

**TỐI ƯU HÓA VỊ TRÍ CỦA THIẾT BỊ TCSC
ĐỂ QUẢN LÝ NGHẼN MẠCH TRONG THỊ TRƯỜNG ĐIỆN**
OPTIMAL LOCATION OF TCSC FOR CONGESTION MANAGEMENT
IN DEREGULATED ELECTRICITY MARKET

Nguyễn Huy Khiêm¹, Dương Thanh Long¹, Trương Việt Anh², Phạm Xuân Hồ²

¹Trường Đại học Công nghiệp TP. Hồ Chí Minh

²Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh

Ngày tòa soạn nhận bài 29/01/2016, ngày phản biện đánh giá 28/02/2016, ngày chấp nhận đăng 03/03/2016

TÓM TẮT

Sự phát triển nhu cầu tiêu thụ điện trong thị trường điện cạnh tranh đã làm cho hệ thống truyền tải thường xuyên bị nghẽn mạch. Nghẽn mạch làm tăng tổng chi phí vận hành, ảnh hưởng trực tiếp đến các giao dịch và giá điện. Vì vậy, quản lý nghẽn mạch là một trong những thách thức kỹ thuật cho người vận hành hệ thống. TCSC là một trong những thiết bị hiệu quả trong việc điều khiển trực tiếp dòng công suất, có thể giúp lưới điện hiện hữu cải thiện đáng kể khả năng truyền tải, loại bỏ nghẽn mạch. Bài báo này đã trình bày phương pháp mặt cắt tối thiểu để xác định vị trí hợp lý của TCSC trong việc loại bỏ nghẽn mạch, cực tiểu chi phí máy phát. Kết quả mô phỏng trên hệ thống IEEE 14 nút đã cho thấy được tính hiệu quả của phương pháp đề nghị trong việc xác định vị trí hợp lý của TCSC.

Từ khóa: Thị trường điện; Nghẽn mạch; TCSC; FACTS; Mặt cắt tối thiểu.

ABSTRACT

The growing demand for electricity in a competitive electricity supplying market has caused transmission lines to be congested. Congestion leads to increasing total generation costs and effects directly market transactions and electricity prices. Hence, congestion management is one of the technical challenges for Independent System Operator (ISO). Thyristor controlled series compensators (TCSC), with its ability to directly control the power flow can enhance transfer capability of the network and eliminate congestion. This paper describes an approach of minimum cut for determining the most suitable locations for installing TCSC devices in order to avoid line overloads and minimize generation costs. Simulation result on IEEE 14-bus system shows that the proposed method is capable of finding the best locations for TCSC installation to minimize total costs.

Keywords: Electricity market; Congestion; TCSC; FACTS; Min cut algorithm.

1. GIỚI THIỆU

Xu hướng chuyển dịch từ hệ thống điện độc quyền cơ cấu theo chiều dọc sang thị trường điện cạnh tranh đã và đang diễn ra mạnh mẽ ở nhiều nước trên thế giới. Thị trường điện với cơ chế mở đã đem lại hiệu quả ở các nước và cho thấy những ưu điểm vượt trội hơn hẳn hệ thống điện độc quyền cơ cấu theo chiều dọc truyền thống. Chính những ưu điểm của thị trường điện đã làm cho nhu cầu tiêu thụ điện ngày một tăng và đã mang lại nhiều phúc lợi xã hội. Tuy nhiên, nó cũng làm cho hệ thống điện ngày càng bị căng

thẳng nặng và thường xuyên bị nghẽn mạch. Do đó, hệ thống điện hiện hữu cần phải được nâng cao khả năng truyền tải để loại bỏ nghẽn mạch, cực tiểu chi phí vận hành. Đây là một trong những nhiệm vụ đầy thử thách và khó khăn của người vận hành hệ thống trong thị trường điện. Vấn đề này có thể được giải quyết một cách hiệu quả mà không cần phải xây dựng thêm đường dây mới bằng cách sử dụng thiết bị truyền tải AC linh hoạt (FACTS). Trong số các thiết bị FACTS, TCSC là một trong những thiết bị phổ biến được sử dụng

