

**PHƯƠNG PHÁP ĐIỂM NỘI CHO TỐI ƯU PHÂN BỐ CÔNG SUẤT
TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN AC/DC SONG SONG**
THE INTERIOR POINT METHOD FOR OPTIMAL POWER FLOW
IN PARALLEL AC/DC POWER SYSTEMS

Trần Quốc Tuấn

Công ty Thủy Điện Đa Nhim - Hàm Thuận - Đa Mi

Vũ Phan Tú, Trần Anh Dũng

Trường Đại học Bách khoa - ĐHQG Tp HCM

TÓM TẮT

Bài báo trình bày việc áp dụng phương pháp điểm nội đối ngẫu cơ bản dự đoán hiệu chỉnh (PCPDIP) cho tối ưu phân bố công suất (OPF) trong hệ thống điện AC/DC song song. Trong đó đề xuất: i) áp dụng phương pháp dự đoán hiệu chỉnh Mehrotra để làm tăng độ hội tụ, ii) ma trận phân bố công suất **Jacobi** đầy đủ gồm cả 2 thành phần AC và DC, và iii) hàm đối tượng được chọn cho phân tích tối ưu là hàm cực đại hoá lợi nhuận xã hội. Kết quả số cho thấy tính ưu việt và hiệu quả của phương pháp đề nghị như độ hội tụ và thời gian CPU nhanh hơn phương pháp kiểu Newton được áp dụng cho mạng IEEE 118 nút và AC/DC 24 nút. Sự so sánh với chương trình Matpower trên mạng AC IEEE 118 nút cũng được trình bày. Đặc biệt, kết quả tính toán thu được trên mạng AC/DC song song như chi phí đầu tư và tổn thất thấp hơn mạng khi so sánh với mạng AC đã khẳng định được ưu điểm của mạng AC/DC vận hành song song.

ABSTRACT

This paper presents the application of a Prediction–Correction Primal-Dual Interior Method (PCPDIP) for the optimal power flow (OPF) in parallel AC/DC power systems. In which proposed: i) application of the Mehrotra prediction-correction method for increasing the convergence, ii) the full **Jacobian** power flow matrix consists of both AC and DC elements, and iii) the chosen objective function is chosen for optimal analysis is the function of social benefit maximum. The numerical results illustrate the primacy and effectiveness of the proposed method such as convergence and CPU time faster than a Newton-type method as applied on the IEEE 24-bus AC/DC and IEEE 118-bus systems. The comparison with a Matpower software on IEEE 118-bus systems is also presented. In particular, the calculation shows that the cost and power loss in the AC/DC network is lower than in the AC network. It prove the advantage of the parallel operation AC/DC systems

I. GIỚI THIỆU

Truyền tải HVDC là xu thế phát triển của các tập đoàn điện lực trên toàn thế giới trong thế kỷ 21, nhằm liên kết các vùng, lãnh thổ hay các quốc gia lại với nhau làm tăng hiệu quả sử dụng nguồn, tăng độ tin cậy truyền tải và cung cấp điện. Để tối ưu việc quản lý vận hành hệ thống, bài toán OPF được giải bằng nhiều phương pháp như phương pháp Lambda, Newton, phương pháp nhân tử Lagrange, giải thuật Gen... Bài báo này áp dụng phương pháp PCPDIP tính toán tối ưu phân bố công suất trong mạng điện AC/DC song song.

Xuất phát từ bài toán qui hoạch tuyến tính, năm 1984 **Karmarkar** [5] đưa ra một phương pháp khác so với phương pháp đơn hình của **George Dantzig** gọi là **phương pháp**

điểm nội (IP). Phương pháp đơn hình là bắt đầu từ một điểm trên biên của vùng khả thi, chạy dọc theo biên tiến đến điểm tối ưu. Phương pháp **IP** của **Karmarkar** là từ một điểm trong vùng khả thi, tiến theo một “độ dài” và một “độ dốc” chọn trước, sau một số vòng lặp sẽ tiến đến điểm tối ưu. Bằng cách chọn chính xác “điểm rôn” xuất phát, độ dài và độ dốc của bước tiến sẽ tiến đến điểm tối ưu nhanh hơn phương pháp đơn hình đặc biệt đối với bài toán có biên phức tạp. Từ đây ra đời các lý thuyết để chọn bước tiến tối nhất với các tên gọi như: “tỷ lệ affine”; chặn logarithm; giảm cấp; tìm đường; đối ngẫu cơ bản; điểm nội không khả thi và cuối cùng là phương pháp “điểm nội đối ngẫu cơ bản” dựa trên giải thuật “dự đoán – hiệu chỉnh” của Mehrotra được sử dụng trong hầu hết các phần mềm hiện nay.

