



## TÍNH HIỆU QUẢ CỦA VIỆC SỬ DỤNG THIẾT BỊ FACTS ĐỂ NÂNG CAO ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP CHO HỆ THỐNG ĐIỆN CÓ HAI NGUỒN

Trần Thị Ngoạt<sup>1</sup>, Lê Ngọc Giang<sup>2</sup>, Nguyễn Thị Khánh<sup>1</sup>, Vũ Thị Tựa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

<sup>2</sup> Học viện Phòng Không - Không Quân

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 17/09/2017

Ngày phân biên đánh giá và sửa chữa: 20/10/2017

Ngày bài báo được chấp nhận đăng: 02/11/2017

### Tóm tắt:

Trong những năm gần đây, nhu cầu điện năng đã tăng lên đáng kể trong khi sự phát triển về nguồn và đường dây truyền tải điện thì bị hạn chế do nguồn đầu tư hạn hẹp và yếu tố môi trường. Do đó, một số đường dây truyền tải đã bị quá tải nặng nề và sự ổn định của hệ thống trở thành một yếu tố không thể kiểm soát được. Bộ thiết bị truyền tải điện xoay chiều linh hoạt (FACTS) được sử dụng cho việc truyền tải dòng điện xoay chiều, nâng cao khả năng điều khiển hệ thống điện và tăng khả năng truyền tải công suất trên đường dây. Tuy nhiên, các nghiên cứu gần đây cho thấy các bộ điều khiển FACTS có thể được sử dụng để tăng cường tính ổn định của hệ thống điện bên cạnh chức năng chính của việc kiểm soát dòng điện truyền tải. Bài báo trình bày một giải pháp nâng cao ổn định cho hệ thống điện gồm hai nguồn sử dụng các thiết bị FACTS.

**Từ khóa:** FACTS, SVC, STATCOM, ổn định hệ thống điện, ổn định điện áp.

### 1. Giới thiệu

Những năm gần đây, cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ, điện năng ngày càng đóng vai trò quan trọng trong tất cả các ngành kinh tế. Sự phát triển của nhu cầu tiêu thụ điện năng đánh giá sự phát triển của xã hội và nâng cao đời sống của một vùng, một quốc gia. Do đó, hệ thống điện cũng ngày càng phát triển cả về quy mô lẫn công nghệ. Ngày nay đã hình thành nhiều hệ thống điện lớn trong phạm vi quốc gia hoặc liên quốc gia. Sự xuất hiện nhiều nhà máy nhiệt điện, thủy điện làm cho việc vận hành hệ thống điện trở nên phức tạp, đặc biệt là vấn đề về đồng bộ cũng như tính ổn định của hệ thống. Theo Kundur “Ổn định của hệ thống điện là khả năng duy trì một điểm làm việc cân bằng trong điều kiện làm việc bình thường, và sau khi chịu một kích động với các thông số hệ thống thay đổi trong phạm vi cho phép để chế độ xác lập của hệ thống được bảo tồn” [1]. Sự ổn định của hệ thống được đánh giá bởi các dạng ổn định sau: ổn định tần số, ổn định điện áp, và ổn định góc lệch rotor của máy phát [2]. Bài báo này nghiên cứu ứng dụng các thiết bị FACTS vào hệ thống điện nhằm nâng cao khả năng ổn định cho hệ thống cũng như tránh hiện tượng tan rã hệ thống.

Sự phát triển nhanh chóng của công nghệ chế tạo thiết bị điện tử công suất và vi xử lý, đã và đang có tác động rất lớn đến các thiết bị được sử dụng để vận hành hệ thống điện. Các thiết bị điện tử công suất lớn và vi xử lý đã làm cho việc truyền tải và phân phối điện năng ngày càng tin cậy, khả

năng điều khiển cao và đạt được hiệu quả như mong muốn [3]. Thuật ngữ hệ thống truyền tải điện xoay chiều linh hoạt FACTS (Flexible AC Transmission System) đã dần trở nên quen thuộc hơn. Với công nghệ FACTS cho phép chúng ta điều khiển được dòng công suất, tăng cường khả năng truyền tải giữa các vùng với nhau và giảm thiểu các dao động trong hệ thống [4].