để phân bố lại luồng công suất, giúp hệ thống hiện hữu có thể nâng cao khả năng truyền tải và cực tiểu chi phí vận hành. Trong đó việc xác định vị trí hợp lý TCSC đã trở thành một trong những vấn đề quan trọng bởi vì TCSC là một thiết bị tốn kém và nó có thể có ảnh hưởng xấu đến sự ổn định hệ thống trừ khi nó được đặt đúng vị trí tối ưu. Đây là một trong những vấn đề khó do không gian tìm kiếm của hệ thống rất lớn. Tuy nhiên, nó có thể được giải quyết nếu nút cổ chai của hệ thống điện được xác định. Nút cổ chai là vị trí thể hiện lượng công suất lớn nhất của hệ thống có thể truyền từ nguồn đến tải. Khi tải của hệ thống được tăng lên, các nút cổ chai là vị trí đầu tiên xảy ra tắc nghẽn. Hơn nữa, sự phân bố công suất không phụ thuộc vào khả năng mang tải của đường dây mà phụ thuộc vào tổng trở. Điều này dẫn đến kết quả rằng, nút cổ chai có thể bị quá tải mặc dù khả năng mang tải của nút cổ chai có thể lớn hơn nhu cầu công suất. Vì vậy, nếu mật cắt tối thiểu được xác định, nhánh nút cổ chai cũng được xác định và nhánh có khả năng điều khiển để thay đổi tổng trở sẽ được ghi nhận, và chỉ có những nhánh này mới có khả năng lắp đặt TCSC để cứu nhánh bị quá tải. Do đó, không gian tìm kiếm sẽ được giảm xuống từ n nhánh đến m nhánh (m là nhánh nằm trong mật cắt tối thiểu).

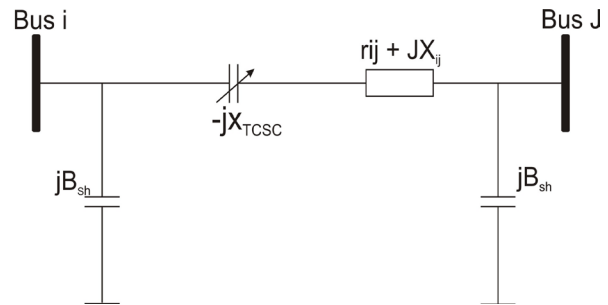
Nhiều công trình nghiên cứu xác định vị trí của TCSC để cực tiểu chi phí vận hành đã được đề nghị [1-8]. Các công trình nghiên cứu này đã được một số kết quả đáng kể, tuy nhiên vẫn chưa giới hạn được không gian tìm kiếm. Để giải quyết vấn đề này, bài báo đã áp dụng phương pháp mật cắt tối thiểu và dòng công suất cực đại để xác định vị trí tối ưu của TCSC. Phương pháp này đã giảm được không gian tìm kiếm và số nhánh cần khảo sát để lắp đặt TCSC.

2. THỰC HIỆN VẤN ĐỀ

2.1 Mô hình tính của TCSC

Ảnh hưởng của TCSC trong mạng điện được xem như là một điện kháng điều khiển thêm vào đường dây [9-10]. Việc giảm tổng trở nối tiếp được thực hiện bằng cách giảm một phần điện kháng đường dây. Do đó công

suất truyền tải được tăng lên. Trong nghiên cứu này, TCSC chỉ hoạt động như một tụ điện. Mô hình mạng điện có TCSC được thể hiện trong Hình 1. TCSC có thể được xem xét như một điện kháng $-jX_{TCSC}$ dưới trạng thái tĩnh.



Hình 1. Mô hình hóa đường dây truyền tải có TCSC

TCSC được tích hợp trong bài toán OPF bằng cách hiệu chỉnh lại thông số đường dây. Dung lượng bù lớn nhất của TCSC được giới hạn là 70% điện kháng của đường dây chưa bù mà ở đó TCSC được lắp đặt. Một điện kháng mới của đường dây được cho như sau:

$$X_{New} = X_{ij} - X_{TCSC} \quad (1)$$

$$X_{New} = (1 - L)X_{ij} \quad (2)$$

Trong đó $L = X_{TCSC}/X_{ij}$ là mức độ bù nối tiếp và X_{ij} là điện kháng của đường dây ij .

Phương trình dòng công suất của đường dây có điện kháng mới như sau:

$$P_{ij} = V_i^2 G_{ij} - V_i V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (3)$$

$$Q_{ij} = -V_i^2 B_{ij} - V_i V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (4)$$

$$P_{ji} = V_j^2 G_{ij} - V_i V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} - B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (5)$$

$$Q_{ji} = -V_j^2 B_{ij} + V_i V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} + B_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (6)$$

Trong đó

$$G_{ij} = \frac{R_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{New}^2} \quad \text{và} \quad B_{ij} = \frac{X_{New}}{R_{ij}^2 + X_{New}^2}$$

2.2 Hàm mục tiêu

Mục tiêu của bài toán là cực tiểu tổng chi phí vận hành trong khi phải thỏa mãn tất cả các ràng buộc về cân bằng công suất cũng như những giới hạn về máy phát, giới hạn điện áp và giới hạn công suất.

$$\text{Min} \sum_{i \in N_g} C_i(P_{gi}) \quad (7)$$

Trong đó $C_i(P_{gi}) = aP_{gi}^2 + bP_{gi} + c$ là hàm chi phí vận hành của máy phát thứ i ; a , b và c là hệ số chi phí máy phát.

