

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP**

**KHOA: ĐIỆN**

**BỘ MÔN: NĂNG LƯỢNG ĐIỆN**

-----o0o-----

**BÀI GIẢNG MÔN HỌC**

# **KHAI THÁC NHÀ MÁY ĐIỆN**

(Dùng cho hệ đào tạo Kỹ sư Hệ thống điện)

Biên soạn: Vũ Văn Thắng.

- THÁI NGUYỄN 2004 -

Đề cương môn học

## **KHAI THÁC NHÀ MÁY ĐIỆN**

(Dùng cho hệ Đại học - Ngành Hệ thống điện - Trường ĐHKTCN)

**Khối lượng: 60 tiết      Số học trình: 04      Số học phần: 02**

### **Chương 1**

#### **Thiết bị điện chính trong Nhà máy điện**

##### **□1.1 Máy phát điện đồng bộ.**

I. Khái niệm chung.

II. Thông số chủ yếu của máy phát điện đồng bộ.

1. Công suất định mức,  $P_{dm}$ .
2. Điện áp định mức,  $U_{dm}$ .
3. Dòng điện định mức,  $I_{dm}$ .
4. Điện kháng đồng bộ dọc trục ( $x_d$ ) và ngang trục ( $x_q$ ).
5. Điện kháng quá độ ( $x'_d$ ).
6. Điện kháng siêu quá độ ( $x''_d$ ).

III. Hệ thống làm mát.

1. Hệ thống làm mát gián tiếp.
2. Hệ thống làm mát trực tiếp.
3. Giới hạn công suất vận hành của máy phát điện đồng bộ theo điều kiện phát nóng.

IV. Hệ thống kích từ.

1. Khái niệm chung.
2. Thông số của hệ thống kích từ.
3. Các hệ thống kích từ.
4. Thiết bị tự động điều chỉnh kích từ, TĐK.

V. Hệ thống diệt từ.

1. Khái niệm chung.
2. Yêu cầu đối với hệ thống diệt từ.
3. Các hệ thống diệt từ.

VI. Chế độ làm việc bình thường của máy phát điện đồng bộ.

VII. Chế độ làm việc không bình thường của máy phát điện đồng bộ.

1. Chế độ quá tải.
2. Chế độ làm việc không đồng bộ.
3. Chế độ không đối xứng.

4. Chế độ làm việc của máy phát điện đồng bộ như máy bù đồng bộ.
5. Chế độ cộng hưởng tần số thấp của máy phát điện đồng bộ.

## □1.2 Máy biến áp điện lực.

### I. Thông số của máy biến áp.

1. Công suất định mức,  $S_{dm}$ .
2. Điện áp định mức,  $U_{dm}$ .
3. Hệ số biến áp,  $k$ .
4. Dòng điện định mức của cuộn dây sơ cấp và thứ cấp máy biến áp.
5. Điện áp ngắn mạch,  $U_N$ .
6. Dòng không tải,  $i_{kt}$  hay  $i_0$ .
7. Tổn thất công suất không tải,  $\Delta P_0$ .
8. Tổn thất công suất ngắn mạch,  $\Delta P_N$ .

### II. Làm mát máy biến áp.

1. Máy biến áp kiểu khô.
2. Làm mát máy biến áp bằng dầu đối lưu tự nhiên.
3. Làm mát máy biến áp bằng dầu tự nhiên có quạt gió.
4. Làm mát máy biến áp bằng tuần hoàn cưỡng bức dầu và không khí.
5. Làm mát bằng dầu và nước. (Hệ thống làm mát  $\Omega$ ).

### III. Chế độ nhiệt của máy biến áp.

1. Chế độ nhiệt của máy biến áp.
2. Độ tăng nhiệt độ của dầu và cuộn dây máy biến áp trong trạng thái xác lập khi phụ tải khác định mức.
3. Độ tăng nhiệt độ của dầu và cuộn dây trong quá trình quá độ.

### IV. Khả năng tải của máy biến áp.

1. Sự già cỗi cách điện do nhiệt.
2. Khả năng quá tải cho phép của máy biến áp.

## Chương 2.

### Phương pháp chung phân phối tối ưu công suất Nhà máy điện

#### □2.1 Khái niệm chung.

#### □2.2 Phương pháp phân phối tối ưu công suất Nhà máy điện.

- I. Phương pháp chung.
- II. Phương pháp Lagrange.

### **Chương 3.**

#### **Khai thác tối ưu Nhà máy điện**

##### **□3.1 Khái niệm chung.**

I. Đặc tính tiêu hao nhiên liệu của Nhà máy nhiệt điện.

1. Đặc tính tiêu hao nhiên liệu.
2. Suất tiêu hao nhiên liệu,  $\gamma$ .
3. Suất tăng tiêu hao nhiên liệu,  $\varepsilon$ .
4. Đặc tính suất tăng tiêu hao nhiên liệu.
5. Kết luận.

II. Đặc tính tiêu hao nước của Nhà máy thủy điện.

1. Đặc tính tiêu hao nước.
2. Suất tăng tiêu hao nước,  $\varepsilon$ .
3. Suất tiêu hao nước,  $\gamma$ .

III. Đặc tính chi phí sản xuất Nhà máy nhiệt điện.

1. Đặc tính chi phí sản xuất.
2. Suất tăng chi phí sản xuất.
3. Suất chi phí sản xuất.
4. Đặc tính suất tăng chi phí sản xuất.

IV. Đặc tính chi phí nước của Nhà máy thủy điện.

1. Đặc tính chi phí nước.
2. Suất tăng chi phí nước và đặc tính suất tăng chi phí nước.

V. Suất tăng tổn thất công suất trong lưới điện.

##### **□3.2 Phân phối tối ưu công suất giữa các Nhà máy nhiệt điện trong hệ thống điện.**

I. Nguyên tắc thực hiện.

II. Phân phối tối ưu công suất khi tổn thất công suất  $\Delta P$  không phụ thuộc vào công suất phát của các nhà máy  $P_i$ .

1. Nguyên tắc tính toán.
2. Phương pháp tính.

III. Phân phối tối ưu công suất khi tổn thất công suất  $\Delta P$  phụ thuộc vào công suất phát của các nhà máy  $P_i$ .

1. Nguyên tắc tính toán.
2. Phương pháp tính toán.

IV. Phân phối tối ưu công suất khi tổn thất công suất  $\Delta P$  phụ thuộc vào công suất tác dụng  $P_i$  và công suất phản kháng  $Q_i$  của nhà máy.

**□3.3 Phân bố tối ưu công suất trong hệ thống hỗn hợp Nhiệt điện - Thủy điện.**

- I. Nguyên tắc tính toán.
- II. Phương pháp tính toán.
  1. Phương pháp chính xác.
  2. Phương pháp gần đúng.

**□3.4 Xác định thành phần tổ máy vận hành của Nhà máy nhiệt điện.**

- I. Nguyên tắc thực hiện.
- II. Phương pháp tính.

----- o0o-----

**Chương 1****THIẾT BỊ ĐIỆN CHÍNH TRONG NHÀ MÁY ĐIỆN****1.1 MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ****I. Khái niệm chung.**

Máy phát điện là thiết bị điện chiếm vị trí quan trọng nhất trong các nhà máy điện. Các máy phát điện biến đổi cơ năng thành điện năng và có khả năng điều chỉnh công suất cung cấp cho hệ thống. Máy phát điện giữ vai trò quan trọng trong việc đảm bảo chất lượng điện năng (điều chỉnh tần số và điện áp của hệ thống điện).

Do có ý nghĩa quan trọng nên trong các nhà máy điện, các máy phát điện được chế tạo có hiệu suất cao, làm việc tin cậy và được sử dụng lâu dài.

Các máy phát điện dùng trong nhà máy điện chủ yếu là các máy phát điện đồng bộ 3 pha. Có công suất từ vài kW đến hàng nghìn MW, điện áp định mức từ  $(0,38 \div 25)$  kV. Xu hướng hiện nay là chế tạo các máy phát điện với công suất định mức ngày càng lớn. Trong những hệ thống điện tương đối lớn (công suất từ 100MW trở nên) các máy phát điện thường có công suất định mức  $> 100$  MW.

