

XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ CẦN QUY HOẠCH MỞ RỘNG HỆ THỐNG ĐIỆN SỬ DỤNG GIẢI THUẬT MIN - CUT

DETERMINING LOCATION FOR POWER SYSTEM EXPANSION PLANNING USING MIN CUT ALGORITHM

Đinh Ngọc Sang^{1,*}, Nguyễn Hoàng Quốc Việt²,
Dương Thanh Long³, Trương Việt Anh⁴

TÓM TẮT

Thị trường điện ra đời đã mang lại nhiều phúc lợi xã hội, tuy nhiên nghẽn mạch trên hệ thống điện xảy ra ngày càng thường xuyên hơn. Để giải quyết vấn đề này, quy hoạch mở rộng hệ thống là một trong các giải pháp cần thiết. Mặc dù quy hoạch mở rộng hệ thống đã được nghiên cứu nhiều, nhưng việc kết hợp các biện pháp quy hoạch vẫn còn là một thách thức. Do đó, việc xác định chính xác vị trí cần quy hoạch để tối ưu hóa khả năng sử dụng hệ thống điện hiện hữu, tiết kiệm chi phí đầu tư là một vấn đề khó. Bài báo đã áp dụng giải thuật Min-cut để xác định vị trí nút cổ chai của hệ thống, từ đó đưa ra các định hướng cần quy hoạch. Kết quả mô phỏng trên hệ thống điện IEEE 6 nút Garver đã cho thấy hiệu quả của phương pháp đề xuất.

Từ khóa: Quy hoạch hệ thống; mặt cắt tối thiểu; TCSC; FACTS; nghẽn mạch.

ABSTRACT

The electricity market has created a large amount social welfare, nevertheless that seems cause to increase the congestion on the electricity system more and more frequent. To solve the problem, one of the necessary base solutions is power system expansion planning. Although power system expansion planning has been studied, but incorporating expansion planning methods still is a challenge. Thus, it would be difficult to find out exactly places where the electricity network will be expanded for optimizing, saving on investment funds. This paper shows the method to locate the bottleneck of the transmission network by the Min-cut algorithm, thus orientating the plans. The Garver test system, IEEE 6-bus system, are used to demonstrate the effectiveness of the proposed method.

Key words: Transmission expansion planning; Min-cut; TCSC; FACTS; congesti.

¹Trường Đại học Kiến trúc Tp.HCM

²Trường Đại học Công nghệ Tp.HCM

³Trường Đại học Công nghiệp Tp.HCM

⁴Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Tp.HCM

*Email: sang.dinhngoc@uah.edu.vn

Ngày nhận bài: 01/10/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/01/2019

Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2019

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tối ưu hóa hệ thống điện luôn là một trong những vấn đề quan trọng trong vận hành thị trường điện. Khác với hệ thống điện truyền thống, nơi mà phụ tải được xem là chắc

chắn, ít thay đổi thì trong thị trường điện cạnh tranh, phụ tải được xem là không chắc chắn và thay đổi theo giá thị trường. Chính ưu điểm của thị trường điện 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 thường xuyên bị nghẽn mạch. Nghẽn mạch làm méo dạng thị trường và giảm phúc lợi xã hội.

Để loại bỏ nghẽn mạch, nâng cao phúc lợi xã hội thì quy hoạch mở rộng hệ thống cần phải được xem xét. Mở rộng hệ thống điện có thể thực hiện mở rộng phần nguồn phát (GEP), mở rộng phần truyền tải (TEP) hoặc mở rộng phần phân phối. Tuy nhiên, việc xác định trường hợp nào cần mở rộng nguồn, trường hợp nào cần mở rộng lưới là một vấn đề khó nếu như không có một giải pháp cụ thể trong quy hoạch để có định hướng tốt.