Nội dung của bài báo gồm: giới thiệu tóm tắt về các thiết bị FACTS và khả năng ứng dụng của chúng trong hệ thống điện. Xây dựng sơ đồ mô phỏng cho một hệ thống điện gồm hai nguồn và phân tích hiệu quả khi lắp đặt các thiết bị FACTS. Cuối cùng là kết luận.

### 2. Họ các thiết bị FACTS và khả năng ứng dụng của chúng

#### 2.1. Họ các thiết bị FACTS

Các thiết bị FACTS bao gồm:

Load tap changer (LTC): Thiết bị điều chỉnh nấc phân áp máy biến áp, thiết bị này có thể xem xét là một thiết bị FACTS khi nó được điều khiển bằng Thyristor.

Thyristor controller reactor (TCR): thiết bị điều chỉnh cuộn kháng, TCR điều chỉnh dòng điện chạy qua cuộn bằng Thyristor dựa trên nguyên tắc điều chỉnh góc mở của Thyristor.

Thyristor controller series capacitor (TCSC): Thyristor điều khiển tụ nối tiếp, nó hiệu chỉnh tổng trở của mạng điện.

Static compensator (STATCOM): thiết bị bù đồng bộ tĩnh là một trong các thiết bị điều khiển FACTS cơ bản nhất. Thiết bị này hoạt động dựa trên bộ biến đổi dòng điện hoặc điện áp.

Static Synchronous Series Compensators (SSSC): thiết bị bù tĩnh nối tiếp đồng bộ, thiết bị SSSC hoạt động không cần nguồn riêng, điều chỉnh dòng điện trên đường dây làm thay đổi điện áp đặt lên trên đường dây, từ đó điều khiển công suất truyền.

Unified Power Flow Controller (UPFC): thiết bị điều khiển dòng công suất hợp nhất, là sự kết hợp giữa thiết bị bù tĩnh STATCOM và thiết bị SSSC để điều chỉnh dòng công suất tác dụng và phản kháng truyền trên đường dây.

Static Var Compensator (SVC): sử dụng để duy trì hoặc điều chỉnh một số thông số cụ thể của hệ thống điện, chẳng hạn như điện áp của một nút.

High-voltage direct-current (HVDC): hệ thống truyền tải điện một chiều cao áp, đây là bộ điều khiển bao gồm trạm chỉnh lưu và trạm biến đổi, được kết nối với nhau như một "bộ đệm" - (back to back) hoặc cấp điện một chiều. Bộ biến đổi có thể có sử dụng Thyristor hoặc các thiết bị bán dẫn như GTOs, IGBTs.

## 2.2. Ứng dụng của các thiết bị FACTS

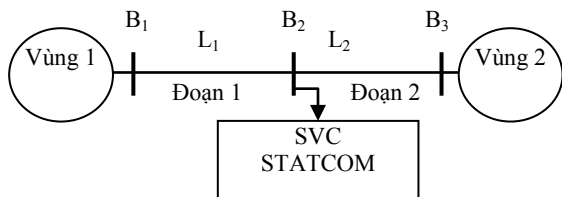
Các thiết bị FACTS cho phép thay đổi các tham số liên quan đến vận hành hệ thống bao gồm điện kháng đường dây, điện áp, dòng điện, góc pha và các dao động ở các tần số khác so với tần số cơ bản. Các thông số này được điều chỉnh không được vượt quá giá trị cho phép trong khi vẫn duy trì được độ ổn định của hệ thống, nói cách khác là không làm giảm khả năng truyền tải của đường dây. Bằng cách thêm vào các thiết bị có tính linh hoạt cao, thiết bị FACTS có thể cho phép một đường dây truyền tải đến sát giới hạn nhiệt của nó. Công nghệ FACTS không phải là một thiết bị điều khiển công suất lớn riêng rẽ mà là một tập hợp nhiều thiết bị điều khiển, có thể được sử dụng độc lập hoặc kết hợp với nhau để điều chỉnh một hay nhiều các tham số hệ thống đã đề cập ở trên. Việc lựa chọn thiết bị FACTS phù hợp có thể giải quyết được những hạn chế truyền tải trên đường dây do cấu trúc vật lý của dây dẫn và nâng cao được ổn định hệ thống điện mà các yếu tố quyết định của nó là ổn định tần số; ổn định điện áp và ổn định góc lệch của roto máy phát.

