

# HIỆU QUẢ ĐIỀU KHIỂN LINH HOẠT SVC BẰNG THYRISTOR ĐỂ HÃM DAO ĐỘNG ĐIỆN CƠ TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

PHAN VAN HIỀN<sup>1</sup>, THẠCH LỄ KHIÊM<sup>2</sup>, ABB LÊ TẤN SỸ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Bách khoa, Đại Học Đà Nẵng

<sup>2</sup> Điện Lực Đà Nẵng

**Abstract.** This paper presents the effective of applying SVC in the transient oscillation with supplement control of frequency signals to increase the flexible application of SVC for transient stability in power system.

**Tóm tắt.** Bài báo trình bày tác dụng hãm dao động của SVC (Static Var Compensation) trong quá trình quá độ của HTĐ khi bổ sung tín hiệu điều khiển bằng độ lệch tần số, từ đó nâng cao khả năng ứng dụng linh hoạt của SVC nhằm ổn định hệ thống điện (HTĐ).

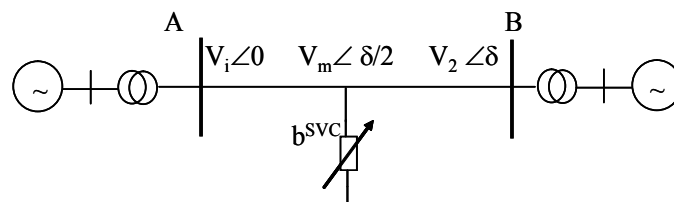
## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

SVC là thiết bị FACTS đã được sử dụng trong HTĐ như là thiết bị bù tĩnh tại các thanh cái trong HTĐ. Nhiệm vụ chính của SVC là điều chỉnh điện áp và bù công suất phản kháng, duy trì điện áp không đổi. Khi SVC là một thiết bị điều chỉnh điện áp không đổi, nó không có tác dụng hãm động (chứng minh ở phần II). Tuy nhiên SVC còn có tác dụng khá cao trong quá trình dao động quá độ (QTQĐ). Với thiết kế các tín hiệu điều khiển bổ sung thích hợp, SVC còn có thể ứng dụng làm hãm dao động điện cơ trong các tình huống động, nâng cao ổn định động HTĐ.

## 2. ẢNH HƯỞNG SVC ĐẾN MÔMEN ĐỒNG BỘ TRONG QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ

Giả sử ta xét đường dây truyền tải  $AB$ , điện kháng  $X$ .

Điện áp tại  $A$  là  $V_1 \angle 0$ ; tại  $B$  là  $V_2 \angle \delta$ .



Hình 1. SVC đặt tại điểm giữa đường dây truyền tải  $AB$

Phương trình dao động QTQĐ hệ thống viết khi không có SVC là:

$$\frac{T_j}{\omega_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_T - P_E \quad (1)$$

hay

$$\frac{T_j}{\omega_0} \frac{d^2\Delta\delta}{dt^2} = \Delta P_T - \Delta P_E = -\Delta P_E \quad (\text{xem } \Delta P_T = 0) \quad (2)$$

$$\frac{d^2\Delta\delta}{dt^2} = -\frac{1}{M} \left( \frac{\partial P}{\partial \delta} \right) \Delta\delta = 0$$

$$\frac{d^2\Delta\delta}{dt^2} + \frac{K_S}{M} \Delta\delta = 0 \quad (3)$$

trong đó,

$$M = \frac{T_j}{\omega_0}, \quad K_S = \frac{\partial P}{\partial \delta}$$

gọi là hệ số công suất đồng bộ.

Phương trình vi phân (2) có 2 nghiệm  $\lambda_1, \lambda_2 = \pm\sqrt{K_S/M}$ . Nếu  $K_S$  dương, hệ thống dao động tần số  $\lambda_1, \lambda_2 = \pm j\omega_s$  với  $\omega_s = \sqrt{K_S/M}$ . Nếu  $K_S$  âm, hệ thống không ổn định.