Trên cơ sở những ưu điểm của giải thuật Min-cut [1-3] trong việc xác định nhanh điểm có thể gây ra tắc nghẽn của hệ thống sau khi tăng tải, bài báo đưa ra các kịch bản để thực hiện các biện pháp quy hoạch một cách hiệu quả như sau:

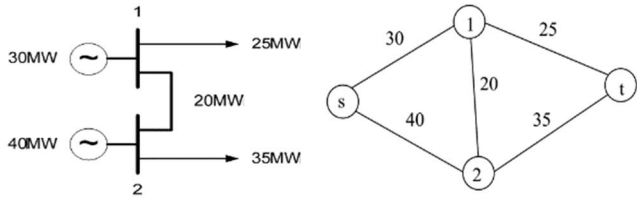
- i) Xây dựng các đường dây song song vị trí nghẽn mạch.
- ii) Xây dựng các đường dây trên các tuyến mới.
- iii) Lắp đặt TCSC để phân bố lại công suất
- iv) Điều chỉnh công suất nguồn phát

2. GIẢI THUẬT MIN - CUT

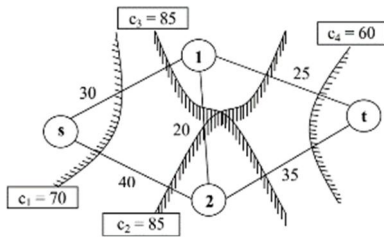
2.1. Mô hình hóa hệ thống truyền tải điện

Hệ thống điện được mô hình hóa như một đồ thị vô hướng $G(N,A)$, luồng công suất được biểu diễn như luồng trong đồ thị. Một tập các nút N , ứng với các thanh cái của hệ thống điện, các đường dây truyền tải nối giữa các thanh cái $n_i, n_j \in N$ biểu diễn cung $a_{ij} \in A$. Mỗi cung được gán u_{ij} biểu thị khả năng truyền tải công suất tối đa trên đường dây. Đỉnh s là nguồn, đại diện cho các tổ máy phát và đỉnh t đại diện cho các phụ tải. Mỗi đường dây ra của nguồn s có luồng trên nó lớn nhất phù hợp với máy phát nối vào nút và mỗi đường dây đi vào tải t đại diện cho mức độ tải nối vào nút. Mỗi nút trên đồ thị phải thỏa mãn $\Sigma P_{in} = \Sigma P_{out}$ ngoại trừ nút nguồn s và tải t . Nút s, t và G hình thành đồ thị $G(N,A)$.

Ví dụ mô hình hóa một mạng điện đơn giản gồm 2 nút được trình bày trong hình 1. Các lát cắt có thể có của mạng điện hình 1 được chỉ ra trong hình 2 và bảng 1. Theo đó, mỗi lát cắt chia nguồn và tải thành hai phía khác nhau [1].



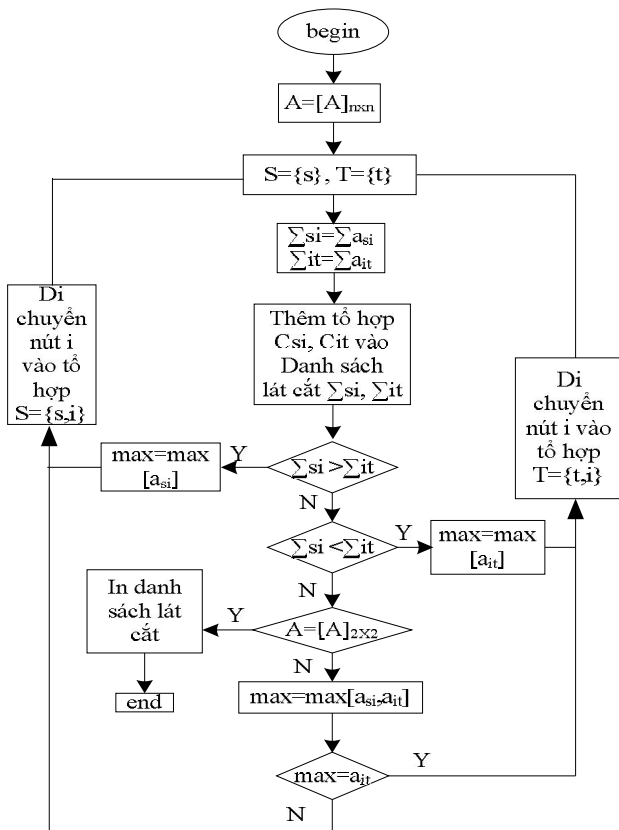
Hình 1. Mạng điện 2 nút



Hình 2. Các lát cắt trong sơ đồ mạng điện 2 nút

Bảng 1. Vị trí và dung lượng của các lát cắt

STT	Lát cắt	Dung lượng truyền
1	$c_1 = C_{s,1} + C_{s,2}$	$30 + 40 = 70$
2	$c_2 = C_{s,2} + C_{1,2} + C_{1,t}$	$40 + 20 + 25 = 85$
3	$c_3 = C_{s,1} + C_{1,2} + C_{2,t}$	$30 + 20 + 35 = 85$
4	$c_4 = C_{1,t} + C_{2,t}$	$25 + 35 = 60$



