

PHỐI HỢP CÁC TỔ MÁY PHÁT NHIỆT ĐIỆN

Đào Minh Trung¹

¹ Bộ môn Kỹ thuật điện, Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

Thông tin chung:

Ngày nhận: 08/01/2013

Ngày chấp nhận: 19/06/2013

Title:

Unit Commitment

Từ khóa:

Thị trường điện, nhà đầu tư, nhà máy điện, lợi nhuận cao nhất, phối hợp các tổ máy

Keywords:

Electricity Market, Investor, Power Plant, The Highest profit, Unit Commitment

ABSTRACT

Nowadays, generating electricity from plants hasn't met demand using electricity of customers more with every passing day, so bring about short of electricity problem from generator. Consequently, electricity market development problem is considered important element which gives help to inventor can calculate and invest more and more in improving reliability about supplying electricity and raising generating power electricity of systems. To develop more complete electricity market, break sole of generating electricity as presents, help users have chance is free in choice suitable generating electricity power with demand of using electricity. At that time, investors will also calculate how to contribute more capacity in electricity market and get the highest benefit in buying and selling electricity processes.

TÓM TẮT

Tình hình phát điện từ các nhà máy như hiện nay chưa đáp ứng được nhu cầu sử dụng điện ngày càng nhiều của người sử dụng, dẫn đến vấn đề thiếu hụt điện từ các nguồn phát. Do đó, vấn đề phát triển thị trường điện được xem là yếu tố quan trọng giúp các nhà đầu tư xem xét tính toán và đầu tư nhiều hơn nữa trong việc cải thiện độ tin cậy cung cấp điện và nâng cao công suất phát điện của hệ thống. Để phát triển thị trường điện hoàn hảo hơn, phá vỡ thế độc quyền về phát điện như hiện nay, giúp người sử dụng điện có cơ hội tự do lựa chọn nguồn phát phù hợp nhu cầu sử dụng điện của mình. Đồng thời các nhà đầu tư cũng sẽ tính toán như thế nào để tham gia nhiều công suất lên thị trường điện và thu được lợi nhuận cao nhất trong quá trình mua bán điện.

1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Nước ta đang trong giai đoạn thực hiện vận hành theo cơ chế thị trường ở khâu phát điện (nhà máy điện), sẽ tiến tới thị trường bán buôn và sau đó là thị trường bán lẻ theo lộ trình Chính phủ đã đề ra (đang chuyển từ độc quyền Nhà nước sang cơ cấu thị trường cạnh tranh). Để tăng tính cạnh tranh, đòi hỏi vận hành các

nhà máy điện không những đáp ứng yêu cầu đặt ra về về số lượng, chất lượng và độ tin cậy cao với giá thành thấp nhất mà còn chú ý đến các điều kiện ràng buộc khi phối hợp các tổ máy phát trong cùng một nhà máy điện, giữa các nhà máy điện trong hệ thống.

Đứng ở góc độ nhà đầu tư thì phải tính toán chi phí phát điện của nhà máy sao cho thấp

nhất để khi tham gia vào việc mua bán điện, chào giá và phát điện vào thị trường lớn nhất, nhằm thu được lợi nhuận tối đa, nhưng người sử dụng điện chỉ phí cho việc sử dụng điện với giá rẻ nhất có thể, đặc biệt là các nhà máy nhiệt điện do giá thành sản xuất 1 kW điện cao hơn so với các loại nhà máy điện khác.

Muốn được như vậy, các nhà máy phát nhiệt điện phải tính toán đưa ra kế hoạch vận hành các tổ máy phát điện một cách hợp lý nhất. Để giải quyết bài toán vận hành tối ưu các tổ máy phát điện thì trước hết phải dựa vào hàm chi phí phát điện của từng tổ máy. Từ đó, thành lập mô hình toán học để tính lợi nhuận tối đa của các tổ máy phát điện với giá điện trên thị trường xác định tại mỗi thời điểm.

Từ tính cần thiết này, đề tài “Phối hợp các tổ máy phát nhiệt điện” được đặt ra và ứng dụng các thuật toán để tìm lời giải phân bố công suất tối ưu giữa các tổ máy trong nhà máy. Trong nghiên cứu của đề tài sẽ xét trên các nhà máy nhiệt điện, vận hành ổn định (có công suất nhỏ) và xem công suất nguồn từ các nhà máy điện luôn luôn đáp ứng đủ tải.

Bài toán tối ưu các tổ máy phát (uc – unit commitment)

Phân bố tối ưu các tổ máy phát điện (nguồn phát) là sự bố trí phát công suất tại các nguồn phát sao cho chi phí tiêu hao nhiên liệu là thấp nhất, nhưng phải đảm bảo về độ tin cậy cung cấp điện và chất lượng điện năng.