Trong bài báo này chúng tôi đề xuất việc áp dụng phương pháp **PCPDIP** để tính tối ưu phân bố công suất trong hệ thống điện **AC/DC**. Kết quả được kiểm tra trên mạng IEEE 118 nút và sau đó phát triển cho mạng **AC/DC** song song 24 nút.

II. BÀI TOÁN TỐI ƯU

2.1 Mô tả toán học bài toán tối ưu

Bài toán tối ưu là đi tìm giá trị lớn nhất hay nhỏ nhất của hàm đối tượng với các ràng buộc được mô tả như sau:

$$\begin{array}{ll} \text{Min} & g(x, y) \\ \text{Max} & \\ \text{Subject to} & \begin{cases} f(x, y) = 0 \\ h_{\min} \leq h(x, y) \leq h_{\max} \end{cases} \end{array} \quad (1)$$

với: x, y : tập các biến.

$g(x, y)$: hàm đối tượng vô hướng.

$f(x, y)$: các phương trình ràng buộc.

$h(x, y)$: các bất phương trình giới hạn của các biến.

Bằng việc thêm các biến “slack” s vào bất phương trình trong (1) thì ràng buộc bất phương trình được đưa về dạng phương trình như sau:

$$\begin{array}{ll} \text{Min} & g(x, y) \\ \text{Max} & \\ \text{s.t} & \begin{cases} f(x, y) = 0 \\ h(x, y) - h_{\min} - s_{\min} = 0 \\ h_{\max} - h(x, y) - s_{\max} = 0 \\ s_{\min} > 0, s_{\max} > 0 \end{cases} \end{array} \quad \text{hay} \quad \begin{array}{ll} \text{Min} & g(x, y) \\ \text{Max} & \\ \text{s.t} & \begin{cases} f(x, y) = 0 \\ \Delta h(x, y) - s = 0 \\ s > 0 \end{cases} \end{array} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Delta h(x, y) &= \begin{bmatrix} h(x, y) - h_{\min} \\ h_{\max} - h(x, y) \end{bmatrix} \\ \text{với} \quad s &= \begin{bmatrix} s_{\min} \\ s_{\max} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

Hàm Lagrange.

$$L = g(x, y) - \rho^T f(x, y) - \mu^T (\Delta h(x, y) - s) - \mu_s \ln(\sum s_i) \quad (4)$$

với ρ, μ là thừa số Lagrange, μ_s thừa số chặn. Theo điều kiện tối ưu Karush-Kuhn-Tucker (KKT) thì:

$$\nabla L(x, y, \rho, \mu, s) = 0. \quad (5)$$

Khi $\mu_s \rightarrow 0$ giải (5) chúng ta được tập nghiệm (x, y, ρ, μ, s) cũng là lời giải của (1).

2.2 Ứng dụng vào bài toán trong hệ thống điện

Theo [Gisin et al. 1999], và [Xie et al. 2000] bài toán **OPF** thị trường điện điển hình ràng buộc an ninh hệ thống bởi giới hạn công suất truyền tải và giới hạn điện áp thanh cái được mô tả như sau:

$$\begin{array}{ll} \text{Max} & -G \rightarrow \text{Social benefit} \\ \text{s.t} & \begin{cases} f(y) = 0 \rightarrow \text{PF equations} \\ 0 \leq P_S \leq P_{S_{\max}} \rightarrow \text{Sup. bid blocks} \\ 0 \leq P_D \leq P_{D_{\max}} \rightarrow \text{Dem bid blocks.} \\ |I_{ij}(\delta, V)|^2 \leq I_{ij_{\max}}^2 \rightarrow \text{Thermal lim} \\ |I_{ji}(\delta, V)|^2 \leq I_{ji_{\max}}^2 \\ Q_{G_{\min}} \leq Q_G \leq Q_{G_{\max}} \rightarrow \text{Gen. Q lim} \\ V_{\min} \leq V \leq V_{\max} \rightarrow V \text{ "security" lim} \end{cases} \end{array} \quad (6)$$

