

VẬN HÀNH VÀ ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG ĐIỆN

Chương 4 Điều phối tối ưu công suất phát

1. Giới thiệu chung

- Việc vận hành kinh tế hệ thống điện liên quan đến việc giảm đến nhỏ nhất chi phí sản xuất điện năng là mục tiêu của các chế độ xác lập của hệ thống điện.
- Điều này tương ứng với việc giảm chi phí nhiên liệu cho vận hành các nhà máy điện.

ĐIỀU PHỐI TỐI ƯU CÔNG SUẤT PHÁT CỦA CÁC TỔ MÁY PHÁT ĐIỆN (NHÀ MÁY ĐIỆN)

Các mục tiêu trên được thực hiện bằng cách:

- Quy hoạch thiết kế hệ thống điện với các chế độ kinh tế nhất và có đủ các trang thiết bị cần thiết để điều khiển các chế độ vận hành.
- Trong vận hành, lập kế hoạch vận hành đúng đắn và thực hiện được kế hoạch đó.

Giảm chi phí nhiên liệu trong vận hành bao gồm:

- Triệt để sử dụng nguồn nước của thủy điện, giảm đến mức nhỏ nhất lượng nước xả không qua tua bin.
- Phối hợp sử dụng nước của thủy điện với việc sử dụng nước của các nhà máy nhiệt điện và phối hợp giữa các nhiệt điện với nhau sao cho chi phí sản xuất điện năng là nhỏ nhất.

Kế hoạch vận hành hệ thống điện được thực hiện như sau:

- Lập **kế hoạch khai thác** các thủy điện cho năm (thủy điện điều tiết năm), lượng nước sử dụng trong từng tháng sau đó cho từng tuần lễ.
- Lập **kế hoạch vận hành** chi tiết cho từng tuần lễ gồm: thành phần tổ máy tham gia vận hành, lượng nước sử dụng trong tuần, trong ngày.

- Lập **kế hoạch vận hành ngày đêm** bằng cách xác định công suất phát từng giờ của từng nhà máy tham gia vận hành, kế hoạch ngừng và khởi động lại các tổ máy.
- Kế hoạch cuối cùng là **kế hoạch để thực hiện**, được lập hàng ngày cho ngày hôm sau.