Việc nghiên cứu phương thức phân bố tối ưu công suất trong hệ thống điện không những nâng cao tính kinh tế trong vận hành mà còn đóng góp vào tính chính xác và hợp lý khi qui hoạch, thiết kế hệ thống điện.

2 MÔ TẢ BÀI TOÁN NGHIÊN CỨU

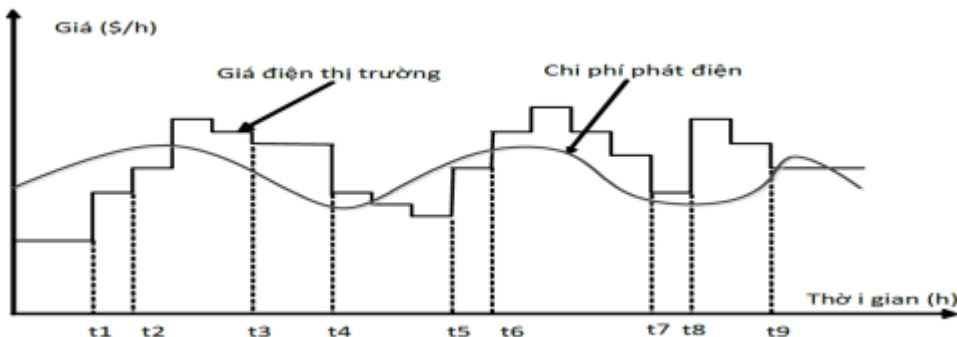
Bài toán sẽ phối hợp các tổ máy phát điện để đạt lợi nhuận cực đại. Từ các số liệu ban đầu của từng tổ máy như: công suất cực đại, công suất cực tiểu, các hằng số chi phí nhiên liệu của tổ máy, khả năng tăng công suất, khả năng giảm công suất của tổ máy,... và giá điện sản trên thị trường.

Trong quá trình tính toán để giải quyết bài toán, giả thuyết thị trường điện là thị trường cạnh tranh hoàn hảo, không có sự chi phối của EVN, không có sự làm giá của các nhà máy điện có công suất lớn (có khả năng chi phối đến an ninh hệ thống), tổng nguồn điện của hệ thống là dư thừa mà các nhà máy điện cạnh tranh phát điện một cách công bằng dựa vào giá điện trên thị trường điện.

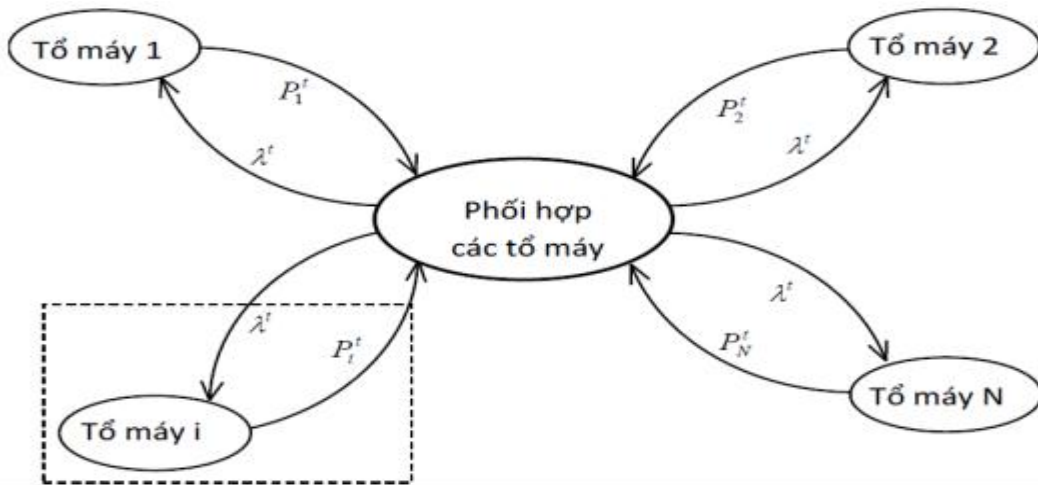
Lợi nhuận phát điện chính bằng số dư của giá bán trừ cho chi phí phát điện, để lợi nhuận tối đa thì chi phí phát điện phải tối thiểu, quan hệ này được thể hiện qua biểu thức sau:

$$\text{Lợi nhuận} = \text{Giá bán} \times \text{Lượng điện năng được bán} - \text{chi phí phát điện}$$

Trong đề tài, giá bán là giá thị trường hoặc giá ước lượng.



Hình 1: Xác định lợi nhuận và chi phí với ràng buộc chi phí nhiên liệu



Hình 2: Phối hợp các tổ máy phát điện trên cơ sở giá điện thị trường

2.1 Tính toán lợi nhuận trong thị trường điện cạnh tranh

Cho một hệ thống điện với n tổ máy phát điện và khung giá điện thị trường xác định nào đó cho trước, bài toán này yêu cầu ta đi xác định các thời gian khởi động máy, thời gian tắt máy và dung lượng công suất phát của tất cả các tổ máy tại mỗi nấc thời gian t mà ta khảo sát tại một khoảng thời gian mà ta lập kế hoạch hoạt động cho các tổ máy n . Vì vậy, lợi nhuận tổng cộng của tất cả các máy phát phải đạt cực đại, dựa vào đối tượng là các ràng buộc của tổ máy.

