

Phát triển công cụ tính toán bù công suất phản kháng tối ưu đa mục tiêu trong lưới điện phân phối

Developemeten Calculation Tool for Multi-Objectivein Economic Compensation in Electrical Distribution Network

Lê Đức Tùng¹, Nguyễn Hữu Hiếu^{2*}, Văn Ngọc Thắng², Phạm Quý Nin²

¹Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

²Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng

Đến Tòa soạn: 27-12-2017; chấp nhận đăng: 28-03-2018

Abstract

The power loss reduction has been one of the primary missions of electricity distribution companies. Currently, on distribution network, there are two technical methods which are employed to reduce power losses: load compensation and optimal network opening. In this paper, the authors proposed multi-objective optimal algorithm allows evaluating the effectiveness of the solutions to the different conditions. This algorithm is established in the Matlab environment. This tool is used to modeling and calculation the distribution network IEEE-16 buses with two objectives: minimum calculating cost when installing, operating capacitor and maximum amount of money gained from reduction of power losses when installing capacitor. The results have demonstrated the validity and feasibility of the proposed method.

Keywords: Power losses, load compensation, multi-objectives optimization, and Pareto front.

Tóm tắt

Giảm tổn thất công suất trên lưới điện phân phối là vấn đề được quan tâm hàng đầu trong công tác vận hành hệ thống điện. Hai giải pháp kỹ thuật chính được sử dụng là bù công suất phản kháng và xây dựng phương án vận hành tối ưu lưới. Trong nội dung của bài báo này, tác giả đề xuất sử dụng thuật toán tối ưu đa mục tiêu cho bài toán bù công suất phản kháng, cho phép đánh giá hiệu quả của các giải pháp ứng với mục tiêu, điều kiện cụ thể. Thuật toán đề xuất được xây dựng thành một công cụ tính toán trên nền phần mềm Matlab. Công cụ tính toán được sử dụng để mô phỏng lưới điện mẫu IEEE-16 nút với hai mục tiêu chính: Cực tiểu chi phí sử dụng thiết bị bù và cực đại lợi nhuận thu được từ việc giảm tổn thất công suất. Các kết quả tính toán đã minh chứng cho tính đúng đắn và khả thi của phương pháp được đề xuất.

Từ khóa: Tổn thất công suất, bù công suất phản kháng, tối ưu đa mục tiêu, đường cong Pareto

1. Tổng quan

Phân phối điện là khâu cuối cùng của hệ thống điện để đưa điện năng trực tiếp đến người tiêu dùng. Lưới điện phân phối bao gồm lưới điện trung áp (6, 10, 22 kV) và lưới điện hạ áp (220/380 kV). Theo đề án Giảm tổn thất điện năng giai đoạn 2016 – 2020, tổn thất điện năng từ mức hơn 8% năm 2015, EVN cho biết mục tiêu giảm tổn thất điện năng đến năm 2020 là 6,5%. Theo tính toán của EVN, từ nay đến năm 2020 mỗi năm cần đầu tư 7,9 tỷ USD, trong đó 25% vốn đầu tư cho giảm tổn thất điện năng trên lưới điện.

Các chương trình điện nông thôn của Chính phủ sẽ tiếp tục đẩy mạnh phát triển lưới điện phân phối, đảm bảo 100% số xã huyện được cấp điện. Cùng với tổng sơ đồ quy hoạch phát triển điện lực phê duyệt kế hoạch cải tạo và phát triển lưới điện trung áp. Khối

lượng lưới điện phân phối dự kiến xây dựng đến năm 2020 sẽ bao gồm hơn 120.000km đường dây trung áp, gần 85.000 MVA trạm phân phối và gần 93.000 km đường dây hạ áp. Với quy mô ngày càng mở rộng, lưới điện phân phối sẽ đối mặt với vấn đề lớn về tổn thất điện năng.

