

PHƯƠNG PHÁP HEURISTIC TỐI ƯU PHÂN BỐ CÔNG SUẤT TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

Quyền Huy Ánh⁽¹⁾, Trương Việt Anh⁽¹⁾, Vy Thị Thanh Hương⁽²⁾

(1) Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM

(2) Trường Đại học Phạm Văn Đồng

(Bài nhận ngày 24 tháng 12 năm 2008, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 24 tháng 05 năm 2010)

TÓM TẮT: Mục tiêu của bài toán OPF là tối thiểu tổng chi phí nhiên liệu của các nhà máy đồng thời đảm bảo vấn đề an ninh trong hệ thống. Bài báo tìm hiểu về ứng dụng phương pháp Newton vào bài toán OPF có xét giao dịch vùng trong hệ thống. Đặc biệt là ý tưởng sử dụng cấu trúc cây nhị phân để tìm kiếm các biến trong hệ thống có qui mô lớn, giúp lời giải bài toán OPF hội tụ nhanh. Mục tiêu của bài toán OPF cũng được kiểm chứng thông qua mô phỏng trên hệ thống 6 nút trong môi trường PowerWorld. Kết quả mô phỏng thể hiện tổng chi phí nhiên liệu cũng như tổng tổn thất trong hệ thống trong trường hợp hệ thống có giao dịch nhỏ hơn so với trường hợp hệ thống không thực hiện giao dịch công suất.

Từ khóa: OPF, phương pháp Heuristic, hệ thống điện

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mục tiêu của các nhà máy là thu được lợi nhuận cao nhất trong quá trình sản xuất và truyền tải điện năng. Muốn vậy, các nhà máy cần phải xác định chi phí phát điện và chi phí truyền tải để làm tiền đề cho việc định giá điện.

Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình phát điện với chi phí nhỏ nhất là vận hành hiệu quả các tổ máy phát điện, chi phí nhiên liệu và tổn thất trên đường dây truyền tải. Hầu hết, các tổ máy có hiệu suất cao trong hệ thống thường không đảm bảo chi phí nhỏ nhất do chúng thường nằm trong vùng có chi phí nhiên liệu cao. Bên cạnh đó, tổn thất trên đường dây truyền tải có thể lớn hơn đáng kể khi vị trí nhà máy xa trung tâm phụ tải, vì thế gây lãng phí điện năng, đặc biệt trong hệ thống điện có nhiều liên kết, điện năng được truyền tải qua khoảng cách dài, với mật độ tải của các vùng thấp, tổn thất trên đường dây là yếu tố chính ảnh hưởng đến vận hành tối ưu hệ thống.

Vì vậy, xác định hợp lý điện năng phát của các tổ máy và có phương thức vận hành hệ thống phù hợp sẽ quyết định đến chi phí phát điện và chi phí truyền tải nhất là trong hệ thống có nhiều nguồn năng lượng khác nhau như thủy điện, nhiệt điện không tái tạo (than, dầu, khí,...). Do có sự khác biệt về chi phí phát điện giữa các loại nhà máy, phụ tải giữa các miền và vị trí địa lý của hệ thống nên bài toán tối ưu phân bố công suất sẽ có nhiều ý tưởng mới khi xét đến các yếu tố trên. Do đó, bài báo này nghiên cứu bài toán OPF cho hệ thống 6 nút, được

phân thành 2 vùng trên cơ sở chi phí phát điện, phân bố phụ tải và vị trí địa lý, cụ thể, tiến hành tính phân bố công suất cho từng tổ máy trong hệ thống 6 nút, 2 vùng dựa trên phương pháp Newton- Raphson, nhằm đến mục tiêu tổng chi phí sản xuất và tổn thất trong hệ thống là bé nhất nhưng có kiểm tra điều kiện an toàn của các phần tử trong hệ thống. Bên cạnh đó, để viết mã nguồn giải bài toán OPF, bài báo đã đưa ra ý tưởng phân lớp các biến trong hệ thống và sử dụng cấu trúc cây nhị phân tìm kiếm các biến (phương pháp Heuristic), giúp tốc độ hội tụ của lời giải được gia tăng đáng kể và tìm ra kết quả tối ưu phân bố công suất trong khoảng thời gian ngắn nhất [1, 2].

2. PHÁT BIỂU BÀI TOÁN OPF [3, 4]

2.1. Phát biểu bài toán OPF

Bài toán tối ưu phân bố công suất có thể được biểu diễn như sau:

- **Hàm mục tiêu**

Minimize:

$$\sum_{\text{generators}} (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) + \sum_{\text{penalties}} W_i + \sum_{\text{penalties}} W_{km}$$

Trong đó: P_{Gi} là lượng công suất phát của máy phát thứ i (MW); W_i , W_{km} lần lượt là hàm phạt đối với điện áp và công suất chạy trên đường dây (Hình 2).