Việc ứng dụng các thiết bị FACTS vào hệ thống điện trong thời gian gần đây cho thấy HVDC, SVC, STATCOM là những thiết bị được sử dụng rất hiệu quả. Trong bài báo này nhóm tác giả sẽ mô phỏng hiệu quả nâng cao ổn định hệ thống điện của hai thiết bị đại diện là SVC và STATCOM cho một

hệ thống điện gồm hai nguồn được nối với nhau qua một đường dây liên kết.

## 3. Ổn định hệ thống điện hai nguồn dùng SVC và STATCOM

Xem xét một hệ thống điện gồm 2 nguồn ở 2 vùng (vùng 1 & vùng 2), được kết nối bởi một đường truyền dài như Hình 1. Hướng dòng công suất từ vùng 1 đến vùng 2. Đường truyền được chia thành hai phần (đoạn 1 và đoạn 2). Trên đường truyền đặt 3 thanh góp  $B_1, B_2, B_3$  theo khoảng cách  $B_1B_2 = L_1, B_2B_3 = L_2$ .



Hình 1. Hệ thống điện gồm hai nguồn

Các thông số của hệ thống điện được sử dụng trong mô hình như sau:

*Thông số máy phát:*  $M_1 = 1500\text{MVA}$ ,  $M_2 = 1000\text{MVA}$ ,  $V = 13,8\text{kV}$ ,  $f = 50\text{Hz}$ ,  $X_d = 1,305\Omega$ ,  $X_d' = 0,296\Omega$ ,  $X_d'' = 0,255\Omega$ ,  $X_q = 0,474\Omega$ ,  $X_q'' = 0,243\Omega$ ,  $X_1 = 0,18\Omega$

*Thông số biến áp:*  $T_1 = 1500\text{MVA}$ ,  $T_2 = 1000\text{MVA}$ ,  $13,8/500\text{kV}$ ,  $R_2 = 0,002\Omega$ ,  $L_2 = 0,12\text{H}$ ,  $R_m = 500\Omega$ ,  $X_m = 5000\Omega$ .

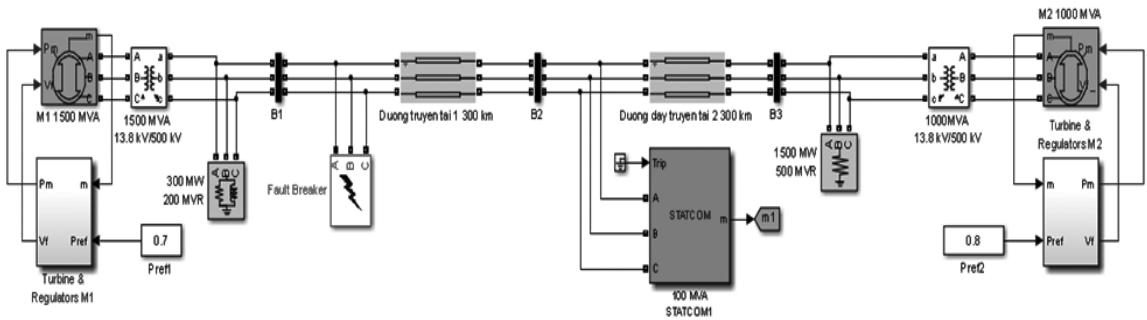
*Thông số đường dây cho mỗi km:*  
 $R_j = 0,1755\Omega$ ,  $R_0 = 0,2758\Omega$ ,  $L_1 = 0,8737\text{mH}$ ,  $L_0 = 3,22\text{mH}$ ,  $C_j = 13,33\text{nF}$ ,  $C_0 = 8,297\text{nF}$ .

Trong quá trình truyền tải điện, hệ thống được ổn định nhờ SVC hoặc Statcom với các thông số sau:

*Thông số của SVC:*  $500\text{kV}$ ,  $\pm 100\text{MVar}$ ,  $T_d = 4\text{ms}$ ,  $V_{\text{ref}} = 1$ ,  $X_s = 0,03$ ,  $K_p = 3$ ,  $K_i = 500$ .

*Thông số của STATCOM:*  $500\text{kV}$ ,  $\pm 100\text{MVar}$ ,  $R = 0,071\Omega$ ,  $L = 0,22$ ,  $V_{dc} = 40\text{kV}$ ,  $C_{dc} = 375\mu\text{F}$ ,  $V_{\text{ref}} = 1,0$ ,  $K_p = 50$ ,  $K_i = 1000$ .