Việc nghiên cứu, áp dụng các giải pháp mới để giảm tỷ lệ tổn thất điện năng xuống mức hợp lý đã, đang và sẽ là mục tiêu lớn của ngành Điện. Tỷ lệ tổn thất điện năng phụ thuộc vào đặc tính của mạch điện, lượng điện truyền tải, khả năng cung cấp của hệ thống và công tác quản lý vận hành hệ thống điện.

Các nghiên cứu chỉ ra có rất nhiều các phương pháp để giảm tổn thất điện năng trên lưới điện phân phối. Một giải pháp thường dùng và đã minh chứng được hiệu quả là sử dụng các thiết bị tụ điện đặt song song với đường dây để bù công suất phản kháng [1], [2], [3]. Nhờ vậy dòng công suất phản kháng trên đường dây giảm đi và dẫn đến giảm tổn thất công suất. Việc xác định vị trí và dung lượng bù công suất

* Địa chỉ liên hệ: Tel: (+84) 917976589
Email: nhhieud@dut.udn.vn

phản kháng trên lưới điện phân phối đã được thực hiện bởi rất nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước. Hiện nay, EVN đang sử dụng phần mềm tính toán PSS/ADEPT ứng dụng cho vận hành tối ưu lưới điện phân phối. Phần mềm PSS/ADEPT mới chỉ xét đến một mục tiêu là lợi nhuận kinh tế và kết quả tính toán chỉ đưa ra một phương án tối ưu cho bài toán bù công suất phản kháng [4]. Trong khi đó, trong tính toán thiết kế cũng như vận hành, các bài toán tối ưu đa mục tiêu cần được sử dụng, đơn cử như việc tìm ra các mối quan hệ giữa các mục tiêu cực tiểu tổn thất điện năng và cực tiểu chi phí sẽ giúp ích nhiều cho ngành điện trong thực tế tính toán các phương án để giảm tổn thất điện năng.

Trong nội dung bài báo, tác giả đề xuất sử dụng đường cong tối ưu Pareto cũng như sử dụng hàm tối ưu đa mục tiêu trên cơ sở lý thuyết thuật toán tối ưu hóa NSGA II để tối ưu lưới điện phân phối với nhiều mục tiêu khác nhau. Công cụ tính toán được xây dựng trên nền phần mềm Matlab, có khả năng tính toán cho hai hàm mục tiêu quan trọng là cực tiểu về chi phí đầu tư, vận hành thiết bị bù và cực đại về hiệu quả kinh tế thu được khi lắp đặt thiết bị bù [5], [6], [7].

Trong phần hai của bài báo, tác giả sẽ giới thiệu bài toán bù công suất phản kháng đa mục tiêu, đề xuất phương pháp giải. Sơ đồ và phương pháp tính sẽ tích hợp trong một công cụ tính toán, trình bày cụ thể trong phần ba. Kết quả tính toán với lưới điện IEEE-16 nút được trình bày trong phần bốn sẽ minh chứng được hiệu quả và tính khả quan của phương pháp được đề xuất.

2. Các hàm mục tiêu cho bài toán bù công suất phản kháng

Trong nội dung của bài toán bù công suất phản kháng, tác giả quan tâm đến hai hàm mục tiêu Z_1 và Z_2 như sau:

Z_1 : chi phí đầu tư, vận hành khi lắp đặt tụ bù

$$Z_1 = Q_c \cdot (K_{lm} + Ne \cdot K_{vh})$$

Z_2 : số tiền lợi thu được do giảm tổn thất công suất khi lắp đặt tụ bù

$$Z_2 = Ne \int_0^T (c_p \cdot \delta P + c_Q \cdot \delta Q) dt$$

Trong đó:

K_{lm} : chi phí lắp đặt tụ mới ($K_{lm} = 211130$ đ/kVar)

Q_c : dung lượng bù cần lắp mới (kVAr)

K_{vh} : chi phí vận hành, bảo dưỡng tụ bù ($K_{vh} = 3\% \cdot K_{lm} = 6334$ đ/kVar/năm)

N_e : đại lượng thời gian tương đương

$$Ne = \sum_{n=1}^N \left(\frac{1+i}{1+r} \right)^n$$

Với:

N : thời gian hoàn vốn (Thông thường: $N = 8$ năm)

i : tỷ số lạm phát (Thông thường: $i = 0,05$)

r : tỉ số trượt giá (Thông thường $r = 0,12$)

δP : lượng tổn thất công suất tác dụng giảm được khi bù (kW)

δQ : lượng tổn thất công suất phản kháng giảm được khi bù (kVAr)

c_p : giá tiền cho 1 đơn vị tổn thất công suất tác dụng (Thông thường chọn $c_p = 1958$ đ/kWh)

c_Q : giá tiền cho 1 đơn vị tổn thất công suất phản kháng (hiện tại EVN không tính giá trị này, nên $c_Q = 0$ đ/kVArh)

Như vậy hàm mục tiêu Z_2 có thể viết dưới dạng:

$$Z_2 = Ne \int_0^T c_p \cdot \delta P dt = Ne \cdot c_p \cdot \int_0^T \delta P dt$$

Đi kèm với hai hàm mục tiêu này, tác giả cũng hướng đến việc tính toán các điều kiện ràng buộc khác nhằm mục đích đảm bảo cho hệ thống vận hành theo tiêu chuẩn kỹ thuật.

- Điện áp tại các nút phải nằm trong giới hạn cho phép:

$$U_{\min} \leq U_i \leq U_{\max} \text{ hay } 0,9 \leq U_i \leq 1,1$$

- Dòng điện trên các nhánh của đường dây đảm bảo điều kiện phát nóng: $I \leq I_{cp}$

Giải quyết được bài toán tối ưu đa mục tiêu giúp cho người thiết kế, vận hành lưới điện đạt được các mục tiêu nhất định:

- Đáp ứng được những yêu cầu, chỉ tiêu khác nhau, thuận lợi trong tính toán thực tế với lưới điện hiện nay.

- Tối ưu hóa đa mục tiêu giúp người thiết kế, vận hành, nhà đầu tư chọn được điểm làm việc tối ưu phù hợp với các mục tiêu khác nhau cũng như phù hợp cho việc triển khai, lên kế hoạch cho các phương án giảm tổn thất điện năng.

- Từ bài toán tối ưu đa mục tiêu, việc tìm ra các mối quan hệ giữa các mục tiêu như cực tiểu tổn thất điện năng, tối đa hóa lợi nhuận kinh tế, cực tiểu chi phí đầu tư sẽ giúp ích nhiều cho ngành điện trong tính toán phương án giảm tổn thất điện năng cũng như công tác tái cấu trúc lưới điện phân phối.

- Từ kết quả của bài toán tối ưu đa mục tiêu, người thiết kế và vận hành sẽ có được một cái nhìn tổng quan về những phương án tối ưu với các hàm mục tiêu quan tâm khác nhau.

3. Phương pháp đường cong Pareto và giải thuật NSGA II

3.1 Đường cong Pareto cho bài toán tối ưu đa mục tiêu

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 tổn 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.

Do đó, 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 [5].

3.1.1 Định nghĩa về ưu thế của các giải pháp

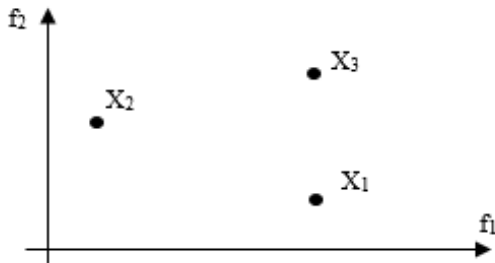
Giải pháp X được coi là chiếm ưu thế hơn giải pháp Y khi cả hai điều kiện sau cùng thỏa mãn:

- 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.

Về mặt toán học, nếu bài toán tối ưu 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:

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

Hình 1 đưa ra một ví dụ về định nghĩa ưu thế với hai hàm mục tiêu cực tiểu là f1 và f2. Với 3 điểm trên không gian f1 và f2, ta nhận thấy rằng các giải pháp X1, X2 chiếm ưu thế so với giải pháp X3.