2.2 Giải quyết bài toán

Từ hàm chi phí phát điện của tổ máy thứ i là: $C_i(P_i^t) = a_i(P_i^t)^2 + b_i(P_i^t) + c_i$

Lợi nhuận tại một thời điểm t là:

$$L = \lambda_t P_{\Sigma} - \sum C_i(P_i^t)$$

Để lợi nhuận đạt cực trị thì cho đạo hàm cấp một của hàm số này bằng 0

$$\frac{\partial L}{\partial P_i^t} = \lambda_t - (2a_i P_i^t + b_i) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Ta có công suất phát điện của tổ máy thứ i tại thời điểm t : $P_i(t) = \frac{\lambda(t) - b_i}{2a_i}$

Điều kiện ràng buộc khi phát điện của tổ máy thứ i

$$\begin{cases} P_{\min}(i) \leq P_i(t) \leq P_{\max}(i) \\ P_i(t) \leq UR + P_i(t-1) \end{cases}$$

Vậy chi phí phát điện của tổ máy thứ i tại thời điểm t được xác định bằng:

$$C_i(P_i^t) = \frac{(\lambda(t) - b_i)^2}{4a_i} + b_i \left(\frac{\lambda(t) - b_i}{2a_i} \right) + c_i$$

Từ hàm tính chi phí khởi động của tổ máy thứ i , lợi nhuận khi phát điện của tổ máy thứ i tại thời điểm t được tính bằng tổng doanh thu của tổ máy trừ đi chi phí phát điện của tổ máy và chi phí khởi động của tổ máy.

$$Profit_i(t) = \lambda(t) \left(\frac{\lambda(t) - b_i}{2a_i} \right) - \left[\frac{(\lambda(t) - b_i)^2}{4a_i} + b_i \left(\frac{\lambda(t) - b_i}{2a_i} \right) + c_i + SU_i \right]$$

Rút gọn lại ta được lợi nhuận của tổ máy thứ i tại thời điểm t :

$$Profit_i(t) = \frac{(\lambda(t) - b_i)^2}{4a_i} - (c_i + SU_i)$$

Giá khởi động của tổ máy thứ i , SU_i được tính đến khi tổ máy thứ i được khởi động và được xem như một hằng số khởi động và không phụ thuộc vào công suất phát hay giá điện tại mọi thời điểm t .

Giá khởi động này được mô hình hóa bằng hàm mũ:

$$SU_i^t = \left[\alpha_i + \beta_i \left(1 - e^{\left(\frac{-x_{\text{off}}^t}{\tau_i} \right)} \right) \right] U_i^t (1 - U_i^{(t-1)})$$

Vì chi phí phát điện như ở trên là chi phí phát điện nhỏ nhất do vậy lợi nhuận thu được trong quá trình phát điện là lợi nhuận cực đại.

Lợi nhuận cực đại của một tổ máy:

$$Profit_i = \sum_{t=1}^T Profit_i(t) = \sum_{t=1}^T \left[\frac{(\lambda(t) - b_i)^2}{4a_i} - (c_i + SU_i) \right]$$

Khi đó tổng lợi nhuận của hệ thống điện được xác định bằng tổng lợi nhuận của các tổ máy phát điện:

$$Profit = \sum_{i=1}^N Profit_i = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \left[\frac{(\lambda(t) - b_i)^2}{4a_i} - (c_i + SU_i) \right]$$

Với: T – Là khoảng thời gian lập kế hoạch vận hành tối ưu

N – Là Số tổ máy tham gia vào quá trình vận hành tối ưu.

2.3 Ví dụ kiểm tra và nhận xét

Dựa vào mô hình toán học đã trình bày, ta tính toán được các kết quả như: công suất phát của các tổ máy ứng với từng thời điểm của giá điện, trạng thái các tổ máy, chi phí và lợi nhuận của từng tổ máy.