Khi làm việc trong nhà máy điện, các máy phát điện không tách rời các thiết bị phụ (hệ thống làm mát, hệ thống bôi trơn, hệ thống kích từ...).

**II. Các thông số chủ yếu của máy phát điện đồng bộ.****1. Công suất định mức,  $P_{dm}$ .**

Công suất định mức của máy phát có thể cho theo công suất tác dụng  $P_{dm}$  hoặc công suất toàn phần là  $S_{dm}$  và hệ số công suất  $\cos\varphi$ . Công suất máy phát điện thường cho bởi hai đại lượng  $(P_{dm}, S_{dm})$ ,  $(P_{dm}, \cos\varphi)$  hoặc  $(S_{dm}, \cos\varphi)$ .

Hệ số công suất  $\cos\varphi$  khoảng  $(0,8 \div 0,9)$ .

**2. Điện áp định mức,  $U_{dm}$ .**

Điện áp định mức của máy phát thường cao hơn  $U_{dm}$  của lưới từ  $(5 \div 10)\%$ , được xác định theo (bảng 1-1).

Bảng 1-1

STT	Công suất (MW)	Điện áp lưới (kV)	Điện áp định mức MF (kV)	G.chú
1	≤ 100	6	6,3÷6,6	
2	≤ 100	10	10,5÷11	
3	100 ÷ 150	Không phụ thuộc	15,75	
4	150 ÷ 200	Không phụ thuộc	18	
5	≥ 200	Không phụ thuộc	20 ÷ 20,5	

**3. Dòng điện định mức,  $I_{dm}$ .**

Dựa vào công suất định mức và điện áp định mức đã cho ta có:

$$I_{dm} = \frac{P_{dm}}{\sqrt{3}U_{dm} \cdot \cos \varphi_{dm}} \tag{1-1}$$

**4. Điện kháng đồng bộ dọc trục ( $x_d$ ) và ngang trục ( $x_q$ ).**

Đặc trưng cho điện cảm của cuộn dây Stato ứng với mạch từ ở chế độ xác lập theo hướng dọc trục và ngang trục của roto.

- Các máy phát điện tuabin nước, roto cực lồi: mạch từ theo hướng dọc trục và ngang trục khác nhau, do đó  $x_d \neq x_q$  ( $x_d > x_q$ ).

- Các máy phát điện tuabin hơi, roto cực ẩn, đối xứng:  $x_d = x_q$ .

Điện kháng đồng bộ cho trong các sổ tay kỹ thuật được tính trong hệ đơn vị tương đối định mức:

$$X_{d*} = X_d \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \tag{1-2}$$

Khi tính trong hệ đơn vị có tên hoặc hệ đơn vị tương đối cơ bản khác cần phải quy đổi lại:

$$X_d = X_{d*} \cdot \frac{S_{dm}}{U_{dm}^2} \tag{1-3}$$

$$X_{d(cb)} = X_{d*} \cdot \frac{S_{dm}}{S_{cb}} \left( \frac{U_{cb}}{U_{dm}} \right)^2 \tag{1-4}$$

**5. Điện kháng quá độ ( $x'_d$ ).**

Đặc trưng cho điện cảm của cuộn dây stato ứng với mạch từ ở chế độ quá độ.

Ở chế độ quá độ từ thông sinh ra bởi cuộn dây stato đi qua cuộn dây roto bị giảm đi do phản ứng hồi cảm của cuộn dây stato.

Điện trở mạch kín của cuộn dây roto thường rất nhỏ, phản ứng hồ cảm làm triệt tiêu gần hoàn toàn từ thông bên trong roto.

Như vậy, có thể coi điện cảm của cuộn dây stato trong chế độ quá độ tương đương với điện cảm của stato khi mạch từ khép kín ra không khí bên ngoài cuộn dây roto. Từ trở mạch từ lớn, từ thông giảm do đó điện kháng quá độ nhỏ hơn nhiều so với điện kháng đồng bộ, trị số của điện kháng quá độ không phụ thuộc vào dạng cực từ.

### **6. Điện kháng siêu quá độ ( $x''_d$ ).**

Đặc trưng cho điện cảm của cuộn dây stato ở giai đoạn đầu của chế độ quá độ.

Ở giai đoạn đầu của chế độ quá độ phải kể đến ảnh hưởng của các cuộn cảm. Phản ứng hồ cảm của các cuộn cảm làm giảm từ thông của cuộn dây stato, do đó  $x''_d < x'_d$ .

Dòng điện xuất hiện trong các cuộn cảm tắt rất nhanh,  $x''_d$  chỉ có ý nghĩa ở giai đoạn đầu tiên của quá trình quá độ (tính dòng điện ngắn mạch ở thời điểm đầu tiên).

### **III. Hệ thống làm mát.**

Hệ thống làm mát có ảnh hưởng quyết định đến giới hạn công suất làm việc của các máy phát. Công suất định mức của máy phát điện xác định bởi nhiệt độ phát nóng cho phép lâu dài của cách điện. Nhiệt độ trong máy khi làm việc phụ thuộc vào tổn thất trong các bộ phận của máy (dây dẫn, lõi thép) và khả năng tản nhiệt từ máy ra môi trường ngoài.

Để tăng công suất định mức của máy có thể tăng kích thước của dây dẫn và lõi thép, nghĩa là tăng kích thước của máy phát, tuy nhiên khi tăng kích thước máy phát có đặc điểm sau:

- Đường kính cực đại của roto máy phát điện tuabin hơi chỉ có thể từ (1,2÷1,3)m, quá giới hạn này roto có thể bị vỡ ra bởi lực ly tâm.
- Chiều dài của roto cũng bị giới hạn bởi ứng suất uốn và độ cong trục (không được vượt quá 5,5÷6,5) lần đường kính.

Vì vậy công suất của máy phát điện chỉ có thể tăng lên hơn nữa bằng cách tăng cường làm mát cho các máy phát.

Có hai loại hệ thống làm mát: hệ thống làm mát gián tiếp và hệ thống làm mát trực tiếp.



## 1. Hệ thống làm mát gián tiếp.

Trong hệ thống làm mát gián tiếp môi chất làm lạnh là khí (không khí hoặc Hydro). Máy phát điện được làm mát bằng cách thổi môi chất làm mát qua các khe hở trong máy (khe hở tự nhiên giữa roto và stato, khe hở kết cấu cho mục đích làm mát). Nhiệt độ của máy phát được môi chất tải ra ngoài môi trường, do đó máy phát được làm mát.

- Đối với các máy phát điện công suất nhỏ: ( $\leq 12\text{MW}$ ) thường áp dụng hệ thống làm mát gián tiếp bằng không khí, hệ thống làm mát có hai dạng:

+ Dạng hở: không khí từ ngoài qua hệ thống lọc bụi rồi được bơm vào máy. Sau khi làm mát, không khí được thải ra ngoài.

+ Dạng kín: không khí sạch, dùng làm môi chất, được bơm tuần hoàn trong hệ thống kín qua hệ thống nước làm mát trước khi vào làm mát máy. Kiểu kín tránh được bụi lẫn vào không khí làm mát.

Ở máy phát điện tuabin hơi hệ thống làm mát bằng không khí thường được bố trí phía dưới bộ máy, ở máy phát điện tuabin nước hệ thống làm mát được bố trí xung quanh stato.

- Đối với các máy phát điện công suất lớn: Sử dụng Hydro làm môi chất làm mát cho các máy phát điện.

\* Ưu điểm:

+ Hydro có độ dẫn nhiệt lớn gấp 7 lần so với không khí và tốc độ nhận nhiệt bề mặt nhanh gấp 1,44 lần.

+ So với không khí cùng áp suất, mật độ khí Hydro thấp hơn nhiều, nên giảm được ma sát và do đó giảm được công suất máy bơm.

+ Máy phát điện cùng kích thước, nếu dùng Hydro làm mát thay cho không khí thì có thể tăng công suất định mức lên  $(15\div 20)\%$  và nâng hiệu suất lên thêm  $(0,7\div 1)\%$ .

+ Dùng Hydro làm mát còn làm tăng tuổi thọ của cách điện vì hạn chế được oxy hoá.