Quán tính đồng bộ

$$K_{SU} = \frac{\partial P}{\partial \delta} = \frac{V_1 V_2}{X} \cos \delta. \quad (4)$$

Giả sử SVC đặt tại điểm giữa  $M$  của  $AB$ . Điện áp tại  $M$  là  $V_m \angle (\delta/2)$ . Theo định luật Kirchoff, ta có

$$\frac{V_1 \angle 0 - V_m \angle (\delta/2)}{j(X/2)} = \frac{V_m \angle (\delta/2) - V_2 \angle \delta}{j(X/2)} + V_m \angle (\delta/2) \cdot jb, \quad (5)$$

$$V_m \angle (\delta/2) = \frac{V_1 \angle 0 + V_2 \angle \delta}{X_e}, \quad (6)$$

trong đó

$$X_e = 2 + b \frac{X}{2}. \quad (7)$$

Từ (6) ta viết được

$$V_m \sin \frac{\delta}{2} = \frac{1}{X_e} V_2 \sin \delta, \quad (8)$$

$$V_m \cos \frac{\delta}{2} = \frac{1}{X_e} (V_1 + V_2 \cos \delta), \quad (9)$$

hay

$$V_m = \frac{1}{X_e} \sqrt{(V_1^2 + V_2^2 + 2V_1V_2 \cos \delta)}. \quad (10)$$

Công suất truyền tải khi có SVC được tăng lên

$$P = \frac{V_1V_m}{X/2} \sin \frac{\delta}{2}. \quad (11)$$

Thay (8) vào (11)

$$P = \frac{V_1V_m}{X_T} \sin \delta, \quad (12)$$

trong đó

$$X_T = \frac{XX_e}{2}. \quad (13)$$

Lấy vi phân của (12), quán tính hệ thống lúc này sẽ là

$$K_S = \frac{\partial P}{\partial \delta} = \frac{2V_1V_2}{XX_e} \cos \delta - \frac{2V_1V_2}{XX_e} \sin \delta \frac{\partial X_e}{\partial \delta}. \quad (14)$$

Lấy vi phân của (10) ta được

$$\frac{\partial X_e}{\partial \delta} = -\frac{V_1V_2 \sin \delta}{X_e V_m^2}. \quad (15)$$

Từ đó ta có

$$K_S = \frac{2V_1V_2}{XX_e} \cos \delta + \left( \frac{2V_1V_2}{X_m X_e} \sin \delta \frac{\partial X_e}{\partial \delta} \right)^2 \frac{2}{X} \frac{1}{X_e}, \quad (16)$$

$$K_S = \frac{V_1V_2}{X_T} \cos \delta + \left( \frac{2V_1V_2}{X_m X_T} \sin \delta \frac{\partial X_e}{\partial \delta} \right)^2 \frac{X^2}{4X_T}. \quad (17)$$

Quán tính đồng bộ được gia tăng

$$\Delta K_S = K_S - K_{SU}.$$

Thay (17) và (4) vào ta có

$$\Delta K_S = \frac{V_1V_2}{2X_e} b \cos \delta + \left( \frac{V_1V_2}{X_m X_e} \sin \delta \right)^2 \frac{2}{XX_e}. \quad (18)$$

Từ phương trình (11) ta có phương trình vi phân

$$\Delta P = \frac{\partial P}{\partial V} \Delta V + \frac{\partial P}{\partial V_m} \Delta V_m + \frac{\partial P}{\partial \delta} \Delta \delta \quad (19)$$

xem điện áp  $V_1$  không đổi ( $\Delta V = 0$ ).

Thay (19) vào (2) ta có

$$M \frac{d^2 \Delta \delta}{dt^2} + \frac{\partial P}{\partial V_m} \Delta V_m + \frac{\partial P}{\partial \delta} \Delta \delta = 0. \quad (20)$$

Ta thấy rằng nếu điều khiển SVC như là thiết bị điều chỉnh điện áp không đổi ( $\Delta V_m = 0$ ) thì

$$M \frac{d^2 \Delta \delta}{dt^2} + \frac{\partial P}{\partial \delta} \Delta \delta = 0. \quad (21)$$

