XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ HỢP LÝ CỦA TCSC TRÊN LƯỚI ĐIỆN TRUYỀN TẢI ĐỂ CHỐNG NGHẼN MẠCH

IDENTIFYING SUITABLE TCSC POSITIONS ON TRANSMISSION SYSTEMS TO PREVENT CONGESTION

TS. Trương Việt Anh
Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật Tp.HCM
Bùi Văn Hiền
Cao Đẳng Giao Thông Vận Tải Tp.HCM
Dương Thanh Long
Đại Học Công Nghiệp TpHCM

TÓM TẮT

Những hệ thống điện (HTĐ) luôn luôn tồn tại các nhánh yếu nhất có khả năng dẫn đến nghẽn mạch (quá tải) thường xuyên khi phân bố công suất giữa các nhà máy điện cực tiểu chi phí phát điện. Để chống nghẽn mạch trên HTĐ cần điều chỉnh công suất phát ở một số nhà máy điện, nên đã đẩy giá bán điện tăng cao. Giải quyết bài toán chống nghẽn mạch trong HTĐ mà không thay đổi công suất phát tối ưu giữa các nhà máy điện sẽ làm giảm chi phí sản xuất điện năng. Bài báo này trình bày việc áp dụng lý thuyết xác định mặt cắt tối thiểu (Fmin) để xác định vị trí nghẽn mạch của HTĐ từ đó chỉ ra vị trí hợp lý của bộ TCSC (Thyristor-Controlled Series Compensator) trên HTĐ nhằm giải quyết nghẽn mạch và nâng cao khả năng tải của HTĐ cũng như làm giảm chi phí sản xuất điện năng. Kết quả nghiên cứu trên lưới điện 7 nút và IEEE 14 nút đã chứng tỏ tính hiệu quả của giải thuật.

ABSTRACT

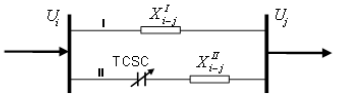
On power systems, there are always weakest branches which possibly result in congestion (overload) when capacity distribution among power stations often aims at minimizing generation expenses. To prevent congestion on distribution, it is necessary to adjust generating capacity of some stations, leading to increasing selling prices. Production cost will be reduced if congestion on rid is effectively solved without changing the optimal power of these stations. This paper represents the application of identifying minimum cut (Fmin) to find the congestion position and then pointing out the suitable positions of Thyristor-Controlled Series Compensator (TCSC). The application will lead to preventing congestion, increasing the transmission load of the rid, and thus reducing electrical production cost. Study results on a 7-node network and 14-node IEEE have proved the effectiveness of the algorithm.

I. GIỚI THIỆU

Xét mạng điện như hình 1 với $X^{I}_{i-j}, X^{II}_{i-j}$ là điện kháng trên hai nhánh truyền tải I, II giữa hai thanh cái i và j. U_i, U_j là điện áp tại hai đầu thanh cái. Công suất truyền tải từ thanh cái i đến thanh cái j được tính theo biểu thức:

$$P = \frac{U_i U_j}{X^{I}_{i-j}} \sin\delta_{i-j} + \frac{U_i U_j}{X^{II}_{i-j} + X_{TCSC}} \sin\delta_{i-j} \quad (1)$$

Biểu thức (1) cho thấy: có thể thay đổi giá trị bù X_{TCSC} để thay đổi công suất trên nhánh II. Điều này đồng nghĩa với việc điều chỉnh dòng công suất truyền tải trên nhánh I giảm hoặc tăng theo.



Hình 1. *HTĐ đơn giản.*

Ở trạng thái tĩnh TCSC được xem như một tụ điện tĩnh –jXc hoặc là một cuộn kháng jX_L nên có thể điều khiển dòng công suất đi qua các nhánh theo (1).