Hệ thống hai nguồn được đề xuất với hai máy phát điện thủy lực là  $1500\text{MVA}$  và  $1000\text{MVA}$  kết nối qua đường dây truyền tải dài  $600\text{km}$  như trong Hình 2. Hai máy phát này được trang bị tua-bin thủy điện và HTG, hệ thống kích hoạt và bộ ổn định hệ thống điện (PSS). Đầu ra công suất ban đầu của máy phát là  $P_{\text{ref1}} = 0,7\text{pu}$  và  $P_{\text{ref2}} = 0,8\text{pu}$ . Cả SVC và STATCOM sử dụng cho mô hình này có cùng công suất  $\pm 100\text{MVA}$  và điện áp tham chiếu được đặt là  $1\text{pu}$  cho cả SVC và STATCOM. Một lỗi ba pha xảy ra ở thanh góp  $B_1$  trong khoảng thời gian từ  $0,5\text{s} \div 1\text{s}$ .



Hình 2. Sơ đồ mô phỏng của hệ thống điện khảo sát trong Matlab-Simulink

Để minh họa hiệu quả của STATCOM, tải trong mỗi vùng được thay đổi để quan sát SVC và STATCOM duy trì công suất trong khoảng  $1 \pm 0,05pu$

Chế độ 100% tải:

Tải 1 có  $P = 1000 MW, Q = 200 MVar$

Tải 2 có  $P = 1500 MW, Q = 500 MVar$

Chế độ 75% tải:

Tải 1 có  $P = 750 MW, Q = 140 MVar$

Tải 2 có  $P = 1125 MW, Q = 375 MVar$

Chế độ 50% tải:

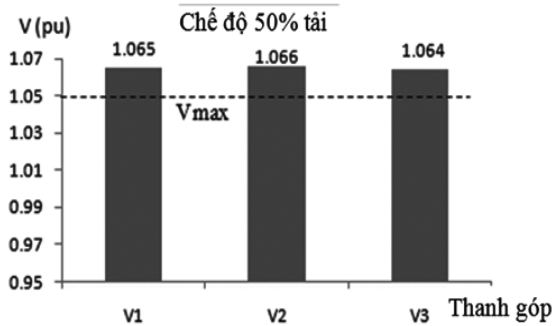
Tải 1 có  $P = 500 MW, Q = 100 MVar$

Tải 2 có  $P = 750 MW, Q = 250 MVar$

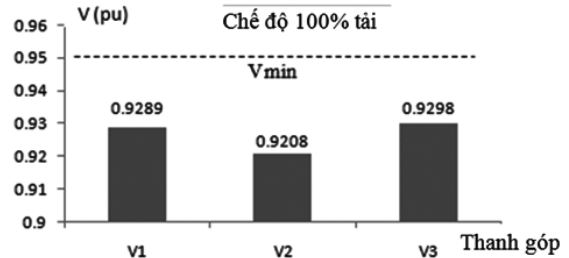
Kết quả mô phỏng như sau:

Bảng 1. Điện áp các thanh góp trong các chế độ khi hệ thống chưa được kết nối thiết bị bù

V1 (pu)			V2 (pu)			V3 (pu)		
50%	75%	100%	50%	75%	100%	50%	75%	100%
1,065	0,9747	0,9289	1,066	0,9692	0,9208	1,064	0,975	0,9298



Hình 3. Điện áp các thanh góp trong chế độ 50% tải khi hệ thống chưa kết nối thiết bị bù



Hình 4. Điện áp các thanh góp trong chế độ 100% tải khi hệ thống chưa kết nối thiết bị bù

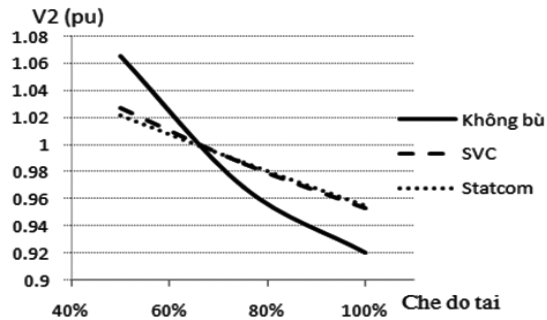
Từ đó các tác giả đề xuất đặt thiết bị FACTS tại thanh góp B2 để có thể nâng điện áp các thanh góp (đặc biệt thanh góp B2) ở chế độ quá tải, và giảm điện áp các thanh góp (đặc biệt thanh góp B2) ở chế độ non tải.