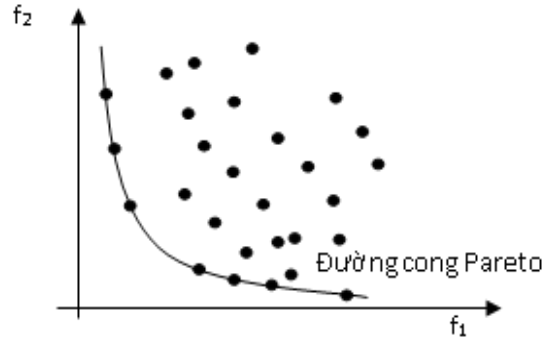


Hình 1. Ví dụ về định nghĩa ưu thế

3.1.2 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 f1 và f2. Trong hình vẽ các dấu ‘●’ biểu diễn những điểm có giá trị trong không gian f1 và f2.



Hình 2. Ví dụ về đường cong Pareto

3.2 Giải thuật NSGA II

Thuật toán di truyền sắp xếp không thống trị (NSGA II) là phiên bản cải tiến của thuật toán NSGA, thuật toán đã hạn chế được những nhược điểm của thuật toán NSGA trước đây như: độ phức tạp cao trong tính toán của các phân loại không thống trị, tính thiếu ưu tú và cần xác định các tham số chia sẻ. Thuật toán (NSGA-II) được biết như là một kỹ thuật hiệu quả để tìm kiếm tập hợp tối ưu Pareto trong bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu chung. NSGA-II là một thuật toán có thể hội tụ nhanh chóng về mặt trước Pareto. NSGA-II đã được đề xuất bởi Deb và được mô tả như sau:

Ban đầu, một số cha mẹ ngẫu nhiên Po được tạo ra. Dân số được sắp xếp dựa trên tính không thống trị. Mỗi giải pháp đều được gán một ưu tú (hoặc cấp bậc) bằng với mức không thống trị của nó (1 là mức tốt nhất, 2 là mức tốt nhất tiếp theo, và như vậy). Vì vậy, giảm thiểu ưu tú là giả định. Lúc đầu, việc lựa chọn giải pháp nhị phân, tái tổ hợp, đột biến và vận hành bình thường được sử dụng để tạo ra một quần thể con Qo kích thước N. Trước đây nondominated tìm thấy, các thủ tục là đối tác khác nhau sau khi thế hệ đầu tiên. Trong phạm vi nội dung của bài báo, các tác giả đã ứng dụng hàm tối ưu đa mục tiêu dựa trên cơ sở lý thuyết từ thuật toán NSGA II được tích hợp trong Global Optimization Toolbox của phần mềm Matlab [6].

3.3 Xây dựng công cụ tính toán bù tối ưu cho lưới điện phân phối

Đa mục tiêu trong phạm vi bài báo này thực chất là hai mục tiêu cụ thể:

Mục tiêu thứ nhất là: $Z_1 \rightarrow \text{Min}$

Mục tiêu thứ hai là: $Z_2 \rightarrow \text{Max}$

Mục tiêu thứ hai cũng có thể đưa về dạng cực tiểu:

$$\text{Max}(Z_2) \Leftrightarrow \text{Min}(-Z_2)$$

Biến của hai hàm là vị trí và dung lượng bù công suất phản kháng tương ứng.

