

# TỐI ƯU HÓA CÔNG SUẤT TÁC DỤNG VÀ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG CỦA CÁC NGUỒN NHIỆT ĐIỆN TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN VỚI VÉCTƠ ẢNH TRỊ RIÊNG

Lưu Hữu Vinh Quang

Đại học Bách khoa - ĐHQG-HCM

( Bài nhận ngày 9 tháng 11 năm 2005, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 13 tháng 02 năm 2006)

**TÓM TẮT :** Mô hình véctơ ảnh trị riêng của hệ thống điện được đề nghị để giải bài toán tối ưu hóa công suất PQ trong hệ thống điện. Chứng minh một giải thuật mới để tính toán phân bố kinh tế công suất P(MW) giữa các nguồn nhiệt điện và tối ưu hóa công suất Q nguồn nhằm cực tiểu tổn thất công suất trong hệ thống điện. Một véctơ A được xác định với số phần tử bằng số lượng các nguồn điện trong hệ thống, cho phép đơn giản hóa sự mô phỏng các chỉ số trạng thái xác lập, và từ đó dạng công thức mới được đề xuất để tính toán mức điện áp tối ưu hóa trên các nguồn điện. Đầu phân áp tối ưu trên các máy biến áp điều chỉnh dưới tải cũng được chọn lựa.

## 1. GIỚI THIỆU

Trong [1],[2],[3],[4] và [5] chúng tôi đã trình bày các biểu thức mới, cho phép xác định ma trận hệ số tổn thất với các dạng khác nhau, từ đó thiết lập được các giải thuật tính toán có hiệu quả trong bài toán cực tiểu hóa chi phí nhiên liệu sử dụng sản xuất nhiệt điện và tính toán cực tiểu hóa tổn hao công suất trên các phần tử truyền tải điện cấp cho các hộ tiêu thụ. Chúng tôi đã đề cập ở [1] về phương pháp mô hình hóa hệ thống và cách xác định một véctơ (ma trận dạng đường chéo) có đơn vị  $1/W$ , đặt tên là véctơ ảnh trị riêng và ký hiệu là A, đẳng trị với ma trận tổng dẫn nút của hệ thống. Trong [3],[4] đã đề nghị ma trận hệ số [a], đồng dạng với ma trận A, cho phép xác định tổng tổn hao truyền tải trong hệ thống điện một cách hiệu quả, cho phép cực tiểu hóa số lượng thông tin đo lường, để tính toán tối ưu hoá công suất tác dụng, và có thể cho phép ứng dụng để ra quyết định điều độ kinh tế hệ thống điện trong thời gian thực. Trong [3],[4] đã đưa ra một giải thuật mới, tính phân bố kinh tế công suất P và tính tối ưu hóa công suất Q với ma trận hệ số tổn hao [a]. Trong đó, ma trận hệ số [a] được xác định bởi liên hệ hàm phi tuyến với ma trận ảnh lưới điện [A] mà được đề xuất và chứng minh trong [1].

Bài viết này đề xuất một giải thuật mới, cho phép tính toán tối ưu hoá công suất tác dụng và công suất phản kháng của các nhà máy nhiệt điện trong một hệ thống điện nhiều nguồn. Biết rằng  $\frac{\partial P(\delta, U)}{\partial \delta}$  và  $\frac{\partial Q(\delta, U)}{\partial U}$  lớn hơn so với  $\frac{\partial P(\delta, U)}{\partial U}$  và  $\frac{\partial Q(\delta, U)}{\partial \delta}$ , do đó cho phép giải bài toán tối ưu hóa phức hợp công suất P&Q trên cơ sở áp dụng kết hợp giải pháp phân lập với phép mô hình hóa phân tán các nút hệ thống. Phép mô hình hóa phân tán đã được đề nghị trong [1] và chứng minh trong [3],[4] và [5]. Cuối cùng, chúng tôi đưa ra một số kết quả tính toán và phân tích đối chiếu để minh họa về ưu điểm của chương trình tính toán thiết lập theo giải thuật mới.

## 2. MÔĐUL TỐI ƯU HÓA CÔNG SUẤT TÁC DỤNG

### 2.1. Hàm mục tiêu và điều kiện tối ưu công suất P

Xây dựng môđul tối ưu hóa công suất P khi áp dụng giải pháp phân lập công suất P đối với công suất Q thì hàm mục tiêu được xem xét ở đây là cực tiểu tổng chi phí nhiên liệu của các nhà máy nhiệt điện của hệ thống điện nhiều nút.

Đặc tính chi phí nhiên liệu sản xuất điện trong một giờ của nguồn thứ (i) có thể biểu thị dưới dạng hàm bậc hai theo công suất của nguồn phát:  $C_i(P_{iF}) = a_i P_{iF}^2 + b_i P_{iF} + c_i$ ; VND/h. Trong đó,  $P_{iF}$  là công suất phát của tổ máy thứ (i) và  $a_i, b_i, c_i$  là các hằng số được tính toán theo đặc tính thực nghiệm suất hao nhiên liệu của nhà máy điện thứ (i). Dẫn đến tổng chi phí

nhiên liệu cho một hệ thống với M nguồn nhiệt điện cùng hoạt động trong một hệ thống điện có N nút :

$$C = C_1(P_{1F}) + C_2(P_{2F}) + \dots + C_M(P_{MF}) = \sum_{i=1}^M C_i(P_{iF}) ; \quad (1)$$

xét các điều kiện vận hành :  $\Delta P_P(P_{iF}) + P_{yc} - \sum_{i=1}^M P_{iF} = 0 ; \quad (2)$

$$(P_{i-min} \leq P_{iF} \leq P_{i-max}) ; \quad (3)$$

với  $P_{yc} = \sum_{i=1}^N P_{i-yc}$  là tổng công suất tải MW của hệ thống (được cho trước).