- **Ràng buộc cân bằng**

+ Tổng công suất tác dụng và phản kháng tại một nút phải bằng 0.

$$P_k = 0 = V_k \sum_{m=1}^N [V_m [g_{km} \cos(\delta_k - \delta_m) + b_{km} \sin(\delta_k - \delta_m)]] - P_{Gk} + P_{Lk} = 0$$

$$Q_k = 0 = V_k \sum_{m=1}^N [V_m [g_{km} \sin(\delta_k - \delta_m) - b_{km} \cos(\delta_k - \delta_m)]] - Q_{Gk} + Q_{Lk} = 0$$

+ Điện áp tại đầu cực máy phát bằng điện áp cài đặt chuẩn: $V_{Gi} - V_{Gisetpoint} = 0$

+ Đối với hệ thống nhiều khu vực như thể hiện trên Hình 1, đòi hỏi công suất trao đổi trong mạng phải bằng với công suất trao đổi theo dự kiến:

$$P_{int\ exchange} - V_{scheduled\ int\ exchange} = \sum_{tielines} [P_{km}] - P_{Scheduled\ int\ exchange} = 0$$

• **Ràng buộc không cân bằng:**

+ Công suất tác dụng và phản kháng phát nằm trong giới hạn min, max:

$$P_{Gi\ min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi\ max}$$

$$Q_{Gi\ min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi\ max}$$

+ Tỷ số đầu phân áp và góc lệch pha máy biến áp nằm trong giới hạn min, max:

$$t_{km\ min} \leq t_{km} \leq t_{km\ max}$$

$$\alpha_{km\ min} \leq \alpha_{km} \leq \alpha_{km\ max}$$

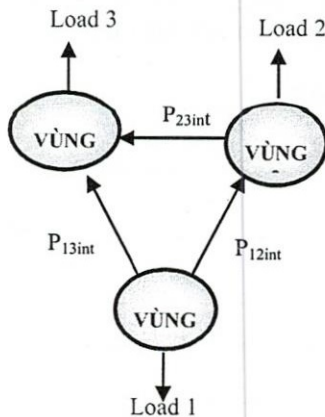
+ Giới hạn dòng công suất MVA chạy qua máy biến áp và đường dây truyền tải:

$$|S_{km}|^2 - |S_{km\ max}|^2 \leq 0$$

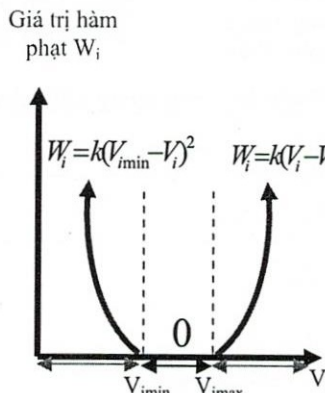
+ Biên độ điện áp nút nằm trong giới hạn lớn nhất và nhỏ nhất:

$$V_{i\ min} \leq V_i \leq V_{i\ max}$$

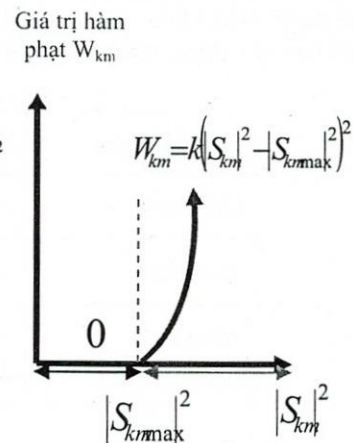
Chú ý rằng, ràng buộc về công suất phản kháng đối với từng máy phát không được kể đến trong bài toán. Ràng buộc được xem xét bằng cách coi nút phát có giới hạn Q như một nút tải.



Hình 1. Hệ thống nhiều vùng có giao dịch vùng



Hình 2. Hàm phạt đối với điện áp



Hình 3. Hàm phạt đối với giới hạn dòng MVA trên đường dây

$$\begin{cases}
 W_{km} = k(|S_{km}|^2 - |S_{km \max}|^2)^2; & S_{km} > S_{km \max} \\
 W_i = \begin{cases} k(V_{i \min} - V_i)^2; & V_i \leq V_{i \min} \\ 0; & V_{i \min} \leq V_i \leq V_{i \max} \\ k(V_i - V_{i \max})^2; & V_i \geq V_{i \max} \end{cases}
 \end{cases}$$

- Với ràng buộc mềm về điện áp nút: $k = \$200/V^2$.
- Với ràng buộc mềm đường dây truyền tải: $k = \$100/MVA^4$.