Điều kiện ràng buộc của bài toán tối ưu:

- Điện áp tại các nút phải nằm trong giới hạn cho phép:

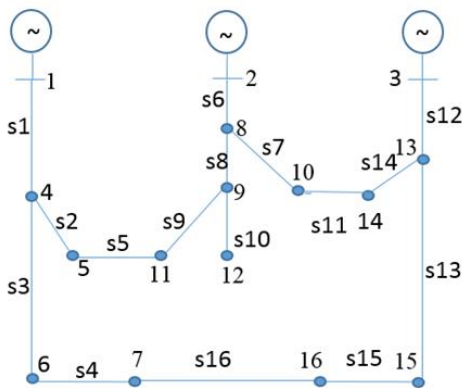
$$U_{\text{imin}} \leq U_i \leq U_{\text{imax}} \text{ hay } 0,9 \leq U_i \leq 1,1$$

- Dòng điện trên các nhánh của đường dây đảm bảo điều kiện phát nóng: $I \leq I_{\text{cp}}$

Công cụ tính toán được xây dựng dựa trên các phần mềm tính toán thông dụng. Sơ đồ lưới điện phân phối được xây dựng trong phần mềm PSS/ADEPT, kết quả phân bố công suất được đưa ra file định dạng MS Excel. Kết quả từ file Excel là đầu vào của công cụ tính toán chính trên phần mềm Matlab, gồm hai phần chính: Phần tính toán phân bố công suất Matpower và phần tối ưu đa mục tiêu. Tập hợp các phương án được biểu diễn trên đường cong Pareto. Mỗi điểm trên đường cong (tương ứng là một phương án) trên đường cong Pareto ta biết được giá trị của 2 hàm mục tiêu kinh tế Z_1, Z_2 cũng như các giá trị về tổn thất công suất, dung lượng công suất phản kháng cần bù tại từng nút phụ tải.

4. Áp dụng tính toán cho lưới điện IEEE-16 nút

Mạng điện 3 nguồn tiêu chuẩn được dùng để kiểm tra giải thuật, gồm có 3 nút nguồn và 13 nút phụ tải, điện áp 11kV, tổng công suất phụ tải là 28,7 MW. Để thực hiện tính tối ưu hóa việc lắp tụ bù cho lưới điện mẫu IEEE 16 nút (hình 3) [7].



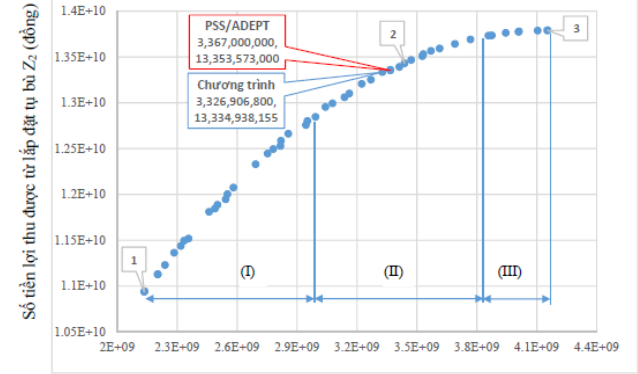
Hình 3. Lưới điện IEEE mẫu 16 nút

Với ví dụ chuẩn được đề xuất, tác giả sẽ thực hiện tính toán bù tối ưu cho lưới điện mẫu IEEE 16 nút trên cả 2 chương trình là bài toán CAPO của phần mềm PSS/ADEPT và công cụ tính toán đã xây dựng,

để từ đó có được những so sánh, đánh giá, minh chứng cho phương pháp mới.

Quan sát đồ thị ta thấy, công cụ tính toán dựa trên phương pháp đề xuất cho ta một tập hợp các kết quả phương án bù kinh tế tối ưu cho lưới điện, trong khi công cụ CAPO trong PSS/ADEPT chỉ đưa ra một phương án tối ưu duy nhất (ô vuông đỏ ở phía trên).

Thực hiện so sánh phương án tối ưu của công cụ do nhóm tác giả xây dựng (ô vuông xanh) và phương án tối ưu từ phần mềm PSS/ADEPT (ô vuông đỏ) cho ta kết quả cụ thể như ở bảng 1.



Chi phí đầu tư lắp đặt, vận hành tụ bù Z_1 (đồng)

Hình 4. Đường cong Pareto biểu diễn kết quả tối ưu hai mục tiêu cực tiểu về chi phí đầu tư Z_1 và cực đại về lợi nhuận thu được Z_2 khi lắp đặt tụ bù

Phương án tối ưu ở phần mềm tính toán PSS/ADEPT và phương án tối ưu của chương trình đề xuất có sự sai lệch, nhưng không đáng kể (sai khác 0.21%). Nguyên nhân của sự sai khác này có thể đến từ các sai số trong tính toán của cả hai chương trình.