$\Delta P_P(P_{iF})$  là tổng tổn thất MW truyền tải của hệ thống .

Mục tiêu là cực tiểu hàm tổng chi phí nhiên liệu dạng (1) với tổng tải  $P_{yc}$  được cho trước và thỏa mãn các điều kiện ràng buộc vận hành (2) và (3). Viết được hàm mục tiêu  $L_P(P_{iF}, I_P)$  và xét  $L_P(P_{iF}, I_P) \rightarrow \min$ , dẫn đến điều kiện tối ưu hóa theo các biến số  $P_{iF}$  và  $I_P$  :

$$\begin{cases} \frac{\partial C_i(P_{iF})}{\partial P_{iF}} + \lambda_P \left( \frac{\partial \Delta P_P(P_{iF})}{\partial P_{iF}} - 1 \right) = 0 ; \\ \Delta P_P(P_{iF}) + P_{yc} - \sum_{i=1}^m P_{iF} = 0 ; \\ i = 1, 2, \dots, m \text{ \& } \lambda. \end{cases} \quad (4)$$

Ap dụng định lý Kuhn-Tucker bổ sung điều kiện tối ưu cho (4) có xét ràng buộc (3) :

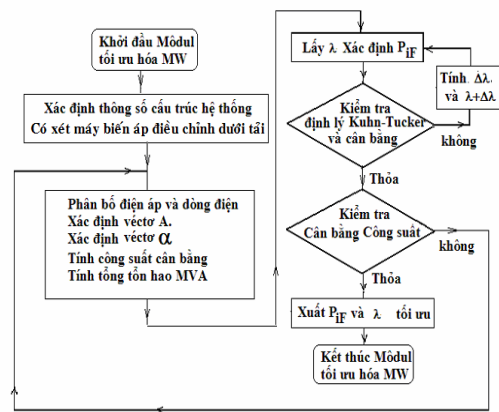
$$\begin{cases} \frac{\partial L_P}{\partial P_{iF}} = 0 & \text{khi } (P_{i-min} < P_{iF} < P_{i-max}) \\ \frac{\partial L_P}{\partial P_{iF}} \leq 0 & \text{khi } P_{iF} = P_{i-max} \\ \frac{\partial L_P}{\partial P_{iF}} \geq 0 & \text{khi } P_{iF} = P_{i-min} \end{cases} \quad (5)$$

## 2.2. Giải thuật phân bố tối ưu công suất P có xét tổn thất truyền tải điện

Xây dựng được sơ đồ khối tiến trình tính toán của môđul tối ưu hóa công suất P (Hình 1).

Trong [3] đã đề nghị một giải thuật mới, tính phân bố kinh tế công suất với ma trận hệ số tổn hao [a]. Trong đó ma trận hệ số [a] có dạng đường chéo, được xác định bởi liên hệ phi tuyến đồng dạng với vectơ ảnh trị riêng A của hệ thống điện, mà được đề xuất và chứng minh trong [1]. Trong sơ đồ tiến trình tại khối tính toán phân bố điện áp cho phép xác định trạng thái xác lập đồng thời xác định được vectơ ảnh trị riêng A, sau đó có thể xác định ngay ma trận hệ số [a]. Ma trận hệ số [a] phản ánh một tập chỉ số tương ứng với một trạng thái đã thỏa mãn các ràng buộc kỹ thuật về điện áp và công suất phản kháng thông qua khâu điều chỉnh đầu phân áp trên các máy biến áp và giữ điện áp ở các nút PU. Dùng ma trận hệ số  $[\alpha_1^{(k)}, \alpha_2^{(k)}, \dots, \alpha_N^{(k)}]^T$  xác định được ở lần (k) cho phép tính toán tối ưu hóa công suất  $P^{(k)}_{iF}$  đối với mỗi nút thứ (i). Từ điều kiện tối ưu (4) hiệu chỉnh được  $I^{(k)}$  ở lần tính thứ (k). Khi dùng  $a^{(k)}_i$  thì có thể rút ra được công thức tính lặp đối với  $P^{(k)}_{iF}$  như sau :

$$P_{iF}^{(k)} = \frac{0,5 U_i^2 (\lambda_P^{(k)} - b_i) (A_{iRe}^2 + A_{iIm}^2)}{a_i U_i^2 (A_{iRe}^2 + A_{iIm}^2) + \lambda_P^{(k)} A_{iRe}} ; \quad (6)$$



Hình 1. Sơ đồ khối tiến trình tính toán tối ưu hóa công suất P.