2.2. Phương pháp giải

Có thể giải bài toán OPF bằng cách áp dụng giải thuật Newton. Ứng dụng giải thuật Newton vào bài toán OPF được thể hiện ở lưu đồ ở Hình 4.

3. HEURISTIC TỐI ƯU PHÂN BỐ CÔNG SUẤT [5, 6]

3.1. Phân lớp biến OPF

Khi viết phần mềm thực thi lời giải bài toán OPF, trước hết cần xác định các biến. Để điều khiển các biến trong bài toán OPF một cách hiệu quả, cần chia chúng thành 3 lớp: biến điều khiển, biến trạng thái và biến ràng buộc. Biến điều khiển tương ứng với đại lượng mà có thể được điều khiển một cách dễ dàng trong giới hạn của chúng nhằm tối thiểu chi phí. Biến

điều khiển thường là công suất phát của máy phát, tỉ số đầu phân áp và góc lệch pha máy biến áp. Biến trạng thái tương ứng với đại lượng mà được coi như kết quả của quá trình điều khiển nhưng phải được theo dõi, giám sát. Biến trạng thái gồm tất cả giá trị điện áp và góc pha trong hệ thống. Cuối cùng, biến ràng buộc là biến liên quan tới ràng buộc. Biến ràng buộc gồm tất cả nhân tử Lagrang. Các biến trong bài toán OPF được tổng kết như trong Bảng 1.

Bên cạnh các biến trong bài toán OPF, việc thêm vào các ràng buộc mềm cũng khá quan trọng. Với ràng buộc cứng, nhân tử Lagrang luôn được giám sát, nhưng với ràng buộc mềm, phân lớp biến thứ tư được thêm vào là: hàm phạt. Lớp này không lưu trữ dữ liệu biến. Nó chỉ làm nhiệm vụ như một nơi cất giữ hàm phạt.

Bảng 1. Phân lớp biến trong bài toán OPF

Phân lớp biến	Các biến trong lớp
Điều khiển	P_{Gk}, t_{km} và α_{km}
Trạng thái	V_k và δ_k
Ràng buộc	$\mu_{Pk}, \mu_{Qk}, \mu_{viset}, \mu_{int}, \lambda_{Skm}, \lambda_{PGih}, \lambda_{PGil}, \lambda_{Vih}, \lambda_{Vil}, \lambda_{tkmmax}, \lambda_{tkmmin}, \lambda_{\alpha kmax}, \lambda_{\alpha kmin}$

3.2. Xác định ràng buộc không cân bằng

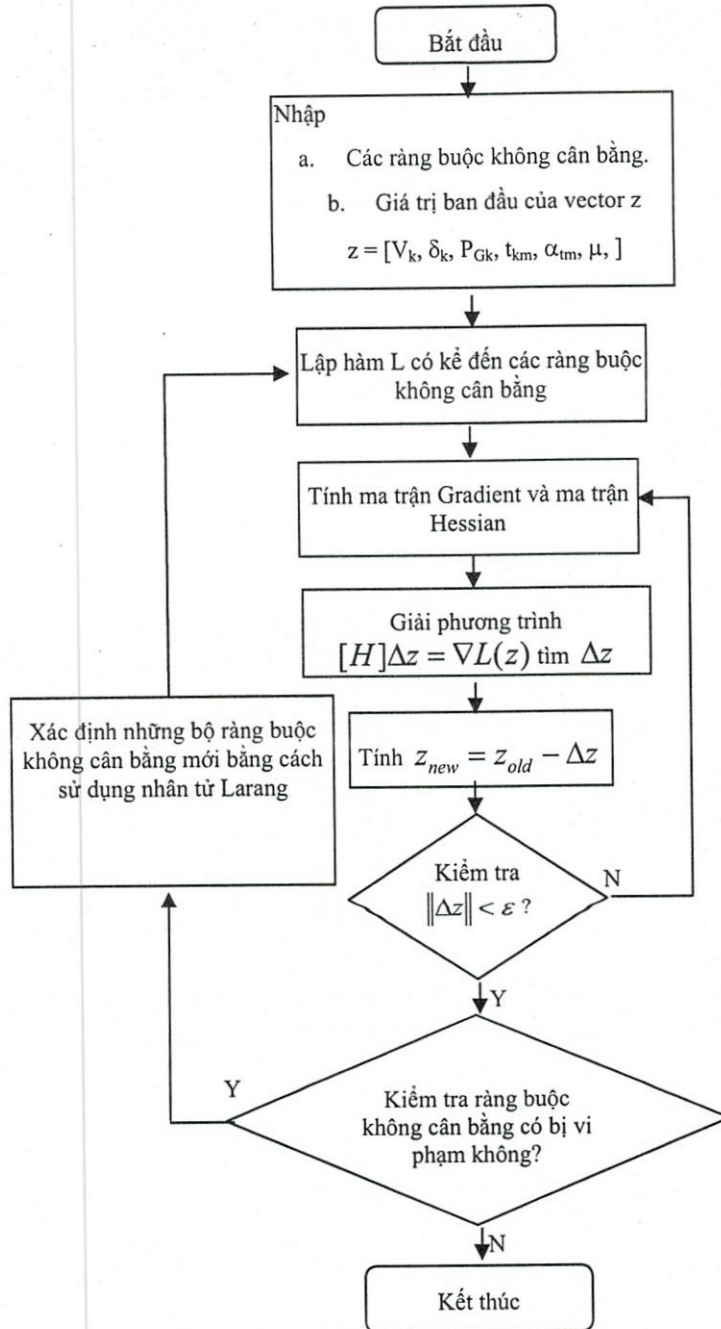
Việc xác định ràng buộc không cân bằng có vai trò quan trọng, quyết định tốc độ hội tụ lời giải OPF. Để viết mã nguồn OPF, sử dụng lưu đồ ở Hình 5. để xác định liệu những ràng buộc không cân bằng nào bị tác động:

3.3. Thuật toán tìm kiếm

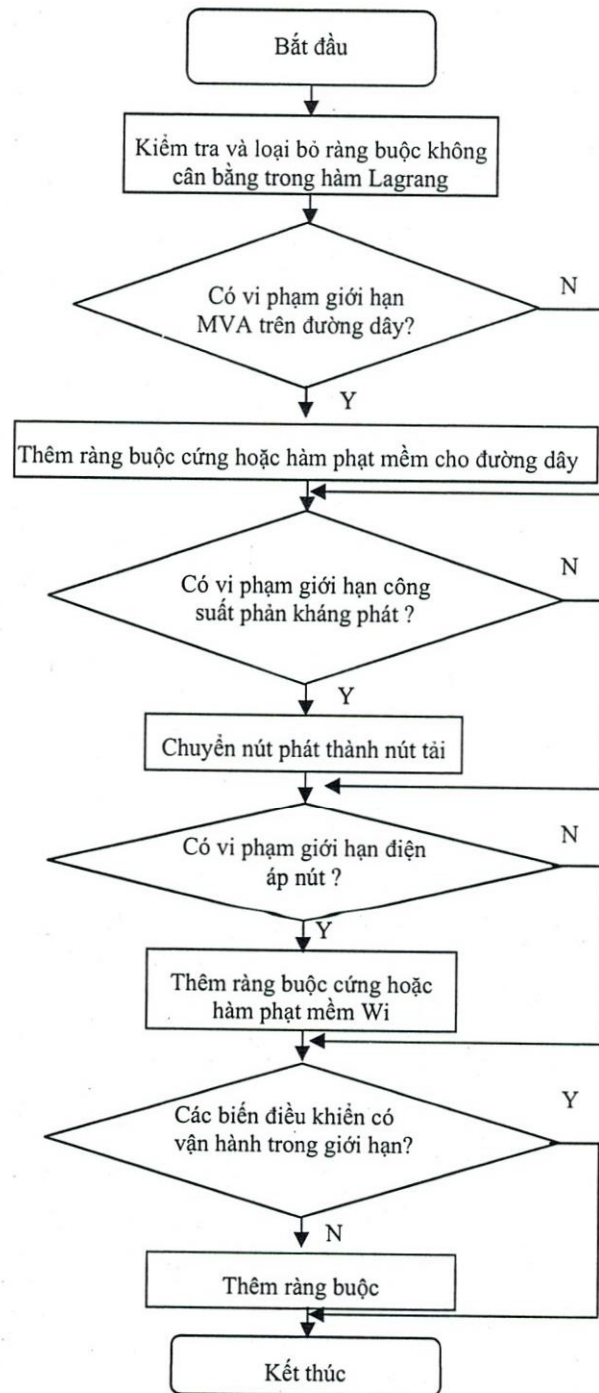
Khi giải bài toán OPF, cần phải tìm kiếm danh sách các biến điều khiển, biến trạng thái và các ràng buộc liên quan đến các biến. Với hệ thống qui mô nhỏ, chỉ cần sử dụng một danh sách liên kết đơn giản là đủ, nhưng với hệ thống có qui mô lớn, quá trình tìm kiếm các biến có thể chi phối thời gian xử lý của CPU, vì với danh sách liên kết trong hệ thống qui mô lớn, thời gian tìm kiếm trung bình tỉ lệ thuận với một nửa số

phần tử trong danh sách ($N/2$). Vì vậy, cần phải sử dụng một cấu trúc dữ liệu phù hợp cho quá trình tìm kiếm bằng phương pháp lặp. Cây nhị

