

SỬ DỤNG MẶT CẮT TỐI THIỂU CHỐNG NGHẼN MẠCH TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

USING MINIMUM CUT TO PREVENT CONGESTION IN ELECTRICAL POWER SYSTEM

TS. Trương Việt Anh

ĐH Sư Phạm Kỹ Thuật TP. HCM

Trần Văn Hải

CD Công Nghiệp Thực Phẩm TP. HCM

TÓM TẮT

Khi chuyển sang thị trường điện thì vấn đề nghẽn mạch truyền tải là thường xuyên xảy ra, có ảnh hưởng đến ổn định và độ tin cậy hệ thống điện (HTĐ). Vì vậy, điều khiển nghẽn mạch là chức năng quan trọng của bất kỳ ISO và là quá trình đảm bảo hệ thống truyền tải không bị vi phạm các giới hạn vận hành. Bài báo này trình bày phương pháp sử dụng mặt cắt tối thiểu ($F_{cut-min}$) và giá điện của các máy phát (MF) để xác định công suất phát của các MF nhằm giảm nghẽn mạch đường dây liên vùng và trong vùng. Kết quả nghiên cứu trên lưới điện mẫu 5 nút và 14 nút của IEEE cho thấy tính hiệu quả của giải thuật đề nghị.

ABSTRACT

When switched to power market, the transmission congestion occurs frequently and affects the reliability and stability of electric power system. Therefore, congestion control is an important function of any ISO and it is a process to ensure for transmission system that is not violated the operation limits. This paper presents a method using minimum cut and electricity price of the generators to determine generating power of the generators which aimed at inter-zonal and intra-zonal congestion alleviation. The research results rely on the sample grid 5 bus and IEEE 14 bus that shows the effectiveness of proposed algorithm.

GIỚI THIỆU

Nghẽn mạch trong thị trường điện làm tăng giá bán điện tại các nút nên cần phải điều phối lại các MF trong vùng hay liên vùng để giảm nghẽn mạch, dẫn đến giảm giá bán điện cũng như giảm chi phí sản xuất điện năng. Có nhiều nghiên cứu khoa học về vấn đề này như điều độ tải, sử dụng các thiết bị FACTS, tuy nhiên còn những hạn chế khi chưa giải cùng lúc hai bài toán liên vùng và trong một vùng. Bài báo này đề xuất một giải thuật sử dụng phương pháp $F_{cut-min}$ để xác định tập các nhánh của vùng cổ chai của HTĐ, khi xảy ra nghẽn mạch, chỉ có những nhánh này mới có khả năng ứng cứu nhánh bị nghẽn mạch trong HTĐ.

I. PHƯƠNG PHÁP TIẾP CẬN

1. Xác định vùng cổ chai trong HTĐ

HTĐ được xem là một đồ thị vô hướng G có tập các đỉnh V là các nút và tập các nhánh E là đường dây. Mỗi nhánh e có trọng số $w(e) \geq 0$ đại diện cho khả năng mang tải của chúng. Trong G , bổ sung đỉnh S là đỉnh nối với các MF và T là đỉnh nối với các phụ tải. Như vậy, tồn tại các lát cắt chia đồ thị G thành hai nửa, một nửa chứa đỉnh S và một nửa chứa đỉnh T .

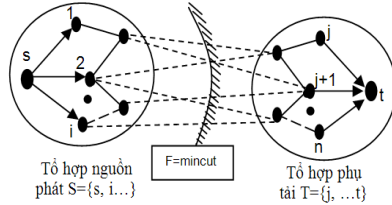
Gọi F là tập chứa các lát cắt này, giá trị của lát cắt thứ i : F_i ($i=1, n$, n : số lát cắt có thể) được tính theo (1) và F_{min} là lát cắt có giá trị bé nhất được xác định bằng giải thuật của Mechthild Stoer và Frank Wagner.

$$F_i = \sum_{j=1}^{N_i} w(e_j) \quad (1)$$

Trong đó:

- N_i : số nhánh mà mặt cắt đi qua,
- $w(e_j)$: trọng số nhánh thứ j trong N_i

Tập hợp các nhánh F_{\min} đi qua tạo thành một vùng cổ chai của HTĐ như hình 1.