Ràng buộc

- Phương trình cân bằng công suất

$$P_i(V, \delta) + P_{di} - P_{gi} = 0 \quad i = 1, \dots, N_b \quad (8)$$

$$Q_i(V, \delta) + Q_{di} - Q_{gi} = 0 \quad i = 1, \dots, N_b \quad (9)$$

- Giới hạn công suất máy phát

$$P_{gi}^{\min} \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{\max} \quad i = 1, \dots, N_g \quad (10)$$

$$Q_{gi}^{\min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi}^{\max} \quad i = 1, \dots, N_g \quad (11)$$

- Giới hạn điện áp

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad i = 1, \dots, N_b \quad (12)$$

- Giới hạn công suất chạy trên đường dây

$$S_l \leq S_{l, \max} \quad l = 1, \dots, N_l \quad (13)$$

3 PHƯƠNG PHÁP ĐỀ NGHỊ

3.1 Giải thuật mặt cắt tối thiểu

Vị trí hợp lý của TCSC đóng một vai trò quan trọng trong việc điều khiển dòng công suất để loại bỏ nghẽn mạch. Vấn đề này có thể được giải quyết nếu mặt cắt tối thiểu của hệ thống được xác định. Có nhiều phương pháp để xác định mặt cắt tối thiểu của một mạng có một nút nguồn và một nút tải. Một trong những phương pháp thường được sử dụng để giải quyết vấn đề này là sử dụng mối liên quan về dòng công suất cực đại. Lý thuyết nổi tiếng Luồng công suất cực đại-Mặt cắt tối thiểu đã được Ford và Fulkerson (1956) [11] chỉ ra tính đối nghịch của Luồng công suất cực đại và được gọi là Mặt cắt tối thiểu s-t. Ở đây, s là đỉnh của tập nguồn, t là đỉnh của tập tải và được tách ra thành hai phần khác nhau bởi lát cắt.

Luồng công suất cực đại: là luồng công suất lớn nhất có thể truyền từ nguồn đến tải = giá trị của lát cắt cực tiểu trong tất cả lát cắt.

Mặt cắt tối thiểu: là lát cắt có giá trị nhỏ nhất trong tất cả lát cắt có thể có của mạng điện.

3.2 Mô hình hóa mạng điện sử dụng giải thuật mặt cắt tối thiểu

Mạng điện được mô hình hóa như một đồ thị có hướng $G(N, C)$, trong đó có duy nhất một đỉnh s không có cung đi vào gọi là nguồn phát tương ứng cho các máy phát, duy nhất một đỉnh t không có cung đi ra gọi là nguồn thu tương ứng cho các tải. Tập nút N , tương ứng với các nút trong mạng điện. Dòng công suất nhánh giữa nút $i, j \in N$ được thể hiện bởi một cung $c_{ij} \in C$. Mỗi cung được ký hiệu S_{ij} , biểu thị dòng công suất lớn nhất cho phép của đường dây đó và được xem như dòng chảy trong đồ thị. Mỗi đường dây ra của nguồn phát là công suất lớn nhất của máy phát, mỗi đường dây vào của nguồn thu là nhu cầu tải.

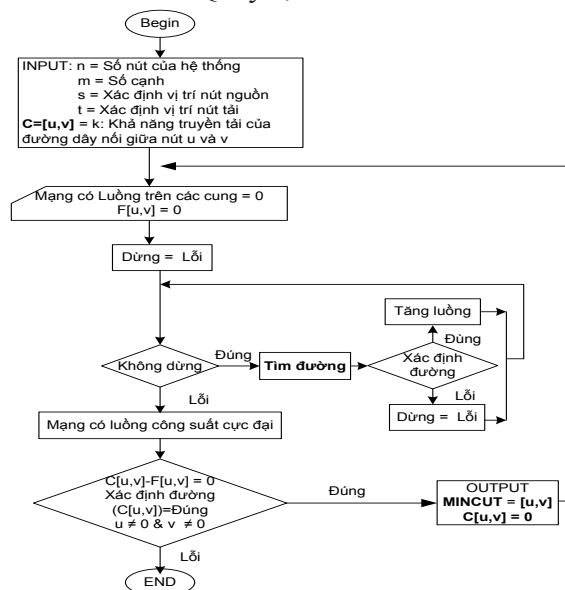
Giải thuật thực hiện bằng cách ghi nhận luồng $f(a_{ij})$ của các cung dọc theo đường đi từ nút tập nguồn s đến nút tải tập t cho đến khi không còn luồng nào có thể được ghi nhận.