Một HTĐ hiện hữu hoặc vừa thiết kế luôn tồn tại tập hợp các nhánh xung yếu có khả năng dẫn đến quá tải HTĐ. Khi có sự tăng tải, hay sự cố đường dây, để tránh quá tải tuyến dây (nếu có), cần phải điều chỉnh công suất của máy phát (MF) nên chi phí phát điện bị đẩy ra khỏi giá trị tối ưu C_1 và đạt giá trị C_2 (C_1<C_2) và giá điện tại các nút tải sẽ tăng đáng kể. Vì vậy, nếu giải quyết được việc phân lại các luồng công suất bằng TCSC trong HTĐ mà không cần phải điều phối lại công suất phát của các MF.

Nhiều công trình nghiên cứu trước đây về ứng dụng của FACTs tập trung vào các thiết bị như: TCSC, TCVR, TCPST, SVC và UPFC [3...7]. Tuy có những cách tiếp cận khác nhau nhưng nhìn chung các công trình nghiên cứu dựa trên các phương pháp sau:

Sử dụng giải thuật Gen [3..6] để tìm kiếm giải pháp tối ưu thường được ứng dụng nhiều nhất trong các nghiên cứu trước đây. Tuy nhiên phương pháp này phải đối mặt với số lượng nhánh và nút rất lớn trong HTĐ, nên thời gian xử lý thông tin lâu và phức tạp.

Phương pháp liệt kê thử nghiệm; còn được biết đến với tên gọi "phương pháp thử sai", (*trial and error method*) [4] thường được sử dụng để tìm vị trí tối ưu của thiết bị FACTS trong mạng điện. Giá trị bù lần lượt được thử trên tất cả các nhánh của mạng điện để tìm vị trí nào tối ưu nhất theo hàm mục tiêu ban đầu đề ra như: gia tăng tổng khả năng truyền tải của hệ thống [6], gia tăng tối đa phúc lợi xã hội [4,7] hoặc sự cân đối giữa chi phí bỏ ra và dung lượng bù hiệu quả [3].

M.A.Khaburi và M.R.Haghifam (2009) sử dụng phương pháp phân vùng để giới hạn phạm vi tìm kiếm [5,7]. Thiết bị bù chỉ lắp đặt trên các nhánh liên lạc giữa các vùng để kiểm tra tìm kiếm giải pháp tối ưu theo mục tiêu đề ra. Phương pháp này có ưu điểm là giới hạn được không gian phạm vi tìm kiếm giải pháp nhưng kết quả tùy thuộc vào sự phân vùng ban đầu của người vận hành. Nói chung nó chỉ chính xác trong trường hợp có sự quy hoạch liên vùng.

Khắc phục những nhược điểm của các nghiên cứu trước đây; bài báo này sử dụng lý thuyết Fmin xác định vị trí xung yếu nhất của HTĐ có thể dẫn đến quá tải thường xuyên. Kết hợp với tính hiệu quả của TCSC đặt tại vòng nghẽn mạch chống quá tải để giảm giá thành sản xuất điện cũng như giá bán điện trên thị trường.

II. PHƯƠNG PHÁP TIẾP CẬN.

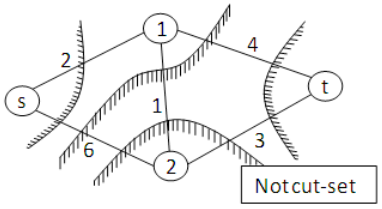
1. Lý thuyết Fmin.

Lát cắt cực tiểu và dòng công suất cực đại (*max flow-min cut*) là lượng cực đại của một luồng có khả năng thông qua tất cả các mặt cắt [1,2].

Min cut: Là lát cắt cực tiểu trong mạng phải là lát cắt sao cho nó chia đôi nguồn *s* và tải *t* nằm ở hai nửa của mặt phẳng cắt. Khi đó khả năng truyền tải từ nguồn *s* tới tải *t* thông qua lát cắt sẽ bằng

tổng khả năng truyền tải của các cung mà lát cắt đi qua. Hình 2 giới thiệu một số lát cắt tiêu biểu của lý thuyết.