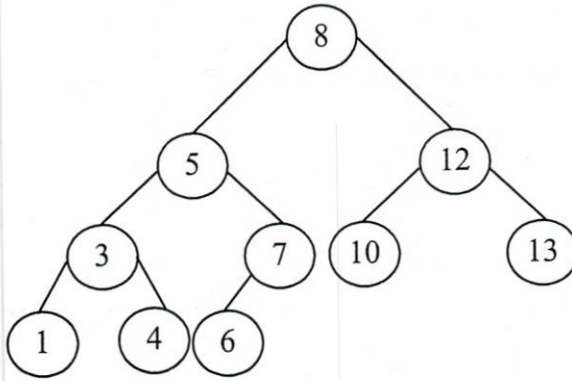
phân là một cấu trúc dữ liệu phù hợp cho hệ thống có qui mô lớn. Hình 6. trình bày cây nhị phân đơn giản.



Hình 4. Lưu đồ giải bài toán OPF bằng phương pháp Newton-Raphson



Hình 5. Lưu đồ OPF xác định ràng buộc không cân bằng tác động



Hình 6. Cây nhị phân tìm kiếm biến cho bài toán OPF

Cây nhị phân tuân theo qui luật rất đơn giản, qui luật này thực hiện nghiên cứu cho từng phần tử riêng biệt của cây một cách nhanh chóng. Tại mỗi nút, tất cả các giá trị bên trái của nút thì nhỏ hơn, và tất cả các giá trị bên phải của nút thì lớn hơn. Theo phương pháp này, có thể thấy, thời gian tìm kiếm tối đa cho một phần tử của cây tỉ lệ với log cơ số hai của số phần tử ($\log_2 N$). Thời gian tìm kiếm chắc chắn được tiết kiệm khi số nút trở nên rất lớn. Xem xét một hệ thống có 1024 phần tử: $1024/2=512$ và $\log_2 1024 = 10$. Như vậy, thời gian nghiên cứu trung bình nhanh gấp 50 lần khi tiến hành trên cây nhị phân.

Áp dụng ý tưởng này vào bài toán OPF đòi hỏi các biến tuân theo trật tự để có thể thực hiện việc so sánh “nhỏ hơn” và “lớn hơn”. Trong mã nguồn OPF, các biến được phân chia thành biến điều khiển, biến trạng thái và ràng buộc. Thứ tự ưu tiên là biến điều khiển, biến trạng thái và ràng buộc. Với một loại biến, quyền ưu tiên được xác định như sau:

Biến điều khiển:

1. Số nút (Từ nút đầu phân áp máy biến áp và góc lệch pha).
2. Đến nút đầu phân áp máy biến áp và góc lệch pha.
3. Loại điều khiển theo thứ tự sắp xếp: P_{Gk} , t_{km} và α_{km} .

Biến trạng thái:

1. Số nút.
2. Loại trạng thái theo thứ tự sắp xếp: V_k và δ_k .

Ràng buộc:

1. Số nút (hoặc số vùng đối với ràng buộc trao đổi vùng).
2. Đến nút đối với ràng buộc đường dây.
3. Loại ràng buộc theo thứ tự sắp xếp:

$$\mu_{Pk}, \mu_{Qk}, \mu_{vise}, \mu_{int}, \lambda_{Skmp}, \lambda_{Pgil}, \lambda_{Pgid}, \lambda_{Vilt}, \lambda_{Vit}$$