Bước 1: Tìm bất kỳ đường đi từ nút tập nguồn đến nút tập tải. Nếu không tìm được, thoát.

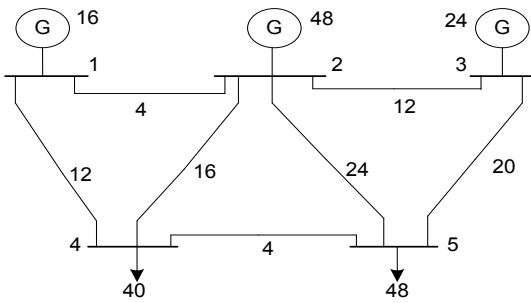
Bước 2: Xác định luồng f_i luồng công suất cực đại đi từ nút tập nguồn đến nút tập tải. Luồng này là khả năng nhỏ nhất của một cung trong đường đi này.

Bước 3: Trừ luồng f từ khả năng còn lại của các cung theo đường đi từ nút tập nguồn đến nút tập tải trong đường đi này.

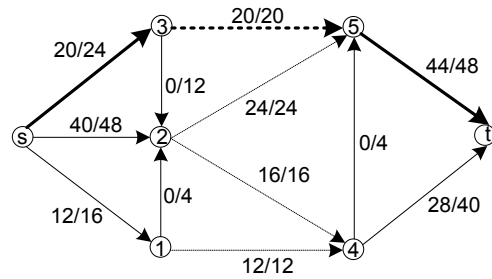
Bước 4: Quay lại Bước 1



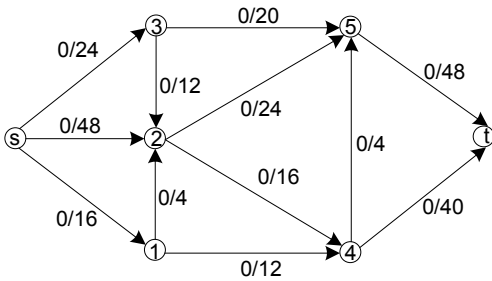
Hình 2. Lưu đồ xác định mặt cắt tối thiểu