Trong đó hàm đối tượng G là chính hiệu của chi phí nguồn phát và tải tiêu thụ có dạng bậc 2 theo công suất. Đặt $q_p = Q_{D0}/P_{D0}$ để đơn giản thành phần công suất kháng Q_D của tải tiêu thụ với Q_{D0}, P_{D0} là công suất ban đầu của phụ tải. Hàm G được mô tả:

$$G = C_{sc}' P_S^2 + C_{sb}' P_S + \text{sum}(C_{sa}) + D_{sc}' Q_g^2 + D_{sb}' Q_g + \text{sum}(D_{sa}) - [C_{dc}' P_D^2 + C_{db}' P_D + \text{sum}(C_{da})] - [D_{dc}' q_p^2 P_D^2 + D_{db}' q_p P_D + \text{sum}(D_{da})] \quad (7)$$

C_S, C_D (\$/MWh): hai vector giá của công suất nguồn và công suất tiêu thụ được đầu giá trong thị trường điện.

Q_g : công suất kháng của máy phát.

V, δ : điện áp và góc pha của thanh cái.

I_{ij}, I_{ji} : dòng điện trên đường dây theo 2 hướng.

P_S, P_D : công suất cung cấp và yêu cầu.

Ràng buộc phương trình $f(y)$ chính là phương trình cân bằng công suất trong hệ thống.

$$f(y) = \begin{cases} \sum_{i=1}^n P_i - P_{si} + P_{di} \\ \sum_{i=1}^n Q_i - Q_{gi} + q_p P_{di} \end{cases}; \quad y = [\delta, V, Q_G, P_S, P_D]^T \quad (8)$$

Hàm Lagrange tổng quát cho hàm đối tượng cực đại hoá lợi nhuận xã hội như sau:

$$\begin{aligned}
\text{Min } L = & G - \rho^T f(y) - \mu_{P_{s_{\max}}}^T (P_{s_{\max}} - P_s - s_{P_{s_{\max}}}) \\
& - \mu_{P_{s_{\min}}}^T (P_s - s_{P_{s_{\min}}}) - \mu_{P_{D_{\max}}}^T (P_{D_{\max}} - P_D - s_{P_{D_{\max}}}) \\
& - \mu_{P_{D_{\min}}}^T (P_D - s_{P_{D_{\min}}}) - \mu_{I_{ij_{\max}}}^T (I_{ij_{\max}}^2 - I_{ij}^2 - s_{I_{ij_{\max}}}) \\
& - \mu_{I_{ij_{\min}}}^T (I_{ij_{\min}}^2 - I_{ij}^2 - s_{I_{ij_{\min}}}) - \mu_{Q_{G_{\max}}}^T (Q_{G_{\max}} - Q_G - s_{Q_{G_{\max}}}) \\
& - \mu_{Q_{G_{\min}}}^T (Q_G - Q_{G_{\min}} - s_{Q_{G_{\min}}}) - \mu_{V_{\max}}^T (V_{\max} - V - s_{V_{\max}}) \\
& - \mu_{V_{\min}}^T (V - V_{\min} - s_{V_{\min}}) - \mu_s \left(\sum_i lns_i \right).
\end{aligned} \quad (9)$$

Điều kiện KKT $\nabla L = 0$ (5) cho bài toán (6):

$$\nabla_y L = g_y = \nabla_y G - \nabla_y F + \nabla_y H = 0 \quad (10a)$$

$$\nabla_\rho L = -g_\rho = -f(y) = 0 \quad (10b)$$

$$\nabla_\mu L = g_\mu = \Delta h + s = 0 \quad (10c)$$

$$\nabla_s L = g_s = \mu \cdot s - \mu_s = 0. \quad (10d)$$

Áp dụng phương pháp điểm nội giải lặp để tìm nghiệm của hệ phương trình (10).