Hình 1. Vị trí lát cắt cực tiểu trong mạng

2. Điều khiển nghẽn mạch liên vùng

Gọi tập nút $A=\{1, 2, \dots, N\}$, $E=\{1, 2, \dots, L\}$ là tập các đường dây. Mạng điện bao gồm một tập các vùng $Z=\{1, 2, \dots, K\}$. Sự phân chia vùng dẫn đến tập liên kết $C=\{1, 2, \dots, I\}$, kí hiệu một liên kết giữa vùng k_1 và k_2 bởi: $C_{k_1, k_2}=\{\ell_1, \ell_2, \dots\} \in C$.

Gọi dòng công suất tác dụng F_{ij} trên đường dây từ nút i tới nút j , các dòng công suất liên quan tới đường dây phải thỏa mãn $0 \leq F_{ij} \leq F_{ij}^{\max}$ và $0 \leq F_{ji} \leq F_{ji}^{\max}$. $G=\{1, 2, \dots, N_G\}$ là tập các MF, kí hiệu véc tơ P_g là công suất tác dụng phát ra của G ; $D=\{1, 2, \dots, N_D\}$ là tập các tải trong hệ thống, kí hiệu véc tơ P_d là công suất tác dụng tiêu thụ của D .

$S=\{1, 2, \dots, S\}$ là tập các SCs (Scheduling Coordinators). Tập này bao gồm các trung tâm giao dịch điện năng và các giao dịch song phương. G^s và D^s biểu thị tập con của các MF và phụ tải của SCs, mỗi SC được đặc trưng bởi:

$$S^s = \{G^s, D^s\}.$$

Gọi $C_g(P_g)$ là hàm chi phí của MF, $B_d(P_d)$ là hàm lợi nhuận của tải. Giả sử các hàm chi phí và hàm lợi nhuận là các hàm bậc 2 như sau:

$$C_g(P_g) = \alpha_{2,g} \cdot (P_g)^2 + \alpha_{1,g} \cdot P_g + \alpha_{0,g} \quad \$/h \quad (2)$$

$$B_d(P_d) = \beta_{2,d} \cdot (P_d)^2 + \beta_{1,d} \cdot P_d + \beta_{0,d} \quad \$/h \quad (3)$$

Hàm mục tiêu:

$$\min \sum_{P_g, P_d} \sum_{k \in Z} [C_g(P_g) - B_d(P_d)] \quad (4)$$

Ràng buộc:

Cân bằng công suất đối với vùng k :

$$\sum_{\substack{g \in G_k \\ d \in D_k}} (P_g - P_d) - \sum_{\substack{\{i,j\} \in C_{k,k'} \\ i \in A_k \\ k' \neq k}} F_{ij} + \sum_{\substack{\{i,j\} \in C_{k,k'} \\ i \in A_{k'} \\ k' \neq k}} F_{ji} = 0 \quad \forall k \in Z \quad (5)$$

Phân chia thị trường của các SCs:

$$\sum_{g \in G^s} P_g - \sum_{d \in D^s} P_d = 0, \quad \forall s \in S \quad (6)$$

Khả năng truyền tải đường dây liên kết:

$$0 \leq F_{ij} \leq F_{ij}^{\max}, \quad 0 \leq F_{ji} \leq F_{ji}^{\max} \quad (7)$$

$$\forall \{i, j\}, \{j, i\} \in C$$

Giới hạn MF:

$$P_g^{\min} \leq P_g \leq P_g^{\max}, \quad \forall g \in G \quad (8)$$

Giới hạn tải tiêu thụ:

$$P_d^{\min} \leq P_d \leq P_d^{\max}, \quad \forall d \in D \quad (9)$$

Mục tiêu điều khiển HTĐ theo ISO là biểu thức (4), dùng để cực đại phúc lợi xã hội hoặc tương đương cực tiểu các chi phí xã hội đối với tất cả các vùng theo các điều kiện ràng buộc khác nhau từ (5) đến (9) của mô hình.