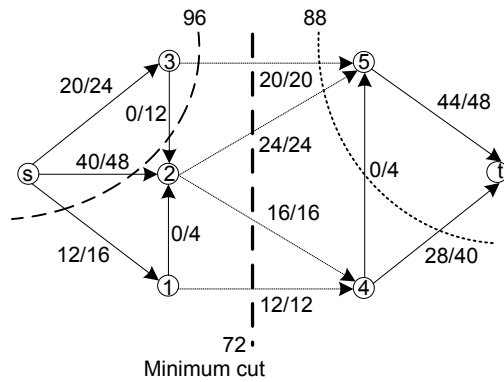
Hình 3. Mạng điện 5 nút



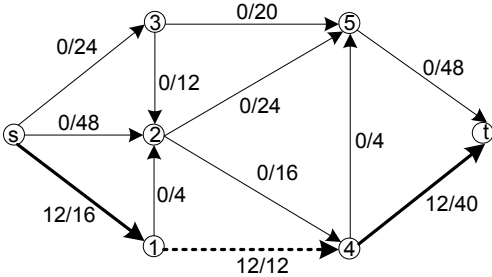
Hình 8. Mô hình hóa tương đương s-3-5-t



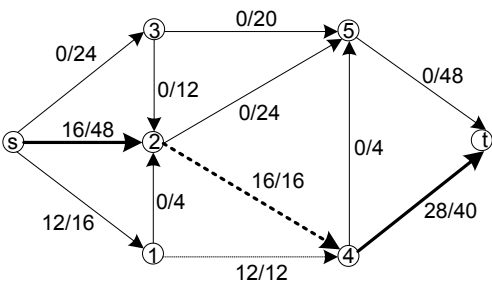
Hình 4. Mô hình hóa tương đương



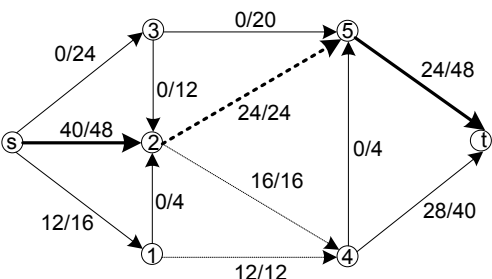
Hình 9. Mặt cắt tối thiểu



Hình 5. Mô hình hóa tương đương s-1-4-t



Hình 6. Mô hình hóa tương đương s-2-4-t

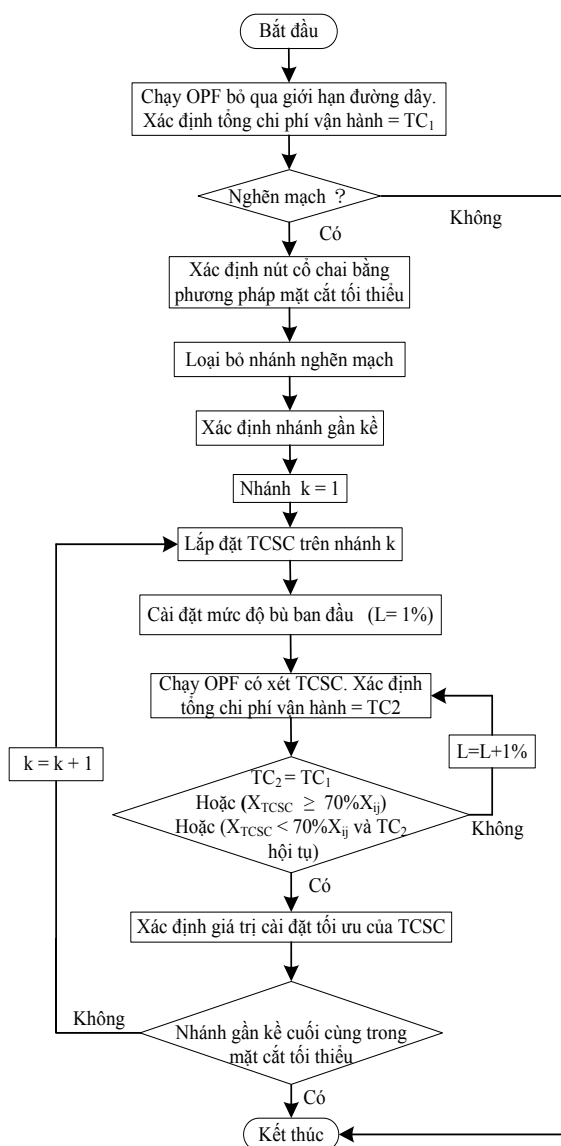


Hình 7. Mô hình hóa tương đương s-2-5-t

- Cung dọc theo đường s-1-4-t được ghi nhận là 12 đơn vị của dòng. Nút cổ chai là cung 1-4 như thấy trong Hình 5
- Cung dọc theo đường s-2-4-t được ghi nhận là 16 đơn vị của dòng. Nút cổ chai là cung 2-4. Chú ý đường đi s-1-4-t có tổng luồng trên cung 4-t bây giờ là 28 đơn vị của dòng như Hình 6
- Cung dọc theo đường s-2-5-t được ghi nhận là 24 đơn vị của dòng. Nút cổ chai là cung 2-5 như thấy trong Hình 7
- Cung dọc theo đường s-3-5-t được ghi nhận là 20 đơn vị của dòng. Nút cổ chai là cung 3-5 như thấy trong Hình 8

Giải thuật kết thúc sau khi đường cuối cùng được tìm thấy như Hình 8. Bởi vì không còn đường đi nào đi từ nút tập nguồn đến nút tập tải nữa. Luồng f của các cung 1-4, 2-4, 2-5 và 3-5 trong tất cả các đường đi từ nút tập nguồn s đến nút tập tải t đã bằng với khả năng truyền công suất của các cung đó. Từ Hình 9 có thể thấy rằng, tổng đơn vị dòng của các nhánh nút cổ chai là $(12+16+25+20=72)$ bằng với tổng đơn vị dòng của các cung đi ra từ nút

tập nguồn s (12+40+20=72) và cũng bằng với tổng đơn vị dòng của các cung đi vào nút tập tải t (28+44=72). Đây là luồng công suất cực đại có thể truyền từ nguồn đến tải cũng chính là giá trị nhỏ nhất của lát cắt trong tất cả các lát cắt có thể có trong mạng.