Bảng 2. Điện áp các thanh góp trong các chế độ khi hệ thống có và không kết nối thiết bị bù

	V1(pu)			V2(pu)			V3(pu)		
Chế độ	50%	75%	100%	50%	75%	100%	50%	75%	100%
Không bù	1,065	0,9747	0,9289	1,066	0,9692	0,9208	1,064	0,975	0,9298
SVC	1,030	0,9875	0,9572	1,027	0,9861	0,9536	1,031	0,9897	0,9597
Statcom	1,024	0,9885	0,9588	1,022	0,9869	0,9555	1,021	0,9898	0,9598

Như vậy khi hệ thống được kết nối thiết bị bù, điện áp tất cả các thanh góp đều nằm trong giới hạn cho phép, từ 0,95pu đến 1,05pu, ở tất cả các chế độ tải.

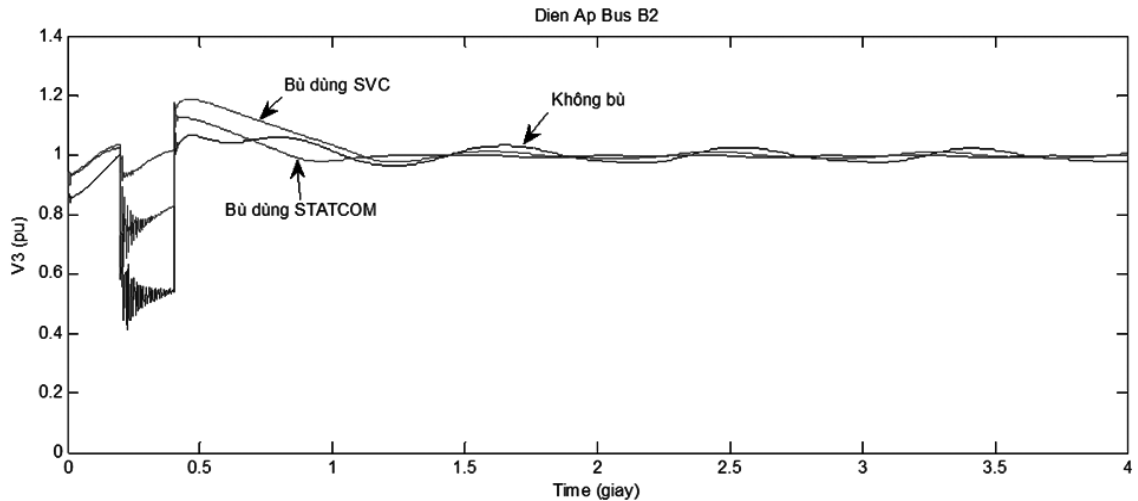
Điện áp trên thanh góp B2 trong các chế độ khác nhau khi hệ thống chưa được bù, được bù bởi SVC và STATCOM.



Hình 5. Điện áp thanh góp B2 trong các chế độ

Như vậy khi hệ thống chưa được kết nối thiết bị bù, điện áp trên thanh góp B2 thay đổi rất nhanh khi thay đổi các chế độ tải. Điện áp trên thanh góp B2 ổn định hơn khi hệ thống được kết nối với STATCOM so với khi hệ thống được kết nối với SVC.

Giả thiết trong khoảng thời gian từ 0,4 đến 0,5 giây xảy ra lỗi chạm đất pha A.