trong đó  $U_i$  là môđul điện áp nút thứ (i) ; còn  $A_{iRe}$  và  $A_{iIm}$  là phần thực và phần ảo của phần tử thứ (i) của vectơ ảnh trị riêng A của hệ thống. Vectơ A cho phép giảm bộ nhớ máy tính, giảm khối lượng tính toán và làm tăng tốc vòng lặp l tối ưu trên sơ đồ tiến trình tính toán, điều này cũng có nghĩa là tiết kiệm thời gian máy tính trong toàn bộ tiến trình tối ưu. Vectơ A mô phỏng trạng thái xác lập đang được tối ưu hóa của hệ thống điện, và được xác định sao cho thỏa mãn một hệ phương trình phi tuyến có dạng như sau :

$$\begin{cases} F1_i = U_o U_{ia} A_{iRe} - U_o U_{ir} A_{iIm} + A_{iRe} U_{ia}^2 + A_{iRe} U_{ir}^2 - P_i + (G_{iC} + G_{iH})[(U_o + U_{ia})^2 + U_{ir}^2]; \\ F2_i = U_o U_{ia} A_{iIm} + U_o U_{ir} A_{iRe} + A_{iRe} U_{ia}^2 + A_{iRe} U_{ir}^2 + Q_i + (B_{iC} + B_{iH} + B_{iB})[(U_o + U_{ia})^2 + U_{ir}^2]; \\ F3_i = U_{ir} A_{iIm} - U_{ia} A_{iRe} + G_{ii} U_{ia} - B_{ii} U_{ir} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (G_{ij} U_{ja} - B_{ij} U_{jr}); \\ F4_i = G_{ii} U_{ir} + B_{ii} U_{ia} - U_{ir} A_{iRe} - U_{ia} A_{iIm} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (B_{ij} U_{ja} + G_{ij} U_{jr}); \end{cases}$$

với  $i, j = 1 \dots N$  ( tổng số nút PQ và nút PU trong hệ thống);

$P_i$  và  $Q_i$  là công suất tại nút (i).

$G_{ii}$ ,  $G_{ij}$ ,  $B_{ii}$ ,  $B_{ij}$  và  $B_{B-i}$  là các phần tử thuộc ma trận tổng dẫn nút mô tả cấu trúc của lưới điện.

$G_{C-i}$ ,  $B_{C-i}$ ,  $G_{H-i}$ ,  $B_{H-i}$  mô phỏng hiệu ứng điều chỉnh dưới tải của phần tử biến áp tại nút thứ (i).

$U_{ia}$ ,  $U_{ir}$  là các phần thực và ảo của điện áp nút thứ (i) so với điện áp nút cân bằng.

$U_o$  là modul điện áp của nút cân bằng.

### 3.MÔĐUL TỐI ƯU HÓA CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG CỦA CÁC NHÀ MÁY ĐIỆN.

#### 3.1.Thiết lập mô hình toán

Xác định công suất phản kháng  $Q_{iF}$  của M nguồn trong khoảng một giờ vận hành sao cho cực tiểu hóa tổng tổn thất MW truyền tải  $DP_Q(Q_{iF})$  trong một hệ thống điện có N nút :

$$\Delta P_Q(Q_{iF}) \rightarrow \min ; \quad \text{với } i=1 \dots M ; \quad (7)$$

Giả thiết rằng tổng công suất phản kháng yêu cầu bởi các phụ tải  $Q_{yc}$  và tổng công suất nạp  $Q_{SC}$  hầu như không đổi khi điều chỉnh  $Q_{iF}$ , còn tổn hao  $DQ_L$  trên các nhánh  $X_L$  biến đổi theo  $Q_{iF}$ . Như vậy, hàm mục tiêu (7) được xem xét thỏa mãn các ràng buộc vận hành hệ thống sau đây :

$$\Delta Q_L(Q_{iF}) - \sum Q_{iF} + Q_{yc} - Q_{\Sigma C} = 0 ; \quad (8)$$

$$Q_{iF}^-(U_j^-) \leq Q_{iF}(U_j) \leq Q_{iF}^+(U_j^+) ; \quad (9)$$

$$U_j^-(Q_{iF}) \leq U_j(Q_{iF}) \leq U_j^+(Q_{iF}) ; \quad (10)$$

$$n_m^- \leq n_m(U_j) \leq n_m^+ ; \quad (11)$$

$$i = 1 \dots M, \quad j=1 \dots N, \quad m=1 \dots \text{Tổng số nhánh.}$$

trong đó  $U_j$  là điện áp nút (j) , còn  $n_m$ ,  $n_m^+$  và  $n_m^-$  là các chỉ số mô phỏng hiệu ứng điều chỉnh dưới tải của các máy biến áp đang vận hành trên nhánh thứ m trong hệ thống điện.

Viết mở rộng hàm mục tiêu (7) xét ràng buộc (8) dưới dạng hàm  $L_Q(Q_{iF}, I_Q)$ . Và xét điều kiện  $L_Q(Q_{iF}, I_Q) \rightarrow \min$ , dẫn đến điều kiện tối ưu hóa theo  $Q_{iF}$  và  $I_Q$  như sau :

$$\begin{cases} \frac{\partial \Delta P_Q(Q_{iF})}{\partial Q_{iF}} + \lambda_Q \left( \frac{\partial \Delta Q_L(Q_{iF})}{\partial Q_{iF}} - 1 \right) = 0 ; \\ \Delta Q_L(Q_j) - \sum Q_{iF} + Q_{yc} - \Delta Q_C = 0 ; \\ i = 1 \dots M ; \\ j = 1 \dots N ; \end{cases} \quad (12)$$

Điều kiện ràng buộc (9) được kiểm soát bổ sung cho (12) bởi định lý Kuhn-Tucker :

$$\begin{cases} \frac{\partial L_Q}{\partial Q_{iF}} = 0 & \text{khi } (Q_i^- < Q_{iF} < Q_i^+) \\ \frac{\partial L_Q}{\partial Q_{iF}} \leq 0 & \text{khi } Q_{iF} = Q_i^+ \\ \frac{\partial L_Q}{\partial Q_{iF}} \geq 0 & \text{khi } Q_{iF} = Q_i^- \end{cases} \quad (13)$$