Hình 10. Lưu đồ xác định vị trí của TCSC để loại bỏ nghẽn mạch

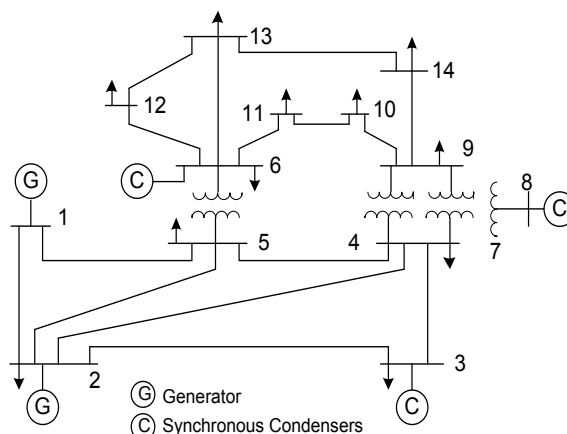
4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Hệ thống IEEE 14 nút có 11 đường dây, tổng tải hệ thống là 210 MW. Thông số và dữ liệu đường dây có thể tham khảo trong [12-14]. Sơ đồ đơn tuyến của hệ thống chỉ ra trong Hình 11. Một gói phần mềm MATPOWER 4.0 đã được sử dụng để giải quyết phân bố công suất tối ưu trong nghiên cứu này

Bảng 1: Dữ liệu máy phát

Gen no	a	b	c	P _{ma}	P _{mi}	Q _{ma}	Q _{mi}
1	0.0252	16	0	100	10	200	-30
2	0.1400	14	0	50	20	100	-20
3	0.5000	8	0	80	15	80	-15
6	0.0667	26	0	45	10	60	-15
8	0.2000	24	0	45	10	50	-10

$$C_i(P_{gi}) = aP_{gi}^2 + bP_{gi} + c$$



Hình 11. Sơ đồ lưới điện IEEE 14 nút

Để đánh giá sự ảnh hưởng của TCSC, ba trường hợp sau đây sẽ được khảo sát.

Trường hợp 1: OPF bỏ qua giới hạn đường dây

Trường hợp 2: OPF không có TCSC

Trường hợp 3: OPF có TCSC

Từ những kết quả OPF trong Bảng 2 (cột 2), có thể thấy rằng, khi TCSC chưa được lắp đặt và bỏ qua giới hạn đường dây (TH1), tổng chi phí vận hành đạt được tối ưu là 6097.82 \$/h. Tuy nhiên với kế hoạch phát này, có thể thấy rằng dòng công suất thực tế đã vượt ngoài giới hạn đường dây 1-2 và kết quả nghẽn mạch truyền tải đã xảy ra như trong Bảng 3 (cột 3). Rõ ràng hệ thống điện không thể vận hành theo cách này bởi vì an ninh bị vi phạm. Tuy nhiên, quá tải trên đường dây 1-2 đã được loại bỏ thông qua giải quyết OPF có xét giới hạn đường dây (TH2). Trường hợp này đã làm hạn chế công suất phát từ các máy phát có chi phí thấp và tăng công suất phát từ máy phát có chi phí cao. Do đó đã làm cho tổng chi phí vận hành tăng từ 6097.82 \$/h đến 6576.09 \$/h như

thấy trong Bảng 2(cột 3). Việc điều độ lại các máy phát để loại bỏ quá tải trong trường hợp này là cần thiết để đảm bảo an ninh trong vận hành hệ thống, nhưng có lẽ không được chấp nhận bởi các nhà cung cấp và khách hàng. Do đó, việc sử dụng thiết bị TCSC để nâng cao khả năng truyền tải, loại bỏ nghẽn mạch trong khi vẫn có thể đạt được chi phí cực tiểu là một trong những vấn đề quan tâm chính hiện nay của các nhà nghiên cứu. Bằng cách lắp đặt TCSC tại nhánh gần kề với nhánh quá tải 1-2 để nhanh chóng loại bỏ nghẽn mạch là một giải pháp hiệu quả (TH-3). Đường dây gần kề là những nhánh nút cổ chai thuộc mặt cắt tối thiểu và nằm trong vòng có chứa nhánh bị quá tải. Do đó, lắp đặt TCSC tại những đường dây này là một trong những phương pháp nhanh chóng cân bằng lại công suất bằng cách điều khiển dòng công suất chạy qua những đường dây không bị quá tải để loại bỏ nghẽn mạch và cung cấp công suất giá rẻ đến khách hàng.

Bảng 2. Kết quả tối ưu chi phí của hệ thống IEEE 14-nút

Số máy phát	OPF không xét giới hạn đường dây (TH-1)	OPF có xét giới hạn đường dây (TH-2)	OPF có TCSC tại dây 1-5 (TH-3)
1	100	77.54	100
2	50	50	50
3	31.29	44.46	31.33
6	45	45	45
8	36.71	45	36.81
Tổng chi phí	6097.82 (\$/h)	6576.09 (\$/h)	6102.97 (\$/h)