$$\lambda_{kmax}, \lambda_{kmin}, \lambda_{ckmax}, \lambda_{ckmin}$$

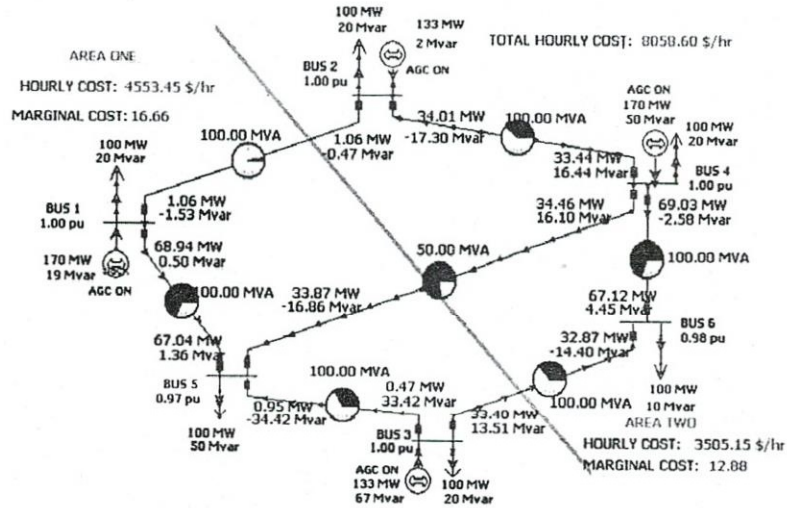
Cấu trúc cây nhị phân có thể được áp dụng theo thứ tự sắp xếp tiên trên. Sử dụng cấu trúc dữ liệu cây nhị phân nhằm giảm lượng thời gian tìm kiếm các biến.

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG TRÊN PHẦN MỀM POWERWORLD

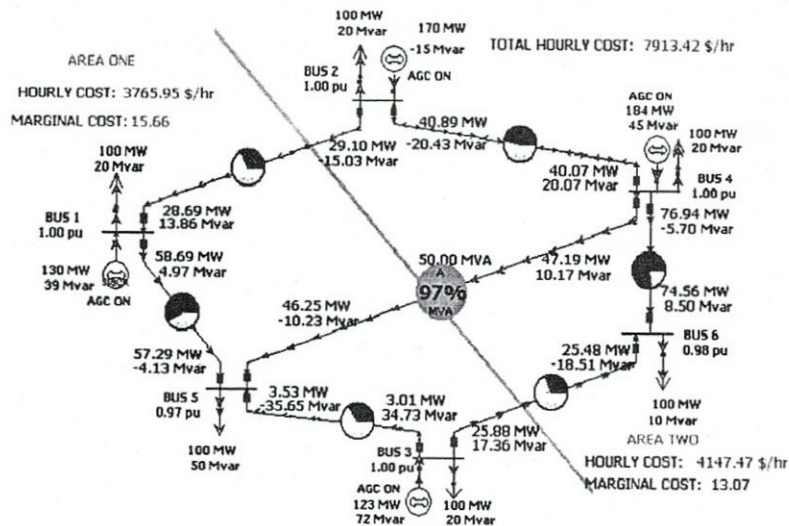
Giải bài toán OPF cho hệ thống 6 nút, 2 vùng trong các trường hợp giao dịch 0, 50, 55, 60, 65, 70MW (Hình 7, 8, 9, 10, 11 và 12).

Bảng 2. Tổng kết thông tin kinh tế cho các trường hợp giao dịch

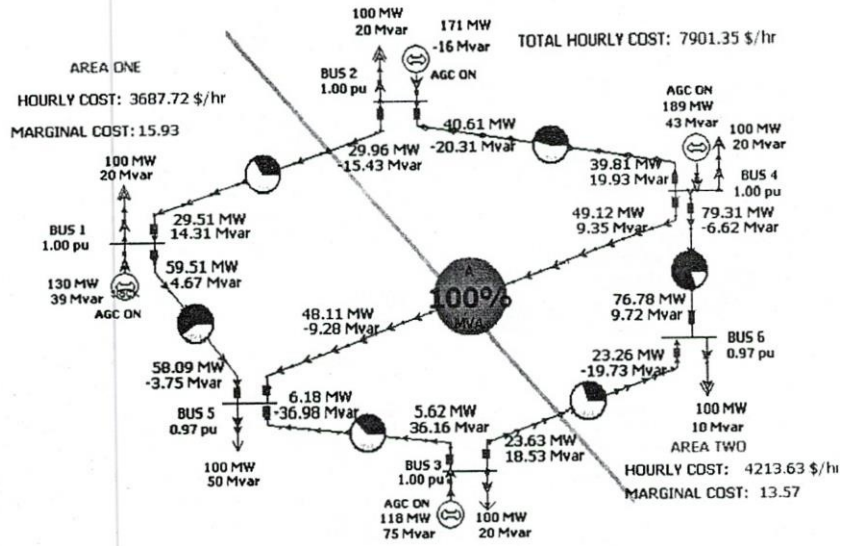
Công suất giao dịch	Chi phí ở vùng 1 [\$/hr]	Chi phí ở vùng 2 [\$/hr]	Tổng chi phí
0	4553.45	3505.15	8058.6
50	3765.95	4147.47	7913.42
55	3687.71	4213.63	7901.34
60	3611.16	4285.69	7896.85
65	3535.36	4360.72	7896.08
70	3461.8	4440.28	7902.08
75	3388.32	4523.11	7911.43
80	3315.74	4609.73	7925.47