+ Dùng Hydro làm mát có thể chế tạo máy phát điện tua bin hơi công suất đến 100MW.

\* Nhược điểm: Có khả năng tạo thành hỗn hợp cháy nổ nếu Hydro bị lẫn oxy. Để loại trừ nguy hiểm này người ta phải điều chế Hydro thật tinh khiết. Phải đảm bảo áp suất Hydro vào máy, người ta nạp khí Nitơ để lùa hết không

khí ra, sau đó mới đưa Hydrô vào thay thế. Như vậy hệ thống làm mát dùng Hydrô phải có độ bền cao, kín hơn so với hệ thống làm mát bằng không khí.

Hiệu quả của phương pháp làm mát gián tiếp không cao vì sự toả nhiệt của dây dẫn hoặc lõi thép truyền đến môi chất làm mát phải thông qua các lớp cách điện, các phần lõi thép. Ở mỗi đoạn đường truyền nhiệt tồn tại một chênh lệch nhiệt độ nhất định, do đó nhiệt độ của dây dẫn và cách điện cao hơn nhiều so với nhiệt độ của môi chất.

## **2. Hệ thống làm mát trực tiếp.**

Trong hệ thống làm mát trực tiếp, môi chất làm mát chạy xuyên qua dây dẫn rỗng và các lớp lõi thép, nhiệt lượng được truyền trực tiếp ra môi chất làm mát không có đoạn đường trung gian. Vì vậy, chênh lệch nhiệt độ chủ yếu tồn tại giữa bề mặt tiếp xúc của dây dẫn và môi chất làm mát với môi trường ngoài.

Hiệu quả của phương pháp làm mát trực tiếp cao, cho phép tăng đáng kể công suất chế tạo và giảm được kích thước của các máy phát điện. Vì vậy, phương pháp này thường dùng cho các máy phát có công suất và điện áp lớn.

Môi chất làm mát trong hệ thống làm mát trực tiếp thường dùng Hydrô, nước, dầu và thường áp dụng hệ thống làm mát hỗn hợp.

- Khi sử dụng môi chất làm mát là nước: Nước có độ dẫn nhiệt cao nhất, độ nhớt thấp nên lưu thông dễ dàng, không gây cháy, nổ. Nhưng cần phải đảm bảo nước có độ tinh khiết cao để tránh dẫn điện và ăn mòn, vì thế vận hành khá phức tạp.

- Khi sử dụng môi chất làm mát là dầu: dầu cách điện tốt, rất thuận lợi đối với các máy phát điện cao áp. Nhưng dầu có độ nhớt lớn, lưu thông khó khăn, đòi hỏi phải có công suất bơm lớn.

Hệ thống đưa môi chất làm mát vào máy phát điện thường là các ống đặt trong lòng các thanh dẫn và lõi thép, được bố trí theo cách nhất định để đảm bảo sự phân bố tương đối đều nhiệt độ trong máy. Để đưa nước vào hệ thống các ống dẫn ở roto, người ta tạo ra các hộp nối đặc biệt, đảm bảo kín giữa phần tĩnh và phần động.

## **3. Giới hạn công suất vận hành của máy phát điện đồng bộ theo điều kiện phát nóng.**

Nhiệt độ cách điện của máy phát điện khi vận hành phụ thuộc vào tổn thất công suất trong các bộ phận của máy. Tổn thất này gây ra bởi dòng điện

trong các cuộn dây và từ thông trong lõi thép (tổn thất dòng điện xoáy và tổn thất từ trễ).

Phân bố từ thông trong máy phụ thuộc đáng kể vào chế độ vận hành, chẳng hạn ở chế độ thiếu kích từ (máy tiêu thụ công suất phản kháng), từ thông tập trung nhiều ở các mòm cực stator do phản ứng phân ứng trợ từ. Mật độ từ thông lớn làm tăng đáng kể tổn thất từ trễ, gây ra nhiệt độ cao ở những phần này. Vì thế giới hạn công suất vận hành của máy trong trường hợp này bị giảm đi, nếu xác định theo nhiệt độ tại điểm nóng nhất (mặc dù nhiệt độ cách điện ở các phần khác của cuộn dây chưa đến giới hạn lớn nhất).

Ở chế độ nhận công suất phản kháng giới hạn công suất bị thu hẹp đáng kể (chỉ còn khoảng 40÷50% công suất định mức). Đây là chế độ vận hành rất thường gặp ở các nhà máy thủy điện xa trung tâm phụ tải. Vào các giờ thấp điểm phụ tải hệ thống thấp (ban đêm), để giảm điện áp tăng cao trên các đường dây nối nhà máy với hệ thống (thường có chiều dài lớn) cần cho máy phát rất ít công suất tác dụng và tiêu thụ công suất phản kháng.

#### **IV. Hệ thống kích từ.**

##### **1. Khái niệm chung.**

Hệ thống kích từ có nhiệm vụ cung cấp dòng điện một chiều cho các cuộn dây kích từ của máy phát điện đồng bộ. Nó phải có khả năng điều chỉnh dòng kích từ (bằng tay hoặc tự động) để đảm bảo chế độ làm việc ổn định, kinh tế với chất lượng điện năng cao trong mọi tình huống.

- *Trong chế độ làm việc bình thường:* điều chỉnh dòng kích từ sẽ điều chỉnh được điện áp đầu cực máy phát, thay đổi công suất phản kháng phát vào lưới. Thiết bị tự động điều chỉnh kích từ làm việc có tác dụng:

+ Giữ điện áp không đổi khi phụ tải biến động.

+ Nâng cao giới hạn công suất truyền tải từ máy phát điện vào hệ thống, đặc biệt khi nhà máy nối với hệ thống qua đường dây dài.

+ Bảo đảm ổn định tĩnh, nâng cao tính ổn định động.

- *Trong chế độ sự cố:* chỉ có bộ phận kích từ cưỡng bức làm việc là chủ yếu, nhằm duy trì điện áp của máy phát điện không đổi, giữ ổn định cho hệ thống.

##### **2. Thông số của hệ thống kích từ.**

- *Công suất định mức,  $P_{f,dm}$ :* Là công suất của hệ thống kích từ thường xác định bằng (0,2÷0,6)% công suất định mức máy phát điện. Việc tạo ra hệ thống kích từ có công suất lớn thường gặp khó khăn, do công suất chế tạo các máy

phát điện một chiều bị hạn chế bởi điều kiện làm việc của bộ phận đổi chiều. Vì vậy với các máy phát điện công suất lớn, phải áp dụng các hệ thống kích từ dùng máy phát điện xoay chiều và chỉnh lưu.

- *Điện áp kích từ định mức,  $U_{f,dm}$* : là điện áp kích từ định mức của máy phát, khoảng (50÷500)V phụ thuộc vào công suất của máy phát.

- *Dòng điện kích từ định mức,  $I_{f,dm}$* : là dòng điện kích từ của máy phát ứng với chế độ định mức, có giá trị rất lớn (có thể đến chục kA).

- *Điện áp kích từ giới hạn,  $U_{f,gh}$* : là điện áp kích từ lớn nhất có thể tạo ra được của hệ thống kích từ. Điện áp này càng lớn thì phạm vi điều chỉnh dòng kích từ càng rộng và càng có khả năng điều chỉnh nhanh.

+ Đối với máy phát điện tuabin hơi:  $U_{f,gh} \geq 2.U_{f,dm}$ .

+ Đối với máy phát điện tuabin nước:  $U_{f,gh} \geq 1,8.U_{f,dm}$ .

Để đáp ứng yêu cầu đảm bảo ổn định trong hệ thống, người ta chế tạo  $U_{f,gh} = (3 \div 4)U_{f,dm}$ . Nhưng  $U_{f,gh}$  càng lớn đòi hỏi hệ thống kích từ phải có khả năng cách điện càng cao.

- *Hằng số thời gian,  $T_e$* : đặc trưng cho tốc độ thay đổi dòng kích từ, nó xác định bởi quán tính điện từ của các cuộn dây điện cảm. Được xác định bởi biểu thức sau:

$$T_e = \frac{L_f}{R + R_f} \quad (1-5)$$

Trong đó:

+  $R_f, L_f$  là điện trở và hệ số tự cảm của cuộn dây kích từ máy phát.