Trong quá trình tối ưu hóa công suất  $Q_{iF}^{(k)}$ , thông qua phép mô hình hóa phân tán bởi véc tơ ảnh trị riêng A của hệ thống thì điều kiện ràng buộc (10) được kiểm soát bởi một cơ chế tác động như hàm phạt. Trị số điện áp  $U_i^{(k)}(Q_{iF}^{(k)})$  được kiểm soát bởi phép lặp newton giải một hệ gồm 2 phương trình phi tuyến đối với mỗi nút thứ (i), ở lần tính thứ (r) :

$$\begin{bmatrix} U_i \\ \delta_i \end{bmatrix}_{(r+1)} = \begin{bmatrix} U_i \\ \delta_i \end{bmatrix}_{(r)} + \begin{bmatrix} dGu & dG\delta \\ dHu & dH\delta \end{bmatrix}_{(r)} \times \begin{bmatrix} \Delta G \\ \Delta H \end{bmatrix}_{(r)} \quad (14)$$

trong đó,  $\delta_i$  là góc điện áp nút (i) ;  $\mathbf{DG}$  và  $\mathbf{DH}$  là các độ lệch hàm phi tuyến phụ thuộc vào phần tử thứ (i) của véc tơ ảnh trị riêng A, phản ánh tính chất của hệ thống lân cận tọa độ tối ưu hóa đối với nguồn (i), và phụ thuộc vào điện áp và công suất của nguồn (i) trong quá trình tối ưu hóa PQ của các nguồn trong hệ thống.

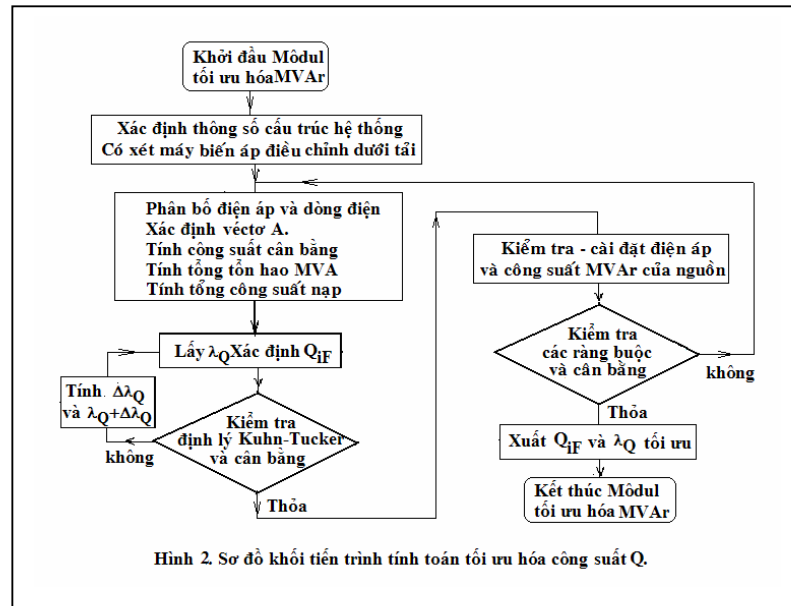
Và có :

$$\begin{aligned} dGu &= 2 U_i A_{iRe} - U_o A_{iRe} \cos \delta_i - U_o A_{ilm} \sin \delta_i ; \\ dGd &= U_o U_i A_{iRe} \sin \delta_i - U_o U_i A_{ilm} \cos \delta_i ; \\ dHu &= U_o A_{ilm} \cos \delta_i - U_o A_{iRe} \sin \delta_i - 2 U_i (A_{ilm} + B_{iB}) ; \\ dHd &= - U_o U_i A_{ilm} \sin \delta_i - U_o U_i A_{iRe} \cos \delta_i ; \end{aligned}$$

### 3.2. Giải thuật tối ưu hóa công suất $Q_{iF}$ của các nhà máy điện

Sơ đồ khối tiến trình tính toán tối ưu hóa công suất Q được đề nghị như trên Hình 2. Xét rằng trong quá trình  $DP_Q$  giảm dần thì hệ thống có đủ khả năng cân bằng công suất bởi tất cả các nguồn đang vận hành trong hệ thống điện.

Vì các nguồn công suất phản kháng có thể phát MVar vào hệ thống và cũng có thể thu MVar từ hệ thống, do đó đại lượng  $Q_{iF}$  có thể xác định dương hoặc âm. Để giải được nghiệm  $Q_{iF}$  tối ưu thì biểu thị một đại lượng tính toán  $q_{iF}(Q_{iF}) \geq 0$ , sao cho các đại lượng đạo hàm riêng theo  $q_{iF}$  đồng dạng với các đại lượng đạo hàm riêng theo  $Q_{iF}$ .



Hình 2. Sơ đồ khối tiến trình tính toán tối ưu hóa công suất Q.