III. PHƯƠNG PHÁP ĐIỂM NỘI

3.1 Bước tiến Newton "Newton Direction"

Xấp xỉ Newton [16] hệ (10) được hệ (11)

$$\begin{cases} D_{2 \times Lms} \Delta y - J_g^T \Delta \rho + J_h^T \Delta \mu = -g_y & (11a) \\ -J_g \Delta y = g_\rho & (11b) \\ J_h \Delta y + \Delta s = -g_\mu & (11c) \\ \mu \Delta s + s \Delta \mu = -g_s & (11d) \end{cases}$$

Với: $D_{2 \times Lms} = [-H_\rho + [H_{ij} \ H_{ji}] \cdot \mu; \nabla_y^2 G]$.

Trong đó H , H_{ij} và H_{ji} lần lượt là ma trận **Hessian** của ràng buộc công suất và dòng điện.

Ma trận **Jacobi** J_g ở đây được thành lập dựa trên phương trình ràng buộc công suất P , Q trong hệ thống. Nó bao gồm cả hai thành phần AC và DC chính vì vậy mà ma trận này được gọi là ma trận Jacobi đầy đủ. Ma trận J_h là ma trận Jacobi của các ràng buộc khác.

$$J_g = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial V} & 0 & -1 & 1 \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial V} & -1 & 0 & q_p \end{bmatrix}, \quad J_h = \begin{bmatrix} \delta & V & Q_g & P_s & P_d \\ \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} \\ J_{ij} & J_{ji} & \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Đặt: $H_s = 1/s$, $H_m = \mu/s$ là các ma trận đường chéo. Thay Δs từ phương trình (11.c)

vào phương trình (11.d). Tính $\Delta \mu$ theo Δy và thế giá trị này vào phương trình (11.a). Hệ phương trình (11) được rút gọn thành hệ phương trình (12).

$$\begin{bmatrix} D_{2 \times Lms} + J_h^T H_m J_h & -J_g^T \\ -J_g & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta y \\ \Delta \rho \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} g_y + J_h^T (H_m g_\mu - H_s g_s) \\ -g_\rho \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Giải hệ (12), chúng ta được bước tiến Newton.

3.2 Dự đoán – Hiệu chỉnh Mehrotra

➤ Bước ước lượng dự đoán: xem $\mu_s = 0$, ước lượng Newton cho hệ (10) được hệ (13).

$$\begin{bmatrix} D_{2 \times Lms} + J_h^T H_m J_h & -J_g^T \\ -J_g & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta y \\ \Delta \rho \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} g_y + J_h^T (H_m g_\mu - \mu) \\ -g_\rho \end{bmatrix}. \quad (13)$$

➤ Giải hệ (13) được $\Delta \tilde{y}$, $\Delta \tilde{\rho}$, $\Delta \tilde{\mu}$ và $\Delta \tilde{s}$ ước lượng.

➤ Bước ‘centering’ ước lượng lại μ_s

$$\mu_s = \min \left[\left(\frac{gap}{gap} \right)^2, \beta \right] * \frac{gap}{2(m+n)} \quad (14)$$

Với $\beta = 0.1 \div 0.25$: hệ số ‘centering’.

gap : khoảng không bù, được tính:

$$gap = (s + \tilde{\alpha}_p \Delta \tilde{s}) \cdot (\mu + \tilde{\alpha}_d \Delta \tilde{\mu}) \quad (15)$$

gap : khoảng không đối ngẫu, tính theo (20).

m, n lần lượt là số ràng buộc bất phương trình và phương trình.

➤ Bước hiệu chỉnh ‘corrector’

➤ Tính đại lượng hiệu chỉnh g_s theo các đại lượng được ước lượng ở trên.

$$g_s = \mu + (\Delta \tilde{\mu} \Delta \tilde{s} - \mu_s) / s. \quad (16)$$

Thay (11.d) bằng $\Delta \mu + \frac{\mu}{s} \Delta s = -g_s$, giải lại hệ (11) tìm hướng tiến thực của các biến.