Max-flow: Dòng công suất cực đại được hiểu là dòng công suất có khả năng truyền từ nguồn s tới tải t thông qua tất cả các mặt cắt. Do đó max-flow ≤ min-cut. Có thể hiểu theo nghĩa nút thắt cổ chai "bottle-neck" như sau: Khả năng truyền từ nguồn *s* tới tải *t* có thể lớn hơn giá trị min-cut tại những vị trí lát cắt khác. Nhưng do hệ thống bị nghẽn mạch tại vị trí nút thắt cổ chai nên luồng công suất truyền từ *s* tới *t* tối đa chỉ được tính bằng luồng công suất chuyển qua mặt phẳng cắt có giá trị tối thiểu.



Hình 2. *Mô hình hoá Fmin.*

Nói cách khác, lượng cực đại của một luồng từ nguồn phát s tới đỉnh thu t bằng khả năng thông qua của một lát cắt tối thiểu.

2. Xây dựng giải thuật xác định Fmin.

Xác định Fmin theo [1,2] khá phức tạp, bài báo này trình bày một thuật toán thực dụng được lập trình hoá gọi là max-flow để xác định Fmin và luồng công suất cực đại trong mạng điện theo những bước sau:

Bước 1: thành lập ma trận $A=A_{n\,x\,n}$.

Với mạng *n* nút cho tổng thông lượng có thể truyền tải giữa các nút trong mạng. Trong đó thành phần đường chéo chính $a_{ii}=0$. Các thành phần còn lại a_{ij} là thông lượng liên kết giữa hai nút i-j có giá trị đối xứng nhau qua đường chéo chính ($a_{ij}=a_{ji}$). Những nút không nối với nhau có giá trị $a_{ij}=0$.

Bước 2: Chọn hướng cắt.

Tổ hợp nút nguồn S={s}
Tổ hợp đỉnh thu T={t}.

Tính tổng giá trị hàng thứ nhất-tương đương với tổng các thông lượng của các nút được nối với tổ hợp nút nguồn phát S.

$$\sum C_{si} = a_{ss} + a_{s1} + a_{s2} + a_{st} = \sum a_{si}$$

Tính tổng giá trị hàng cuối cùng-tương đương với tổng thông lượng của các nút được nối với tổ hợp đỉnh thu T.

$$\sum C_{it} = a_{ts} + a_{t1} + a_{t2} + a_{tt} = \sum a_{it}$$

Thêm tổ hợp các nhánh C_{si} và tổng thông lượng $\sum C_{si}$ vào danh sách listcut.

Thêm tổ hợp các nhánh C_{it} và tổng thông lượng $\sum C_{it}$ vào danh sách listcut.

— C_{si} là thông lượng của các cung từ tổ hợp nguồn phát S đến nút i.

— C_{it} là thông lượng của các cung từ nút thứ i tới tổ hợp đỉnh thu T.

Bước 3: Chọn nút giảm trong sơ đồ.

- Nếu $\sum C_{si} > \sum C_{it}$
  Tính $C_{max} = \max[a_{si}] = \max[a_{ss}, a_{s1}, a_{s2}, a_{st}]$
  Di chuyển nút i vào tổ hợp nguồn phát S={s,i} bằng cách:
  - Bỏ và cộng giá trị hàng i vào hàng s
  - Bỏ và cộng giá trị cột i vào cột s.

  Quay lại bước 2:

- Nếu $\sum C_{si} < \sum C_{it}$
  $C_{max} = \max[a_{it}] = \max[a_{st}, a_{1t}, a_{tt}]$
  Di chuyển nút i vào tổ hợp đỉnh thu T={t,i} bằng cách:
  - Bỏ và cộng giá trị hàng i vào hàng t
  - Bỏ và cộng giá trị cột i vào cột t

- Nếu $\sum C_{si} = \sum C_{it}$
  Kiểm tra ma trận $A = [A]_{nxn}$.
  – Nếu n≠2 thì:
  Tính $C_{max} = \max[a_{si}, a_{it}]$, nếu $\max = a_{it}$ thì

di chuyển nút i vào tổ hợp đỉnh thu T, ngược lại thì di chuyển nút i vào tổ hợp nguồn phát S.