+  $R$  là điện trở phụ mạch kích từ máy phát.

$T_e$  có trị số càng nhỏ thì tốc độ điều chỉnh kích từ càng nhanh. Đặc trưng tính tác động nhanh của hệ thống kích từ bằng tốc độ tăng điện áp kích từ khi kích từ cưỡng bức (v):

$$v = 0,632 \cdot \frac{U_{f,gh} - U_{f,dm}}{U_{f,dm} \cdot t} \quad (1-6)$$

Trong đó:

+  $U_{f,gh}$ : điện áp kích từ giới hạn.

+  $U_{f,dm}$ : điện áp kích từ định mức.

+  $t$ : thời gian để tăng điện áp kích từ từ trị số định mức đến trị số:

$$U = U_{f,dm} + 0,632 \cdot (U_{f,gh} - U_{f,dm})$$

Đây chính là tốc độ trung bình tăng điện áp ở giai đoạn đầu của quá trình kích từ cưỡng bức.

Đa số các trường hợp có thể coi điện áp kích từ cưỡng bức tăng theo qui luật hàm mũ:

$$U_f(t) = U_{fgh} - (U_{fgh} - U_{fdm}) \cdot e^{-\frac{t}{T_c}} \quad (1-7)$$

Trong đó:  $T_c$  là hằng số thời gian của hệ thống kích từ.

Trường hợp  $t = T_c$ , ta có:

$$U_f(T_c) = U_{fgh} - (U_{fgh} - U_{fdm}) \cdot e^{-1} = U_{fdm} + 0,632 \cdot (U_{fgh} - U_{fdm}) \quad (1-8)$$

Ta thấy  $T_c$  có quan hệ với v:

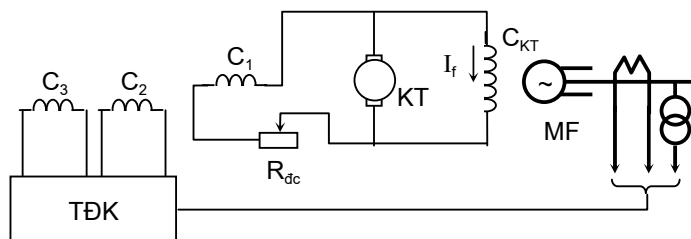
$$v = \frac{0,632 \cdot (U_{fgh} - U_{fdm})}{U_{fdm} \cdot T_c} \quad (1-9)$$

Tốc độ tăng điện áp kích từ càng nhanh khi  $U_{fgh}$  càng lớn, còn hằng số thời gian  $T_c$  càng nhỏ. Các tham số này phụ thuộc vào kết cấu và nguyên lý làm việc của hệ thống kích từ cụ thể.

### 3. Các hệ thống kích từ.

a) Hệ thống kích từ dùng máy phát điện một chiều.

- Sơ đồ.



Hình 1-1. Sơ đồ hệ thống kích từ dùng máy phát điện một chiều.

- Nguyên lý hoạt động.

Trên sơ đồ: MF là máy phát chính, KT là máy phát kích từ,  $C_{KT}$  là cuộn kích từ của máy phát chính,  $C_1$  là cuộn kích từ chính của máy phát 1 chiều,  $C_2$  và  $C_3$  là cuộn kích từ phụ của máy phát 1 chiều,  $R_{dc}$  điện trở điều chỉnh dòng kích từ máy phát 1 chiều, TĐK là bộ tự động điều chỉnh kích từ.

Để điều chỉnh dòng kích từ máy phát  $I_f$ , thay đổi dòng điện kích từ trong các cuộn kích từ của máy phát điện một chiều. Do đó điện áp phát của máy phát 1 chiều thay đổi dẫn đến thay đổi dòng kích từ của máy phát chính  $I_f$ .

- Biến trở  $R_{dc}$  cho phép điều chỉnh bằng tay dòng điện trong các cuộn dây kích từ chính  $C_1$ .

- Khi thiết bị tự động kích từ làm việc dòng điện trong các cuộn dây  $C_2$  và  $C_3$  được điều chỉnh tự động:

+ Dòng trong cuộn  $C_2$  được điều chỉnh ứng với chế độ làm việc bình thường.

+ Dòng trong cuộn  $C_3$  được điều chỉnh ứng với chế độ kích từ cưỡng bức.

- Năng lượng và tín hiệu điều chỉnh cung cấp cho thiết bị tự động kích từ được nhận qua các máy biến dòng và máy biến điện áp phía đầu cực máy phát điện đồng bộ (hoặc lấy từ thanh góp phía cao áp của máy biến áp tăng).

- Để quay máy phát điện một chiều kích từ, sử dụng năng lượng của chính trục quay của máy phát điện đồng bộ hoặc có thể sử dụng một động cơ điện xoay chiều riêng. Động cơ được cung cấp từ lưới điện tự dùng của nhà máy qua máy biến áp. Các phương án trên có đặc điểm sau:

+ Phương án dùng máy phát điện 1 chiều, nối cùng trục với máy phát điện chính có ưu điểm: đơn giản, tin cậy, giá thành hạ, tốc độ quay ổn định không phụ thuộc vào điện áp của lưới điện tự dùng. Nhược điểm: khi cần sửa chữa máy kích từ, phải dừng máy phát điện đồng bộ, không thay thế được bằng nguồn kích từ dự phòng. Tốc độ quay quá lớn của trục tuabin hơi không thích hợp với máy phát điện một chiều, do đó phương pháp này chỉ dùng cho các máy phát tuabin hơi có công suất nhỏ. Tốc độ trục quay của tuabin nước trong nhà máy thủy điện quá nhỏ cũng hạn chế công suất của máy phát điện kích từ.

+ Phương án dùng động cơ điện xoay chiều có nhược điểm: vận hành phức tạp, giá thành cao, chịu ảnh hưởng của sự thay đổi tần số và điện áp lưới (nhất là trong chế độ sự cố).

- *Ưu nhược điểm.*

+ Hệ thống kích từ không phụ thuộc vào tình trạng làm việc của hệ thống, sơ đồ có cấu tạo và làm việc đơn giản.

+ Nhược điểm chung của hệ thống kích từ dùng máy phát điện một chiều là hằng số thời gian  $T_c$  lớn ( $0,3 \div 0,6$ )s và giới hạn điều chỉnh không cao ( $U_{tgh} \leq 2,0$ ).

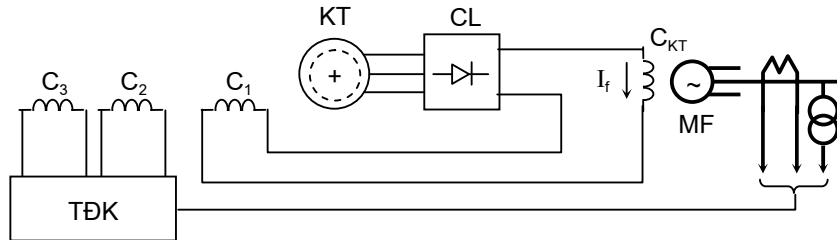
+ Do có vành góp và chổi điện, công suất chế tạo bị hạn chế.

Vì vậy hệ thống kích từ dùng máy phát điện một chiều thường chỉ được áp dụng ở các máy phát điện công suất nhỏ và trung bình.

b) Hệ thống kích từ dùng máy phát điện xoay chiều và chỉnh lưu.

**\* Dùng máy phát điện xoay chiều tần số cao và chỉnh lưu**

Máy phát điện xoay chiều tần số cao được chế tạo theo kiểu cảm ứng: roto không có cuộn dây, cuộn dây kích từ đặt ở phần tĩnh, từ thông thay đổi được nhờ kết cấu rãnh của roto. Sơ đồ thể hiện trên (hình 1-2).



Hình 1-2. Sơ đồ hệ thống kích từ dùng máy phát điện xoay chiều và chỉnh lưu

Cuộn kích từ chính  $C_1$  của máy phát điện kích từ được nối nối tiếp với cuộn kích từ chính  $C_{KT}$  của máy phát chính. Các cuộn kích từ phụ  $C_2$  và  $C_3$  được cung cấp và điều chỉnh qua thiết bị tự động điều chỉnh kích từ với năng lượng lấy từ phía đầu cực của máy phát điện đồng bộ (qua BU và BI).