3.3 Cập nhật biến và giảm μ_s

➤ Ở vòng lặp thứ $k+1$, các biến được cập nhật

$$\begin{aligned}
y^{k+1} &= y^k + \alpha_p^k \Delta y^k, & \rho^{k+1} &= \rho^k + \alpha_d^k \Delta \rho^k \\
s^{k+1} &= s^k + \alpha_p^k \Delta s^k, & \mu^{k+1} &= \mu^k + \alpha_d^k \Delta \mu^k.
\end{aligned} \quad (17)$$

với độ dài bước α được tính theo (18)

$$\alpha_p = \min\left(-\sigma \cdot \frac{s}{\Delta s}, 1\right), \quad \alpha_d = \min\left(-\sigma \cdot \frac{\mu}{\Delta \mu}, 1\right). \quad (18)$$

cho các $\Delta s < 0$, $\Delta \mu < 0$. $\sigma = 0.995$: hệ số an toàn.

➤ Giảm μ_s

$$\mu_s = \min\left(\beta \cdot \frac{gap}{2(m+n)}, 1\right). \quad (19)$$

Với khoảng không đổi ngẫu nhiên: $gap = s \cdot \mu$ (20)

3.4 Tiêu chuẩn hội tụ

Vòng lặp kết thúc khi thỏa các điều kiện

➤ Sai số thừa số chặn $\mu_s < \varepsilon_\mu$ (21)

➤ Sai số lớn nhất của biến

$$\text{norm}(\Delta y) < \varepsilon_2 \quad (22)$$

➤ Sai số lớn nhất của ràng buộc phương trình

$$\text{norm}(g_p) < \varepsilon_1 \quad (23)$$

➤ Sai số của hàm đối tượng $\frac{|\Delta G|}{1+|G|} < \varepsilon_2$ (24)

3.5 Chọn điểm ban đầu

Đối với bài toán **OPF** trong hệ thống điện thông thường chọn điểm ban đầu như sau:

$$P_s^{(0)} = P_{s \min} + 0.1(P_{s \max} - P_{s \min}),$$

$$P_d^{(0)} = P_{d \min} + 0.1(P_{d \max} - P_{d \min}),$$

$$Q_g^{(0)} = 0.5(Q_{g \max} - Q_{g \min}).$$

Góc pha và biên độ của điện áp có thể chọn

$$\delta^{(0)} = 0 \text{ (rad)}, \quad V^{(0)} = 1 \text{ (p.u.)}$$

hay từ kết quả phân bố công suất.

IV. KẾT QUẢ

4.1 Mạng AC IEEE 118 nút

Mạng chuẩn AC IEEE 118 nút gồm có 109 tải, tổng công suất tải $S=42.42+j14.38$ (p.u), 54 máy phát, 9 máy biến áp và 177 đường dây. Kết quả phân tích được tóm tắt như trong Bảng 1 và 2.

Bảng 1.

Phân bố công suất thường	Tối ưu phân bố công suất phương pháp IP			
	Chương trình phân tích		Matpower	
	Ps pu	Qg pu	Ps pu	Qg pu
Tổng:	43.755	7.167	43.197	3.8987
Hàm đối tượng [\$ / h]:	129678		129661	

Bảng 1 cho thấy kết quả giữa chương trình phân tích của chúng tôi xây dựng và Matpower [17] là như nhau. Khi tối ưu phân bố công suất thì điện áp ở các thanh cái được nâng lên đáng kể (đều lớn hơn 1 p.u). Tổng công suất nguồn phát thấp hơn trong trường hợp phân bố công suất thường điều này có nghĩa là tổn hao truyền tải thấp hơn.

Bảng 2.

Tối ưu phân bố công suất		
Phương pháp IP	Dự đoán hiệu chỉnh	Newton thông thường
Số vòng lặp	13	67
Thời gian tính toán (s)	3.5437	6.6575

Kết quả Bảng 2 cho thấy số vòng lặp và thời gian tính toán của phương pháp **PCPDIP** nhanh hơn phương pháp Newton thông thường.

4.2 Mạng AC/DC 24 nút

Để áp dụng phương pháp **PCPDIP** vào mạng AC/DC chúng tôi lấy mạng AC IEEE 24 nút. Thay 2 nhánh AC bằng 2 nhánh DC như hình *sơ đồ mô phỏng AC/DC*. Kết quả phân tích tối ưu phân bố công suất trong 2 trường hợp tải cố định và tải thay đổi được tóm tắt trong Bảng 3 và Bảng 4.

Bảng 3.