Quay lại bước 2.

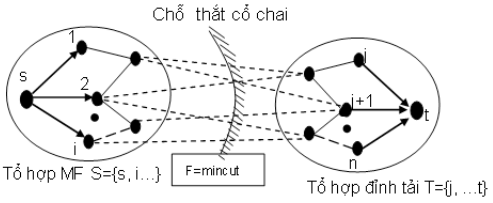
– Nếu n=2 thì:

Xuất ra kết quả trong danh sách listcut và dừng lặp.

3. Ứng dụng trong HTĐ.

Việc đặt TCSC vào HTĐ là bài toán thiết kế, trong khi điều độ các MF là bài toán vận hành, nên nhánh được đặt TCSC phải là nhánh thường xuyên bị quá tải trong các trường hợp tăng tải hay sự cố. Sử dụng Fmin để xác định tập các nhánh thuộc nút thắt cổ chai giữa tập các nguồn S và tập các tải T là điều cần thiết. Vì chỉ có những nhánh thuộc nút cổ chai mới có thể hỗ trợ cho nhánh bị quá tải. Khi đó, không gian tìm kiếm nhánh đặt TCSC sẽ giảm đáng kể.

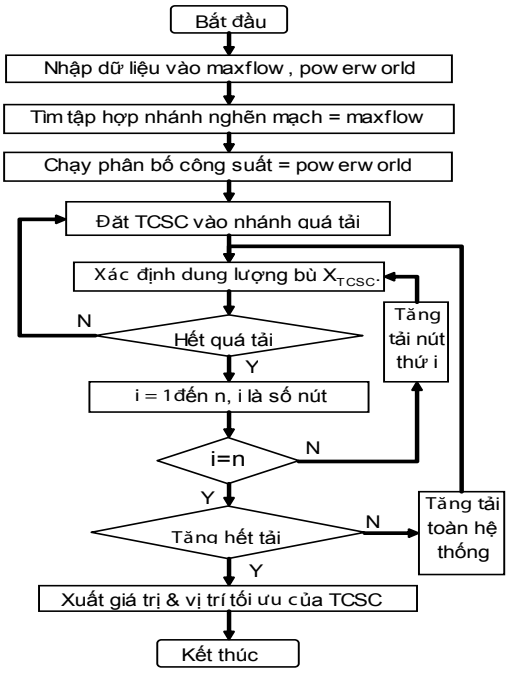
Theo biểu thức (1), để chống quá tải trên các nhánh nối nút I và J có thể điều chỉnh TCSC có tính kháng hay dung để phân bố dòng công suất qua các nhánh khác trong vòng nghẽn mạch mà chương trình max-flow đã chỉ ra, khi đó chỉ cần xác định tính bù kháng hay dung của TCSC.



Hình 3. *Fmin và chỗ thắt cổ chai trong HTĐ*

4. Lưu đồ xác định vị trí TCSC.

Từ những phân tích về khả năng điều khiển dòng công suất của TCSC. Kết hợp với giải thuật max-flow xác định tập hợp nhánh nghẽn mạch HTĐ, giải thuật xác định vị trí và dung lượng bù của TCSC được trình bày trong hình 4:



Hình 4. *Lưu đồ xác định vị trí TCSC.*

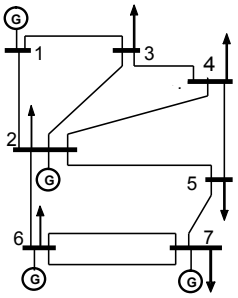
IV. VÍ DỤ ÁP DỤNG

1. Lưới điện 7 nút

HTĐ 7 nút gồm 4 MF tại các thanh cái 1, 2, 6 và 7 và các phụ tải cho tại bảng 1, các thông số cấu trúc cho tại hình 5. Khi hệ thống bị quá tải nên giá điện bị đẩy lên cao vì phải điều chỉnh công suất phát. Để giải quyết vấn đề này, tài liệu [6,7] HTĐ được phân thành hai vùng nguồn (source area) và tải (sink area) theo chủ quan của người nghiên cứu. Thiết bị FACTS được lắp đặt trên các nhánh liên lạc giữa hai vùng này để kiểm tra so sánh tính tối ưu. Tuy phương pháp này giới hạn được phạm vi tìm kiếm giải pháp nhưng việc phân vùng không mang tính khoa học.