Bảng 1. So sánh kết quả tính toán của công cụ được xây dựng và phần mềm PSS/ADEPT

Phương án	Phương án tối ưu của chương trình đề xuất (ô vuông xanh)	PSS/ADEPT (ô vuông đỏ)
Lượng bù (MVar)	13,4	13,5
Tổn thất công suất trước bù (kW)	541	541
Tổn thất công suất sau bù (kW)	412,3	412
Số tiền lợi nhuận thu được Z_2 (tỷ đồng)	13,335	13,353
Chi phí lắp đặt Z_1 (tỷ đồng)	3,327	3,367
Số tiền tiết kiệm ($Z_2 - Z_1$) (tỷ đồng)	10,008	9,986

Từ đồ thị cũng thấy rằng, công cụ tính toán do tác giả đề xuất cho một tập hợp các kết quả biểu diễn trên đường cong Pareto. Đường cong Pareto biểu diễn trên hình 4 thể hiện mối tương quan chặt chẽ giữa chi phí đầu tư khi lắp đặt, vận hành thiết bị bù là nhỏ nhất (trục hoành) và tối đa hóa số tiền lợi nhuận thu được từ việc

lắp đặt thiết bị bù trên lưới điện (trục tung). Chi phí đầu tư cho thiết bị bù càng tăng thì lợi nhuận thu được từ việc giảm tổn thất công suất sẽ càng tăng. Tại mỗi điểm của đường cong Pareto, ngoài hai giá trị kinh tế Z_1, Z_2 chương trình cũng cho biết giá trị công suất phản kháng cần bù tại từng nút cũng như các giá trị tổn thất công suất ứng với từng phương án bù (mỗi điểm trên đường cong Pareto ứng với mỗi phương án bù).

Bảng 2. Ví dụ kết quả ba phương án bù 1, 2, 3 trên đồ thị

Kết quả	Phương án 1		Phương án 2		Phương án 3	
Vị trí bù (MVar)	nút 1	0	nút 1	0	nút 1	0
	nút 2	0	nút 2	0	nút 2	0
	nút 3	0	nút 3	0	nút 3	0
	nút 4	0,8	nút 4	1,1	nút 4	1,7
	nút 5	0,5	nút 5	0,8	nút 5	1,1
	nút 6	0	nút 6	0,2	nút 6	0,7
	nút 7	0	nút 7	0,5	nút 7	0,6
	nút 8	0,2	nút 8	1,8	nút 8	2,2
	nút 9	1,6	nút 9	3	nút 9	3,2
	nút 10	1,2	nút 10	1,4	nút 10	1,5
	nút 11	0,2	nút 11	0,3	nút 11	0,5
	nút 12	2,7	nút 12	2,3	nút 12	2,2
	nút 13	0,3	nút 13	0,5	nút 13	0,6
	nút 14	0	nút 14	0,2	nút 14	0,5
	nút 15	0,7	nút 15	0,3	nút 15	1
	nút 16	0,3	nút 16	0,7	nút 16	0,8
	$\Sigma = 8,5$		$\Sigma = 13,7$		$\Sigma = 16,6$	
Tổn thất công suất sau bù (kW)	435,9		411,7		408,1	
Chi phí lắp đặt Z_1 (tỷ đồng)	2,135		3,438		4,154	
Số tiền lợi thu được Z_2 (tỷ đồng)	10,937		13,431		13,791	
Số tiền tiết kiệm $Z_2 - Z_1$ (tỷ đồng)	8,802		9,993		9,637	

Mặt khác, có thể thấy rằng, khi tăng chi phí đầu tư lắp đặt tụ bù thì số tiền lợi thu được do giảm tổn thất công suất sẽ tăng lên và đến một giới hạn ($Z_1 = 3.8$ tỷ đồng) thì việc đầu tư không làm cho số tiền được lợi từ giảm tổn thất công suất tăng lên nữa và đồng thời cũng làm số tiền tiết kiệm ($Z_2 - Z_1$) giảm đi do tăng chi phí đầu tư.