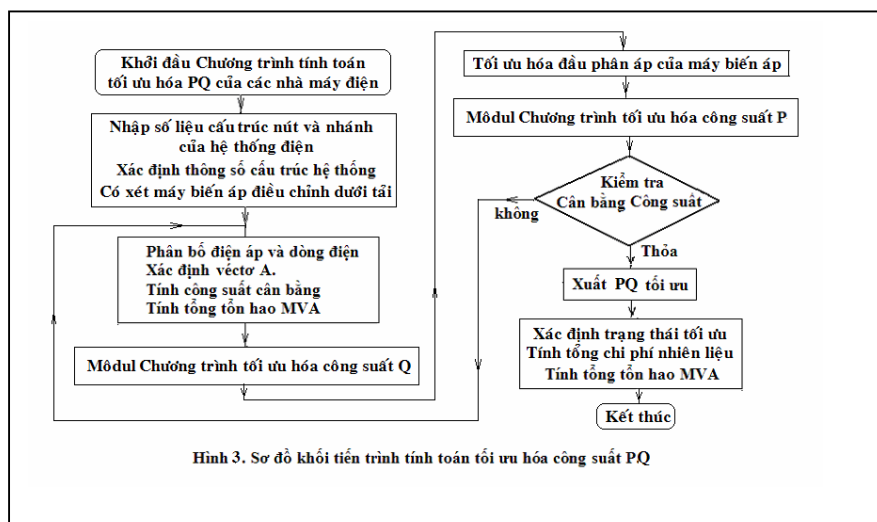
Nhờ vector ảnh trị riêng mà  $Q_{iF}^{(k)}$  có thể được xác định theo  $q_{iF}^{(k)}$  ở lần tính thứ (k) :

$$q_{iF}^{(k)} = \frac{\lambda_Q^{(k)} U_{iF}^2 (A_{iRe}^2 + A_{iIm}^2) - 2(Q_{iF}^- + Q_{ipt} + Q_{iC})(A_{iRe} - \lambda_Q^{(k)} A_{iIm})}{2(A_{iRe} - \lambda_Q^{(k)} A_{iIm})}; \quad (15)$$

Áp dụng định lý Kuhn-Tucker kiểm soát sao cho  $0 \leq q_{iF}^{(k)} \leq q_{iF}^+$ ; với  $q_{iF}^+$  phụ thuộc vào giới hạn cho phép máy phát hoạt động an toàn theo giới hạn I và U, tương ứng với một mức phát  $P_{iF}$ .

#### 4.CHƯƠNG TRÌNH OPIMAGEQP TỐI ƯU HÓA CÔNG SUẤT CÁC NHÀ MÁY ĐIỆN.

Kết hợp các môđul tối ưu hóa công suất P và công suất Q sẽ nhận được sơ đồ khối tiến trình tính toán như trên Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ khối tiến trình tính toán tối ưu hóa công suất PQ

Điều kiện ràng buộc (11) được kiểm soát bởi tính toán tối ưu hóa đầu phân áp của các máy

$$n_m^- \leq n_m^{(k) \text{ opt}} (U_{\text{opti}}^{(k)}, e_m, T_m) \leq n_m^+;$$

với  $e_m$  và  $T_m$  là các tham số kỹ thuật của bộ điều chỉnh dưới tải của máy biến áp trên nhánh (m), còn  $U_{\text{opti}}^{(k)}$  là điện áp tối ưu được tính toán theo điều kiện cực tiểu tổng tổn thất công suất

MW truyền tải, sao cho  $\left( \frac{\partial \Delta P_o(U_i^{(k)}, A_i)}{\partial U_i} \right)_{(k)} = 0$ , và thông thường sẽ phải thỏa mãn giới hạn

$U_i^- \leq U_{\text{opti}}^{(k)} \leq U_i^+$  tại nút điều chỉnh thứ (i) có liên quan với nhánh mô phỏng máy biến áp (m).

**5.SO SÁNH KẾT QUẢ TÍNH TOÁN MỘT SỐ VÍ DỤ TIÊU BIỂU.**

**Trích Bảng Tóm tắt Kết quả**  
**TABLE IV Summary of Results for the 30-bus System**

Variable	Initial State	Final States	
		First-Study	Second Study
$P_1$ (MW)	99.211	187.219	166.554
$P_2$ (MW)	80.000	53.781	80.000
$P_5$ (MW)	50.000	16.955	15.000
$P_8$ (MW)	20.000	11.288	10.000
$P_{11}$ (MW)	20.000	11.287	10.000
$P_{13}$ (MW)	20.000	13.355	12.000
$Q_1$ (MVAR)	5.335	19.342	18.353
$Q_2$ (MVAR)	27.657	27.423	27.439
$Q_5$ (MVAR)	21.544	21.205	21.223
$Q_8$ (MVAR)	22.933	23.086	23.104
$Q_{11}$ (MVAR)	38.583	38.438	38.453
$Q_{13}$ (MVAR)	40.345	40.423	40.355
$V_1$ (p.u.)	1.05	1.10	1.10
$V_2$ (p.u.)	1.04	1.08	1.08
$V_5$ (p.u.)	1.01	1.03	1.03
$V_8$ (p.u.)	1.01	1.04	1.04
$V_{11}$ (p.u.)	1.05	1.08	1.09
$V_{13}$ (p.u.)	1.05	1.08	1.08
$n_{11}$	1.078	1.072	1.072
$n_{12}$	1.069	1.070	1.069
$n_{15}$	1.032	1.032	1.032
$n_{36}$	1.068	1.068	1.068
Generation Cost [\$ /hr]	901.918	804.853	823.629
System Losses [MW]	5.812	10.486	10.154

**5.1.Ví dụ 1.**

Tham khảo K.Y.Lee, Y.M.Park, J.L.Ortiz. “An Approach to Optimal real and Reactive Power Dispatch.” IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. Vol. PAS-104 N<sup>o</sup>5 May 1985.

