phương án đầu tư cho phù hợp. Vì vậy, giải thuật đề xuất có thể hoàn toàn ứng dụng trong các bài toán giảm tổn thất điện năng trên lưới điện phân phối thực tế.

Ngoài ra, với phần mềm mở, các hàm mục tiêu khác nhau cũng có thể nghiên cứu. Trong tương lai gần, nhóm tác giả tiếp tục phát triển chi tiết hàm mục tiêu hơn, xây dựng mô hình tính toán tổn thất điện năng dựa vào các biểu đồ phụ tải cũng như chi phí đầu tư, lắp đặt và vận hành các thiết bị. Từ mô hình chi tiết này, việc tìm ra các mối quan

hệ giữa các mục tiêu cực tiểu tổn thất điện năng nhưng cực tiểu chi phí sẽ giúp ích nhiều cho ngành điện trong tính toán phương án giảm tổn thất điện năng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Văn Minh Trí (2013), Nghiên cứu và đề xuất giải pháp để vận hành tối ưu lưới điện của quận Cẩm Lệ – TP Đà Nẵng, luận văn Thạc sĩ, Đại học Đà Nẵng, 2013.
- [2] Nguyễn Hữu Phúc, Đặng Anh Tuấn (2007), Sử dụng phần mềm phân tích và tính toán lưới điện PSS/ADEPT
- [3] N. Srinivas, K. Deb (1994), Multi-Objective function optimization using the non-dominated sorting genetic algorithm, *Evolutionary Computation*, vol. 2, n°3, pp.221-248.
- [4] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, T. Meyarivan (2002), A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II, *IEEE Trans. Evol. Computation*, 6(2):182-197.
- [5] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sánchez, and R. J. Thomas (2011), MATPOWER: Steady-State Operations, Planning and Analysis Tools for Power Systems Research and Education, *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 26, no. 1, pp. 12-19, Feb.
- [6] B. Sareni, J. Reginer, X. Roboam (2003), *Recombination and Self-Adaptation in Multi-Objective Genetic Algorithms*, 6th International Conference on Artificial Evolution, Marseille.
- [7] Trần Vinh Tịnh (2001), *Áp dụng các phương pháp tối ưu hóa nhằm nâng cao hiệu quả kinh tế vận hành hệ thống cung cấp điện*, Trường Đại học Bách khoa- Đại học Đà Nẵng.
- [8] R. Srinivasa Rao, S.V.L. Narasimham, M. Ramalingaraju (2008), Optimization of Distribution Network Configuration for Loss Reduction Using Artificial Bee Colony Algorithm, *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering* Vol:2, No:9.
- [9] Trương Quang Đăng Khoa, Phan Thị Thanh Bình, Nguyễn Minh Hiếu (2007), Tái cấu trúc lưới phân phối 3 pha để giảm tổn thất điện năng bằng các giải thuật meta-heuristic, *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ*, tập 10, số 02-2007.
- [10] Tamer M. Khalil, Alexander V. Gorpínich, (2012), Reconfiguration for Loss Reduction of Distribution Systems Using Selective Particle Swarm Optimization, *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*, vol.3, no.6.

(BBT nhận bài: 13/10/2015, phản biện xong: 04/11/2015)