Bảng 4: Công suất tính toán của 4 tổ máy trong 24 giờ

| T | Công suất tính toán | | | | T | Công suất tính toán | | | |
|----|---------------------|-----|-----|-----|----|---------------------|-----|-----|-----|
| | TM1 | TM2 | TM3 | TM4 | | TM1 | TM2 | TM3 | TM4 |
| 1 | -5 | -8 | -1 | -13 | 13 | 108 | 101 | 88 | 118 |
| 2 | 59 | 53 | 49 | 61 | 14 | 130 | 122 | 105 | 144 |
| 3 | 94 | 87 | 77 | 102 | 15 | 89 | 82 | 73 | 96 |
| 4 | 101 | 93 | 81 | 109 | 16 | 89 | 82 | 73 | 96 |
| 5 | 122 | 114 | 99 | 135 | 17 | 54 | 48 | 45 | 54 |
| 6 | 81 | 74 | 66 | 86 | 18 | 7 | 3 | 8 | 1 |
| 7 | 99 | 92 | 80 | 108 | 19 | 73 | 67 | 60 | 77 |
| 8 | 89 | 82 | 73 | 96 | 20 | 61 | 55 | 51 | 63 |
| 9 | 91 | 84 | 74 | 98 | 21 | 63 | 57 | 52 | 66 |
| 10 | 74 | 68 | 61 | 78 | 22 | 52 | 47 | 44 | 53 |
| 11 | 21 | 17 | 19 | 17 | 23 | 22 | 18 | 20 | 18 |
| 12 | 54 | 49 | 45 | 55 | 24 | 0 | -4 | 2 | -8 |

Bảng 1: Dữ liệu của các tổ máy

| | TM1 | TM2 | TM3 | TM4 |
|-----------------------|---------|---------|---------|----------|
| P _{max} [MW] | 80 | 80 | 76 | 100 |
| P _{min} [MW] | 20 | 20 | 19 | 25 |
| a _i | 0.0712 | 0.074 | 0.091 | 0.0612 |
| b _i | 25.16 | 25.7 | 24.671 | 26.13 |
| c _i | 98.9083 | 97.9083 | 85.6259 | 122.7348 |
| S _i | 80 | 80 | 80 | 100 |

Bảng 2: Dữ liệu vận hành các tổ máy

| | TM1 | TM2 | TM3 | TM4 |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| T _i ^{up} | 2 | 2 | 2 | 2 |
| T _i ^{down} | -1 | -1 | -1 | -1 |
| UR [MW/h] | 20 | 20 | 19 | 25 |
| DR [MW/h] | 20 | 20 | 19 | 25 |
| α [\$ /h] | 60 | 60 | 50 | 70 |
| β [\$ /h] | 60 | 60 | 50 | 70 |
| τ [h] | 3 | 3 | 3 | 3 |
| x _i | 3 | 3 | 3 | 4 |

Bảng 3: Giá điện

| T | Giá điện [\$/MWh] | T | Giá điện [\$/MWh] |
|----|-------------------|----|-------------------|
| 1 | 24.5 | 13 | 40.6 |
| 2 | 33.6 | 14 | 43.7 |
| 3 | 38.6 | 15 | 37.9 |
| 4 | 39.5 | 16 | 37.9 |
| 5 | 42.6 | 17 | 32.8 |
| 6 | 36.7 | 18 | 26.2 |
| 7 | 39.3 | 19 | 35.6 |
| 8 | 37.9 | 20 | 33.9 |
| 9 | 38.1 | 21 | 34.2 |
| 10 | 35.7 | 22 | 32.6 |
| 11 | 28.2 | 23 | 28.3 |
| 12 | 32.9 | 24 | 25.1 |

Bảng 5: Công suất phát của 4 tổ máy trong 24 giờ

| T | Công suất phát | | | | T | Công suất phát | | | |
|----|----------------|-----|-----|-----|----|----------------|-----|-----|-----|
| | TM1 | TM2 | TM3 | TM4 | | TM1 | TM2 | TM3 | TM4 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 80 | 80 | 76 | 100 |
| 2 | 20 | 20 | 19 | 25 | 14 | 80 | 80 | 76 | 100 |
| 3 | 80 | 80 | 76 | 100 | 15 | 80 | 80 | 73 | 96 |
| 4 | 80 | 80 | 76 | 100 | 16 | 80 | 80 | 73 | 96 |
| 5 | 80 | 80 | 76 | 100 | 17 | 54 | 48 | 45 | 54 |
| 6 | 80 | 74 | 66 | 86 | 18 | 20 | 20 | 19 | 25 |
| 7 | 80 | 80 | 76 | 100 | 19 | 73 | 67 | 60 | 77 |
| 8 | 80 | 80 | 73 | 96 | 20 | 61 | 55 | 51 | 63 |
| 9 | 80 | 80 | 74 | 98 | 21 | 63 | 57 | 52 | 66 |
| 10 | 74 | 68 | 61 | 78 | 22 | 52 | 47 | 44 | 53 |
| 11 | 21 | 20 | 19 | 25 | 23 | 22 | 20 | 20 | 25 |
| 12 | 54 | 49 | 45 | 55 | 24 | 0 | 0 | 19 | 0 |