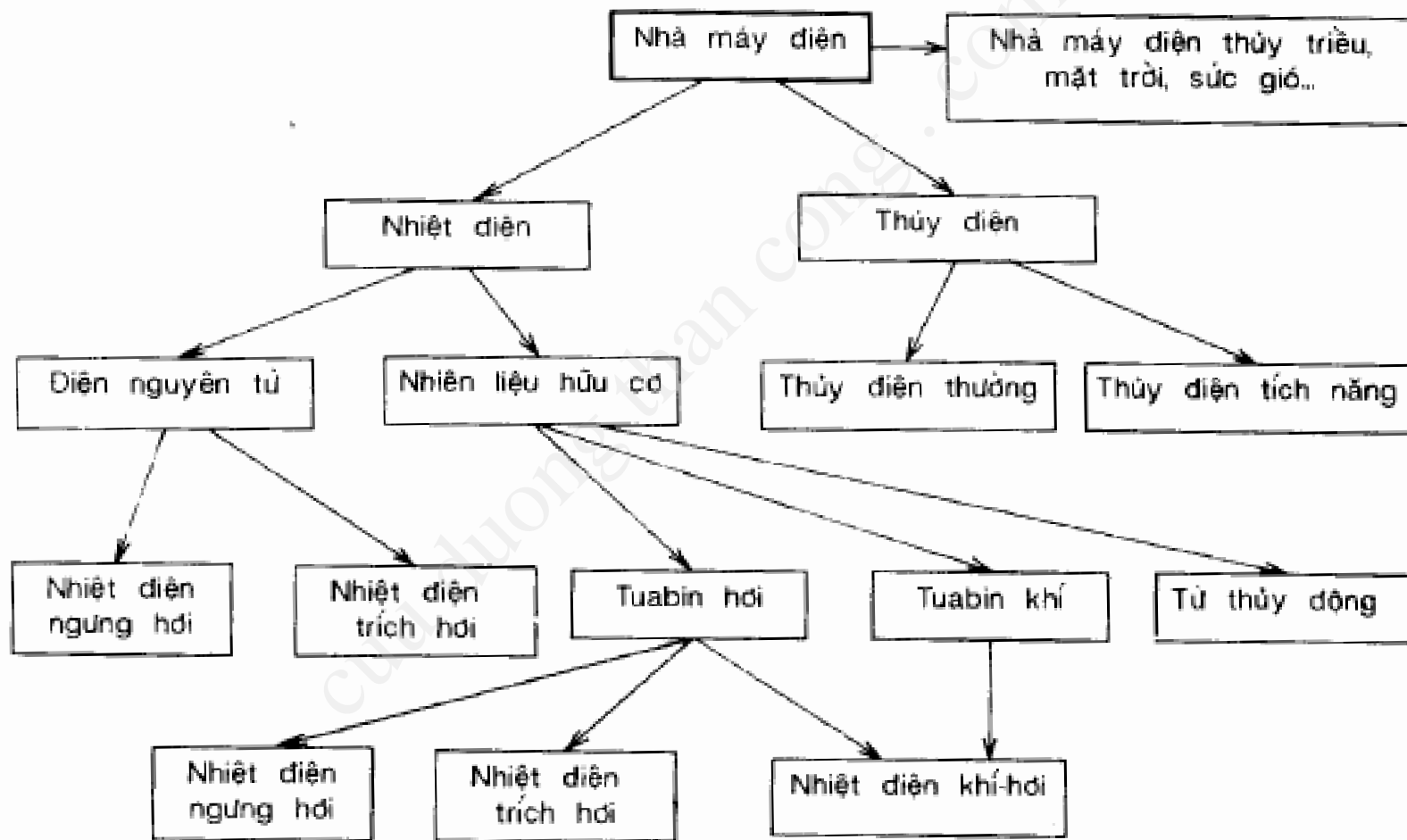
- Kế hoạch được lập trên cơ sở:
 - + Dự báo nước về các hồ chứa.
 - + Dự báo phụ tải dài hạn, ngắn hạn.
- Kế hoạch sản xuất bao gồm cả kế hoạch bảo dưỡng định kỳ các tổ máy trong năm.

Đề lập các kế hoạch trên có 2 bài toán cơ sở, phải sử dụng thường xuyên đó là:

+ Phân bố công suất phát tối ưu giữa các nhà máy nhiệt điện.

+ Phân bố công suất phát tối ưu giữa thủy điện và nhiệt điện.

Sơ đồ các loại nhà máy điện đang được sử dụng trên thế giới:



Để giải bài toán phân bố công suất phát tối ưu cần phải biết:

+ *Các thông số của toàn nhà máy điện.*

+ *Các thông số của hệ thống điện.*

Thông số của nhà máy điện bao gồm:

- Giá tiền đơn vị nhiên liệu, thường người ta xác định chi phí nhiên liệu cho các tổ máy, sau đó nhân với giá tiền nhiên liệu để có đặc tính chi phí sản xuất của các tổ máy.
- Các đặc tính kỹ thuật và vận hành của nhà máy.
- Thời gian tối thiểu giữa tăng tải và giảm tải giữa các tổ máy liên tiếp.
- Các hạn chế khác, nếu có.

Thông số của hệ thống điện bao gồm:

- Đồ thị phụ tải.
- Các hạn chế khả năng tải của lưới điện.
- Yêu cầu dự trữ quay.
- Thông số của lưới điện, bao gồm cả khả năng tải và độ tin cậy.

2. Phân bổ tối ưu công suất giữa các nhà máy nhiệt điện:

Bài toán phân bổ tối ưu công suất giữa các nhà máy nhiệt điện có các dạng sau:

- Phân bổ công suất giữa các tổ máy trong một nhà máy.
- Phân bổ công suất giữa các nhà máy trong hệ thống điện.