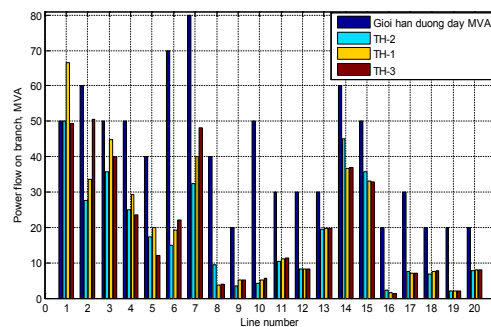
Bảng 3. Công suất nhánh của hệ thống IEEE 14-nút

Dây i-j	MVA Giới hạn	TH - 1	TH - 2	TH-3 (TCSC tại dây 1- 5) L=58.28%
1-2	0.5	0.6650	0.4999	0.4942
1-5	0.6	0.3350	0.2755	0.5058

2-3	0.5	0.4478	0.3564	0.3992
2-4	0.5	0.2934	0.2486	0.2343
2-5	0.4	0.1992	0.1732	0.1195
3-4	0.7	0.1924	0.1485	0.2204
4-5	0.8	0.3991	0.3247	0.4803
4-7	0.4	0.0367	0.0932	0.0403
4-9	0.2	0.0522	0.0349	0.0504
5-6	0.5	0.0512	0.0423	0.0558
6-11	0.3	0.1106	0.1042	0.1134
6-12	0.3	0.0822	0.0823	0.0825
6-13	0.3	0.1964	0.1937	0.1978
7-8	0.6	0.3671	0.4500	0.3681
7-9	0.5	0.3304	0.3568	0.3279
9-10	0.2	0.0160	0.0224	0.0133
9-14	0.3	0.0716	0.0742	0.0700
10-11	0.2	0.0746	0.0681	0.0773
12-13	0.2	0.0204	0.0205	0.0208
13-14	0.2	0.0792	0.0765	0.0809

Bảng 4. Mặt cắt tối thiểu của hệ thống IEEE 14-nút

Dây	Mặt cắt tối thiểu	Dây được xem xét để lắp đặt TCSC
1	1 - 2	Dây bị quá tải
2	1 - 5	Dây gần kề
3	2 - 3	Không phải dây gần kề



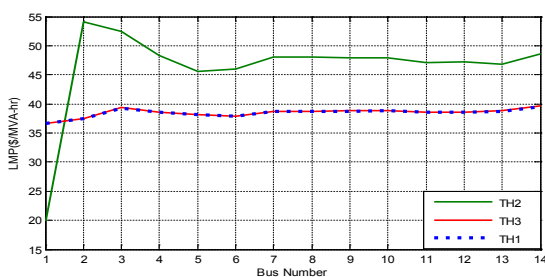
Hình 12. Công suất nhánh của hệ thống IEEE 14-nút

Bảng 5. Kết quả tối ưu chi phí khi TCSC lắp đặt tại vị trí khác nhau

Đường dây	i-j	Tổng chi phí \$/h
2	1-5	6102.97
3	2-3	6582.14
4	2-4	6585.28
5	2-5	6584.67
6	3-4	6534.88
7	4-5	6523.38
8	4-7	6574.38
9	4-9	6576.11
10	5-6	6576.07

Từ Bảng 4 có thể thấy rằng, nhánh 1-5 là nhánh nằm trong mặt cắt tối thiểu và cũng là nhánh gần kề với nhánh bị quá tải 1-2. Do đó, vị trí hợp lý của TCSC là nhánh 1-5. Mức độ bù nối tiếp để loại bỏ nghẽn mạch là 58.28%. Kết quả dòng công suất sau khi lắp đặt TCSC tại nhánh 1-5 chỉ ra trong Bảng 3 (cột 5). Có thể quan sát từ Bảng 3, nghẽn mạch đã được loại bỏ. Công suất truyền tải của đường dây 1-2 giảm xuống còn 98.84% từ 133%. Nhánh 1-5 bây giờ được tăng lên 84.3%, cao hơn nhiều so với trường hợp TH-1. TCSC đã làm giảm điện kháng của đường dây 1-5 từ 0.22p.u xuống 0.09p.u, vì vậy dòng công suất trên đường dây này tăng lên.

Từ Bảng 2 (cột 4) có thể thấy rằng, tổng chi phí vận hành trong TH-3 đã giảm xuống còn 6102.97 \$/hr trong khi nghẽn mạch vẫn không xảy ra như TH-1. Bảng 5 được xây dựng cho các mục đích khác nhau. Bằng cách thay thế TCSC trên mỗi đường dây và chạy OPF. Như chỉ ra trong Bảng 5, dây 1-5 là vị trí tốt nhất để lắp đặt TCSC. So sánh giữa Bảng 5 và Bảng 3 cho thấy rằng, nhánh trong mặt cắt tối thiểu là vị trí hợp lý của TCSC để quản lý nghẽn mạch và cực tiểu tổng chi phí vận hành.