Bảng 6: Lợi nhuận của các tổ máy trong 24 giờ

| T | Lợi nhuận | | | | T | Lợi nhuận | | | |
|----|------------|------------|------------|-------------|----|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | TM1 | TM2 | TM3 | TM4 | | TM1 | TM2 | TM3 | TM4 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 681 | 620 | 599 | 712 |
| 2 | -57 | -67 | -30 | -88 | 14 | 929 | 868 | 835 | 1022 |
| 3 | 521 | 460 | 447 | 512 | 15 | 465 | 404 | 395 | 443 |
| 4 | 593 | 532 | 516 | 602 | 16 | 465 | 404 | 395 | 443 |
| 5 | 841 | 780 | 751 | 912 | 17 | 106 | 72 | 96 | 59 |
| 6 | 369 | 311 | 312 | 334 | 18 | -107 | -118 | -89 | -159 |
| 7 | 577 | 516 | 501 | 582 | 19 | 284 | 233 | 243 | 244 |
| 8 | 465 | 404 | 395 | 443 | 20 | 169 | 129 | 148 | 124 |
| 9 | 481 | 420 | 410 | 463 | 21 | 188 | 146 | 164 | 143 |
| 10 | 291 | 240 | 249 | 251 | 22 | 95 | 63 | 87 | 48 |
| 11 | -66 | -78 | -51 | -109 | 23 | -64 | -76 | -49 | -107 |
| 12 | 111 | 77 | 100 | 64 | 24 | 0 | 0 | -110 | 0 |

Nhận xét:

– Ta thấy với đồ thị giá điện cho trước tại các thời điểm thì lợi nhuận của các tổ máy trong quá trình vận hành thay đổi theo giá điện. Khi giá điện tăng thì lợi nhuận tăng, khi giảm thì lợi nhuận giảm theo, tăng/giảm gần như tỉ lệ. Giá điện cao thì việc phát công suất của các tổ máy càng có lợi, thu lại lợi nhuận càng cao.

– Việc phát công suất lên lưới của tổ máy, phụ thuộc vào chi phí khởi động và thời gian tăng công suất.

– Ngoài việc phụ thuộc vào chi phí khởi động và thời gian tăng công suất, việc phát công suất của các tổ máy còn phụ thuộc vào giá điện trên thị trường.

– Ta thấy được điều này thì phải tính toán lại, xem tại thời điểm này điều chỉnh quá trình vận hành (tắt máy hay vẫn phát, điều chỉnh

công suất phát giữa các tổ máy) để đạt được lợi nhuận tối đa.

– Đồ thị lợi nhuận tổng: tại thời điểm các tổ máy khởi động thì tổng lợi nhuận âm, thời điểm t11, t18, t23, t24 do các tổ máy đều lỗ thì tổng lợi nhuận âm.

Ta lần lượt vẽ được đồ thị lợi nhuận các tổ máy trong quá trình khảo sát vận hành và lợi nhuận tổng của các tổ máy.

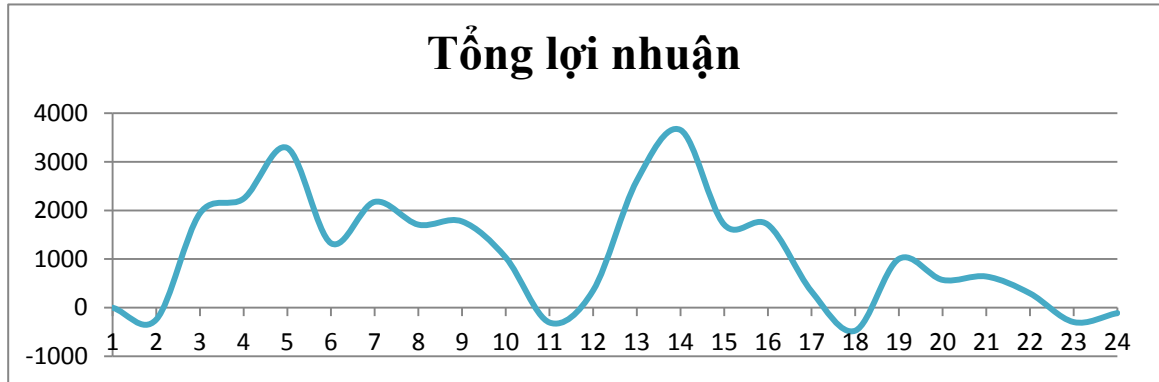
Từ các nhận xét trên, ta sẽ tiến hành điều chỉnh kế hoạch vận hành sao cho các tổ máy đạt lợi nhuận cao nhất. Ở đây ta sẽ tiến hành theo 2 hướng như sau:

– DC1: điều chỉnh công suất phát trong trường hợp này là nếu tổ máy nào có lợi nhuận âm thì ta sẽ cho tổ máy đó tắt máy.