Hình 3. Lưu đồ xác định mặt cắt tối thiểu mạng điện

Với mạng điện bất kỳ, lưu đồ quá trình kết hợp mô hình hóa với giải thuật Min-Cut để xác định mặt cắt tối thiểu của mạng điện được trình bày như hình 3. Theo lưu đồ hình 3, sử dụng các ngôn ngữ lập trình cho các mạng điện lớn hoặc thủ công đối với các mạng điện 4-5 nút trở lại có thể tìm được mặt cắt tối thiểu. Khi đã tìm được mặt cắt tối thiểu ở vị trí nào thì cần phải có kế hoạch thực hiện nâng cấp, cải tạo và về chiến lược lâu dài cần quy hoạch lại vị trí đó.

2.2. Trình tự thực hiện quy hoạch mở rộng hệ thống

Bước 1: Xác định các vị trí tắc nghẽn bằng giải thuật Min-Cut theo lưu đồ hình 3. Ba loại lát cắt là các vị trí thắt cổ chai, cần được xem xét đánh giá. Các lát cắt có thể thuộc một trong các trường hợp như trong bảng 2.

Bảng 2. Các trường hợp xảy ra tại vị trí lát cắt cực tiểu

Trường hợp	Lát cắt cực tiểu	Nhận xét
1	Chỉ thuộc tập tải	- Nguồn: đáp ứng - Lưới: đáp ứng
2	Chỉ thuộc tập nguồn	- Nguồn: không đáp ứng - Lưới: đáp ứng
3	Chỉ thuộc tập nhánh	- Nguồn: đáp ứng - Lưới: không đáp ứng
4	Gồm có tải và nhánh	- Nguồn: đáp ứng - Lưới: không đáp ứng
5	Gồm có nguồn và nhánh	- Nguồn: chưa xác định - Lưới: chưa xác định
6	Gồm có tải, nguồn và nhánh	- Nguồn: chưa xác định - Lưới: chưa xác định

Bước 2: Định hướng quy hoạch

Trường hợp 1: Kiểm tra quá tải cục bộ khi điểm thắt cổ chai đã xác lập. Nếu hệ thống điện không xảy ra quá tải cục bộ, kết luận hệ thống đã đáp ứng đến thời điểm quy hoạch mà chưa cần mở rộng. Nếu hệ thống quá tải cục bộ, các biện pháp quy hoạch (ii), (iii) và (iv) được xem xét.

Trường hợp 2: Điểm thắt cổ chai chỉ bao gồm tập nguồn. Điều này cho thấy nguồn là vị trí tắc nghẽn cần phải quy hoạch.

Trường hợp 3: Lát cắt xem xét rơi vào tập nhánh, các biện pháp quy hoạch (i) và (ii) sẽ được ứng dụng để mở rộng nút thắt cổ chai.

Trường hợp 4: Trước tiên có thể xem xét các biện pháp điều chuyển phụ tải, sau đó quay lại các biện pháp quy hoạch như trường hợp 3.

Trường hợp 5: Sau khi quy hoạch lại hệ thống nguồn, các biện pháp quy hoạch theo trường hợp 3 sẽ được áp dụng trong quy hoạch cho trường hợp này.

Trường hợp 6: Thực hiện theo trình tự như sau:

- Xem xét các biện pháp điều chuyển phụ tải;
- Xem xét GEP;
- Quy hoạch mở rộng hệ thống điện trường hợp 3.

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG TRÊN LƯỚI ĐIỆN IEEE 6 BUS

Xét lưới điện 6 nút Garver [4] bao gồm: 6 nút, 8 đường dây và 3 nguồn như hình 4. Thông số nguồn, phụ tải và đường dây cho tại bảng 3 và 4.