3. Điều khiển nghẽn mạch trong vùng

Hàm mục tiêu:

$$\min \sum_{P_{G_i}, P_{D_j}} C_i(P_{G_i}) - \sum_j B_j(P_{D_j}) \quad (10)$$

Ràng buộc:

$$g(x, u) = 0 \quad (11)$$

$$h(x, u) \leq 0 \quad (12)$$

Trong đó:

— g và h là các tập ràng buộc vận hành hệ thống, bao gồm các phương trình dòng công suất hệ thống và các giới hạn dòng công suất truyền tải.

— x là tập các biến phụ thuộc.

— u là tập các biến điều khiển, đó là các

công suất tác dụng ở MF và các nút tải.

— i và j là tập các MF và các hệ tiêu thụ tương ứng.

Ràng buộc đẳng thức có thể được viết như sau:

$$\sum_j \tilde{P}_{Dj} - \sum_i \tilde{P}_{Gi} + L = 0 \quad (13)$$

Trong đó: L là hàm tổn thất truyền tải.

Ràng buộc bất đẳng thức có thể được cho như sau:

$$P_{Gi} - P_{Gi,max} \leq 0 \quad (14)$$

$$P_{Dj} - P_{Dj,max} \leq 0 \quad (15)$$

Biểu thức (10) dẫn tới lời giải và các điều kiện Kuhn-Tucker như sau:

$$\frac{\partial B_j}{\partial P_{Dj}} - \lambda_j \left(1 + \frac{\partial L}{\partial P_{Dj}}\right) - \gamma_j - \sum_k \pi_k \frac{\partial h_k}{\partial P_{Dj}} = 0 \quad (16)$$

$$\frac{\partial C_i}{\partial P_{Gi}} - \lambda_i \left(1 - \frac{\partial L}{\partial P_{Gi}}\right) + \mu_i + \sum_k \pi_k \frac{\partial h_k}{\partial P_{Gi}} = 0 \quad (17)$$

$$\mu_i (P_{Gi} - P_{Gi,max}) = 0 \text{ và } \mu_i \geq 0 \quad (18)$$

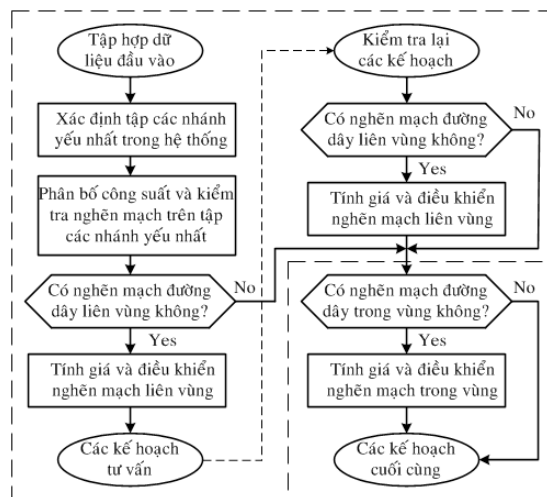
$$\gamma_j (P_{Dj} - P_{Dj,max}) = 0 \text{ và } \gamma_j \geq 0 \quad (19)$$

$$\pi_k h_k = 0 \text{ và } \pi_k \geq 0 \quad (20)$$

Trong đó:

λ : là chi phí gia tăng của hệ thống (nhân tử đối ngẫu về ràng buộc đẳng thức).

μ, γ và π tương ứng là các tập biến đối ngẫu Kuhn-Tucker về ràng buộc công suất và ràng buộc vận hành.

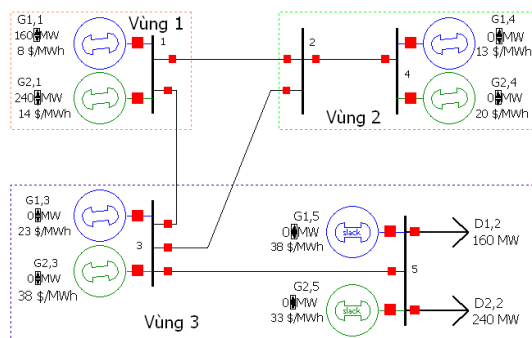


Hình 2. Lưu đồ điều khiển nghẽn mạch HTĐ

II. CÁC VÍ DỤ KHẢO SÁT

1. Hệ thống điện 5 nút

HTĐ đơn giản, 5 nút, 3 vùng, và 2 SC được trình bày tại hình 3. Các biên $G_{k,j}$ và $D_{k,j}$ tương ứng là MF và phụ tải của SC_k ở nút j , $k = 1 \div 2$ và $j = 1 \div 5$. Các MF có giới hạn $0 \leq P_G \leq 500$ MW, dữ liệu đường dây cho ở bảng 1.