Do cách thiết lập hàm mục tiêu, sau quá trình tối ưu hóa thì tổng chi phí nhiên liệu giảm và tổng tổn hao MW cũng giảm (xem các ví dụ 2 và 3 tiếp theo sau). Tuy nhiên có một số cấu trúc hệ thống điện đặc biệt lại làm tăng tổn hao DP(P<sub>IF</sub>) sau khi phân bố tối ưu hóa P<sub>IF</sub>. Đây chính là trường hợp của hệ thống điện 30 nút nêu trong ví dụ 1 này. Quan sát trích số liệu bảng TABLE IV nhận thấy kết quả hai lần tính : tổng chi phí nhiên liệu càng được giảm thấp thì tổng tổn hao MW truyền tải của hệ thống càng tăng lên. Tổng công suất bù VAR rất nhỏ.

Nếu lấy giá tổn hao điện năng là 50\$/MWh thì từ kết quả trong TABLE IV (hình bên) nhận thấy như sau :

Tổng mức tiết kiệm chi phí của lần tính ‘first study’ :

$$(901,918-804,853) + (5,812-10,486) \times 50 = -136,64 \text{ \$/h}$$

Tổng mức tiết kiệm chi phí của lần tính ‘second study’ :

$$(901,918-823,629) + (5,812-10,154) \times 50 = -138,81 \text{ \$/h}$$

- Kết quả tính tối ưu PQ bằng chương trình OPIMAGEQP :  
 Để so sánh đối chiếu chúng tôi cũng sẽ tính 2 kết quả, cả 2 lần tính 2 kết quả này đều xét trường hợp các tụ điện không đóng điện trong hệ thống – chỉ điều chỉnh công suất của các nguồn - nhằm so sánh với kết quả ghi trong bảng TABLE IV với tổng dung lượng bù đủ nhỏ. Lấy giá tổn thất điện năng 50\$/MWh.

Kết quả thứ nhất :

$$\text{Mô phỏng đầu phân áp : } n_{4-12}=0,955; n_{6-9}=0,955; n_{6-10}=0,94 ; n_{27-28} =0,94 ;$$

Mức phát tối ưu :

$$S_1=(114,8170-j6,7516)\text{MVA}; \leftrightarrow U_1=1,1 \text{ p.u.}$$

$$S_2=(68,7117+j53,2355)\text{MVA}; \leftrightarrow U_2=1,097 \text{ p.u.}$$

$$S_5=(33,1561+j63,0738)\text{MVA}; \leftrightarrow U_5=1,092 \text{ p.u.}$$

$$S_8=(35,0000+j20,0380)\text{MVA}; \leftrightarrow U_8=1,052 \text{ p.u.}$$

$$S_{11}=(18,0621+j9,6202)\text{MVA}; \leftrightarrow U_{11}=1,098 \text{ p.u.}$$

$$S_{13}=(20,2096+j14,917)\text{MVA}; \leftrightarrow U_{13}=1,098 \text{ p.u.}$$

$$\text{Tổng chi phí kinh tế nhiên liệu : } C_t=840,95\text{\$/h.}$$

$$\text{Tổng tổn hao MW sau khi tối ưu : } DP_t=6,556\text{MW.}$$

$$\text{Tổng mức tiết kiệm chi phí trong một giờ : } (901,918-840,95)+(5,812-6,556) \times 50 = 23,77\text{\$/h}$$

Kết quả thứ nhì :

$$\text{Mô phỏng đầu phân áp : } n_{4-12}=0,975; n_{6-9}=0,975; n_{6-10}=0,97 ; n_{27-28} =0,97 ;$$

Mức phát tối ưu :

$$S_1=(135,9105+j2,8200)\text{MVA}; \leftrightarrow U_1=1,1 \text{ p.u.}$$

$$S_2=(60,2329+j17,5572)\text{MVA}; \leftrightarrow U_2=1,088 \text{ p.u.}$$

$$S_5=(35,0264+j55,5165)\text{MVA}; \leftrightarrow U_5=1,086 \text{ p.u.}$$

$$S_8=(10,0000+j59,9399)\text{MVA}; \leftrightarrow U_8=1,072 \text{ p.u.}$$

$$S_{11}=(22,7725+j6,8456)\text{MVA}; \leftrightarrow U_{11}=1,077\text{p.u.}$$

$$S_{13}=(26,3929+j12,8045)\text{MVA}; \leftrightarrow U_{13}=1,08 \text{ p.u.}$$

$$\text{Tổng chi phí kinh tế nhiên liệu : } C_t=832,901\text{\$/h.}$$

$$\text{Tổng tổn hao MW sau khi tối ưu : } DP_t=6,935\text{MW.}$$

$$\text{Tổng mức tiết kiệm chi phí trong một giờ } (901,918-832,901)+(5,812-6,935) \times 50 = 12,87\text{\$/h.}$$

**5.2. Ví dụ 2.**

Tham khảo số liệu ví dụ hệ thống điện 5 nút , từ trang 295 đến 300 của sách “Power System Analysis” của Hadi Saadat do nhà xuất bản McGraw Hill 1999. Số liệu ban đầu cho trên Hình 4. Khi chưa tối ưu công suất P có tổng chi phí nhiên liệu  $C_0=1633,24\$/h$  và tổng tổn hao MW truyền tải là  $DP_0=3,05248MW$ ; Lấy giá tổn thất điện năng  $50\$/MWh$ .