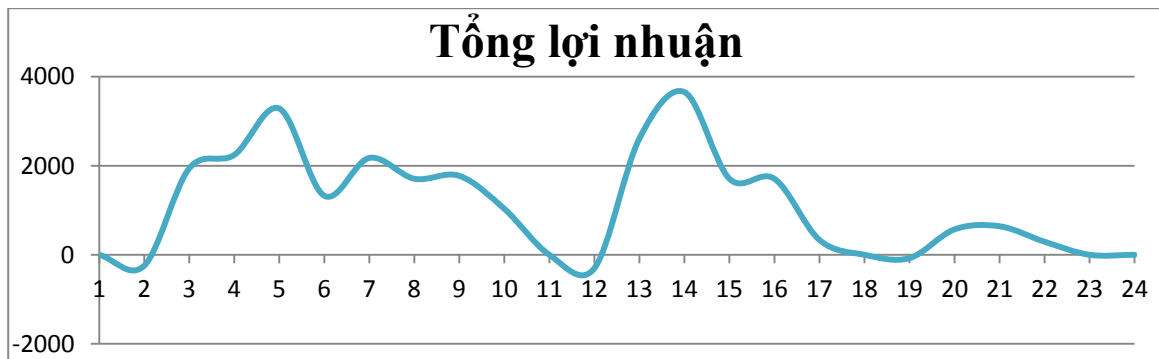
– DC2: phân bố lại công suất phát của các tổ máy tại các thời điểm xét, có thể có tổ

máy tắt, có thể có tổ máy phát nhiều hơn công suất tính toán ban đầu.

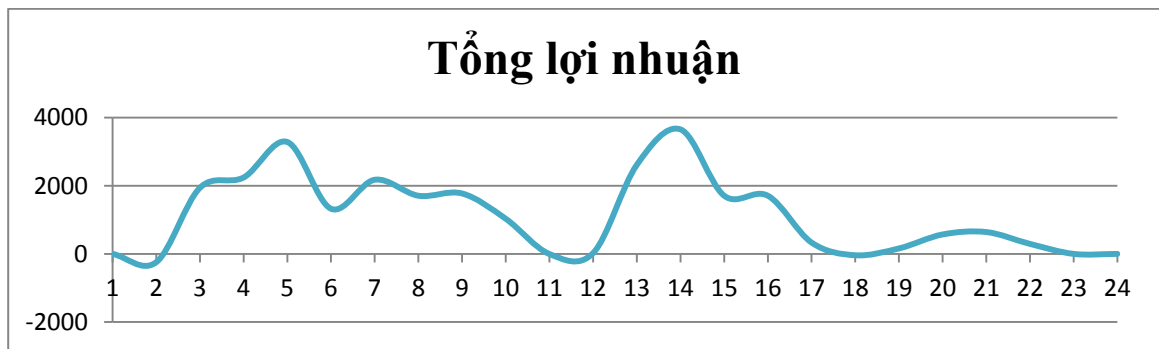
Kết quả tính toán của 2 hướng điều chỉnh so với phương hướng vận hành ban đầu ta được kết quả so sánh như sau:



Hình 3: Tổng lợi nhuận của 4 tổ máy

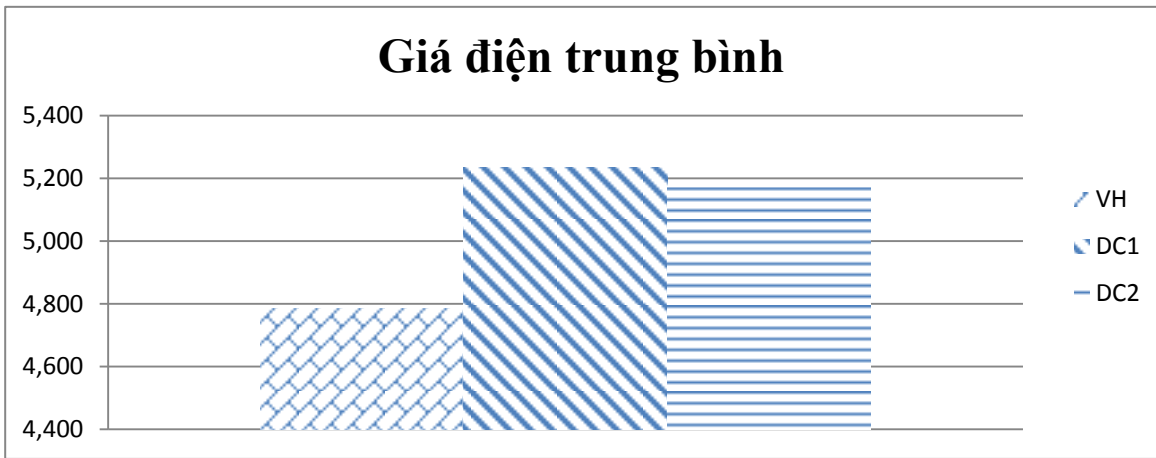


Hình 4: Tổng lợi nhuận của 4 tổ máy sau điều chỉnh DC1

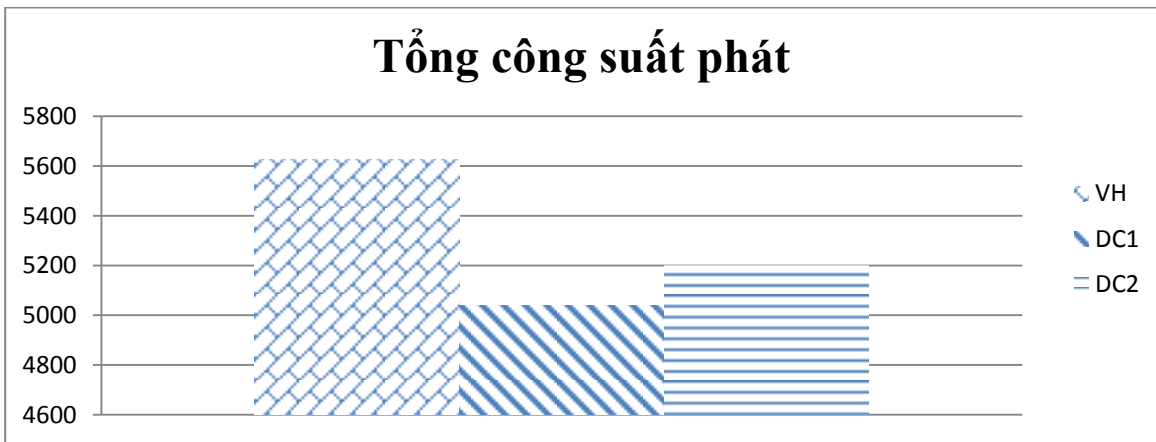


Hình 5: Tổng lợi nhuận của 4 tổ máy sau điều chỉnh DC2

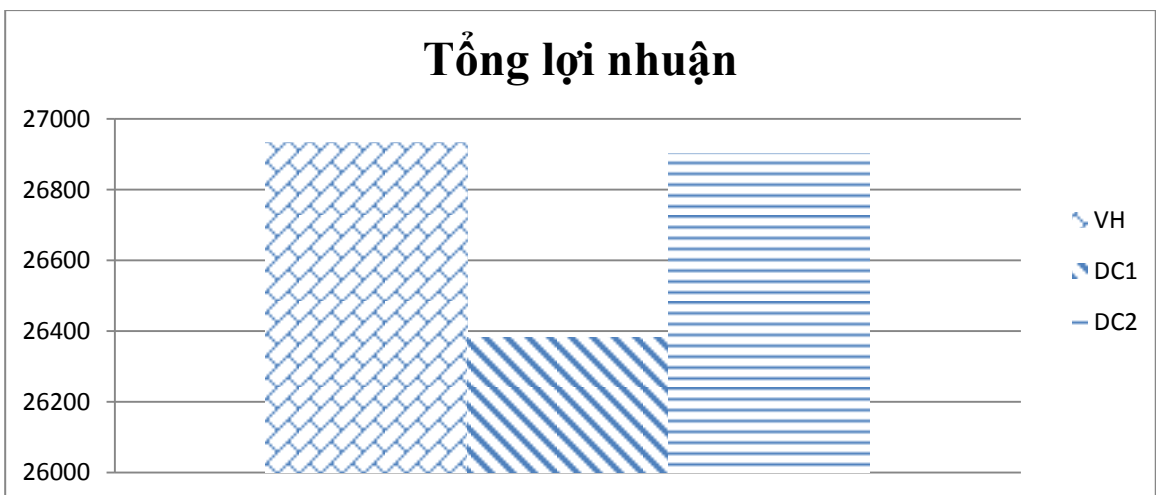
So sánh kết quả trong 3 trường hợp ta được:



Hình 6: Giá điện trung bình trong 3 trường hợp vận hành



Hình 7: Tổng công suất phát trong 3 trường hợp vận hành



Hình 8: Tổng lợi nhuận trong 3 trường hợp vận hành

Dựa vào các đồ thị ta thấy:

– Xét về tổng lợi nhuận thì trường hợp vận hành ban đầu đạt cao nhất, kể đến trường hợp DC2 nhưng xét về giá điện, lợi nhuận trung bình 1 MWh bán được dựa trên tổng lợi nhuận và tổng công suất phát ra thì trường hợp DC1 đạt cao nhất. Trường hợp này cao hơn hẳn so với hai trường hợp kia do tổng công suất phát ra thấp mà lợi nhuận thu được tương đối cao.

– Sau khi thời điểm, dựa vào các đồ thị lợi nhuận của các tổ máy có thể có tổ máy lợi nhuận âm nhưng tổng lợi nhuận của 4 tổ máy thì dương.

– Thêm một vấn đề nữa là thời điểm khởi động, trong các trường hợp vận hành của bài toán ta khởi động tại thời điểm t_2 . Giá điện tại thời điểm t_2 thấp nên khi phát lên thì các tổ máy bị lỗ, trong quá trình tính toán ta thấy: nên thay đổi thời điểm khởi động từ t_2 sang t_3 thì tại t_3 , lợi nhuận của các tổ máy không âm. Đây cũng là vấn đề cần xem xét.