Hình 3. HTĐ 5 nút

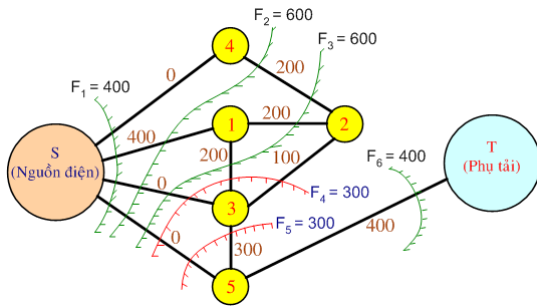
Từ nút	Tới nút	X (Ω)	Giới hạn (MVA)
1	2	0,02	200
1	3	0,01	200
2	3	0,02	100
2	4	0,02	200
3	5	0,02	300

Bảng 1. Dữ liệu đường dây của HTĐ 5 nút

Sử dụng phương pháp Fcut-min để tìm tập các nhánh có khả năng xảy ra nghẽn mạch trong HTĐ. Kết quả trình bày tại hình 4.

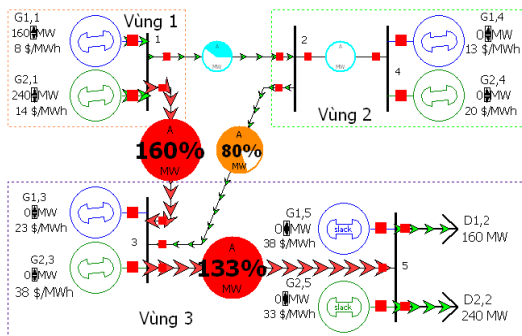
$$F_{\min} = F_4 = 0 + 0 + 200 + 100 = 300,$$

$$\text{hoặc } F_{\min} = F_5 = 0 + 300 = 300.$$



Hình 4. Kết quả sử dụng phương pháp $F_{cut-min}$

Do đó tập các nhánh yếu nhất là nhánh S-5, S-3, 1-3, nhánh 2-3 và nhánh 3-5. Đây là tập các nhánh có khả năng xảy ra nghẽn mạch nhiều nhất. Điều này thể hiện tại kết quả phân bố công suất trên PowerWorld tại hình 5.



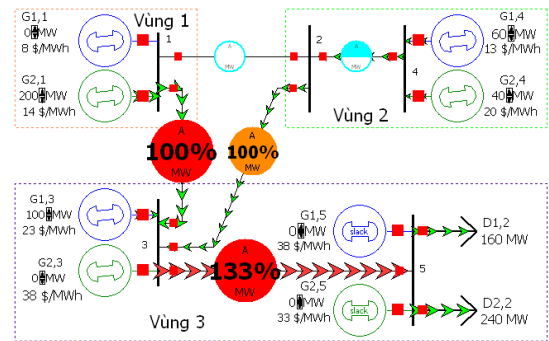
Hình 5. Phân bố dòng công suất theo kế hoạch ban đầu trên đường dây liên kết

a. Chống nghẽn mạch liên vùng

Theo hình 5, kế hoạch ban đầu sẽ dẫn đến quá tải 60% trên đường dây 1-3 liên kết giữa vùng 1 và vùng 3. Dựa vào $F_{cut-min}$ ($F_{\min} = F_4$) nhận thấy: để chống nghẽn mạch trên nhánh 1-3 cần tăng công suất đi qua S-5, S-3, 2-3 hay trong HTĐ cần tăng công suất MF5, MF3 và tăng dòng công suất trên nhánh 2-3. Tuy nhiên lượng tăng công suất ở mỗi nút nó còn phụ thuộc vào suất tăng tiêu hao nhiên liệu của mỗi MF điện.

