

# PHÂN TÍCH VÀ ĐIỀU KHIỂN ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP HỆ THỐNG ĐIỆN BẰNG THIẾT BỊ FACTS

## POWER SYSTEM VOLTAGE STABILITY ANALYSIS AND CONTROL WITH FACTS

Lưu Bá Diễn,  
Hồ Văn Hiến

### TÓM TẮT

Các thiết bị FACTS được sử dụng để điều khiển điện áp, phân bố công suất, giảm tổn thất phản kháng, và làm giảm dao động công suất cho các mức truyền tải công suất cao. Nguyên nhân chính mất ổn định điện áp của hệ thống điện là thiếu công suất phản kháng. Điều khiển công suất phản kháng của hệ thống bằng thiết bị FACTS là một biện pháp để ngăn chặn mất ổn định điện áp và nâng cao khả năng truyền tải công suất của đường dây, đến mức giới hạn nhiệt cho phép. Trong bài báo này, sử dụng ngôn ngữ lập trình MATLAB để mô hình hóa và mô phỏng điều khiển điện áp hệ thống điện bằng thiết bị FACTS.

### ABSTRACT

FACTS devices are used for controlling transmission voltage, power flow, reducing reactive losses, and damping of power system oscillations for high power transfer levels. One of the major causes of voltage instability in power system is the reactive power limit of the system. Power reactive control of power network with FACTS is a remedy for prevention of voltage instability and capable of increasing the power transfer capability of a line, insofar as thermal limits permit. In this paper, the program language MATLAB is used for modelling and simulation for voltage control of the power system with FACTS.

**Từ khóa:** Stability voltage, flexible AC transmission system, static synchronous compensator, static VAR compensator.

## I. GIỚI THIỆU

Phân tích và điều khiển ổn định điện áp trở nên rất cần thiết khi hệ thống điện phải vận hành gần tới các giới hạn ổn định của chúng kể cả giới hạn ổn định điện áp. Hệ thống điện phải làm việc ở trạng thái gần điểm giới hạn điện áp là do thiếu đầu tư thiết bị FACTS cho mạng điện và công suất truyền tải giữa các vùng là quá lớn. Điện áp không ổn định đang trở thành mối quan tâm hàng đầu trong vận hành hệ thống điện. Có những sự cố mất điện đã xảy ra liên quan đến sự mất ổn định điện áp của hệ thống. Do đó việc phân tích và điều khiển ổn định điện áp nhằm nâng cao độ dự trữ ổn định của hệ thống điện là rất cần thiết, tránh mất ổn định điện áp xảy ra khi xảy ra sự biến động ngẫu nhiên của một trạng thái xác lập

là hết sức quan trọng.

Một trong những nguyên nhân chính dẫn đến mất ổn định điện áp của hệ thống điện là thiếu công suất phản kháng để hỗ trợ cho hệ thống. Việc cải thiện khả năng điều khiển công suất phản kháng của hệ thống bằng thiết bị FACTS (Flexible AC Transmission System) là một biện pháp để ngăn chặn mất ổn định điện áp và hơn nữa là sụp đổ điện áp.

Trong bài báo này trình bày mô hình của hệ thống điện có các bộ điều khiển FACTS để mô phỏng ổn định điện áp cho hệ thống điện bằng ngôn ngữ lập trình MATLAB.

## II. CƠ SỞ XÂY DỰNG MÔ HÌNH PHÂN BỐ CÔNG SUẤT

### 2.1 Phương trình phân bố công suất:

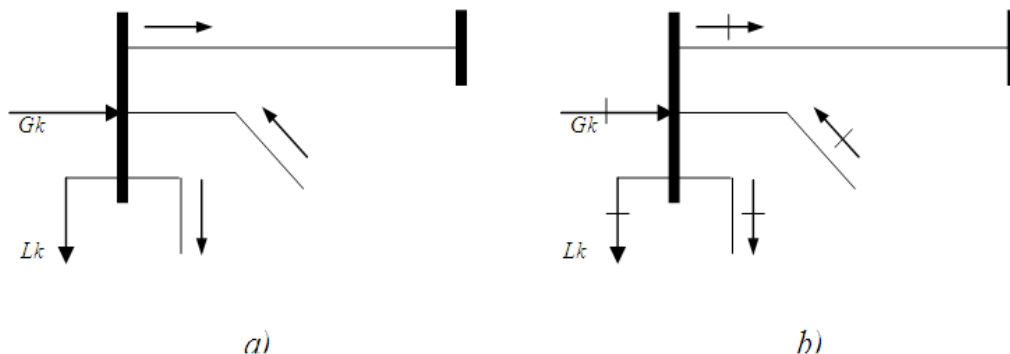
Phương trình phân bố công suất tại một thanh cái cho biết trước công suất phát, phụ tải và các công suất trao đổi chạy qua các phần tử của đường dây truyền tải kết nối đến thanh cái này phải được cộng lại bằng không. Đó là các phương trình điều kiện “phương trình độ thay đổi công suất” tại thanh cái  $k$  có công thức như sau:

$$\begin{aligned} \Delta P_k &= P_G - P_k - P_k^{cal} = P_k^{sch} - P_k^{cal} = 0, \\ \Delta Q_k &= Q_G - Q_k - Q_k^{cal} = Q_k^{sch} - Q_k^{cal} = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Trong đó:  $\Delta P_k$  và  $\Delta Q_k$  lần lượt là độ thay đổi công suất tác dụng và phản kháng tại thanh cái  $k$ .  $P_G$  và  $Q_G$  lần lượt là công suất tác dụng và phản kháng được bơm vào bởi máy phát ở thanh cái  $k$ .

$P_k$  và  $Q_k$  lần lượt là công suất tác dụng và phản kháng của phụ tải ở tại thanh cái  $k$ .

Công suất tác dụng và phản kháng kế hoạch đã biết trước:  $P_k^{sch} = P_G - P_k$ ,  $Q_k^{sch} = Q_G - Q_k$ . Công suất tác dụng và phản kháng truyền tải  $P_k^{cal}$  và  $Q_k^{cal}$ , là những hàm của các điện áp nút, tổng trở và được tính toán bằng cách sử dụng các phương trình phân bố công suất.



Hình 1 Cân bằng công suất tại thanh cái  $k$ : (a) công suất tác dụng, (b) công suất

Tổng công suất tác dụng và phản kháng thuần bơm vào ở thanh cái  $k$  là:

$$P_k^{cal} = \sum_{i=1}^n P_k^{i cal}, \quad Q_k^{cal} = \sum_{i=1}^n Q_k^{i cal}. \quad (2)$$

Mở rộng, “phương trình độ thay đổi công suất” cho trường hợp tổng quát là:

$$\Delta P_k = P_{Gk} - P_{Lk} - \sum_{i=1}^n P_k^{i cal} = 0, \quad \Delta Q_k = Q_{Gk} - Q_{Lk} - \sum_{i=1}^n Q_k^{i cal} = 0. \quad (3)$$

## 2.2 Phương pháp phân bố công suất Newton-Raphson:

Cơ sở để mô phỏng bài toán ổn định điện áp dựa trên ma trận đạo hàm riêng Jacobian có được từ bài toán phân bố công suất Newton-Raphson. Phương trình ma trận độ thay đổi công suất của phương pháp lặp phân bố công suất Newton-Raphson như sau:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}}_{F(X^{(i-1)})} = - \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \theta} & \frac{\partial P}{\partial V} \\ \frac{\partial Q}{\partial \theta} & \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix} V}_{J(X^{(i-1)})}^{(i)} \underbrace{\begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \\ V \end{bmatrix}}_{\Delta X^{(i)}}$$

Ma trận biên số Jacobian của bài toán phân bố công suất Newton-Raphson có thể bao gồm  $(nb - 1) \times (nb - 1)$  phần tử dạng :

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial P_k}{\partial \theta_m}, \quad \frac{\partial P_k}{\partial V_m} V_m, \\ \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_m}, \quad \frac{\partial Q_k}{\partial V_m} V_m, \end{array} \right\} \quad (5)$$

trong đó  $k = 1, \dots, nb$ , và  $m = 1, \dots, nb$  nhưng bỏ qua thanh cái *Slack*,  $nb$  là số thanh cái. Xem xét phần tử thứ  $l$  kết nối giữa thanh cái  $k$  và thanh cái  $m$  trong Hình 1, các số hạng Jacobian được cho như sau:

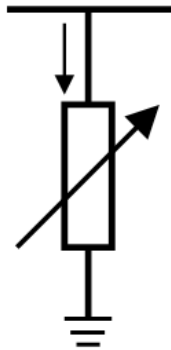
$$\frac{\partial P_k}{\partial \theta_k} = \sum_{l=1}^n \frac{\partial P_{k,l}}{\partial \theta_{k,l}}, \quad \frac{\partial P_k}{\partial V_k} V_k = \sum_{l=1}^n \frac{\partial P_{k,l}}{\partial V_{k,l}} V_{k,l}, \quad \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_k} = \sum_{l=1}^n \frac{\partial Q_{k,l}}{\partial \theta_{k,l}}, \quad \frac{\partial Q_k}{\partial V_k} V_k = \sum_{l=1}^n \frac{\partial Q_{k,l}}{\partial V_{k,l}} V_{k,l}. \quad (6)$$