– Trong trường hợp phải tắt máy tại thời điểm t mà lúc đó lợi nhuận âm thì ta cần phải xét kỹ chi phí tắt máy và chi phí khởi động. Nếu tổng 2 loại chi phí khởi động và chi phí tắt máy tại thời điểm đó cao hơn lợi nhuận thu lại được của tổ máy (đang âm) thì ta có thể vận hành luôn (giảm công suất phát chẳng hạn), ngược lại thì ta cần nhắc để tắt máy. (Trong đề tài không xét đến chi phí tắt máy, chỉ xét đến chi phí khởi động).

3 KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

Bài nghiên cứu đã xây dựng được mô hình toán học tính toán phối hợp các tổ máy để đạt được lợi nhuận phát điện là lớn nhất.

Sử dụng mô hình toán học để giải bài toán phân bố tối ưu các tổ máy phát điện. Dựa ra quyết định về kế hoạch vận hành các tổ máy phát điện dựa vào điều kiện ràng buộc về thông số chi phí tổ máy phát điện, ràng buộc về chi phí khởi động các tổ máy phát điện với các cấp trạng thái tổ máy khác nhau thì giá khởi động các tổ máy cũng khác nhau. Và ràng buộc về giới hạn phát công suất của từng tổ máy.

Sau khi lập kế hoạch vận hành, ta có được trạng thái, công suất phát và lợi nhuận thu được cụ thể của từng tổ máy tại từng thời điểm khảo sát.

Kết quả tính toán, giúp ta xác định được:

– Trạng thái cụ thể của từng tổ máy tại từng thời điểm

– Thể hiện được giá trị công suất phát của từng tổ máy tại từng thời điểm.

– Lợi nhuận của từng tổ máy đạt được trong quá trình vận hành.

– Tổng lợi nhuận của cả hệ thống khi vận hành theo kế hoạch tính toán.

Từ các kết quả đó ta đưa ra các phương pháp vận hành sao cho đạt lợi nhuận cao nhất của các tổ máy. Trong bài nghiên cứu đưa ra hai phương pháp điều chỉnh khác nhau so với trường hợp vận hành ban đầu, so sánh được tổng lợi nhuận, tổng công suất phát và giá điện trung bình bán được trên 1 MWh trong ba trường hợp vận hành. Từ đó ta có thể quyết định phương án vận hành nào sao cho lợi nhuận đạt cao nhất.

Trong bài nghiên cứu tính toán với giá điện thị trường cho trước và công suất phụ tải luôn được hệ thống đáp ứng đầy đủ, ta có thể mở rộng kết hợp với bài toán dự đoán giá điện trên thị trường. Và có thể xét cả chi phí tắt máy trong quá trình vận hành.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, "Power Generation, Operation and Control", John Wiley and Sons, New York, New York, 1984.
2. Ioannis G. Damousis, Anastasios G. Bakirtzis, Petros S. Dokopoulos, "A Solution to the Unit-Commitment Problem Using Integer-Coded Genetic Algorithm", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 19, No. 2, May 2004.
3. Sayeed Salam, "Unit Commitment Solution Methods", WorldAcademyA of Science, Engineering and Technology 35 2007.
4. Farid Benhamida, E. N. Abdallah and A. H. Rashed, "Thermal Unit Commitment Solution Using an Improved Lagrangian Relaxation", Department of Electrical Engineering, Alexandria University.

5. Weerakorn Ongsakul, Nit Petcharaks, “Unit Commitment by Enhanced Adaptive Lagrangian Relaxation”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 19, No. 1, February 2004.
6. T. Senjyu, A.Y. Saber, T. Miyagi, K. Shimabukuro, N. Urasaki and T. Funabashi, “Fast Technique for Unit Commitment by Genetic Algorithm Based on Unit Clustering”, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 152, No. 5, September 2005.
7. V.N. Dieu and W. Ongsakul, “Improved Merit Order and Augmented Lagrange Hopfield Network for Unit Commitment”, IET Gener. Transm. Distrib., 2007, 1, (4), pp. 548–556.
8. Joao Catalao, Silvio Mariano, Victor Mendes, Luis Ferreira, “Unit Commitment with Environmental Considerations: A Practical Approach”, Session 18, Paper 3, Page 1, 15th PSCC, Liege, 22-26 August 2005.
9. Calvin Jin San Chan, “Development of Profit Maximisation Unit Commitment Program”, MSc Thesis, The University of Manchester Institute of Science and Technology, 2000.
10. C. K Pang, H. C Chen. “Optimal Short-Term Thermal Unit Commitment”, IEEE Transactions on Apparatus and Power Systems, Vol. PAS-95, No.4, pp.1336-1346, Jul./Aug. 1976.