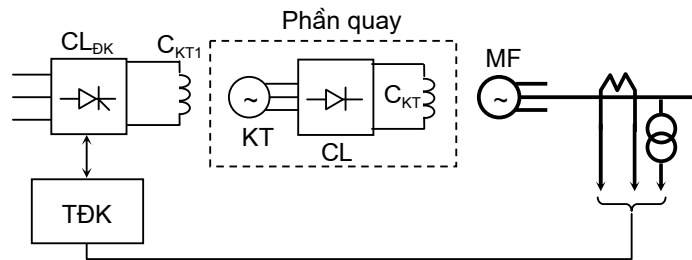
Với 10 rãnh trên bề mặt roto, tần số của dòng điện trong máy phát điện kích từ tần số cao khoảng 500Hz (khi quay cùng trục với máy phát điện đồng bộ tuabin hơi 3000 v/ph). Dòng điện này được chỉnh lưu 3 pha biến đổi thành dòng điện một chiều.

Dùng máy phát điện xoay chiều tần số cao làm nguồn cung cấp, hệ thống kích từ có thể chế tạo được với công suất khá lớn và có thể áp dụng cho các máy phát điện đồng bộ công suất (200÷300)MW. Để cung cấp dòng điện kích từ cho roto của máy phát đồng bộ chủ yếu vẫn dùng vành trượt và chổi điện do đó công suất chế tạo hạn chế.

Hằng số thời gian  $T_e$  và điện áp kích từ giới hạn  $U_{fgh}$  cũng như trong hệ thống kích từ dùng máy phát điện một chiều ( $T_e$  lớn,  $U_{fgh}$  nhỏ).

**\*Dùng máy phát điện xoay chiều không vành trượt:**

Để tăng công suất kích từ có thể áp dụng hệ thống kích từ không vành trượt, sơ đồ thể hiện trên (hình 1-3).



Hình 1-3. Hệ thống kích từ dùng máy phát điện xoay chiều không vành trượt

Trong hệ thống kích từ không vành trượt dùng một máy phát điện xoay chiều ba pha cùng trục với máy phát điện chính làm nguồn cung cấp.

Máy phát xoay chiều kích từ có kết cấu đặc biệt: cuộn kích từ đặt ở stato, còn cuộn dây ba pha đặt ở roto. Dòng điện xoay chiều ba pha tạo ra ở máy phát kích từ được chỉnh lưu thành dòng điện một chiều nhờ một bộ chỉnh lưu công suất lớn gắn ngay trên cực roto của các máy phát. Do đó cuộn dây kích từ của máy phát điện chính  $C_{KT}$  có thể nhận được dòng điện chỉnh lưu không qua vành trượt và chổi điện.

Để cung cấp cho cuộn dây kích từ của máy phát kích từ  $C_{KT1}$  (đặt ở stato) dùng một bộ chỉnh lưu khác  $CL_{ĐK}$  (thường là chỉnh lưu có điều khiển), nguồn cung cấp có thể là máy phát điện xoay chiều tần số cao hoặc nguồn xoay chiều bất kỳ.

Tác động của thiết bị tự động kích từ được đặt trực tiếp vào cửa điều khiển của bộ chỉnh lưu  $CL_{ĐK}$ , làm thay đổi kích từ của máy phát điện kích từ, tương ứng với mục đích điều chỉnh.

**\* Ưu nhược điểm:**

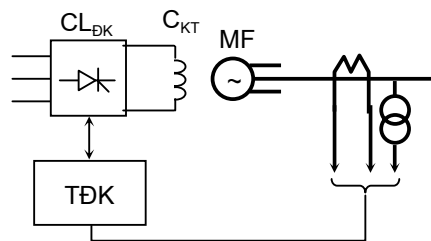
Do không có vành trượt và chổi điện nên công suất chế tạo lớn, hằng số thời gian kích từ  $T_c$  của hệ thống kích từ khá nhỏ (0,1 ÷ 0,15)s, điện áp kích từ giới hạn lớn hơn. Tuy nhiên sơ đồ phức tạp nên giá thành đắt, chế tạo và vận hành phức tạp.



c) Hệ thống kích từ dùng chỉnh lưu có điều khiển (Thyristor).

Xuất phát từ các bài toán đảm bảo ổn định chất lượng điện năng, một yêu cầu kỹ thuật quan trọng là giảm thật nhỏ hằng số thời gian kích từ  $T_c$ .

Hằng số thời gian  $T_c$  này được xác định là hằng số thời gian tương đương của tất cả các khâu: từ tín hiệu ra của thiết bị tự động kích từ đến điện áp kích từ  $U_f$  của máy phát điện đồng bộ và thường khá lớn do quán tính điện từ của máy phát kích từ. Nếu tác động của thiết bị tự động kích từ trực tiếp vào điện áp kích từ  $U_f$  thì hằng số thời gian sẽ giảm đi rất nhiều. Điều này thực hiện được thông qua các loại chỉnh lưu có điều khiển công suất lớn (các chỉnh lưu thủy ngân có cực điều khiển, các bộ Thyristor). Sơ đồ hệ thống kích từ như vậy là rất đơn giản (hình 1-4).



Hình 1-4. Hệ thống kích từ dùng chỉnh lưu có điều khiển

Nguồn điện xoay chiều 3 pha cung cấp cho cuộn dây kích từ của máy phát đồng bộ qua chỉnh lưu có điều khiển  $CL_{ĐK}$  có thể là một máy phát điện xoay chiều 3 pha tần số (50÷500) Hz hoặc máy biến áp tự dòng.

**4. Thiết bị tự động điều chỉnh kích từ, TĐK.**

Các thiết bị thiết bị tự động điều chỉnh kích từ (TĐK) đều hoạt động theo nguyên tắc điều khiển bằng liên hệ ngược (có phản hồi): điện áp kích từ được điều chỉnh theo một quy luật xác định, ứng với sự biến thiên của các thông số chế độ hệ thống nhận được bởi các thiết bị đo lường.

$$U_f = f(\Delta\Pi_i, \Delta\Pi'_i, \Delta\Pi''_i \dots)$$

$$i = 1, 2, \dots, n.$$

Trong đó:  $\Delta\Pi_i, \Delta\Pi'_i, \Delta\Pi''_i \dots$  là độ lệch của các thông số trạng thái hệ thống và các đạo hàm của chúng.

Quan hệ hàm  $f$  xác định bởi kết cấu của thiết bị tự động kích từ có ý nghĩa rất quan trọng, đó là tổ hợp các phép biến đổi tỉ lệ. Để thực hiện những hàm  $f$  phức tạp thường sử dụng những phân tử biến đổi điện tử khác nhau hoặc

máy tính điện tử, số... Hàm f được xác định xuất phát từ yêu cầu đề ra đối với thiết bị tự động kích từ:

- Giữ điện áp đầu cực máy phát điện đồng bộ không đổi (với độ chính xác cần thiết).

- Đảm bảo ổn định tĩnh.

- Nâng cao ổn định động cho hệ thống.

Khả năng đáp ứng các yêu cầu trên của thiết bị tự động kích từ ngoài sự phụ thuộc vào việc lựa chọn cấu trúc của hàm f còn phụ thuộc vào đặc tính của hệ thống kích từ (tốc độ và giới hạn điều chỉnh điện áp), kết cấu của hệ thống điện cụ thể mà nhà máy điện đang tham gia vào.

Cấu tạo và nguyên lý làm việc của thiết bị thiết bị tự động kích từ (xem giáo trình "Tự động hoá trong hệ thống điện").

## V. Hệ thống diệt từ.

### 1. Khái niệm chung.

Khi máy phát điện hoặc máy bù đồng bộ bị cắt đột ngột (tốc độ của máy tăng nhanh), cần phải nhanh chóng làm mất từ trường các cuộn kích từ của chúng để đảm bảo an toàn cho máy.