Ứng dụng giải thuật max-flow đề xuất trong nghiên cứu này xác định tập hợp nhánh nghẽn mạch bằng Fmin như một phương pháp phân vùng một cách khoa học. Hình 6 giới thiệu mô hình hoá và danh sách lát cắt của lưới điện 7 nút đi qua các nhánh 1-2 và 1-3 theo chương trình max-flow tại hình 5.

Để xác định vị trí và giá trị quá tải, cần giải bài toán phân bố công suất trên HTĐ, kết quả nhánh 1-2 bị quá tải 7%. Do đó vị trí tốt nhất để đặt TCSC chống quá tải là ngay trên nhánh 1-2.

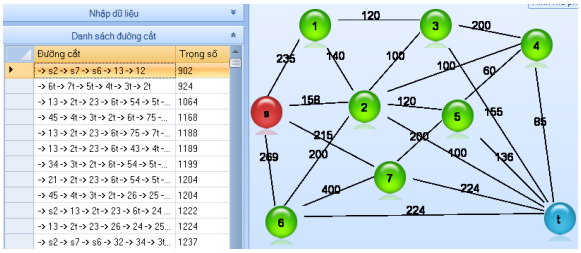


Nhánh	Smax (MW)	R (pU)	X (pU)	B (pU)
1-2	140	0.005	0.05	0.50
1-3	120	0.020	0.20	0.05
2-3	100	0.015	0.18	0.04
2-4	100	0.015	0.18	0.04
2-5	120	0.010	0.12	0.03
2-6	200	0.005	0.06	0.05
3-4	200	0.0025	0.03	0.02
4-5	60	0.020	0.24	0.05
5-7	200	0.005	0.06	0.04
2x 6-7	400	0.020	0.24	0.05

Hình 5: *Thông số cấu trúc của HTĐ 7 nút*

Nút	P_G (MW)	Q_G(MVAR)	P_L(MW)	Q_L(MVAR)
1	230	80	0	0
2	150	50	100	15
3	0	0	150	40
4	0	0	80	30
5	0	0	130	40
6	250	100	200	100
7	200	100	200	100

Bảng 1*: Dữ liệu MF và phụ tải lưới điện 7 nút.*



Hình 6. *Kết quả mô hình hoá lưới 7 nút.*

Sau khi lắp đặt TCSC trên nhánh 1-2 điều chỉnh giá trị bù X_{TCSC}=0.035 dòng công suất trong mạng được tính toán phân bố lại một cách hợp lý. Nhánh 1-2 hết quá tải và làm việc với 97% giới hạn cho phép.

Để kiểm tra tính hiệu quả của TCSC lắp đặt trên nhánh 1-2 trong việc điều khiển dòng công suất khi có sự thay đổi phụ tải liên tục. Bảng 2 giới thiệu kết quả khi tăng tải hệ thống và giá trị bù của TCSC để điều khiển chống nghẽn mạch lưới điện 7 nút.

Nhận xét: Vị trí tối ưu để lắp đặt TCSC là trên nhánh 1-2 với dung lượng tối đa là X_{TCSC}=0.05pU, có thể giải quyết mọi mức tăng tải 20% cho tất cả các phụ tải, hay nói cách khác, đã tăng khả năng truyền tải của HTĐ lên 20%.