### III. MÔ HÌNH CÁC BỘ ĐIỀU KHIỂN FACTS:

Trong nghiên cứu ổn định điện áp, quan tâm đến bộ điều khiển bù tĩnh SVC và bộ điều khiển bù đồng bộ STATCOM. Mô hình của chúng được xây dựng trên cơ sở các phương trình phân bố công suất và phương pháp phân bố công suất Newton-Raphson.

#### 3.1 Mô hình bộ bù tĩnh SVC:

Trong Hình 2 bộ SVC có thể được xem như là một cuộn kháng điều chỉnh được có góc kích giới hạn hoặc tổng trở giới hạn. Bằng cách thay đổi góc kích – mở công tắc điều khiển Thyristor để điều chỉnh tổng dẫn song song  $B_{SVC}$ .



Hình 2. Mô hình tổng dẫn song song thay đổi của bộ SVC.

Tổng dẫn thay đổi theo góc kích- mở  $\alpha_{SVC}$  Thyristor của bộ SVC là:

$$B_{SVC} = B_C - B_{TCR} = \frac{1}{X_C X_L} \left\{ X_L - \frac{X_C}{\pi} [2(\pi - \alpha_{SVC}) + \sin 2\alpha_{SVC}] \right\} \quad (7)$$

Trong đó:  $X_L = \omega L$ ,  $X_C = \frac{1}{\omega C}$ ,  $\alpha_{SVC}$  lần lượt là điện kháng, điện dung và góc kích - mở công tắc điều khiển Thyristor. Phạm vi điều khiển góc  $\alpha_{SVC}$  là từ  $\pi/2$  đến  $\pi$ .

Công suất phản kháng của bộ SVC theo góc kích – mở  $\alpha_{SVC}$  là:

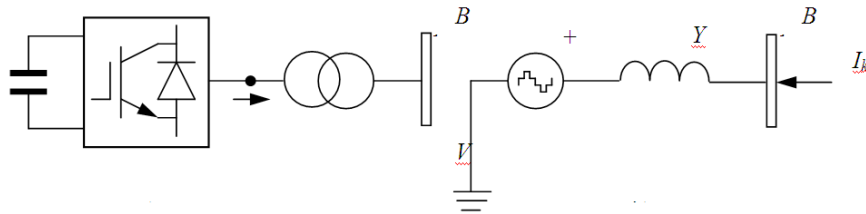
$$Q_k = \frac{-V_k^2}{X_C X_L} \left\{ X_L - \frac{X_C}{\pi} [2(\pi - \alpha_{SVC}) + \sin(2\alpha_{SVC})] \right\}. \quad (8)$$

Hàm thuật toán tính công suất phản kháng của bộ SVC theo góc kích-mở  $\alpha_{SVC}$ :

```
function [Qsvc, B] = SVCFAQpower (VM, NSVC, SVCsend, FA, Xc,
Xl);
for ii = 1 : NSVC
    B(ii) = (2*(pi-FA(ii)) + sin(2*FA(ii))) * Xc(ii) / pi;
    B(ii) = (Xl(ii) - B(ii)) / (Xc(ii) * Xl(ii));
    Qsvc(ii) = -VM(SVCsend(ii))^2 * B(ii);
end
```

### 3.2 Mô hình bộ bù đồng bộ STATCOM:

Bộ STATCOM trình bày trong Hình 3 bao gồm một bộ chuyển đổi nguồn áp (VSC) và một máy biến áp liên kết kiểu nối shunt.



Hình 3 Sơ đồ khối bộ bù đồng bộ STATCOM.