Bảng 3. Nguồn và phụ tải lưới điện 6 nút

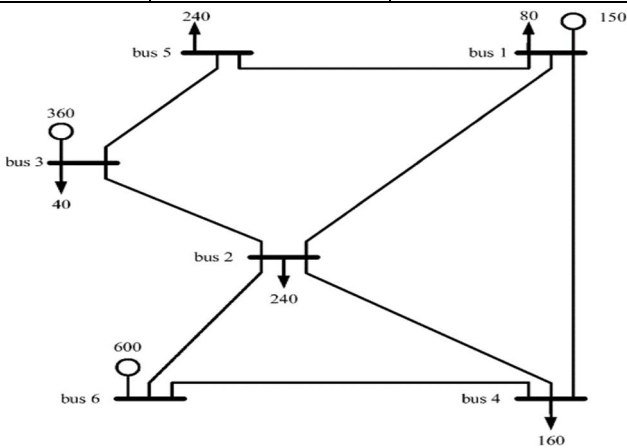
Bus	Công suất nguồn (MW)	Công suất tải (MW)
1	150	80
2	0	240
3	360	40
4	0	160
5	0	240
6	600	0
Tổng	1,110	760

Bảng 4. Thông số đường dây lưới điện 6 nút

Bus		R (pu)	X (pu)	Capa (MW)	Dài (miles)
Từ	Đến				
1	2	0,10	0,40	100	40
1	4	0,15	0,60	80	60
1	5	0,05	0,20	100	20
2	3	0,05	0,20	100	20
2	4	0,10	0,40	100	40
2	6	0,08	0,30	100	30
3	5	0,05	0,20	100	20
4	6	0,08	0,30	100	30

Hai kịch bản được đặt ra cho hệ thống lưới điện Garver trong nghiên cứu này là:

Kịch bản	Hệ số nguồn	Hệ số phụ tải
1	1,0	1,0
2	0,8	1,2



Hình 4. Lưới điện 6 nút

3.1. Kịch bản 1:

Bước 1: Xác định các điểm thắt cổ chai

Xây dựng ma trận thông lượng [A] liên kết giữa các nút trong hệ thống như sau:

		Từ nút							
		Gen	1	2	3	4	5	6	Load
Đến nút	Gen		150		360			600	
	1			100		80	100		80
	2		100		100	100		100	240
	3	360		100			100		40
	4		80	100				100	160
	5		100		100				240
	6	600		100		100			
	Load		80	240	40	160	240		

Bước 2: Định hướng quy hoạch

Kết quả tính toán bằng thủ công nhận được 2 điểm thắt cổ chai là:

- Min-cut: có tổng thông lượng là 710 MW, đi qua các nguồn 1, 3 và đi qua các nhánh 2-6 và 4-6.

- Và Cut-2: tổng thông lượng là 720 MW, đi qua các tải 1, 2, 3, 4 và đi qua các nhánh 1-5 và 3-5.

Như vậy, Min-cut rơi vào trường hợp 5 và Cut-2 là trường hợp 4. Với kết quả này, định hướng quy hoạch cần xem xét đến các nguồn 1, 3 và các tải 1, 2, 3, 4 và các cặp nhánh (1-5, 3-5) và (2-6, 4-6).

Bảng 5. Tập hợp các mặt cắt 6 nút

Số TT	Tập cắt	Capa (MW)	Thành phần mặt cắt đi qua		
			Gens	Loads	Branches
1	Gens	1,11	1, 3, 6		
2	Loads	760		1, 2, 3, 4, 5	
3	Min-cut	710	1, 3		2-6, 4-6
4	CUT-2	720		1, 2, 3, 4	3-5, 1-5
5	CUT-3	880		1, 3, 4	3-5, 2-6, 2-3, 1-5, 1-2, 2-4
6	CUT-4	830	1	3, 4	3-5, 2-6, 2-3, 2-4, 1-4

a) Phương án 1: Xét các nguồn 1 và 3 liên quan đến lát cắt Min-Cut.

Lượng thiếu hụt công suất của thắt cổ chai này là 50MW (760-710MW), nên mở rộng công suất nguồn 1 lên 200MW theo biện pháp quy hoạch (iv). Điều này có thể khắc phục điểm thắt cổ chai Min-Cut nhưng không thể tháo gỡ nút cổ chai Cut-2 nên phương án này sẽ bị loại.

b) Phương án 2: Xét quy hoạch mở rộng các nhánh

Mỗi lát cắt trong thắt cổ chai cần mở rộng thêm 1 tuyến đường dây mới. Ở đây các nhánh 3-5 và 4-6 được lựa chọn để xây dựng thêm 1 đường dây song song như biện pháp quy hoạch (i). Kết quả chạy min-cut sau khi mở rộng thể hiện tại bảng 6.