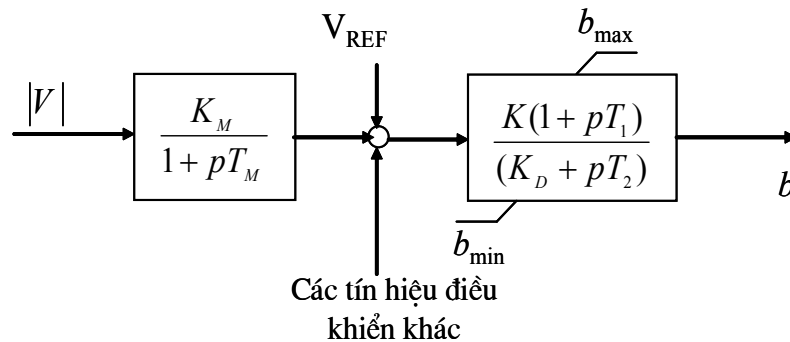
Phương trình dao động và hệ số đồng bộ giống như hệ thống không có SVC. Hệ thống như trên không có tác dụng nâng cao khả năng hãm động trong QTQĐ.

### 3. ĐIỀU KHIỂN SVC ĐỂ NÂNG CAO HÃM ĐỘNG TRONG DAO ĐỘNG QUÁ ĐỘ

#### 3.1. Mô hình điều khiển bộ điều chỉnh điện áp SVC bằng thyristor

Cấu trúc bộ điều khiển SVC điều khiển điều chỉnh điện áp theo [1, 5] như Hình 2. Với cấu trúc mô Hình 2, điện dẫn  $b$  thay đổi giá trị trong miền giới hạn bởi  $b_{\min}$  và  $b_{\max}$ . Tín hiệu điều khiển được đo lường tại chỗ bằng tín hiệu điện áp tại nút SVC được nối vào hệ thống. Sự chọn lựa tín hiệu điều khiển là vấn đề cơ bản của thiết kế bộ điều khiển hiệu quả.

Tín hiệu đầu ra SVC điều khiển góc mở thyristor, thay đổi điện dẫn  $b$  làm tăng hay giảm công suất tác dụng  $P$  trong quá trình quá độ.



Hình 2. Mô hình điều khiển SVC

Quy luật điều khiển SVC biểu diễn dưới dạng hàm truyền của SVC (Hình 2) như sau

$$V \cdot k_c \frac{K_M}{1 + pK_M} \frac{1 + pT_1}{K_D + pT_2} = b, \quad (22)$$

trong đó  $k_c, k_D$  là hệ số khuếch đại,  $T_1, T_2, T_M$  là các hằng số thời gian.  $V_{REF}$  là điện áp chỉnh định SVC. Theo [6],  $T_1, T_2$  thường bằng 0;  $T_M$  thường nằm trong khoảng 20–150 ms.

Các thời gian này, ta có thể bỏ qua.

### 3.2. Lựa chọn tín hiệu phụ điều khiển SVC để hãm dao động trong quá trình quá độ

Từ phương trình (21), ta có phương trình đặc trưng

$$p^2 + \frac{1}{M} \frac{\partial P}{\partial \delta} = 0,$$

góc lệch roto dao động với tần số là

$$\omega_n = \sqrt{\frac{1}{M} \frac{\partial P}{\partial \delta}}. \quad (23)$$

Để SVC có tác dụng hãm dao động điện cơ, ta phải tác động điều khiển vào biểu thức  $\frac{\partial P}{\partial \delta} \Delta V_m$  của phương trình (20) hay điều khiển điện áp  $V_m$  thay vì duy trì nó bằng giá trị không đổi. Để ý rằng nếu thêm vào tín hiệu điều khiển  $\Delta V_m = K \frac{d(\Delta \delta)}{dt}$  ( $K$  là hệ số khuếch đại) thì phương trình từ (20) trở thành

$$M \frac{d^2(\Delta \delta)}{dt^2} + \frac{\partial P}{\partial V_m} K \frac{d^2(\Delta \delta)}{dt^2} + \frac{\partial P}{\partial \delta} \Delta \delta = 0. \quad (24)$$