Sự khác nhau giữa hai bài toán:

- Trong bài toán sau phải kể đến sự biến đổi của tổn thất công suất tác dụng trên lưới điện theo công suất phát của các nhà máy nhiệt điện.
- Do đó, cần lập **đặc tính chi phí sản xuất tối ưu của từng nhà máy trước**, sau đó giải bài toán phân bổ công suất giữa các nhà máy trong hệ thống

- Trong hệ thống điện tập trung, biến đổi tổn thất công suất tác dụng theo công suất các nhà máy điện có thể không đáng kể, trong trường hợp này hai bài toán trở nên giống nhau và có thể giải một lần.

Trong bài toán này giả thiết rằng:

- Tất cả các tổ máy đều tham gia vận hành trong từng giờ đã được xác định.
- Trong các giờ khác nhau, số tổ máy làm việc có thể không giống nhau, một số tổ máy có thể phải nghỉ do điều kiện kỹ thuật hoặc điều kiện kinh tế.

- Đặc điểm của các **nhà máy nhiệt điện** là không bị hạn chế về điện năng phát, có nghĩa là nó **có thể phát công suất định mức trong mọi thời điểm cần thiết.**
- Do đó, công suất phát của nhà máy nhiệt điện được xác định trong từng giờ vận hành và **bài toán phân bố tối ưu công suất giữa các nhà máy nhiệt điện chỉ cần giải cho từng giờ vận hành, đó là bài toán cơ bản .**
- Để tìm chế độ vận hành cho 1 ngày đêm, cần giải 24 bài toán cơ bản cho 24 giờ.

Bài toán cơ bản phân bố công suất tối ưu giữa các nhà máy nhiệt điện như sau:

Có n tổ máy nhiệt điện hoặc nhà máy nhiệt điện với đặc tính chi phí sản xuất giờ của mỗi tổ máy hoặc nhà máy nhiệt điện là T_i , giới hạn công suất là P_{imax} và P_{imin} .

Biết công suất yêu cầu của phụ tải là:

$$P_{yc} = P_{pt} + \Delta P \quad (4.1)$$

Trong đó:

P_{pt} : công suất phụ tải,

ΔP : tổn thất trong lưới điện.

Giả thiết rằng:

- **Phụ tải là hằng số** trong 1 giờ và tất cả các tổ máy đều tham gia vận hành.
- Cần xác định công suất phát của mỗi tổ máy sao cho:
- Tổng chi phí sản xuất trong 1 giờ vận hành của nhà máy điện hoặc hệ thống điện là thấp nhất.

Mô hình bài toán

- Hàm mục tiêu:

Tổng chi phí sản xuất của hệ thống:

$$MinC = \sum_{i=1}^n C_i \quad (4.2)$$

- Ràng buộc:

Cân bằng công suất trong hệ thống:

$$W = P_1 + P_2 + \dots + P_n - P_{pt} - \Delta P = 0 \quad (4.3)$$

Công suất giới hạn của mỗi tổ máy:

$$P_{i \min} \leq P_i \leq P_{i \max} \quad (4.4)$$

a. Giải bài toán trong trường hợp ΔP là hằng số đối với công suất phát P_i

Thành lập hàm Lagrange:

$$\text{Min} L = C - \lambda W \quad (4.5)$$

Điều kiện tối ưu của hàm này là:

$$\frac{\partial L}{\partial P_1} = \frac{\partial C}{\partial P_1} - \lambda \frac{\partial W}{\partial P_1} = \frac{\partial C_1}{\partial P_1} - \lambda = \varepsilon_1 - \lambda = 0 \quad (4.6)$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_2} = \frac{\partial C}{\partial P_2} - \lambda \frac{\partial W}{\partial P_2} = \frac{\partial C_2}{\partial P_2} - \lambda = \varepsilon_2 - \lambda = 0$$

■ ■ ■ ■ ■ ■

■ ■ ■ ■ ■ ■

$$\frac{\partial L}{\partial P_n} = \frac{\partial C}{\partial P_n} - \lambda \frac{\partial W}{\partial P_n} = \frac{\partial C_n}{\partial P_n} - \lambda = \varepsilon_n - \lambda = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_n} = -W = -(P_1 + P_2 + \dots + P_n - P_{pt} - \Delta P) = 0$$

$$\varepsilon_i = \frac{\partial C_i}{\partial P_i} \quad \text{là suất tăng chi phí sản xuất của tổ máy } i, \quad (4.7)$$

λ = là suất tăng chi phí sản xuất của hệ thống.