Tải cố định	Mạng AC		Mạng AC/DC		Tải
	Ps MW	Qg Mvar	Ps MW	Qg Mvar	Pd MW
Tổng	3284.6	1175.8	3280.1	1140.6	3171
Chi phí (\$/h)	51931.18		36979.98		

Từ kết quả Bảng 3 cho thấy chi phí cho mạng AC/DC thấp hơn mạng AC do phân bố công suất giữa các tổ máy trong mạng AC/DC tốt hơn. Vì HVDC định hướng được công suất truyền tải làm cho tổn thất trong mạng AC/DC (109.1 MW) thấp hơn trong mạng AC (113,6 MW).

Bảng 4.

Tải thay đổi	Mạng AC		Tải	Mạng AC/DC		Tải
	Ps MW	Qg Mvar	Pd MW	Ps MW	Qg Mvar	Pd MW
Tổng	3256.1	1068.8	3150.9	3117.1	965.09	3017.2
Lợi nhuận (\$/h)	38292.666			36477.80		

Bảng 3 và 4 cho thấy khi tải được tối ưu thì càng làm giảm tổn thất trong mạng. Mạng AC từ 113,6 MW giảm xuống còn 105.2 MW và mạng AC/DC từ 109.1 còn 99.9 MW. Về mặt lợi nhuận thì lợi nhuận thu được trong mạng AC lớn hơn trong mạng AC/DC do tổng công suất phát và tổng công suất tải trong mạng AC lớn hơn. Nhưng xét về tổn thất thì tổn thất mạng AC/DC vẫn thấp hơn trong mạng AC.

V. KẾT LUẬN

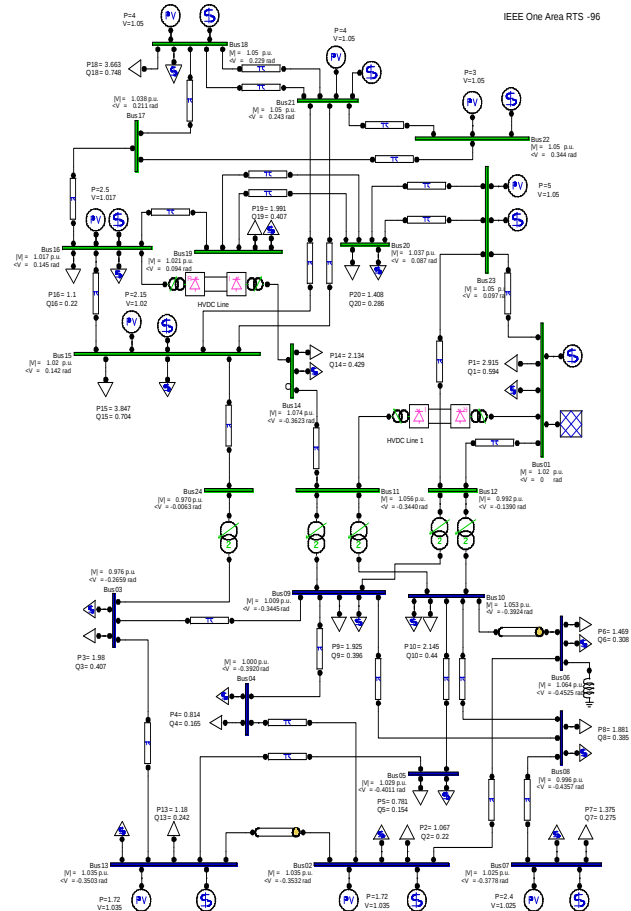
Tối ưu phân bố công suất trong mạng làm cải thiện điện áp, làm tăng độ tin cậy cho hệ thống đồng thời nó cũng làm giảm tổn thất trong mạng, nâng cao hiệu suất truyền tải. Kết quả phân tích cũng cho thấy ưu thế giảm tổn thất của mạng AC/DC.

Giải thuật tối ưu phân bố công suất trong bài báo này áp dụng cho hàm đối tượng cực đại hoá lợi nhuận. Điều này có nghĩa là hàm chi phí không chỉ xét cho công suất hữu công P mà còn cho công suất vô công Q và cho cả tải cố định và tải thay đổi.