- Máy phát điện bị ngắn mạch bên trong, máy cắt loại máy phát ra khỏi lưới. Tuy nhiên do quán tính máy phát vẫn quay và vẫn được kích từ. Nếu không làm mất từ trường trong máy, sức điện động vẫn tồn tại, do đó dòng điện ngắn mạch vẫn tồn tại và tiếp tục làm hư hỏng máy.

- Máy phát điện bị cắt đột ngột ra khỏi lưới do sự cố bên ngoài, máy phát mất tải đột ngột sẽ quay với tốc độ cao, nếu không dập tắt nhanh từ trường điện áp trên cực máy phát điện sẽ tăng cao nguy hiểm cho cách điện của máy.

Để giảm nguy hiểm phải giảm dòng điện kích từ ( $I_{kt}$  hoặc  $I_f$ ), tuy nhiên nếu giảm  $I_f$  nhanh dẫn đến  $\frac{\partial I_f}{\partial t}$  lớn, làm cho điện áp cảm ứng  $L_f \frac{\partial I_f}{\partial t}$  lớn. Vì vậy lại xảy ra hiện tượng quá áp cảm ứng.

Cuộn dây kích từ của máy phát đồng bộ có điện cảm rất lớn, nếu cắt mạch đột ngột sẽ gây ra quá điện áp nguy hiểm cho cuộn dây roto và phá huỷ tiếp điểm đóng cắt do tia lửa. Do đó cần có thiết bị riêng để tiêu tán năng lượng từ trường trong máy gọi là hệ thống diệt từ, quá trình tiêu tán năng lượng từ trường của máy gọi là quá trình diệt từ.

Quá trình diệt từ được coi là kết thúc nếu làm giảm được biên độ sức điện động đến trị số 500V. Khi đó tia lửa chỗ cắt mạch có thể dập tắt tự nhiên

không gây ra nguy hiểm. Thời gian để làm giảm trị số sức điện động của máy xuống đến trị số này được gọi là thời gian diệt từ.

**2. Yêu cầu đối với hệ thống diệt từ.**

- Làm việc tin cậy (ít hư hỏng) và ổn định.
- Thời gian diệt từ ngắn.
- Phải có  $U_{f,gh}$  đủ lớn, thường  $U_{f,gh} = (3\div4) \cdot U_{fdm}$ .
- Phải có tốc độ kích từ đủ lớn.

+ Trường hợp chung  $v = 2 \cdot U_{fdm}/s$ .

+ Trường hợp máy phát điện làm việc với đường dây dài, điện áp lớn và tải tăng giảm đột ngột thì  $v = (6\div7) \cdot U_{fdm}/s$ .

- Điện áp xuất hiện trong mạch roto thấp hơn điện áp cho phép, xác định bởi độ bền cách điện. Điện áp này thường được lấy bằng nửa biên độ điện áp thử nghiệm chọc thủng cách điện.

$$U_{cp} = 0,5 \cdot \sqrt{2} U_{tn} \approx 0,7 U_{tn} \tag{1-10}$$

Thông thường  $U_{cp} = (1000\div2500) V$ .

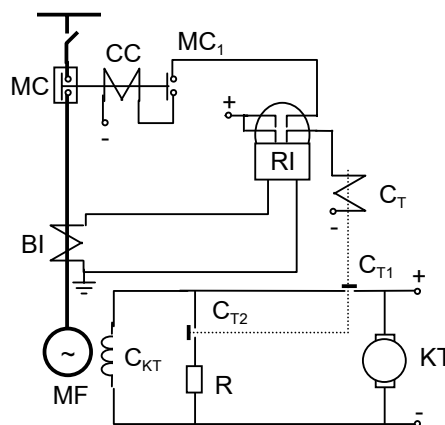
**3. Các hệ thống diệt từ.**

a) Hệ thống diệt từ dùng điện trở.

\* *Sơ đồ nguyên lý.*

Hệ thống diệt từ dùng điện trở (hình 1-5) gồm:

- Điện trở công suất lớn để nối tắt mạch roto, R.
- Công tắc  $C_T$  với 2 tiếp điểm: Tiếp điểm thường đóng  $C_{T1}$  và thường mở  $C_{T2}$ .



Hình 1-5: Sơ đồ Hệ thống diệt từ dùng điện trở.

**\* Nguyên lý làm việc.**

- Trong chế độ làm việc bình thường: Tiếp điểm  $C_{T1}$  của công tắc tơ đóng, tiếp điểm  $C_{T2}$  mở.

- Khi bị sự cố ngắn mạch trong hoặc ngoài, dòng điện của máy phát tăng mạnh. Role RI tác động đi cắt máy cắt đồng thời cấp nguồn cho cuộn dây của công tắc tơ  $C_T$ , tiếp điểm  $C_{T2}$  đóng trước, sau đó tiếp điểm  $C_{T1}$  mở ra (do cấu tạo liên động). Như vậy, cuộn kích từ được nối tắt qua R và mạch roto luôn luôn được khép kín, năng lượng từ trường tiêu tán trên điện trở trong quá trình diệt từ.

- Quá trình quá độ trong mạch roto khi diệt từ (xét máy không cuộn cảm) có thể mô tả bởi phương trình:

$$L_f \cdot \frac{di_f}{dt} + (R + R_f) \cdot i_f = 0 \tag{1-11}$$

Trong đó:

+  $L_f, R_f$  là cảm kháng và điện trở của cuộn dây kích từ.

+  $i_f$  là dòng điện chạy trong cuộn kích từ.

Giải phương trình (1-11) ta có nghiệm:

$$i_f(t) = i_{f(0)} \cdot e^{-\frac{t}{T_e}}$$

Trước khi xảy ra sự cố, dòng trong mạch kích từ được xác định là:

$$i_{f(0)} = \frac{U_{f(-0)}}{R_f}$$

Do đó:

$$i_f(t) = \frac{U_{f(-0)}}{R_f} \cdot e^{-\frac{t}{T_e}} \tag{1-12}$$

Trong đó:

$$T_e = \frac{L_f}{R + R_f}$$

Điện áp giữa hai cực của cuộn dây roto:

$$U_f(t) = i_f \cdot R = \frac{R}{R_f} \cdot U_{f(-0)} \cdot e^{-\frac{t}{T_e}} \tag{1-13}$$

Thời điểm bắt đầu cắt tiếp điểm  $C_{T1}$  ( $t = 0$ ) điện áp này có trị số lớn nhất và bằng:

$$U_{f(+0)} = \frac{R}{R_f} \cdot U_{f(-0)} \tag{1-14}$$

Từ biểu thức (1-12, 1-13) ta thấy, để giảm nhanh dòng điện và điện áp kích từ thì hằng số thời gian  $T_c$  nhỏ, dẫn tới  $R$  phải lớn. Vậy, muốn diệt từ nhanh thì giá trị điện trở  $R$  lớn.

Tuy nhiên khi  $R$  lớn, từ biểu thức (1-14) ta thấy điện áp kích từ tại thời điểm bắt đầu diệt từ rất lớn, gây ra hiện tượng quá áp lớn. Vì vậy, có thể chọn trị số của điện trở  $R$  sao để điện áp xuất hiện trong quá trình diệt từ nhỏ hơn điện áp cho phép. Thường lấy  $R = (3 \div 5)R_f$  khi đó thời gian diệt từ khoảng vài giây.

Nhưng nếu  $R$  càng nhỏ thì hằng số thời gian tắt dần của quá trình quá độ sẽ càng lớn, nghĩa là quá trình diệt từ bị kéo dài.

**\* Nhận xét.**

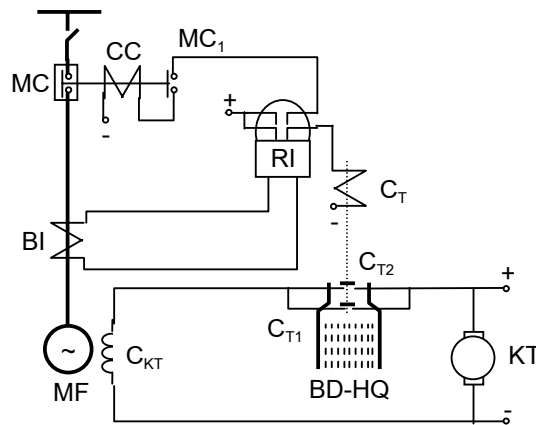
- Sơ đồ đơn giản, rẻ tiền.
- Vận hành dễ đơn giản.
- Để đảm bảo điện áp xuất hiện nhỏ hơn điện áp cho phép, thời gian diệt từ thường lớn.