Từ (4.6) và (4.7), ta suy ra điều kiện tối ưu:

(4.8)

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \dots = \varepsilon_n = \lambda$$

$$P_1 + P_2 + \dots + P_n - P_{pt} - \Delta P = 0$$

Điều kiện (4.8) được gọi là nguyên lý cân bằng suất tăng chi phí sản xuất.

Chi phí sản xuất điện năng của hệ thống điện sẽ nhỏ nhất khi các tổ máy phát công suất sao cho suất tăng chi phí sản xuất của chúng bằng nhau.

Điều kiện (4.8) được dùng để giải bài toán phân bố tối ưu công suất phát trong hệ thống điện trong các trường hợp:

- *Phân bố công suất giữa các tổ máy trong cùng một nhà máy.*
- *Phân bố công suất giữa các nhà máy không xét ảnh hưởng của phân bố công suất đến tổn thất trong lưới điện (cho hệ thống điện tập trung).*

b. Giải bài toán trong trường hợp ΔP phụ thuộc công suất phát P_i

Điều kiện tối ưu là:

$$\frac{\partial L}{\partial P_1} = \frac{\partial C}{\partial P_1} - \lambda \frac{\partial W}{\partial P_1} = \frac{\partial C_1}{\partial P_1} - \lambda \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_1}\right) = \varepsilon_1 - \lambda = 0 \quad (4.9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_2} = \frac{\partial C}{\partial P_2} - \lambda \frac{\partial W}{\partial P_2} = \frac{\partial C_2}{\partial P_2} - \lambda \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_2}\right) = \varepsilon_2 - \lambda = 0$$

■ ■ ■ ■ ■ ■

■ ■ ■ ■ ■ ■

$$\frac{\partial L}{\partial P_n} = \frac{\partial C}{\partial P_n} - \lambda \frac{\partial W}{\partial P_n} = \frac{\partial C_n}{\partial P_n} - \lambda \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_n}\right) = \varepsilon_n - \lambda = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_n} = -W = -(P_1 + P_2 + \dots + P_n - P_{pt} - \Delta P) = 0 \quad (4.10)$$

Với: $\frac{\partial \Delta P}{\partial P_i} = \sigma_i$: hệ số biến thiên của tổn thất theo công suất phát

$\varepsilon_i = \frac{\partial C_i}{\partial P_i}$: suất tăng chi phí sản xuất của tổ máy i

λ : suất tăng chi phí sản xuất của hệ thống

Suy ra:

$$\frac{\varepsilon_1}{1 - \sigma_1} = \frac{\varepsilon_2}{1 - \sigma_2} = \dots = \frac{\varepsilon_n}{1 - \sigma_n} = \lambda \quad (4.11)$$

$$P_1 + P_2 + \dots + P_n - P_{pt} - \Delta P = 0$$

3. Bài tập

Bài 1: Nhà máy điện có 2 tổ máy với:

$$C_1 = 0,005 P_1^2 + 2 P_1 + 500 \text{ (USD / h)}$$

$$C_2 = 0,006 P_2^2 + 1,6 P_2 + 400 \text{ (USD / h)}$$

$$P_{1max} = P_{2max} = 125 \text{ (MW)}$$

$$P_{1min} = P_{2min} = 20 \text{ (MW)}$$

Hai tổ máy làm việc đồng thời cấp điện cho phụ tải biến thiên từ 40 đến 250 (MW).

Phân bố tối ưu công suất cho 2 tổ máy khi $P_{pt} = 50$ và 180 (MW), không xét ΔP .