Hình 13: Đồ thị giá nút của IEEE – 14 nút

Từ kết quả phân tích trên có thể thấy rằng, trong thị trường điện, khách hàng có thể mua điện năng tại cùng mức giá mà không quan tâm đến vị trí tiêu thụ. Tuy nhiên giới hạn truyền tải, nghẽn mạch đã làm tăng giá nút (Hình 13) đồng thời ngăn cản các nhà tiêu thụ mua điện năng với giá thấp hơn từ các nhà cung cấp và làm cho hoạt động kinh tế trong thị trường điện không hiệu quả. Do đó, việc sử dụng thiết bị TCSC tổ hợp trong bài toán OPF để quản lý nghẽn mạch trong thị trường điện là một giải pháp tốt và là một trong những công cụ giúp cho người vận hành hệ thống có thể đảm bảo được kinh tế và an ninh. Hơn nữa, có thể thấy rằng phương pháp đề nghị có khả năng tìm ra vị trí tốt nhất để lắp đặt TCSC. Thay thế TCSC tại nút cổ chai của hệ thống sẽ nhanh chóng loại bỏ nghẽn mạch và cực tiểu chi phí vận hành.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã ứng dụng giải thuật mặt cắt tối thiểu để xác định vị trí hợp lý của TCSC trong việc quản lý nghẽn mạch, cực tiểu chi phí máy phát. Phương pháp này đã giới hạn được không gian tìm kiếm. Chỉ một vài nhánh nút cổ chai trong mặt cắt tối thiểu được xem xét để đánh giá vị trí tốt nhất của TCSC. Những kết quả mô phỏng trình bày trong bài báo này đã chứng minh tính hiệu quả của phương pháp đề nghị.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] F. Capitanescua, J.L. Martinez Ramosb, P. Panciatici, *State-of-the-art, challenges, and future trends in security constrained optimal power flow*, Electric Power Systems Research 81 (2011) 1731–1741.
- [2] R. Wang, R.H. Lasseter, *Re-dispatching generation to increase power system security margin and support low voltage bus*, IEEE Trans. Power Syst. 15 (2) (2000) 496–501.
- [3] Sung-Hwan Song, Jung-Uk Lim, Seung-Il Moon, *Installation and operation of FACTS devices for enhancing steady-state security*, Electric Power Systems Research 70 (2004) 7–15.

- [4] J.G.Singh, S. N. Singh, S.C. Srivastava, *Enhancement of Power System Security through Optimal Placement of TCSC & UPFC*, Power Energy Society General meeting 2007, IEEE, 24-28 June 2007, PP- 1-6.
- [5] Yunqiang Lu, Ali Abur, *Static security enhancement via optimal utilization of Thyristor-Controlled Series Capacitors*, IEEE Trans. Power Syst., vol.17, pp.324-329, May 2002.
- [6] K. Shanmukha Sundar, H.M. Ravikumar, *Selection of TCSC location for secured optimal power flow under normal and network contingencies*, Electrical Power and Energy Systems 34 (2012) 29–37.
- [7] T.Pavan Kumar, A.Lakshmi Devi, *Optimal location and parameter settings of TCSC under single line contingency using PSO technique*, International Journal of Advanced Engineering Research and Studies ISSN2249 – 8974.
- [8] Husam I. Shaheen, Ghamgeen I. Rashed, S.J. Cheng, *Optimal location and parameter setting of UPFC for enhancing power system security based on Differential Evolution algorithm*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems 33 (2011), 94–105
- [9] Ongsakul W, Bhasaputra P, *Optimal power flow with FACTS devices by hybrid TS/SA approach*, Electr Power Energ Syst 2002;24:851–7.
- [10] G Shaoyun and T S Chung, *Optimal active power flow incorporating FACTS devices with power flow control constraints*, Electrical Power & Energy Systems, 20 (1998) 321-326,
- [11] John W. Chinneck, *Practical Optimization: a Gentle Introduction*, Systems and Computer Engineering Carleton University Ottawa, 2010, Canada. <http://www.sce.carleton.ca/faculty/chinneck/po.html>.
- [12] Duong Thanh Long, Yao Jian Gang, Truong Viet Anh, *A new method for secured optimal power flow under normal and network contingencies via optimal location of TCSC*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems (2013).
- [13] Duong Thanh Long, Yao Jian Gang, Truong Viet Anh, *Application of Min Cut Algorithm for Optimal Location of FACTS Devices Considering System Loadability and Cost of Installation*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems (2014).
- [14] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sanchez and D. Gam, *MATPOWER- A MATLAB power system simulation package*, Version 4, available at:<http://www.pserc.cornell.edu/matpower>.