SC1 bán với giá 8\$/MWh, và SC2 bán với giá 14\$/MWh cho đường dây nghẽn mạch nối giữa hai vùng. Vì giá của SC2 cao hơn giá của SC1, nên việc sử dụng đường dây nghẽn mạch sẽ được chỉ định SC2 trước, sau đó đến SC1. Có nghĩa là công suất theo kế hoạch của SC1 sẽ giảm trước, sau đó mới đến SC2, giảm cho đến giới hạn cho phép của đường dây. Kết quả

sau bước này được trình bày trên hình 6. Theo yêu cầu trên đường dây liên kết giữa hai vùng, G1,1 giảm ngõ ra từ 160MW xuống 0MW, G1,4 tăng ngõ ra từ 0MW đến 60MW, G1,3 tăng ngõ ra từ 0MW đến 100MW vì luôn có $G1,1 + G1,3 + G1,4 + G1,5 = D1,5$, tương tự G2,1 giảm ngõ ra từ 240MW xuống 200MW, G2,4 tăng ngõ ra từ 0MW đến 40MW vì luôn có $G2,1 + G2,3 + G2,4 + G2,5 = D2,5$. Đây là sự phân chia thị trường, tăng hay giảm công suất trong cặp tổ máy nào đó của SC này thì được bù bởi giảm hay tăng công suất của cùng SC đó.



Hình 6. Kết quả điều khiển nghẽn mạch liên vùng.

Chi phí biên của mỗi SC ở mỗi nút được trình bày trong bảng 2.

SC	Nút	Giá (\$/MWh)	LMP (\$/MWh)
SC ₁	1	8	LMP _{1,1} = 7
	2	-	LMP _{1,2} = 13
	3	23	LMP _{1,3} = 23
	4	13	LMP _{1,4} = 13
	5	38	LMP _{1,5} = 23
SC ₂	1	14	LMP _{2,1} = 14
	2	-	LMP _{2,2} = 20
	3	38	LMP _{2,3} = 30
	4	20	LMP _{2,4} = 20
	5	33	LMP _{2,5} = 30

Bảng 2. Chi phí biên của mỗi SC ở mỗi nút.

b. Chống nghẽn mạch trong vùng

Sau khi điều khiển nghẽn mạch liên vùng, đường dây 3-5 vẫn còn bị quá tải 33% (hình 6). Dựa vào $F_{cut-min}$ ($F_{\min} = F_5$) nhận thấy: để chống nghẽn mạch trên nhánh 3-5, phải chuyển một phần công suất qua nhánh S-5

IV. KẾT LUẬN

Việc sử dụng Fcut-min đã làm giảm không gian tìm kiếm các MF cần phải huy động trong việc chống nghẽn mạch đường dây liên vùng và trong vùng.

Kết quả khảo sát trên HTĐ 5 nút và IEEE 14 nút đã cho thấy tính hiệu quả của giải thuật đề nghị.

Thông tin giá nút có thể dùng để nâng cao hiệu quả sử dụng lưới điện, nguồn năng lượng, điều khiển nghẽn mạch, phác thảo giá điện hợp lý cho HTĐ, cung cấp tín hiệu kinh tế cho việc đầu tư nguồn điện và lưới truyền tải.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

A.S. Nayak, M.A. Pai, *Congestion Management in Restructured Power Systems Using an Optimal Power Flow Framework*, on the PSERC Website www.pserc.wisc.edu, Publication 02-03, May 2002.

D. Zimmerman, Carlos E. Murillo-Sánchez, *Matpower*, PSERC, Cornell University, Ithaca, NY14853, September 21, 2007.

Mechthild Stoer, Frank Wagner, *A Simple Min-Cut Algorithm*, Journal of the ACM, Vol. 44, No. 4, July 1997, pp. 585-591.

Mohammad Shahidehpour, Muwaffaq Alomoush, *Restructured Electrical Power Systems: Operation, Trading, and Volatility*, Marcel Dekker, Inc, 2001.

Silpa Parnandi, *Power Market Analysis Tool for Congestion Management*, Morgantown, West Virginia, 2007.