Bài 2: Nhà máy điện có 2 tổ máy với:

$$C_1 = 0,005 P_1^2 + 2 P_1 + 500 \text{ (USD / h)}$$

$$C_2 = 0,006 P_2^2 + 1,6 P_2 + 400 \text{ (USD / h)}$$

$$P_{1max} = P_{2max} = 125 \text{ (MW)}$$

$$P_{1min} = P_{2min} = 20 \text{ (MW)}$$

$$\Delta P = 0,02 P_1 + 0,05 P_2$$

Hai tổ máy làm việc đồng thời cấp điện cho phụ tải biến thiên từ 40 đến 250 (MW).

Phân bố tối ưu công suất cho 2 tổ máy khi $P_{pt} = 50$ và 180 (MW).

Bài 3: Một nhà máy nhiệt điện có 3 tổ máy với hàm chi phí nhiên liệu như sau:

$$C_1 = 0,004P_1^2 + 5,3P_1 + 500 \text{ (USD/h)}$$

$$C_2 = 0,006P_2^2 + 5,5P_2 + 400 \text{ (USD/h)}$$

$$C_3 = 0,009P_3^2 + 5,8P_3 + 200 \text{ (USD/h)}$$

$$P_1, P_2, P_3 \text{ (MW)}$$

Ba tổ máy cung cấp cho phụ tải $P_{pt} = 800$ (MW)

Bỏ qua tổn thất và giới hạn của các máy phát.

Điều phối tối ưu công suất phát của các tổ máy, giá điện cho 1 MWh điện tại nhà máy (USD/MWh) và tổng chi phí phát điện.

Bài 4: Một nhà máy nhiệt điện có 3 tổ máy với hàm chi phí nhiên liệu như sau:

$$C_1 = 0,004P_1^2 + 5,3P_1 + 500 \text{ (USD/h)}$$

$$C_2 = 0,006P_2^2 + 5,5P_2 + 400 \text{ (USD/h)}$$

$$C_3 = 0,009P_3^2 + 5,8P_3 + 200 \text{ (USD/h)}$$

Với $200 \text{ (MW)} \leq P_1 \leq 450 \text{ (MW)};$

$$150 \text{ (MW)} \leq P_2 \leq 350 \text{ (MW)};$$

$$100 \text{ (MW)} \leq P_3 \leq 225 \text{ (MW)}.$$

- Ba tổ máy cung cấp cho phụ tải $P_{pt} = 975 \text{ (MW)}$.

- Bỏ qua tổn thất.

Điều phối tối ưu công suất phát của các tổ máy, giá điện cho 1 MWh điện tại nhà máy (\$/MWh) và tổng chi phí phát điện.

Bài 5: Một nhà máy nhiệt điện có 3 tổ máy với hàm chi phí nhiên liệu như sau:

$$C_1 = 0,008P_1^2 + 7,0P_1 + 200 \text{ (USD/h)}$$

$$C_2 = 0,009P_2^2 + 6,3P_2 + 180 \text{ (USD/h)}$$

$$C_3 = 0,007P_3^2 + 6,8P_3 + 140 \text{ (USD/h)}$$

Với $10 \text{ (MW)} \leq P_1 \leq 85 \text{ (MW)}$

$$10 \text{ (MW)} \leq P_2 \leq 80 \text{ (MW)}$$

$$10 \text{ (MW)} \leq P_3 \leq 70 \text{ (MW)}$$

$$\Delta P = 0,000218P_1^2 + 0,000228P_2^2 + 0,000179P_3^2$$

Ba tổ máy cung cấp cho phụ tải $P_{pt} = 150 \text{ (MW)}$

Điều phối tối ưu công suất phát của các tổ máy và tổng chi phí phát điện.