Phương trình đặc trưng của (24) sẽ là

$$s^2 + 2\xi s + \omega_n^2 = 0, \quad (25)$$

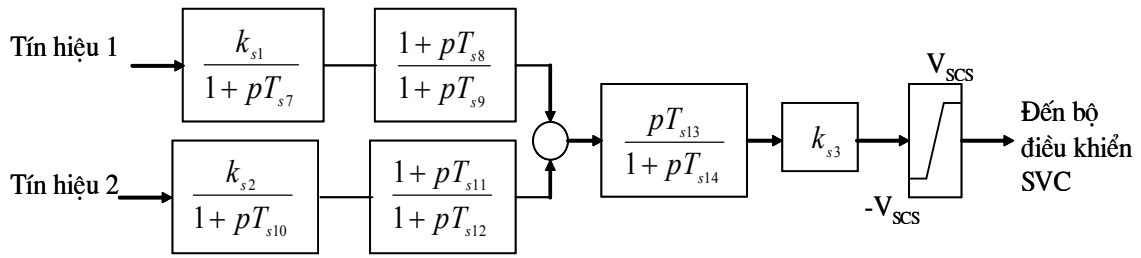
với

$$2\xi = \frac{K}{M} \frac{\partial P}{\partial V_m}.$$

Ta nhận thấy được khi bổ sung tín hiệu  $\frac{d(\Delta \delta)}{dt} \approx \Delta f$ , phương trình (25) sẽ làm dao động góc lệch roto suy giảm theo thời gian. Thêm vào đó tại mọi thời điểm bất kỳ, khi  $\frac{d(\Delta \delta)}{dt} \approx \Delta f > 0$ , SVC được điều chỉnh tăng điện áp  $V_m$  theo quy luật (22). Kết quả công suất điện tăng. Ngược lại khi  $\frac{d(\Delta \delta)}{dt} \approx \Delta f < 0$ , SVC được điều chỉnh giảm  $V_m$ , công suất điện giảm.

Từ đó ta có thể thấy nếu thêm vào các bộ điều chỉnh điện áp SVC kênh tín hiệu điều chỉnh phụ  $\Delta V_m = K \frac{d(\Delta \delta)}{dt} \approx K \Delta f$ , SVC còn có tác dụng làm hãm dao động điện cơ của quá trình quá độ, nâng cao ổn định động hệ thống được.

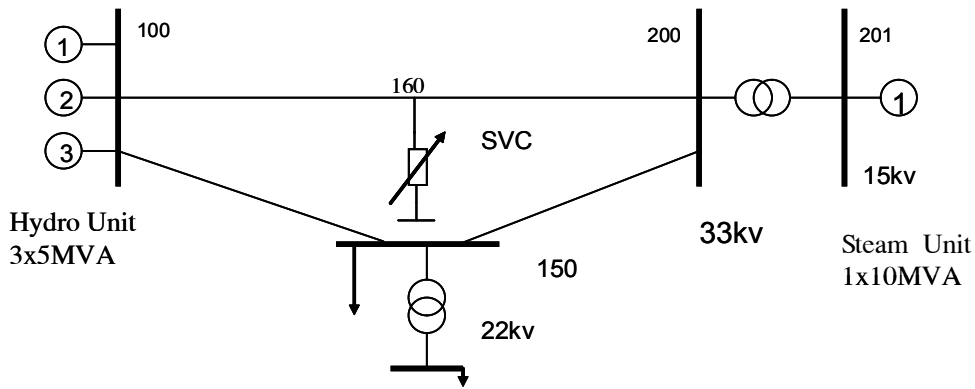
Theo [1], mô hình điều khiển SVC bằng các tín hiệu điều khiển bổ sung như sau.



Hình 3. Mô hình điều khiển bổ sung tín hiệu điều khiển SVC

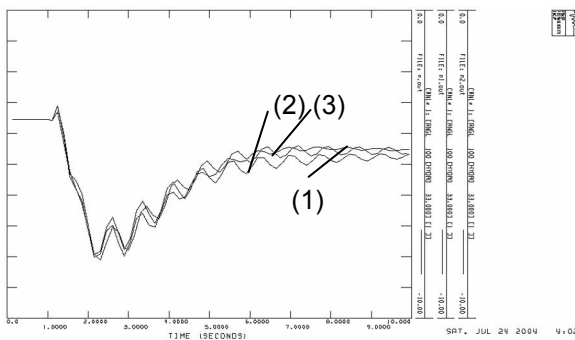
### 4. KẾT QUẢ ỨNG DỤNG

Áp dụng mô hình (Hình 2 và 3) ứng dụng điều khiển và xem xét hiệu quả của quá trình điều khiển SVC trong quá trình quá độ của hệ thống điện đơn giản như trên Hình 4.