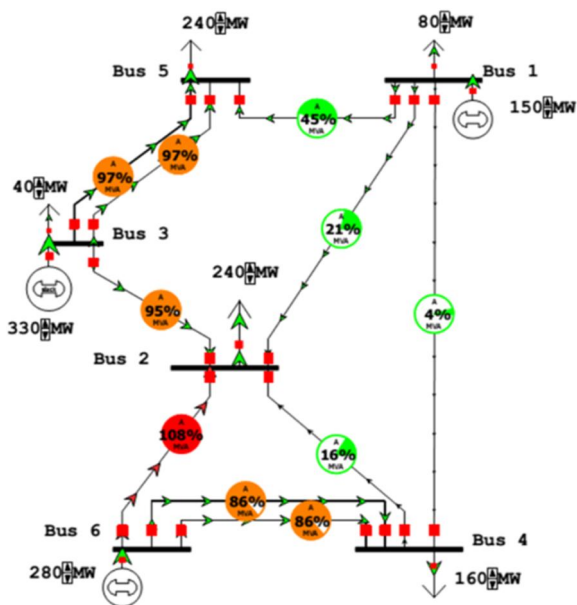
Bảng 6. Tập hợp các mặt cắt 6 nút mở rộng

Số TT	Tập cắt	Capa (MW)	Thành phần mặt cắt đi qua		
			Gens	Loads	Branches
1	Gens	1,110	1, 3, 6		
2	Loads	760		1, 2, 3, 4, 5	
3	CUT-1	810	1, 3		4-6, 2-6

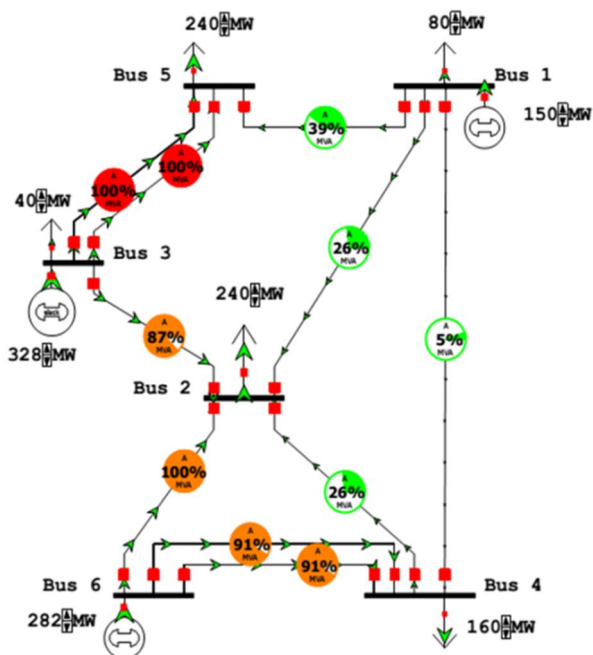
4	CUT-2	790	1	3	4-6, 3-5, 2-6, 2-3
5	CUT-3	930	1	3, 4	1-4, 3-5, 2-6, 2-3, 2-4
6	CUT-4	980		3, 4, 1	3-5, 1-5, 2-6, 2-3, 2-4, 1-2

Sau khi mở rộng lưới điện như phương án 2, hệ thống truyền tải vẫn quá tải cục bộ trên nhánh 2-6 (hình 5) nên cần xem xét đến các giải pháp phân bố lại trào lưu công suất theo (ii), (iii) và (iv).

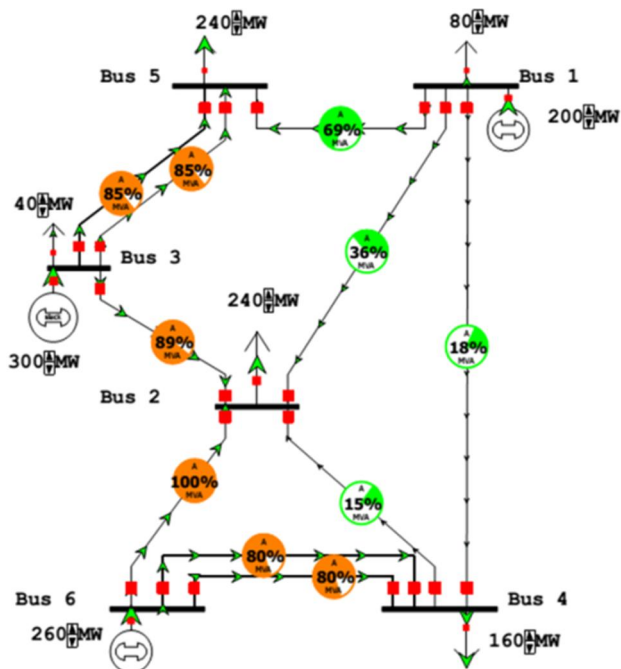
- Lắp đặt TCSC trên nhánh 1-2 với $X_{TCSC} = 50\% X_{1-2}$ và nhánh 2-4 với $X_{TCSC} = 70\% X_{2-4}$. Kết quả như hình 6.
- Mở rộng công suất nguồn 1 lên 200MW: Kết quả như hình 7.