Điện áp ngõ ra của bộ STATCOM là:  $E_R = V_R (\cos \delta_R + j \sin \delta_R)$ . (9)

Công suất của bộ STATCOM là:  $S_R = V_R I_R^* = V_R Y_R^* (V_R^* - V_k^*)$  (10)

Công suất tác dụng và phản kháng tại ngõ ra của STATCOM:

$P_R = V_R^2 G_R + V_R V_k [G_R \cos(\delta_R - \theta_k) + B_R \sin(\delta_R - \theta_k)]$ , (11)

$Q_R = -V_R^2 B_R + V_R V_k [G_R \sin(\delta_R - \theta_k) - B_R \cos(\delta_R - \theta_k)]$ , (12)

Công suất tác dụng và phản kháng tại thanh cái nối STATCOM:

$P_k = V_k^2 G_R + V_k V_R [G_R \cos(\theta_k - \delta_R) + B_R \sin(\theta_k - \delta_R)]$ , (13)

$Q_k = -V_k^2 B_R + V_k V_R [G_R \sin(\theta_k - \delta_R) - B_R \cos(\theta_k - \delta_R)]$ . (14)

Hàm thuật toán tính phân bố công suất của bộ STATCOM, khi bỏ qua điện dẫn tác dụng  $G_{vR}$ :

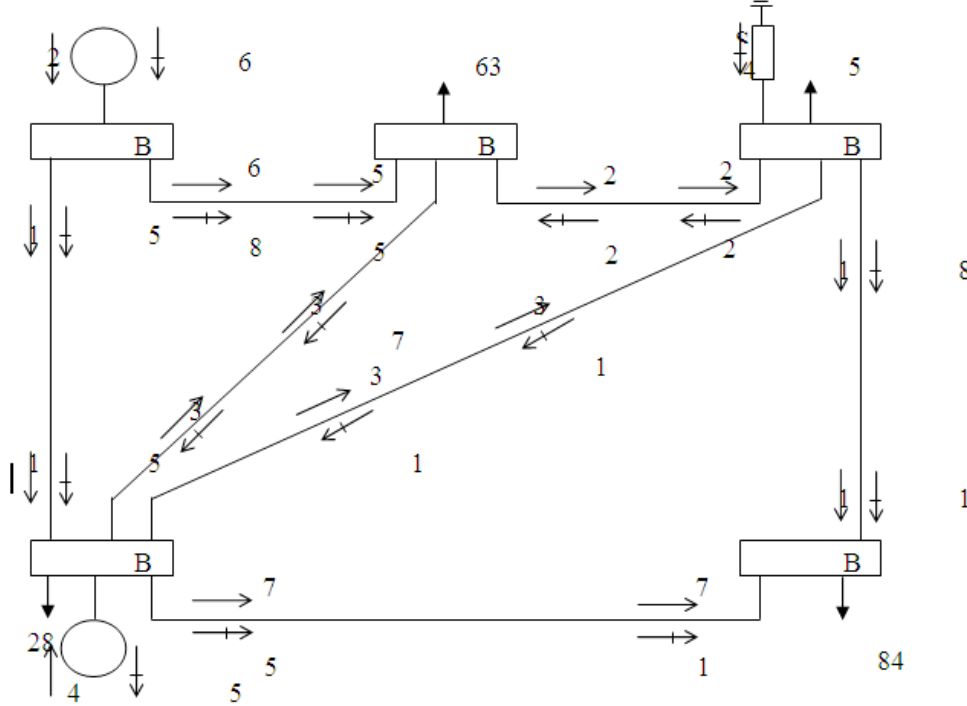
```
function [Psend, Qsend, PSSC, QSSC] = SCPQPowers (VM, VA, NSSC, S
SCsend, Xvr, Vvr, Tvr);
for ii = 1 : NSSC
    B(ii) = 1/Xvr; A1 = Tvr(ii) - VA(SSCsend(ii));
    A2 = VA(SSCsend(ii)) - Tvr(ii);
    PSSC(ii) = Vvr(ii) * VM(SSCsend(ii)) * (B(ii) * sin(A1));
    QSSC(ii) = -Vvr(ii)^2 * B(ii)
        - Vvr(ii) * VM(SSCsend(ii)) * (B(ii) * cos(A1));
    Psend(ii) = VM(SSCsend(ii)) * Vvr(ii) * (B(ii) * sin(A2));
    Qsend(ii) = -VM(SSCsend(ii))^2 * B(ii)
        - Vvr(ii) * VM(SSCsend(ii)) * (B(ii) * cos(A2));
end
```