Với những ưu nhược điểm trên, thiết bị diệt từ dùng điện trở được áp dụng đối với các máy phát công suất nhỏ, ứng với hệ thống kích từ dùng máy phát điện một chiều.

*b) Hệ thống diệt từ dùng buồng dập hồ quang.*

**\* Sơ đồ.**

Hệ thống này không dùng điện trở nối tắt mạch roto mà dùng buồng dập hồ quang (BD-HQ) đặt tại vị trí các tiếp điểm đóng cắt của công tắc tơ (hình 1-6). Bộ phận chính của buồng dập hồ quang là các phiến kim loại đặt song song, cách điện với nhau và các cuộn dây tạo ra từ trường mạnh trong khu vực tia lửa điện.



Hình 1-6: Sơ đồ Hệ thống diệt từ dùng buồng dập hồ quang.

**\* Nguyên lý làm việc.**

Khi có tín hiệu diệt từ, tiếp điểm  $C_{T2}$  mở ra trước, sau đó mở tiếp điểm  $C_{T1}$  trong buồng dập tắt hồ quang (liên động). Khi tiếp điểm  $C_{T1}$  mở mạch mới được cắt, tia lửa xuất hiện. Nhờ có các cuộn dây tạo từ trường mạnh, tia lửa hồ quang bị kéo về phía các phiến kim loại. Ở đây, hồ quang được chia thành những đoạn ngắn, truyền nhiệt cho các phiến kim loại, nguội đi và bị dập tắt nhanh chóng.

Phương trình vi phân mô tả quá trình quá độ điện từ trong mạch:

$$L_f \cdot \frac{di_f}{dt} + R_f \cdot i_f + U_{hq} = U_{f,dc} \quad (1-15)$$

Trong đó:  $U_{f,dc}$  là điện áp đầu cực máy kích từ, điện áp này có thể coi là không đổi vì máy vẫn quay theo quán tính.

Trước lúc có tín hiệu diệt từ, tiếp điểm  $C_{T1}$  và  $C_{T2}$  đóng nên:  $U_{f,dc} = U_{f(-)}$ .

Khi diệt từ, điện áp rơi trên buồng dập hồ quang có thể coi không đổi. Vì vậy, điện áp đặt lên cuộn kích từ  $U_f = U_{f,dc} - U_{hq}$  cũng không đổi.

Khi đó, phương trình vi phân quá trình quá độ có dạng tuyến tính cấp I hệ số hằng như sau:

$$L_f \cdot \frac{di_f}{dt} + R_f \cdot i_f = U_{f,dc} - U_{hq} = U_f \quad (1-16)$$

Giải ra ta có:

$$i_f(t) = \frac{U_{f,dc} - U_{hq}}{R_f} + \frac{U_{hq}}{R_f} \cdot e^{-\frac{t}{T_e}} \quad (1-17)$$

Với:  $T_e = \frac{L_f}{R_f}$

Ta thấy, trong mạch xuất hiện điện áp rơi trên thiết bị dập hồ quang  $U_{hq}$ , vì vậy điện áp kích từ giảm nhanh dẫn đến dòng điện kích từ cũng giảm nhanh.

Tốc độ biến thiên của dòng điện kích từ:

$$\frac{di_f}{dt} = -\frac{U_{hq}}{R_f} \cdot \frac{1}{T_e} = -\frac{U_{hq}}{L_f} \quad (1-18)$$

Nếu  $U_{hq}$  càng lớn thì tốc độ biến thiên dòng điện càng lớn, nghĩa là dòng điện kích từ giảm càng nhanh. Khi dòng điện này đi qua trị số 0, hồ quang tắt (do không còn năng lượng duy trì sự cháy) và mạch kích từ được cắt, điện áp ở mạch roto cũng đột ngột giảm xuống đến 0, quá trình diệt từ kết thúc.

Điện áp lớn nhất trong mạch roto có giá trị là:

$$U_f = U_{hq} - U_{f,dc}$$

Do đó, điều kiện an toàn cho cách điện là:

$$U_f \leq U_{cp} \quad \text{nghĩa là} \quad U_{hq} - U_{f,dc} \leq U_{cp}$$

Hay: 
$$U_{hq} \leq U_{cp} + U_{f,dc} \quad (1-19)$$

Ta thấy, để điện áp hồ quang xuất hiện có trị số nhỏ, số phiến kim loại trong buồng dập tắt hồ quang phải ít. Tuy nhiên, khi đó việc dập tắt hồ quang sẽ khó khăn hơn do đó cần có từ trường của cuộn dây lớn.

Thời gian diệt từ càng ngắn đòi hỏi tốc độ giảm dòng kích từ càng nhanh, điều này lại đòi hỏi  $U_{hq}$  có trị số lớn.

Để thoả mãn các yêu cầu trên, lựa chọn  $U_{hq}$  có trị số lớn nhất có thể, nghĩa là chọn theo điều kiện cho phép (1-19).

**\* Nhận xét.**

- Sơ đồ sử dụng buồng dập hồ quang, nên đòi hỏi tính toán khả năng dập hồ quang của buồng dập hồ quang chính xác.

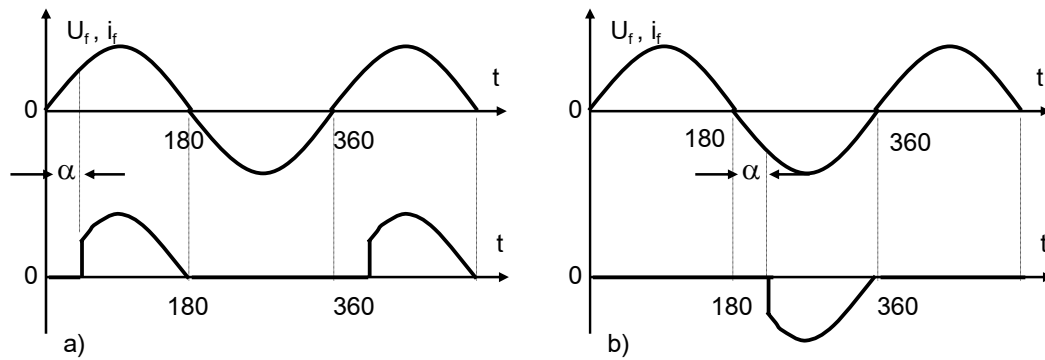
- Thời gian diệt từ nhanh. Thông thường, khi dùng phương pháp diệt từ này thời gian diệt từ nhỏ (nhỏ hơn từ 4÷6 lần so với áp dụng thiết bị diệt từ dùng điện trở).

Vì vậy, thiết bị được áp dụng cho các máy phát điện công suất lớn.

*c) Hệ thống diệt từ bằng hệ thống kích từ dùng chỉnh lưu có điều khiển.*

Diệt từ có thể được thực hiện rất đơn giản bằng cách chuyển hệ thống chỉnh lưu sang làm việc ở chế độ ngược. Nghĩa là, tạo ra một điện áp kích từ ngược chiều kích từ thông thường vì vậy điện áp trong mạch kích từ được dập tắt nhanh chóng, dẫn đến dòng điện kích từ sẽ giảm rất nhanh.

Khi làm việc bình thường Thyristor được điều khiển với góc mở  $\alpha < 180^\circ$ . Khi thực hiện diệt từ Thyristor được điều khiển với góc mở  $\alpha > 180^\circ$ . Khi dòng điện trong mạch đi qua trị số 0, các Thyristor tự động làm hở mạch (vì điện áp trở nên ngược chiều). Giảm độ điện áp và dòng điện khi kích từ thể hiện trên (hình 1-7a) và khi diệt từ thể hiện trên (hình 1-7b).



Hình 1-7: Đặc tính dòng và áp khi diết từ bằng Thyristor.