So sánh giữa phương pháp **PCPDIP** và phương pháp *Newton* thông thường thì phương pháp **PCPDIP** cho tốc độ hội tụ nhanh hơn. Đây là điểm mạnh vượt trội của phương pháp này so với các phương pháp khác khi tính toán các hệ thống lớn.

Kết quả thu được giống với chương trình **Matpower**. Giải thuật phân tích được viết bằng ngôn ngữ Matlab lập trình hướng đối tượng cấu trúc lớp và ứng dụng kỹ thuật ma trận lược nên tốc độ tính toán nhanh đặc biệt cho các mạng lớn từ vài trăm đến vài ngàn nút.

Sơ đồ mô phỏng mạng AC/DC 24 nút và kết quả phân bố công suất.



Chú ý: tất cả các giá trị công suất tải, máy phát được tính trong hệ p.u. Chọn cơ bản $S_{cb} = 100$ MVA.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. J. Carpenter; Contribution to the economic dispatch problem", Bull. Soc. Franc. Elect., Vol 8, pp 431-447, Aug 1962.
2. Dommel H.W., Tinney W.F.; Optimal power flow solutions; IEEE Trans. on PAS, vol 87, no 10, pp 1866-1876, 1968.
3. Huneault M., Galiana F.D.; A survey of the optimal power flow literature; IEEE Trans. on Power systems, vol 6, no 2, pp 762-770, 1991.
4. Momoh J.A., EL-Haway M.E., Adapa R.; A review of selected optimal power flow literature to 1993 part 1 and 2; IEEE Trans. on Power systems, vol 14, no 1, pp 96-111, 1999.
5. Karmarkar N.; A new polynomial time algorithm for linear programming; combinatorica 4, pp 373-395, 1984.

6. *Vargas L.S., Quintana V.H., Vannelli A.*; A tutorial description of an interior point method and its applications to security constrained economic dispatch; IEEE Trans.on Power Systems, vol 8, no 3, pp 1315-1323, 1993.
7. *Lu N., Unum M.R.*; Network constrained security control using an interior point algorithm; IEEE Trans.on Power System, vol 8, no 3, pp 1068-1076, 1993.
8. *Zhang X.P. and Chen Z.*; Security constrained economic dispatch through interior methods. Automation of Electric power Systems; vol 21, no 6, pp 27-29, 1997.
9. *Momoh J.A., Guo S.X., Ogbuobiri E.C., Adapa R.*; The quadratic interior point method solving power system optimization problems; IEEE Trans.on Power Systems, vol 9, no 3, pp 1327-1336, 1994.
10. *Granville S.*; Optimal reactive power dispatch through interior point methods". IEEE trans.on Power Systems, vol 9, no 1, pp 136-146, 1994.
11. *Wu Y.C., Debs A., Marsten R.E.*; A direct nonlinear predictor corrector primal-dual interior point algorithm for optimal power flows; IEEE trans.on Power Systems, vol 9, no 2, pp 876-882, 1994.
12. *Irisarri G.D., Wang X., Tong J., Mokhtari S.*; Maximum loadability of power syatems using interior point nonlinear optimization method; IEEE Trans.on Power System, vol 12, no 1, pp 167-172, 1997.
13. *Wei H., Sasaki H., Yokoyama R.*; An interior point nonlinear programming for optimal power flow problems within a novel data structure; IEEE trans.on Power Systems, vol 13, no 3, pp 870-877, 1998.
14. *Torres G.L., Quintana V.H.*; An interior point method for nonlinear optimal power flow using voltage rectangular coordinates; IEEE Trans.on Power System, vol 13, no 4, pp 12111-1218, 1998.
15. *Zhang X.P., Petoussis S.G., Godfrey K.R.*; Novel nonlinear interior Point Optimal Power flow method baesd on current mismatch formulation; IEEE Proceedings Generation, Transmission & Distribution, to paper, 2005.
16. *El-Bakry S., Tapia R.A., Tsuchiya T., Zhang Y.*; On the formulation and theory of the Newton interior point method for nonlinear programming; Journal of Optimisation Theory and Applications, vol 89, no 3, pp 507-541, 1996.
17. <http://www.pserc.cornell.edu/matpower/>

Địa chỉ liên hệ: Vũ Phan Tú – Tel: 0934.979.888
 Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Bách khoa – ĐHQG Tp Hồ Chí Minh