- Kết quả tính tối ưu của sách Hadi Saadat :  
Phân bố kinh tế công suất MW của các nguồn 1,2 và 3 như sau :

Mức phát kinh tế :  $P_{1F}=23,5581 MW$ ;  
 $P_{2F}=69,5593 MW$ ;  
 $P_{3F}=59,0368MW$ ;

Tổng chi phí kinh tế nhiên liệu:  
 $C_t=1596,96\$/h.$  ( tiết kiệm  $36,28\$/h$ )

Tổng tổn hao MW sau khi tối ưu :  
 $DP_t = 2,157691MW.$  ( tiết kiệm  $(3,05248-2,15691)\times 50=44,79\$/h$  )

Tổng mức tiết kiệm trong một giờ :  $(36,28+44,79)\$/h =81,07\$/h.$

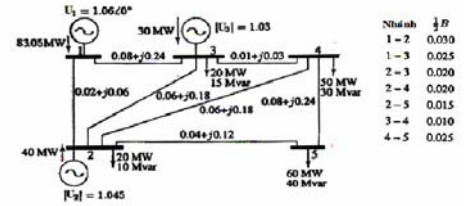
- Kết quả tính tối ưu PQ bằng chương trình OPIMAG\_QP :

Mức phát tối ưu :  $S_{1F}=(32,7912+j10,1597)MVA$ ;  $\leftrightarrow U_1=1,1000 p.u.$   
 $S_{2F}=(60,7477+j19,1404)MVA$ ;  $\leftrightarrow U_2=1,0882 p.u.$   
 $S_{3F}=(58,3040+j37,3436)MVA$ ;  $\leftrightarrow U_3=1,0870 p.u.$

Tổng chi phí kinh tế nhiên liệu :  $C_t = 1594,326050\$/h$  (tiết kiệm  $(1633,24-1594,33) = 38,91\$/h.$  )

Tổng tổn hao MW sau khi tối ưu :  $DP_t = 1,84263 MW.$ ( tiết kiệm  $(3,05248-1,84263)\times 50 = 60,49\$/h.$  )

Tổng mức tiết kiệm chi phí trong một giờ :  $(38,91+60,49)\$/h = 99,4\$/h$



Hình 4. - Số liệu hệ thống điện 5 nút.

**5.3. Ví dụ 3.**

Tham khảo số liệu ví dụ hệ thống điện 26 nút , từ trang 301 đến 309 của sách “Power System Analysis” của Hadi Saadat do nhà xuất bản McGraw Hill 1999. Sơ đồ liên kết nhánh nút được quan sát như trên Hình 5. Các nhánh biến áp với  $n_m$  được cho tại trang 302. Các tụ điện đồng cố định với mức bù MVar được cho tại trang 303 và 304. Khi chưa tối ưu công suất P có tổng chi phí nhiên liệu  $C_0=16760,73\$/h$  và tổng tổn hao MW truyền tải là  $DP_0=15,53MW$ . Lấy giá tổn thất điện năng  $50\$/MWh$ .

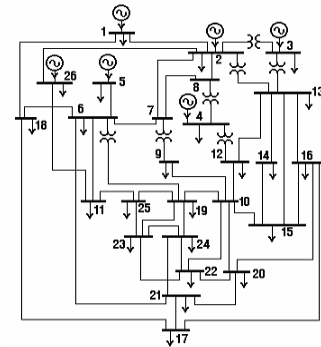
- Kết quả tính tối ưu PQ của sách Hadi Saadat :

Mức phát tối ưu :  $P_{1F}=447,611MW$ ;  $\leftrightarrow U_1=1,025 p.u.$   
 $P_{2F}=173,087MW$ ;  $\leftrightarrow U_2=1,020 p.u.$   
 $P_{3F}=263,363MW$ ;  $\leftrightarrow U_3=1,045 p.u.$   
 $P_{4F}=138,716MW$ ;  $\leftrightarrow U_4=1,050 p.u.$   
 $P_{5F}=166,099MW$ ;  $\leftrightarrow U_5=1,025 p.u.$   
 $P_{26F}=86,939MW$ ;  $\leftrightarrow U_{26}=1,015 p.u.$

Tổng chi phí kinh tế nhiên liệu :  
 $C_t=15447,72\$/h.$  ( tiết kiệm  $1313,01\$/h$ )

Tổng tổn hao MW sau khi tối ưu :  
 $DP_t = 12,807MW.$  (tiết kiệm  $(15,53-12,807)\times 50 = 136,15\$/h$  )

Tổng mức tiết kiệm chi phí trong một giờ :  
 $(1313,01+136,15)\$/h =1449,16\$/h.$



Hình 5. - Sơ đồ hệ thống điện 26 nút.

- Kết quả tính tối ưu PQ bằng chương trình OPIMAGeQP :

Mức phát tối ưu :  $S_1=(466,403+j324,555)MVA$ ;  $\leftrightarrow U_1=1,100 p.u.$   
 $S_2=(166,320+j 21,714)MVA$ ;  $\leftrightarrow U_2=1,094 p.u.$   
 $S_3=(267,132+j 97,806)MVA$ ;  $\leftrightarrow U_3=1,085 p.u.$   
 $S_4=(130,549+j 79,920)MVA$ ;  $\leftrightarrow U_4=1,051 p.u.$   
 $S_5=(193,665+j 58,6753)MVA$ ;  $\leftrightarrow U_5=1,0848 p.u.$   
 $S_{26}=(50,000+j 15,000)MVA$ ;  $\leftrightarrow U_{26}=1,0677 p.u.$

Tổng chi phí kinh tế nhiên liệu :  $C_t = 15437,83\$/h$ . ( tiết kiệm  $1322,9\$/h = (16760,73-15437,83)$  )

Tổng tổn hao MW sau khi tối ưu :  $DP_t = 10,996MW$ . ( tiết kiệm  $(15,53-10,996) \times 50 = 226,7\$/h$  )

Tổng mức tiết kiệm chi phí trong một giờ :  $(1322,9+226,7)\$/h = 1549,6\$/h$ .