Hình 5. Hệ thống sau khi mở rộng các nhánh 3-5 và 4-6



Hình 6. Hệ thống 6 nút sau khi mở rộng các nhánh 3-5 và 4-6 kết hợp lắp đặt TCSC trên nhánh 1-2 và 2-4



Hình 7. Hệ thống 6 nút sau khi mở rộng các nhánh 3-5 và 4-6 kết hợp mở rộng công suất nguồn G1

Bảng 7. So sánh với một số nghiên cứu tương tự về số lượng mạch mở rộng

Nhánh	Phương án đề xuất	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
2-3		1			1		
2-6				1	1	1	
3-5	1	2	1	1	1	1	1
4-6	1	2	1	1		2	3
Tổng cộng	2	5	2	3	3	4	4

Từ kết quả hình 6, 7 có thể thấy rằng nghẽn mạch đã được loại bỏ sau khi thực hiện các giải pháp quy hoạch đề nghị. Phương pháp đề xuất có số lượng mạch mở rộng ít hơn so với các công trình nghiên cứu trước [5, 7-10] và bằng [6] như thấy trong bảng 7.

3.2. Kịch bản 2:

Bước 1: Xác định các điểm thắt cổ chai

Kết quả tính toán Min-Cut bằng thủ công được tập hợp các mặt cắt thể hiện trên bảng 8.

Bảng 8. Tập hợp các mặt cắt 6 nút theo trường hợp 2

Số TT	Tập cắt	Capa (MW)	Thành phần mặt cắt đi qua		
			Gens	Loads	Branches
1	Gens	888	1, 3, 6		
2	Loads	912		1, 2, 3, 4, 5	
3	CUT-1	824		1, 2, 3, 4	1-5, 3-5
4	Min-cut	608	1, 3		4-6, 2-6
5	CUT-3	936		3, 1, 4	2-6, 3-5, 2-3, 1-5, 1-2, 2-4
6	CUT-4	840	1	3, 4	2-6, 3-5, 2-3, 2-4, 1-4

Với kết quả này nhận thấy có 4 vị trí thắt cổ chai rơi vào các lát cắt tương ứng với từng trường hợp như sau:

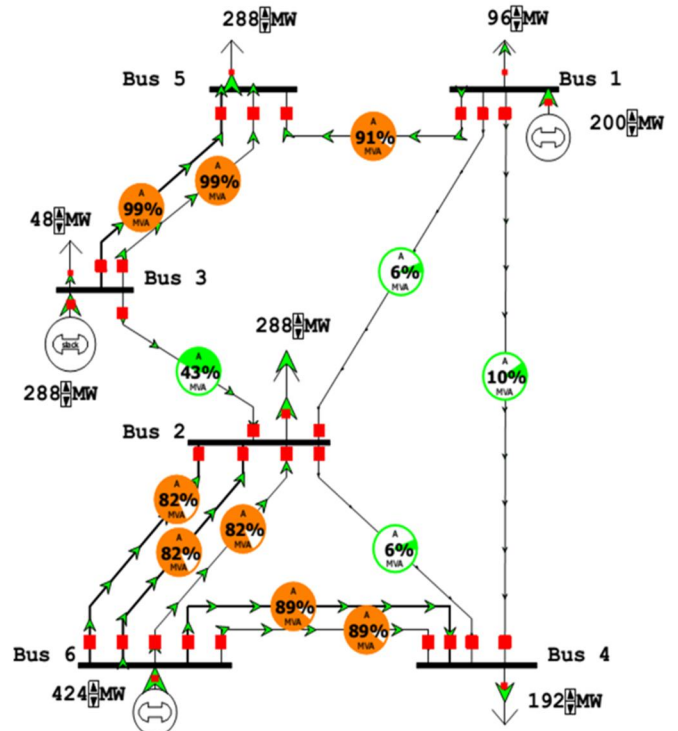
Lát cắt	Gens	Min-cut	Cut-1	Cut-4
Rơi vào trường hợp	5	1	4	6