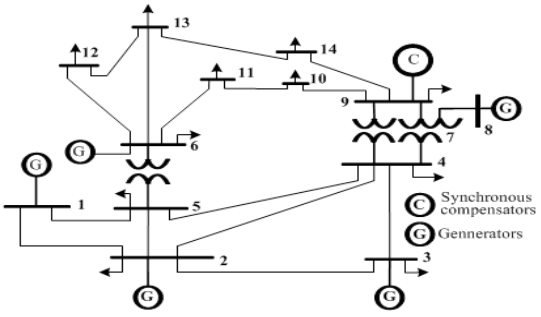
Stt	Nút tăng Tải (20%)	Giá trị bù X_{TCSC}	Công suất qua nhánh 12	
			Trước bù (%)	Sau bù (%)
1	2	0.025-0.045	107	99 - 94
2	3	0.011-0.035	102	99 - 92
3	4	0.022-0.045	104	99 - 93
4	5	0.025-0.045	107	99 - 94
5	6	0.025-0.050	107	100 - 94
6	7	0.025-0.050	107	100 - 94
7	Tất cả các nút	0.035-0.050	108	99 - 95

Bảng 2: *Giá trị X_{TCSC} bù trên lưới điện 7 nút.*

2. Lưới điện 14 nút

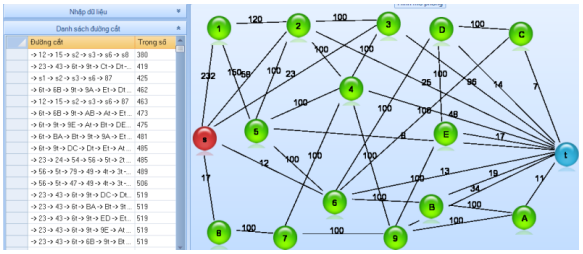
HTĐ 14 nút được mô tả hình 7, có các tổ MF tại các thanh cái 1, 2, 3, 6 và 8 theo [8]. Các nhánh 1-2, 1-5 được giới hạn với mức công suất là 120MW và 150MW. Các nhánh còn lại có giới hạn công suất là 100MW.

Mô hình hoá lưới điện sử dụng thuật toán lát cắt cực tiểu với chương trình max-flow đã đề xuất tìm kiếm tập hợp nhánh quá tải với kết quả cho trong hình 7.



Hình 7: *Lưới IEEE 14bus*

Kết quả chạy chương trình Max-flow (hình 8) chỉ ra tập hợp các nhánh xung yếu nhất của HTĐ là 1-2 và 1-5. Đây là hai nhánh có nhiều khả năng gây quá tải HTĐ theo lý thuyết này.



Hình 8. *Kết quả mô hình hoá lưới 14 nút.*

Giải bài toán phân bố công suất cho thấy nhánh 1-2 bị quá tải 10%, do đó, vị trí tốt nhất đặt TCSC chống quá là nhánh 1-2.

Sau khi lắp đặt TCSC trên nhánh 1-2 điều chỉnh giá trị bù X_{TCSC}=0.05 dòng công suất trong mạng được tính toán phân bố lại một cách hợp lý. Nhánh 1-2 hết quá tải và làm việc với 99% giới hạn cho phép.

Để kiểm tra tính hiệu quả của TCSC lắp đặt trên nhánh 1-2 trong việc điều khiển dòng công suất khi có sự thay đổi phụ tải liên tục. Bảng 2 trình bày kết quả tăng tải trong HTĐ lên 20% và giá trị bù của TCSC để điều khiển chống nghẽn mạch lưới điện 14 nút.

Nhận xét: với giá trị cài đặt thiết bị bù $0.2X_{line}<X_{TCSC}<0.5X_{line}$ $(0.05<X_{TCSC}<0.10)$ trong hệ tương đối (pU), hầu hết quá tải hệ thống đều được TCSC điều khiển giải trừ một cách hiệu quả và khả năng truyền tải của HTĐ cũng tăng lên 20%, không cần điều chỉnh công suất phát của các MF.