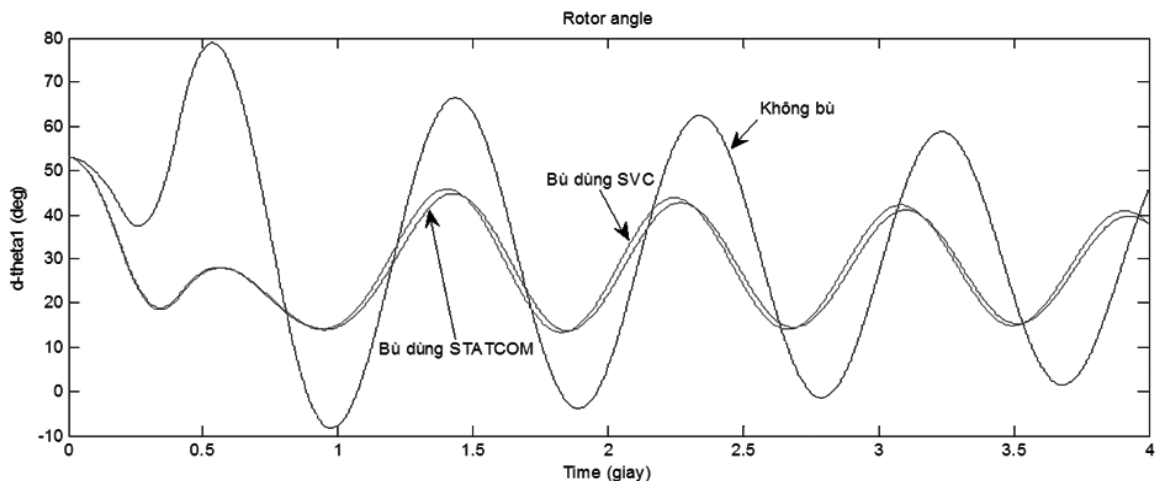


Hình 6. Điện áp thanh góp B2 khi xảy ra lỗi chạm đất pha A, có và không có bù

Ta thấy, điện áp thanh góp B2 sẽ bị dao động khi hệ thống chưa được kết nối thiết bị bù. Khi được bù bằng SVC, đến thời điểm 1,25 giây điện áp thanh góp B2 sẽ được ổn định. Khi được bù bằng STATCOM, điện áp thanh góp B2 được ổn định sớm hơn vào thời điểm 1 giây. Trong thời gian xảy ra lỗi lưới, STATCOM có tác dụng duy trì điện

áp lưới bị sụt nhỏ nhất.

Hình 7 cho thấy, khi xảy ra lỗi chạm đất pha A, góc roto sẽ bị dao động mạnh nếu hệ thống chưa được kết nối thiết bị bù. Khi được bù bằng SVC, và STATCOM biên độ dao động của góc quay roto giảm đi rất nhiều. Điều đó đảm bảo cho lưới điện hoạt động ổn định.



Hình 7. Dao động của góc quay roto xảy ra lỗi chạm đất pha A

#### 4. Kết luận

Bài báo đã chứng minh tính hiệu quả của thiết bị FACTS để cải thiện sự ổn định tức thời trong hệ thống điện hai nguồn tại các vị trí khác nhau của thiết bị này trong đường truyền. Bài báo cũng chỉ ra rằng khi có một hướng định trước của

dòng công suất, các thiết bị FACTS cần được đặt ở trung tâm để đạt được lợi ích tối đa. Kết quả cũng cho thấy STATCOM có tác dụng duy trì điện áp trên đường truyền ổn định hơn so với SVC. Đặc biệt STATCOM còn nâng cao khả năng vượt qua các sự cố xảy ra trên lưới điện.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Lã Văn Út, “*Phân tích và điều khiển ổn định hệ thống điện*”, NXB Khoa học kỹ thuật Hà Nội, năm 2001.
- [2]. Dr. Prabha, S. Kundur, “*Power System Stability and Control*”, 2011.
- [3]. Hingorani, N. Gyugyi, L., “*Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission System*”, IEEE PRESS, 2000.
- [4]. Sybille, G.; Giroux, P., “*Simulation of FACTS Controllers using the MATLAB Power System Blockset and Hypersim Real-Time Simulator*”, IEEE PES, Panel Session Digital Simulation of FACTS and Custom-Power Controllers Winter Meeting, New York, January 2002, pp. 488–491.

### THE EFFECTIVENESS OF USING FACTS EQUIPMENT TO IMPROVE THE VOLTAGE STABILITY FOR TWO-SOURCE POWER SYSTEMS

#### Abstract:

*In recent years, power demand has increased substantially while the expansion of power generation and transmission has been severely limited due to limited resources and environmental restrictions. As a consequence, some transmission lines are heavily loaded and the system stability becomes a power transfer-limiting factor. Flexible AC transmission systems (FACTS) controllers have been mainly used for solving various power system steady state control problems. However, recent studies reveal that FACTS controllers could be employed to enhance power system stability in addition to their main function of power flow control. This paper presents the solution of a stabilise for your systems including two sources using FACTSs device.*

**Keywords:** FACTS, SVC, STATCOM, power system stability, voltage stability.