end

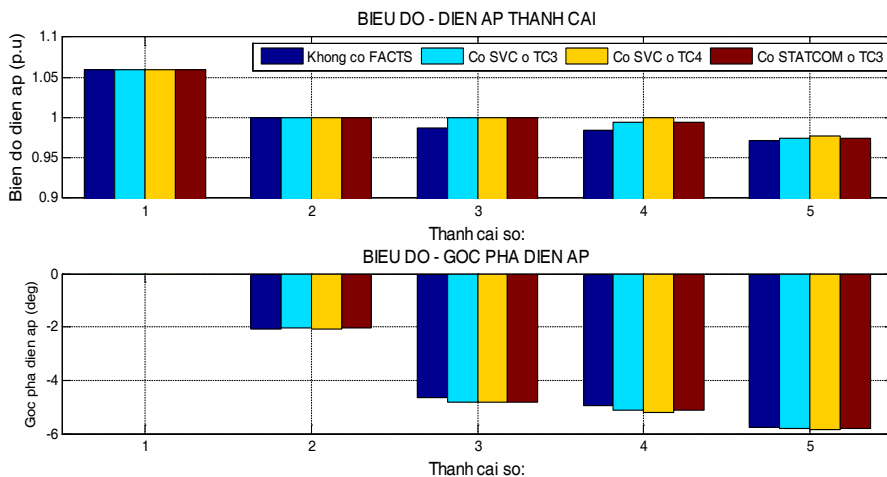
#### IV. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG:

Xem xét mạng điện gồm 5 nút, tiến hành chạy phần mềm mô phỏng được lập trình bằng ngôn ngữ MATLAB cho các trường hợp khác nhau, thu được kết quả điện áp nút, trào lưu công suất, công suất bù, góc kích-mở Thyristor, tổn thất công suất, điện áp ra STATCOM.

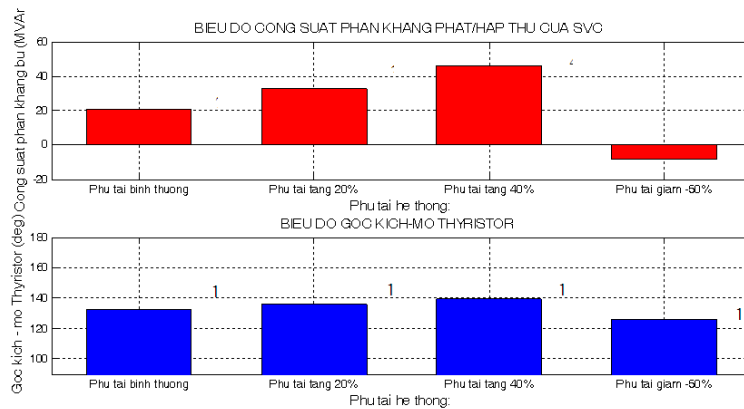
Kết quả phân bố công suất khi có SVC đặt tại thanh cái 4, phụ tải tăng 40% so với phụ tải ở chế độ vận hành thông thường, SVC phát công suất phản kháng cần thiết 49.55 MVAR, ứng với góc kích - mở Thyristor  $140.50^\circ$  để giữ điện áp tại thanh cái 4 bằng 1 p.u.



**Hình 4** Sơ đồ phân bố công suất khi phụ tải tăng 40%, có SVC tại thanh cái



**Hình 5** So sánh biên độ, góc pha điện áp thanh cái khi vận hành ở chế độ bình thường. Khi đặt SVC tại thanh cái 3, mạng điện vận hành ở các chế độ đặc trưng: bình thường, quá tải và non tải. Bộ điều khiển SVC sẽ điều chỉnh góc kích-mở thyristor để phát/hấp thụ lượng công suất phản kháng cần thiết giữ điện áp tại thanh cái có nối SVC ở giá trị định mức.



Hình 6 Công suất phản kháng phát/ hấp thụ của bộ SVC theo phụ tải hệ

Khi đặt STATCOM tại thanh cái 3, ở chế độ phụ tải bình thường, nó phát 20.5 MVar, điện áp ngõ ra là 1.0205 p.u, để giữ ổn định điện áp thanh cái 3 bằng giá trị định mức.

## V. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày mô hình, mô phỏng phân bố công suất mạng điện từ đó đánh giá và điều khiển ổn định điện áp, cho thấy sự linh hoạt điều khiển góc kích-mở thyristor để giữ ổn định điện áp cho thanh cái có nối SVC, STATCOM và nâng cao ổn định cho hệ thống.

Hướng phát triển của nghiên cứu là xây dựng mô hình để mô phỏng điều khiển ổn định điện áp và trào lưu công suất trong hệ thống điện.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Enrique Acha, Claudio R. Fuerte-Esquivel, Hugo Ambriz-Pérez, César Angeles-Camaccho, "Modelling and Simulation in Power Networks," John Wiley & Sons, Ltd, England, 2004.
- K. R. Padigar, "FACTS Controllers in Power Transmission and Distribution," New Age International (P) Limited, India, 2007.
- Thierry Van Cutsem, Costas Vournas, "Voltage Stability Of Electric Power System," Kluwer Academic Publishers, America, 4, 2003.