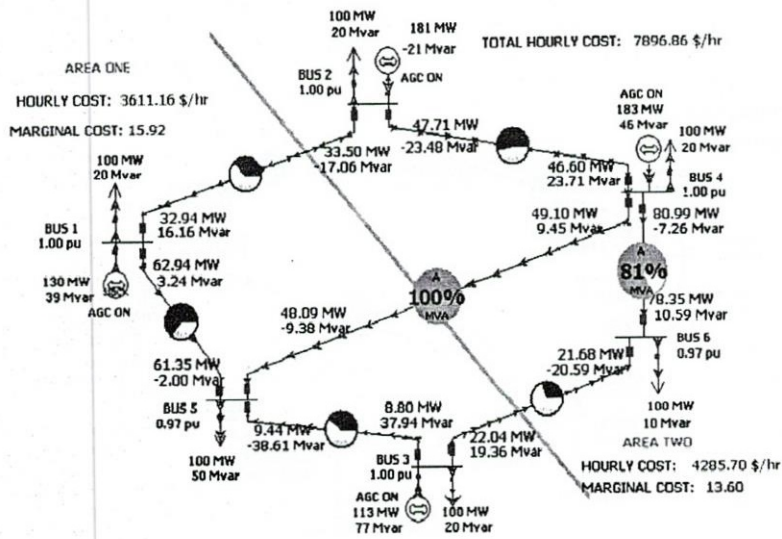
Hình 7. Hệ thống 6 nút, 2 vùng, điều khiển OPF, giao dịch 0MW



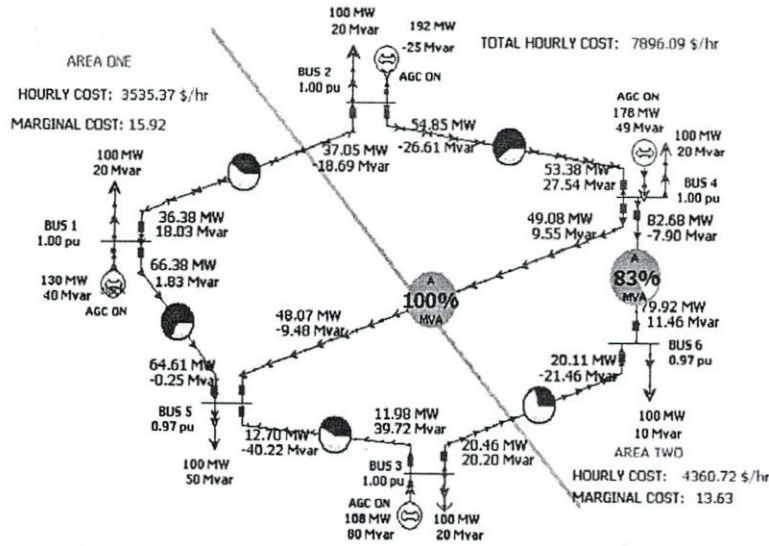
Hình 8. Hệ thống 6 nút, 2 vùng, điều khiển OPF, giao dịch 50MW



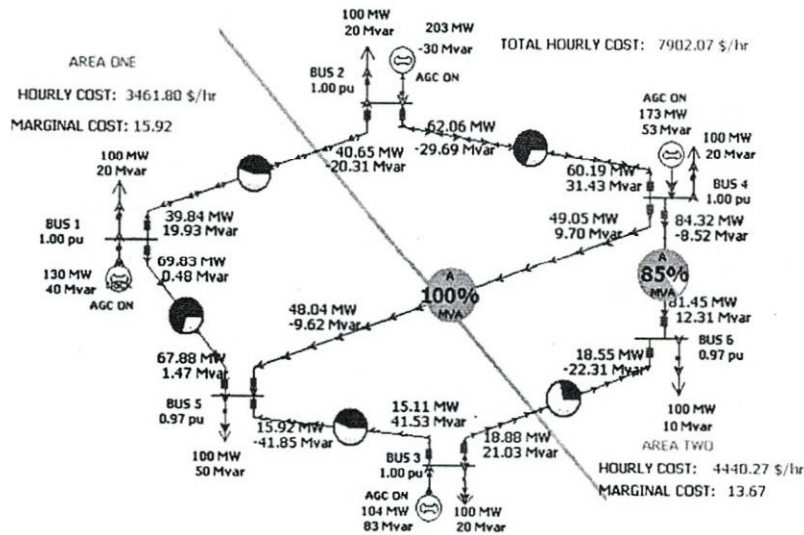
Hình 9. Hệ thống 6 nút, 2 vùng, điều khiển OPF, giao dịch 55MW