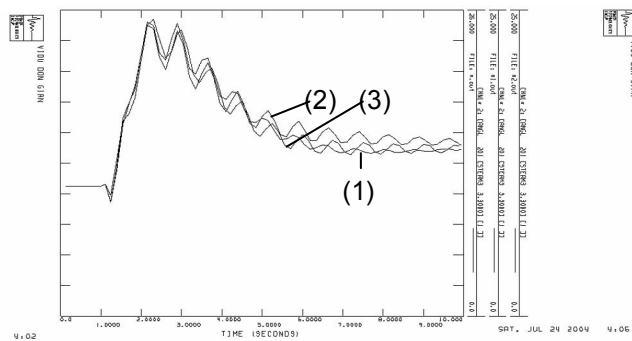


Hình 4. Sơ đồ hệ thống điện

Tình huống tạo bởi sự cố ngắn mạch 3 pha đường dây 200-150 và cắt máy cắt để cách ly sự cố, không đóng lặp lại.



Hình 5.a. Dao động góc lệch máy phát 100



Hình 5.b. Dao động góc lệch máy phát 201

Hình 5a, b biểu diễn các dao động của các máy phát. Khi bổ sung tín hiệu điều khiển, quá trình hãm dao động của các máy phát tăng Ta xem xét hiệu quả của quá trình điều khiển SVC hệ thống điện phức tạp bằng mô phỏng bởi PSS/E.

(1)- Dao động khi bổ sung tín hiệu điều chỉnh phụ (độ lệch tần số) cho SVC (2),(3)- Dao động khi không có SVC và SVC điều chỉnh điện áp, không có tín hiệu điều chỉnh phụ.

Lấy chế độ vận hành hệ thống điện Việt Nam ngày 14/4/2003 (Theo tư liệu của Trung tâm điều độ hệ thống điện quốc gia). Hệ thống điện được thiết lập với 1699 nút với 22 nhà máy gồm 65 máy phát. Tổng công suất phát 5615MW, 2438MVAR.

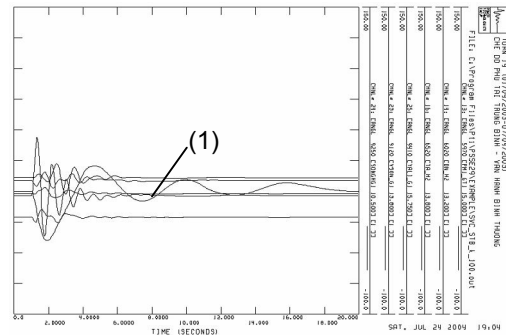
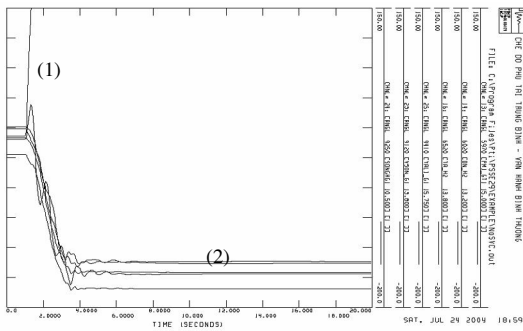
Tình huống tạo bởi sự cố ngắn mạch 3 pha đường dây mạch 1 - 500KV Yaly-Pleiku và cắt máy cắt để cách ly sự cố, không đóng lặp lại.

Khi không có thiết bị điều chỉnh, với tình huống trên, dao động các máy phát dao động mạnh, đặc biệt dao động máy phát sông Hình tăng mạnh (Hình 6).

Ở Hình 7, SVC được đặt tại đầu hai đường dây truyền tải 110KV của SôngHinh-TuyHoà1 và SôngHinh-TuyHoà2, tín hiệu điều khiển bổ sung cho SVC trong quá trình quá độ là độ lệch tần số. Ta thấy rằng dao động các máy phát không đáng kể, hệ thống ổn định.