Mô phỏng đầu phân áp tối ưu :  $n_{2-3} = n_{2-13} = n_{3-13} = 1$  ;  $n_{4-8} = 0,985$  ;  $n_{4-12} = n_{6-19} = n_{7-9} = 0,97$ .

#### 5.4. Nhận xét

Đối với ví dụ 1, nếu thực hiện tối ưu hóa trạng thái xác lập chỉ nhằm giảm tổng chi phí nhiên liệu để phát công suất MW thì có thể tính tổng chi phí nhiên liệu giảm đến mức thấp hơn nữa, vào khoảng từ  $799,5\$/h$  đến  $800,5\$/h$ , tuy nhiên tổng tổn hao MW truyền tải bị buộc phải tăng lên trên mức  $8,5MW$ , với giá tổn thất điện khoảng  $50\$/MWh$  thì tổng mức tiết kiệm chi phí sẽ bị âm.

- Chi phí nhiên liệu sản xuất điện và chi phí tổn thất điện năng đều cần phải được giảm tối đa để tăng cường lợi ích kinh tế đối với hệ thống điện. Tối ưu hóa công suất phản kháng nhằm giảm tổn thất điện năng, đồng thời cải thiện trạng thái xác lập hỗ trợ quá trình tối ưu hóa công suất tác dụng để cực tiểu hóa chi phí nhiên liệu. Chương trình OPIMAGeQP luôn tính được tổng mức tiết kiệm chi phí dương ( gồm chi phí nhiên liệu và chi phí tổn hao điện năng) trong một giờ đối với các trường hợp nêu trong các ví dụ 1,2 và 3 , cho thấy ưu điểm của giải thuật được đề nghị.
- Có thể phát triển mô hình vectơ ảnh trị riêng với giải thuật quy hoạch tuyến tính đạt được hiệu quả tốt đối với lớp bài toán tối ưu hóa trạng thái xác lập của hệ thống điện.

#### 6. KẾT LUẬN

Trước đây, trong [1],[2],[3],[4] và [5], đã phát triển các giải thuật chương trình tính toán nhằm tối ưu hóa riêng biệt công suất P hoặc công suất Q với mô hình vectơ ảnh trị riêng – đã áp dụng tính toán trên sơ đồ vài trăm nút với số liệu thực tế của hệ thống điện Việt nam, cũng như đã áp dụng hiệu quả trong công tác đào tạo các năm vừa qua. Hiện nay đề nghị một giải thuật mới với chương trình OPIMAGeQP được lập ra đã chứng tỏ được ưu điểm của phương pháp mô hình hóa hệ thống điện với vectơ ảnh trị riêng trong việc giải bài toán quy hoạch phi tuyến tối ưu hóa đồng thời công suất P&Q của các nhà máy điện.

### THERMAL PLANT PQ\_POWER OPTIMIZATION IN ELECTRICAL POWER SYSTEM WITH SYSTEM EIGEN-IMAGE VECTOR.

Luu Huu Vinh Quang

University of Technology – VietNam National University – HCM City

**ABSTRACT :** *An eigen-image vector model of electrical power system is proposed for solving of active and reactive power optimization problem in power system. A new algorithm is proved for calculation of economic p\_power generation between thermal plants and of generator q\_power optimization, to minimize the p\_power loss in electric power system. An A vector is determined with his element number equalising the electric plant number in power system, allows to simplify the simulation of steady state indices, and so the new formulas are proposed for optimal voltage level calculation. The optimal under load transformer taps are also choosed.*

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lưu Hữu Vinh Quang, *Phương pháp tính toán ma trận ảnh lưới điện mô phỏng hệ thống điện và xây dựng các chương trình máy tính ứng dụng*, Thuyết minh Đề tài Nghiên cứu Khoa học cấp Bộ - mã số B99-20-57. (Báo cáo nghiệm thu 1-2001).
- [2]. Lưu Hữu Vinh Quang, *A new P\_Power loss - coefficient expression and economic active power generation of thermal plans*, (Chứng nhận bản quyền tc giả số 153 - Cục bản quyền tc giả - cấp ngày 23-6-2000), Proceedings of the 8<sup>th</sup> conference on science and technology (25-26 April 2002). p.1-6, Session Electrical Engineering and Power systems, Vietnam National University – HCM City University of Technology.
- [3]. Lưu Hữu Vinh Quang, *Economic active power dispatch of thermal units in power system with electrical network image matrix*, (Chứng nhận bản quyền tc giả số 046/2002/QTG - Cục bản quyền tc giả - cấp ngày 23-1-2002), Proceedings of the 8<sup>th</sup> conference on science and technology (25-26 April 2002). p.53-58, Session Electrical Engineering and Power systems, Vietnam National University – HCM City University of Technology.
- [4]. Lưu Hữu Vinh Quang, *Reactive Power Optimization in Power System with electrical network image matrix*, (Chứng nhận bản quyền tc giả số 127/2002/QTG - Cục bản quyền tc giả - cấp ngày 8-3-2002), Proceedings of the 8<sup>th</sup> conference on science and technology (25-26 April 2002). p.79-84, Session Electrical Engineering and Power systems, Vietnam National University – HCM City University of Technology.
- [5]. Lưu Hữu Vinh Quang, *Mathematical Model for VAR Optimization in Electrical Power System*, (Chứng nhận bản quyền tc giả số 1176/2004/QTG - Cục bản quyền tc giả cấp ngày 18-10-2004).