Bước 2: Định hướng quy hoạch

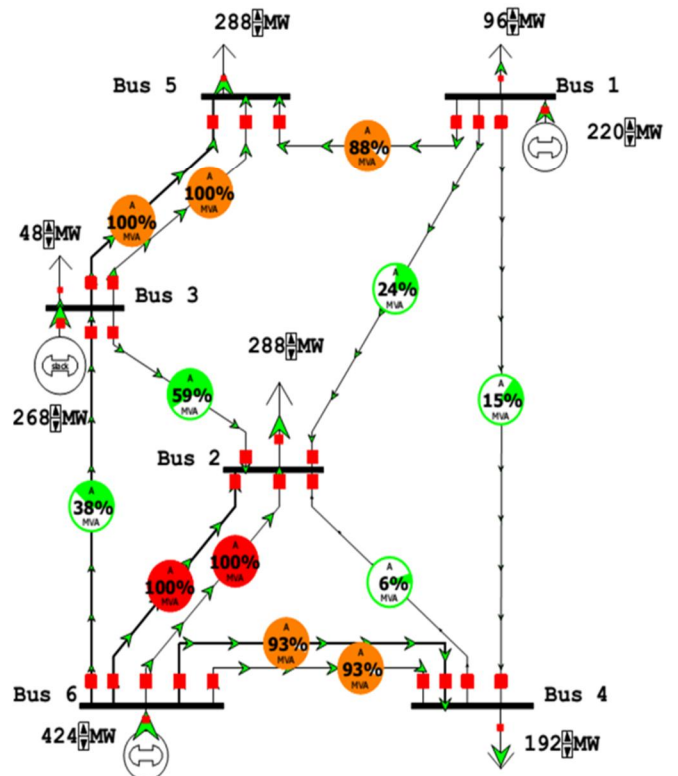
- Với lát cắt (Gens) phải mở rộng nguồn tương ứng với công suất mở rộng tối thiểu là 24MW.
- Lát cắt (Min-cut): sau khi xem xét mở rộng nguồn 1 hoặc 3 thì phải mở rộng các nhánh 2-6 và 4-6 thêm tối thiểu 3 mạch mới.
- Lát cắt (Cut-1): mở rộng một trong các nhánh 1-5 hoặc 3-5 thêm tối thiểu 1 mạch mới.
- Lát cắt (Cut-4): sau khi xem xét mở rộng nguồn 1 thì phải mở rộng một trong các nhánh 1-4, 2-3, 2-4, 2-6 và 3-5 thêm tối thiểu 1 mạch mới.
- Xây dựng một nhánh theo hướng tuyến mới nối nút 3 với nút 6 hoặc nút 5 với nút 6.

Ba phương án quy hoạch được thể hiện trên hình 8, 9 và 10

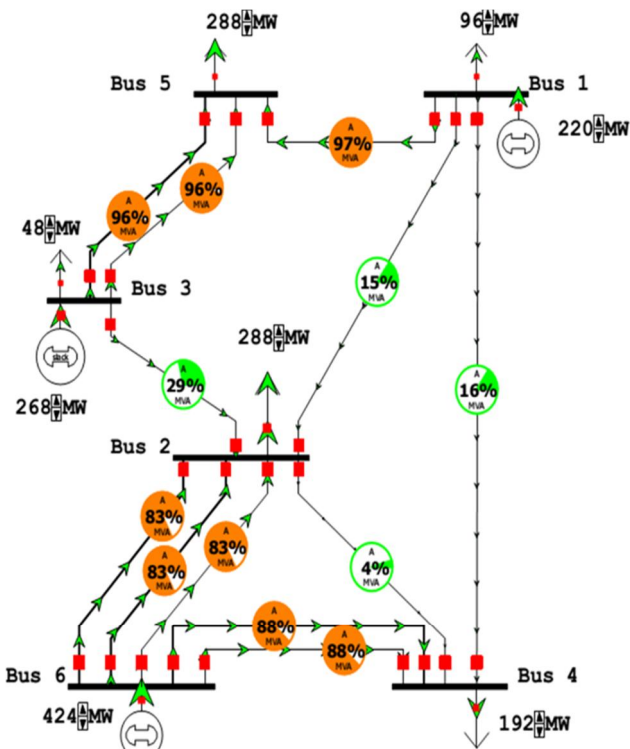
Phương án	Nội dung quy hoạch
1	- Mở rộng nguồn G1 lên 220MW - Mở rộng các nhánh 2-6 (2), 3-5 và 4-6
2	- Mở rộng nguồn G1 lên 200MW - Mở rộng các nhánh 2-6 (2), 3-5 và 4-6 - TCSC nhánh 1-5 (30% $X_{1,5}$) để khắc phục quá tải cục bộ
3	- Mở rộng nguồn G1 lên 220MW - Mở rộng các nhánh 2-6, 3-5, 4-6 và 3-6