- Qua đồ thị hình 4, ta nhận thấy, vùng tương quan số (I) và (II) là vùng khi đầu tư lắp đặt, vận hành tụ bù thì số tiền được lợi từ việc đầu tư sẽ tăng cao, đồng nghĩa với lượng tổn thất công suất trên lưới điện được giảm đáng kể. Đây là vùng nên đầu tư lắp đặt thiết bị bù. Ngoài ra, trong vùng tương quan số (II), ta vẫn có thể tiếp tục chọn được những phương án đầu tư khác phương án do PSS/ADEPT đề xuất.

- Vùng tương quan số (III) ($Z_1 \geq 3,8$ tỷ đồng), chi phí đầu tư tăng lên nhưng không làm cho lợi nhuận từ việc thực hiện lắp tụ bù tăng lên nữa. Đây là

vùng không nên tiếp tục đầu tư.

5. Kết luận

Bài báo này đã giới thiệu phương pháp xây dựng đường cong tối ưu về bù công suất phản kháng cho lưới điện phân phối đáp ứng mục tiêu cực tiểu chi phí đầu tư, vận hành và cực đại lợi nhuận thu được từ việc giảm tổn thất điện năng. Công cụ tính toán được tích hợp phương pháp đề xuất, khi áp dụng tính toán với lưới mẫu IEEE-16 nút đã minh chứng được tính đúng đắn. Kết quả mô phỏng, tính toán có thể giúp các kỹ sư thiết kế, các nhà đầu tư có được một cái nhìn tổng quan về các phương án tối ưu khi lên kế hoạch cũng như sẽ lựa chọn được phương án phù hợp với đặc điểm, tình hình thực tế của mình. Ngoài ra, với chương trình mở, các hàm mục tiêu khác cũng có thể nghiên cứu, tích hợp để phù hợp với những đặc điểm thực tế của từng lưới điện phân phối.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa Hà Nội trong đề tài mã số T2016-PC-089.

Tài liệu tham khảo

- [1] Vũ Văn Thắng, Bạch Quốc Khánh, Vị trí và công suất tối ưu của tụ điện trong qui hoạch và cài tạo hệ thống phân phối, Tạp chí KHCN ĐHQĐN, Số 3(112).2017, Quyển 1
- [2] Nguyen Van Minh, Bach Quoc Khanh, Optimal Sizing and Placement of Capacitors in the 16 Buses Test System Using GA for Loss Reduction, Journal of Science and Technology - Hanoi University of Industry, No 42, Pp. 20-24, 2017
- [3] Nguyen Huu Hieu, Optimizing reactive power compensation in a distribution system in case taking into account actual capacitors, Journal of Science and Technology - The University of Danang, No. 6(115).2017, pp.14-18.
- [4] Nguyễn Hữu Phúc, Đặng Anh Tuấn (2007), Sử dụng phần mềm phân tích và tính toán lưới điện PSS/ADEPT.
- [5] P. Ngatchou, A. Zarei, M. A. El-Sharkawi, "Pareto Multi Objective Optimization", 13th International Conference on Intelligent Systems Application to Power Systems, Arlington, VA, USA, November 2005.
- [6] Nguyen Huu Hieu, Hoang Dung, Using algorithm NSGAI to solve the problem of minimizing power loss, Journal of Science and Technology -The University of Danang, Vol 11(96), Issue 2, 2015, pp. 58-62
- [7] Deepak Pandey, Jitendra Singh Bhadoriya, Optimal Placement & Sizing Of Distributed Generation (DG) To Minimize Active Power Loss Using Particle Swarm Optimization (PSO). INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH VOLUME 3, ISSUE 7, JULY 2014