Stt	Nút tăng tải (20%)	Giá trị bù X_{TCSC}	Công suất qua nhánh 12	
			Trước bù (%)	Sau bù (%)
1	2	0.06 - 0.10	112	99 - 92
2	3	0,08 - 0.10	119	103 -101
3	4	0.07 - 0.10	115	100 - 95
4	5	0.05 - 0.10	111	100 - 92
5	6	0.05 - 0.10	110	99 - 92
6	9	0.06 - 0.10	112	99 - 92
7	10	0.05 - 0.10	110	99 - 92
8	11	0.06 - 0.10	112	99 - 92
9	12	0.05 - 0.10	110	99 - 92
10	13	0.05 - 0.10	111	99 - 92
11	14	0.05 - 0.10	111	99 - 92
12	Tất cả các nút	0.10	133	113

Bảng 3*: Giá trị X_{TCSC} và tỷ lệ giảm công suất quá tải trên lưới điện 14 nút.*

Trường hợp 2 và 12 quá tải trên nhánh vẫn chưa được khắc phục. Nếu điều chỉnh tăng giá trị bù lên nữa có thể đạt được mục đích chống quá tải trên nhánh. Tuy nhiên có thể dẫn đến quá tải các nhánh khác của hệ thống và ảnh hưởng tới tính hiệu quả của giải pháp về mặt kinh tế. Do đó đối với hai trường hợp này có thể kết hợp việc hạn chế tăng tối đa lên 20% công suất hoặc kết hợp điều khiển thay đổi công suất phát của các tổ máy nếu không thể cắt tải. Việc kết hợp điều khiển này vẫn thỏa mãn tính hiệu quả của giải pháp mà vẫn đạt tiêu chuẩn kinh tế cũng như kỹ thuật.

Như vậy, vị trí và dung lượng tối ưu của TCSC bù cho lưới điện 14 nút này là trên nhánh 1-2 với giá trị cài đặt là X_{TCSC}= 0.10.

V. KẾT LUẬN.

Số lượng nhánh cần khảo sát trong bài toán tìm vị trí đặt TCSC trong HTĐ có thể giảm thiểu bằng bằng phương pháp mặt cắt tối thiểu kết hợp với việc giải bài toán phân bố công suất.

Kết quả nghiên cứu còn chỉ ra rằng: tại vị trí xung yếu nhất của HTĐ là nơi đặt TCSC có có hiệu quả và làm gia tăng khả

năng truyền tải, chống quá tải nhánh để giảm chi phí sản xuất điện trong HTĐ, điều này đồng nghĩa với việc giảm giá bán điện trên thị trường.

Các kết quả khảo sát trên các lưới điện 7 nút và 14 nút (IEEE 14bus) đã cho thấy tính hiệu quả của giải thuật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Ford, L.R., and Fulkerson, D.R., "Maximal Flows Through A Network", *Can. J. Math.* 8, 399-404, 1956.

Gerbex, S., Cherkaou, R., and Germond, A. J., Member, IEEE, "Optimal Location Of Facts Devices To Enhance Power System Security", Paper accepted presentation at 2003 IEEE Bologna Power TCH Conference, June 23th-26th, Bologna, Italy.

Khaburi, M.A., Haghifam, M.R., "A Probabilistic Modeling Based Appoach for Total Transfer Capability Enhancement Using FACTS Devices". *Electrical Power and Energy Systems 30* (2009), xxx–xxx.

Mithulananthan, N., Acharya, N., "A proposal for Investment Recovery of FACTS Devices in Deregulated Electricity Markets". *Electric Power Systems Research 77* (2007), 695-703.

Rashidinejad, M., Farahmangd, H., Firuxabad, M. F., Gharaveisi, A.A., "ATC Enhancement Using TCSC Via Artificial Intelligent Techniques". *Electric Power Systems Research 78* (2008), 11-20.

Shrestha, G.B., Feng, W., "Effects of Series Compensation on Spot Price Power Markets". *Electrical Power and Energy Systems 27* (2005), 428–436.

Stoer, M., and Wagner, F., "A Simple Min-Cut Algerithm", *Journal of The ACM*, Vol.44, No. 4, pp.585-591. July 1997.

http://www.pserc.cornell.edu/matpower/