Hình 10. Hệ thống 6 nút, 2 vùng, điều khiển OPF, giao dịch 60MW



Hình 11. Hệ thống 6 nút, 2 vùng, điều khiển OPF, giao dịch 65MW



Hình 12. Hệ thống 6 nút, 2 vùng, điều khiển OPF, giao dịch 70MW

Nhận xét:

Khi giải bài toán OPF không xét đến giao dịch vùng, tổng chi phí là 8058,6 [\$ /hr]. Nhưng khi tiến hành phân vùng dựa trên chi phí phát, phụ tải của vùng và giải bài toán OFF khi hai vùng giao dịch 65MW thì tổng chi phí sản xuất của hai vùng là 7896,08 [\$ /hr], vùng 2 phát 370.21 MW để đáp ứng 300MW tải của vùng, và cung cấp cho vùng còn lại 65MW, với lượng công suất nhận từ vùng 2, vùng 1 chỉ cần phát 238.44 MW là đủ cung cấp cho 300MW tải của vùng có kể đến tổn thất và đảm bảo tổng

chi phí toàn hệ thống là nhỏ nhất so với trường hợp giao dịch khác. Xét riêng cho vùng 1, máy phát tại nút 3 có chi phí sản xuất đắt hơn so với máy phát tại nút 1 cùng vùng. Do đó, lượng công suất do máy phát tại nút 1 phát ra nhiều hơn so với lượng công suất do máy phát tại nút 3 phát.

Kết luận

Bài toán OPF trong trường hợp có giao dịch công suất giữa các vùng có tổng chi phí sản xuất và tổng tổn thất trong hệ thống nhỏ

hơn so với bài toán OPF thông thường không thực hiện giao dịch công suất.

Việc sử dụng cấu trúc cây nhị phân để tìm kiếm các biến trong hệ thống có qui mô lớn

giúp lời giải hội tụ nhanh hơn nhiều lần so với cách giải bài toán OPF thông thường.

HEURISTIC METHODE FOR OPTIMIZING POWER LOAD FLOW ANALYSIS IN ELECTRICAL POWER SYSTEM

Quyên Huy Anh⁽¹⁾, Trương Việt Anh⁽¹⁾, Vi Thị Thanh Hương⁽²⁾

(1) University of Technical Education - HoChiMinh City

(2) Pham Van Dong University

ABSTRACT: *The primary goal of a generic optimal power load flow problem is minimizing total fuel costs of generating units in an electrical power system while maintaining the security of the system. This paper presents an algorithm for optimizing power load flow analysis through the application of Newton's method and attends to interchange power between the different power systems. Specifically, it will explore the implementation of data structure such as the binary tree in searching OPF variables (controls, states, constraints) in large power system. So the OPF solution is quickly converging. The primary goal of a generic OPF has been tested by simulation method for 6- bus system in Power World environment. The optimal power flow results is shown that total generation fuel cost in the interchange power case is less expensive than in no interchange power case as well as total transmission losses in the power system are smaller.*

Keywords: OPF, Heuristic, electrical power system

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Jaswanti, T. Thakur-A New Heuristic Network Reconfiguration Algorithm for Radial Distribution System, The Global Community for Sustainable Energy Professionals, (2006).
- [2]. R. Srinivasa Rao, S.V.L. Narasimham- A New Heuristic Approach for Optimal Network Reconfiguration in Distribution, International Journal of Applied Science, Engineering and Technology 5:1, pp 15-21, (2009).
- [3]. Jizhong Zhu, Optimization of power system operation, IEEE Press, pp. 9-42, (2009).
- [4]. J. Duncan Glover, Mulukutla Sarma – Power System Analysis and Design, United States of America, USA, (2001).
- [5]. M. Huneault and F. D. Galiana, “A Survey of the Optimal Power Flow Literature,” IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6, No. 2, pp. 762-770, (1991).
- [6]. D. I. Sun, B. Ashley, B. Brewer, A. Hughes and W. F. Tinney, “Optimal Power Flow by Newton Approach,” IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-103, pp. 2864-2880, (1984)