Hình 9. Phương án 2 của trường hợp 2



Hình 10. Phương án 3 của trường hợp 2



Hình 8. Phương án 1 của trường hợp 2

Toàn bộ kết quả phân tích trên có thể thấy rằng, nghẽn mạch cũng đã được loại bỏ sau khi phối hợp nhiều biện pháp quy hoạch trong trường hợp tải hệ thống được tăng lên 20%.

4. KẾT LUẬN

Việc phối hợp nhiều biện pháp quy hoạch mở rộng hệ thống điện trong môi trường thị trường điện để tối ưu hóa khả năng sử dụng hệ thống điện hiện hữu, tiết kiệm chi phí đầu tư là một vấn đề cần thiết cho các nhà làm quy hoạch. Trong đó, việc xác định chính xác vị trí cần quy hoạch (quy hoạch nguồn, lưới, tải) là một vấn đề khó nếu như không có một phương pháp hiệu quả. Bài báo này đã áp dụng giải thuật Min-cut để xác định nhanh các lát cắt, từ đó đưa ra các định hướng cần quy hoạch để mở rộng hệ thống một cách hiệu quả. Những kết quả mô phỏng đã cho thấy tính hiệu quả của phương pháp đề xuất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M. Stoer and F. Wagner, 1997. "A Simple Min-Cut Algorithm". Journal of the Association for Computing Machinery, vol. 44, no. 04, pp. 585-591.
- [2]. T. L. Duong, J. Yao and K. Tong, 2014. "Optimal Location of Thyristor-controlled-series-capacitor using Min Cut Algorithm". TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering, vol. 12, no. 05, pp. 3649-3661.
- [3]. T.-H. Chen and V.-T. Tran, 2015. "Optimization of Transmission Expansion Planning by Minimal Cut Sets Based on Graph Theory". Electric Power Components and Systems, vol. 43, no. 16, pp. 1822-1831.
- [4]. L. L. Garver, 1970. "Transmission Network Estimation Using Linear Programming". IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vols. PAS-89, no. 07, pp. 1688-1697.
- [5]. I. d. J. Silva, M. J. Rider, R. Romero, A. V. Garcia and C. A. Murari, 2005. "Transmission network expansion planning with security constraints". IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution, vol. 152, no. 06, pp. 828-836.
- [6]. T.-H. Chen and V.-T. Tran, 2015. "Optimization of Transmission Expansion Planning by Minimal Cut Sets Based on Graph Theory". Electric Power Components and Systems, vol. 43, no. 16, pp. 1822-1831.
- [7]. R.-A. Hooshmand, R. Hemmati and M. Parastegari, 2012. "Combination of AC Transmission Expansion Planning and Reactive Power Planning in the restructured power system". Energy Conversion and Management, vol. 55, pp. 26-35.
- [8]. R.-C. Leou, 2011. "A multi-year transmission planning under a deregulated market". Electrical Power and Energy Systems, vol. 33, pp. 708-714.
- [9]. M. J. Rid, A. V. Garcia and R. Romero, 2007. "Power system transmission network expansion planning using AC model". IET Generation, Transmission and Distribution, vol. 01, no. 05, pp. 731-742.
- [10]. N. Alguacil, A. L. Motto and A. J. Conejo, 2003. "Transmission Expansion Planning: A Mixed-Integer LP Approach". IEEE Transactions on Power Systems, vol. 18, no. 03, pp. 1070-1077.