Bài 6: Xét sơ đồ lưới điện như hình vẽ. Cho biết:
Nhà máy điện 1 và 2 có:

$$C_1 = 0,005 P_1^2 + 2 P_1 + 500 \text{ (USD / h)}$$

$$C_2 = 0,006 P_2^2 + 1,6 P_2 + 400 \text{ (USD / h)}$$

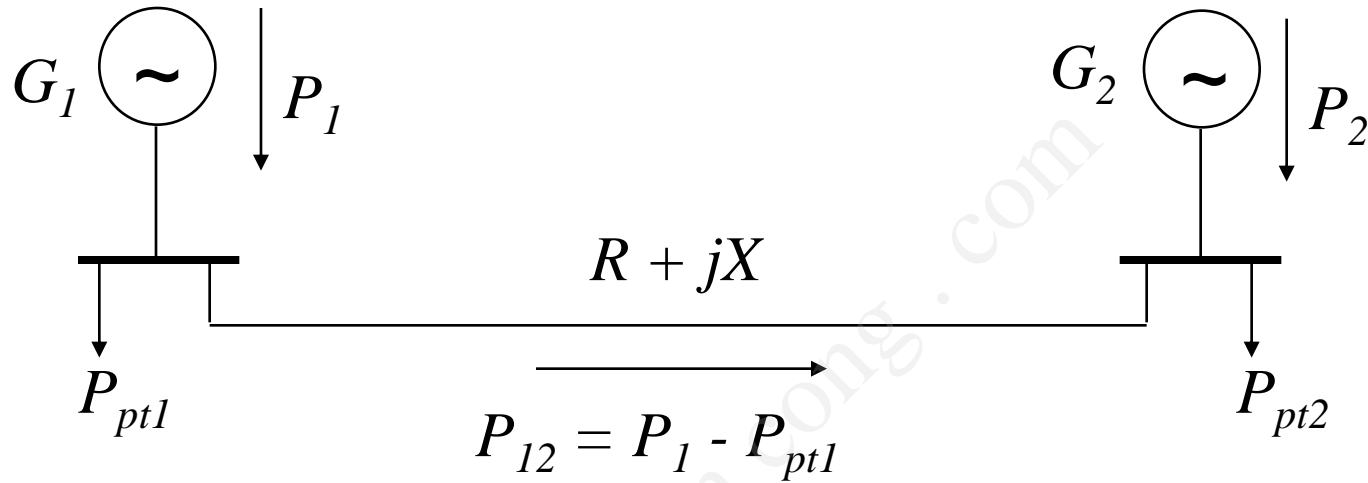
$$P_{1max} = P_{2max} = 125 \text{ (MW)}$$

$$P_{1min} = P_{2min} = 20 \text{ (MW)}$$

Phụ tải:

$$P_{pt1} = 10 \text{ (MW)}; P_{pt2} = 190 \text{ (MW)};$$

$$R = 20 \text{ (}\Omega\text{)}; U_{dm} = 220 \text{ (kV)}; \cos \varphi = 1;$$



Xác định công suất phát tối ưu của các nhà máy điện 1 và 2.

Gợi ý:
$$\Delta P = \frac{R \times P_{12}^2}{U_{dm}^2}$$

Bài 7:

Các số liệu thống kê về chi phí của một nhà máy điện cho trong bảng sau:

P (MW)	20	30	40
$C.10^3$ (đ/h)	8530	12760	17020

Xác định hàm chi phí của nhà máy, biết hàm có dạng:

$$C = a.P^2 + b.P + c$$

Bài 8:

Xét sơ đồ lưới điện như hình 4.4

Nhà máy điện 1, 2 và 3 có:

$$C_1 = 0,005 P_1^2 + 2 P_1 + 500 \text{ (USD / h)}$$

$$C_2 = 0,006 P_2^2 + 1,6 P_2 + 400 \text{ (USD / h)}$$

$$C_3 = 0,007 P_3^2 + 2,2 P_3 + 600 \text{ (USD / h)}$$

Với

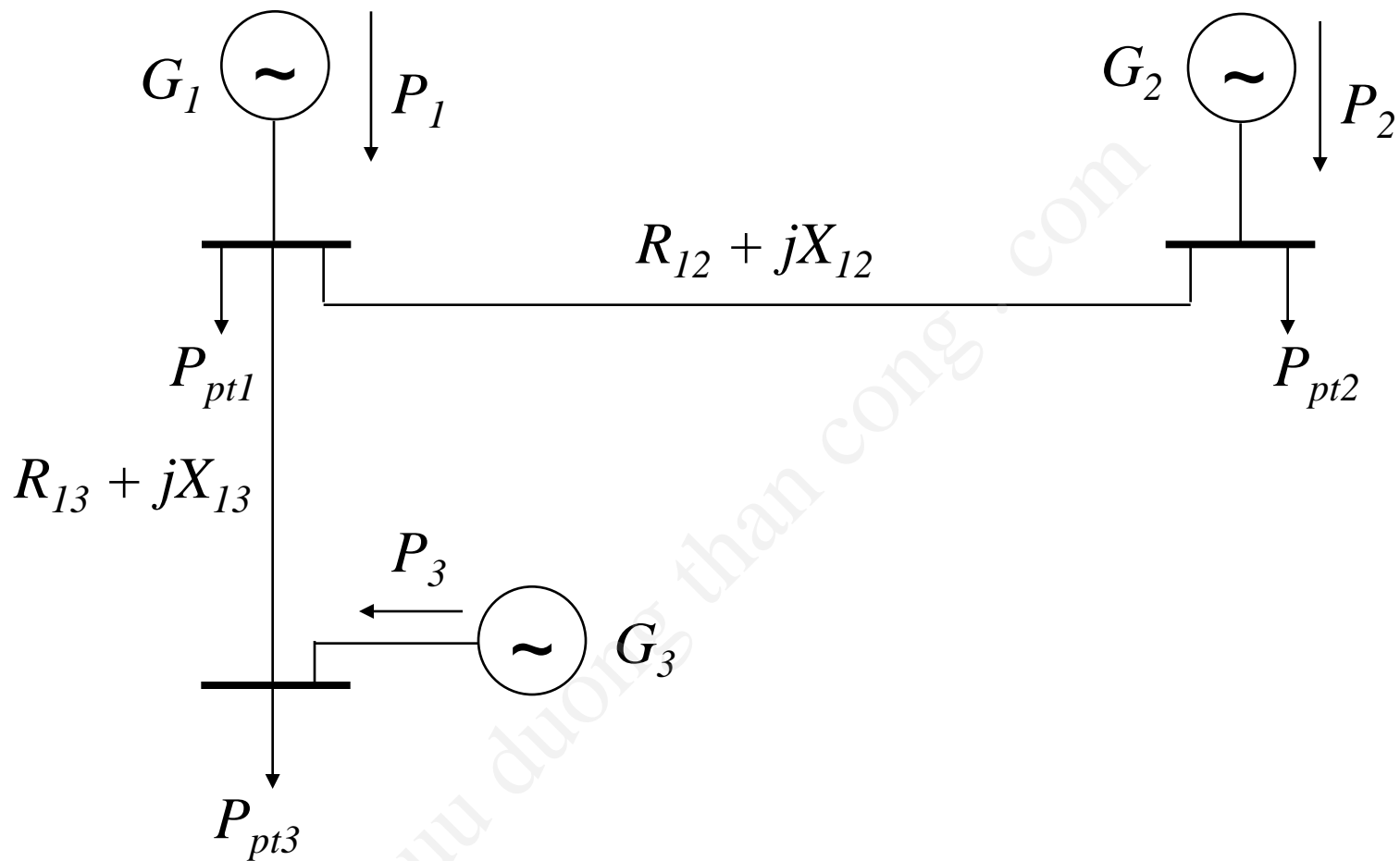
$$P_{1max} = P_{2max} = P_{3max} = 125 \text{ (MW)}$$

$$P_{1min} = P_{2min} = P_{3min} = 20 \text{ (MW)}$$

Phụ tải:

$$P_{pt1} = 10 \text{ (MW)}; P_{pt2} = 190 \text{ (MW)}; P_{pt3} = 150 \text{ (MW)}$$

$$R_{l2} = 20 \text{ (}\Omega\text{)}; R_{l3} = 15 \text{ (}\Omega\text{)}; U_{dm} = 220 \text{ (kV)}; \cos \varphi = 1$$



Xác định công suất phát tối ưu của các nhà máy điện 1, 2 và 3.