**Trường hợp 1. Không lắp đặt SVC**

**Trường hợp 2. Lắp đặt SVC trên hai đường dây 110KV SôngHinh-TuyHoà**



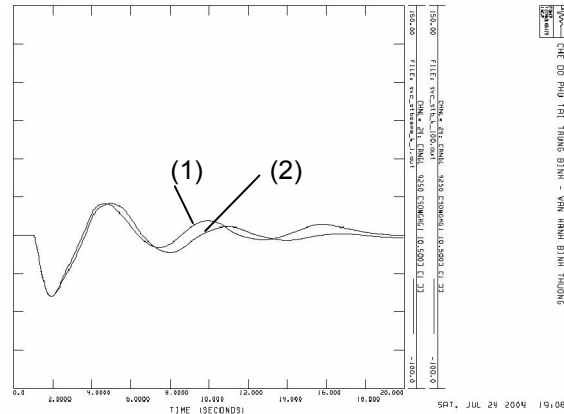
**Hình 6.** Dao động góc lệch tương đối của các máy phát khi không dùng TCSC. Hệ thống mất ổn định. (1)-dao động của máy phát sông Hinh; (2)- dao động các máy phát còn lại (Yaly,Vĩnh sơn, TrìAn,Phú Mỹ, Đanhim).

**Hình 7.** Dao động tương đối của các máy phát khi điều khiển SVC trên các đường dây 110KV ở tại nhà máy Sông Hinh. (1) là dao động máy phát sông Hinh.

Phương pháp mô phỏng PSS/E có thể biểu thị được dao động góc của tất cả máy phát trong HTĐ.

Tuy nhiên để dễ minh họa, Hình vẽ 3,4 chỉ thể hiện các đường dao động của 6 máy phát Yaly, SôngHinh,Vĩnh sơn, Phú Mỹ, Đa nhim và TrìAn.

**Hình 8. Dao động máy phát Sông Hình khi lắp đặt SVC.**  
**(1)- không có tín hiệu điều khiển bổ sung.**  
**(2)- có tín hiệu điều khiển  $f$**



## 5. KẾT LUẬN CHUNG

SVC là một trong các thiết bị điều khiển VAR tĩnh, mô hình điều khiển chính để ổn định điện áp. Tuy nhiên khi thiết kế các mô hình điều khiển bổ sung thích hợp, SVC có tác dụng khá cao trong việc hãm dao động điện cơ, nâng cao khả năng ổn định động HTĐ rất hiệu quả. Đây là một trong thiết bị linh hoạt FACTS trong HTĐ được đánh giá như là thiết bị tác động nhanh, hiệu quả và hiện đại trong các dao động quá độ.

Tín hiệu điều khiển SVC là thông số rất quan trọng trong việc ứng dụng hiệu quả. SVC có thể được lắp đặt và ứng dụng tại mọi điểm trên HTĐ. Cũng như các thiết bị FACTS khác, SVC có tác dụng hãm mạnh, cải thiện dao động ổn định trong phạm vi lớn mà không làm ảnh hưởng đến các thiết bị điều khiển khác.

Bài báo bước đầu phân tích hiệu quả và ứng dụng SVC vào điều khiển nâng cao ổn định động với thông số hệ thống là hệ thống điện Việt nam. Hệ thống điện Việt Nam với quy mô và nhiều liên kết phức tạp như hiện nay, là điều kiện cần thiết phải sử dụng SVC để điều khiển vận hành tối ưu hệ thống.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Program operation guide, program application guide, *Power Technologies, Inc., PSSE*, 1998.
2. Mojtaba Noroozian, Mehrdad Ghandhari, Goran Anderson, I. Hiskens, Robust control strategy for shunt and series reactive compensators to damp electromechanical oscillations, *IEEE Transactions on Power Delivery* **16** (4) (2001).
3. GS.TS. Lã Văn Út, *Phân tích và điều khiển ổn định Hệ thống điện*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2000.
4. T. J. E. Miller, *Reactive Power Control in Electric System*, A Wiley-Interscience Publication, 1982.



5. Cladio A. Canizaes, Power flow and transient stability models of FACTS controllers for voltage and angle stability studies, *IEEE /PES WM Panel on Modeling, Simulation and Applications of FACTS Controllers in Angle and Voltage Stability*, Singapore, Jan., 2000.
6. R.mohan and rajiv k.varma, *Thyristor-Based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems*, IEEE prsess , 2002.

*Nhận bài ngày 19 - 2 - 2009*