### VI. Chế độ làm việc bình thường của máy phát điện đồng bộ.

Trong chế độ làm việc bình thường các thông số của máy phát điện như: Công suất tác dụng P, Công suất phản kháng Q, hệ số công suất  $\cos\varphi$ , dòng điện phần tĩnh (trong stato) I và dòng điện kích từ (trong roto)  $I_f$  luôn thay đổi theo phụ tải, tuy nhiên luôn nằm trong phạm vi cho phép.

Với dòng điện kích từ của máy phát  $I_f$ , máy phát có sức điện động  $E_q$  tỷ lệ với  $I_f$ . Khi máy phát có tải, tại đầu cực của máy phát có điện áp U lệch pha so với  $E_q$  1 góc  $\delta$  phụ thuộc vào tính chất của phụ tải.

- Khi tải mang tính cảm  $E_q$  vượt trước U, do đó góc lệch pha  $\delta > 0$ .
- Khi tải mang tính dung  $E_q$  chậm sau U, do đó góc lệch pha  $\delta < 0$ .

Trong chế độ bình thường.

$$M_{cơ} = M_{điện} \text{ do đó trên trục } M_{thừa} = M_{cơ} - M_{điện} = 0$$

Khi đó, tốc độ góc của roto  $\omega_R$  bằng với tốc độ góc đồng bộ  $\omega_{đb}$ . Vì vậy, góc lệch pha  $\delta$  luôn không đổi.

Trong chế độ bình thường máy phát điện phát công suất tác dụng P và công suất phản kháng Q, khi vận hành muốn thay đổi công suất của máy phát ta làm như sau:

- Nếu thay đổi công suất tác dụng P, thì phải thay đổi công suất cơ nghĩa là tăng hơi hoặc nước vào tuabin vì P là năng lượng hữu ích (năng lượng hữu ích có thể chuyển hoá thành các dạng năng lượng khác).
- Nếu thay đổi công suất phản kháng Q thì chỉ cần thay đổi kích từ  $I_f$  (vì Q để tạo nên từ trường truyền tải năng lượng).



## VII. Chế độ làm việc không bình thường của máy phát điện đồng bộ.

### 1. Chế độ quá tải.

Các trường hợp làm máy phát quá tải bao gồm:

- Khi ngắn mạch, tạo ra dòng điện lớn trong máy phát.
- Khi mở máy các động cơ công suất lớn với hệ số mở máy lớn, dẫn đến dòng điện qua máy phát lớn.
- Khi xảy ra hiện tượng kích thích cưỡng bức, làm dòng điện kích từ tăng mạnh dẫn đến tăng mạnh điện áp của máy phát.
- Khi mất đồng bộ, dẫn đến mômen điện lớn hơn mômen cơ.
- Khi công suất của phụ tải tăng mạnh, dẫn đến công suất điện lớn hơn công suất cơ nghĩa là mômen điện lớn hơn mômen cơ.

### 2. Chế độ làm việc không đồng bộ.

Khi xảy ra chế độ không đồng bộ (mất đồng bộ), tốc độ góc của roto và tốc độ góc đồng bộ khác nhau.

$$\omega_R \neq \omega_{db} \text{ do } M_{cơ} \neq M_{điện}$$

Do đó  $M_{thừa} = M_{cơ} - M_{điện} \neq 0$  do  $M_{điện}$  thay đổi.

Mô men điện thay đổi là do:

- + Công suất phụ tải  $P$  thay đổi, dẫn đến  $U$  thay đổi.
- + Sức điện động của máy phát  $E_q$  thay đổi.
- Xét trường hợp  $E_q = 0$ , tức là khi mất kích thích  $I_f = 0$ . Khi đó  $M_{điện} = 0$ .

Vì vậy:

$$M_{thừa} = M_{cơ} - M_{điện} = M_{cơ} > 0 \quad (1-20)$$

Giá trị này rất lớn, khi đó roto được gia tốc rất nhanh làm cho  $\omega_R > \omega_{db}$  tương ứng máy phát mất đồng bộ.

- Khi xảy ra quá tải  $P_{điện} > P_{cơ}$  khi đó ta có:

$$M_{thừa} = M_{cơ} - M_{điện} < 0 \quad (1-21)$$

Vì vậy, tốc độ của máy phát giảm dần, tương ứng  $\omega_R < \omega_{db}$  làm mất đồng bộ máy phát.

### 3. Chế độ không đối xứng.

- Chế độ đối xứng khi:

- +  $|U_A| = |U_B| = |U_C| = |U_f|$  góc lệch pha liên tiếp =  $120^\circ$ .
- +  $|I_A| = |I_B| = |I_C| = |I_f|$  góc lệch pha liên tiếp =  $120^\circ$ .
- + Góc lệch pha giữa  $(U, I) = \varphi = \text{Const}$  phụ thuộc vào tính chất của phụ tải.

Máy phát điện chế tạo để làm việc trong chế độ đối xứng, tuy nhiên máy phát điện sẽ làm việc ở chế độ không đối xứng khi vi phạm 1 trong 3 điều kiện trên bởi các nguyên nhân sau:

+ Do phụ tải mất đối xứng: Tải 1 pha (hàn điện, vận tải điện...), tải 3 pha không đối xứng (hiệu quả 3 pha không đồng nhất)...

+ Do ngắn mạch không đối xứng như: ngắn mạch 1 pha, 2 pha, 2 pha chạm đất.

+ Do một số chế độ làm việc đặc biệt như: 2 pha, chế độ không toàn pha.

Khi xuất hiện chế độ làm việc không đối xứng bằng phương pháp các thành phần đối xứng, ta thấy trong máy phát điện có dòng thứ tự thuận, dòng thứ tự nghịch hay dòng điện thứ tự không tùy thuộc vào chế độ mất đối xứng cụ thể.

+ Dòng thứ tự thuận có tính chất như dòng phụ tải khi làm việc bình thường.

+ Dòng thứ tự nghịch có chiều quay của các pha ngược chiều với vận tốc góc đồng bộ  $\omega_{db}$  tương ứng với tần số là  $2f$ . Do đó trong roto có dòng điện cảm ứng  $I_{cr}$  tần số  $2f$ . Dòng điện này gây phát nóng roto mạnh vì hiệu ứng nhiệt lớn và gây mômen đổi dấu (dao động) dẫn đến đập mạch làm rung roto.

#### **4. Chế độ làm việc của máy phát điện đồng bộ như máy bù đồng bộ.**

*a) Nguyên tắc thực hiện.*

Khi các nhà máy điện không thể phát công suất vào lưới như hư hỏng tuabin, thiếu nhiên liệu... có thể cho máy phát điện làm việc ở chế độ máy bù đồng bộ để giảm tổn thất công suất với điều kiện điều chỉnh máy phát ở chế độ quá kích thích. Trong các trường hợp sau:

- Nhà máy Nhiệt điện:

+ Do tuabin hỏng hoặc đại tu tuabin lâu dài.

+ Do đặc tính năng lượng phần nhiệt xấu, do đó tổn kém nhiên liệu và không kinh tế.

- Nhà máy Thủy điện:

+ Do tuabin hỏng hoặc đại tu tuabin lâu dài.

+ Trong mùa khô thiếu nước.

b) Chế độ làm việc của máy phát điện như máy bù đối với Nhà máy Nhiệt điện.

- Nếu tuabin không hư hỏng, máy phát điện được nối với tuabin và được khởi động bằng tuabin.

- Nếu tuabin bị hư hỏng, khởi động máy phát như động cơ đồng bộ.

c) Chế độ làm việc của máy phát điện như máy bù đối với Nhà máy Thủy điện.

- Khi máy phát còn nối với tuabin, Bất buộc máy phát điện phải phát  $P = P_{\min}$ . Nếu  $P = 0$  làm cho tuabin quay trong không khí, dẫn đến nóng quá nhiệt độ cho phép làm hư hỏng tuabin. Khi máy phát phát công suất do có nước qua tuabin đủ để làm mát tuabin.

- Khi máy phát không còn tuabin, khởi động máy phát như động cơ đồng bộ.

**5. Chế độ cộng hưởng tần số thấp của máy phát điện đồng bộ.**

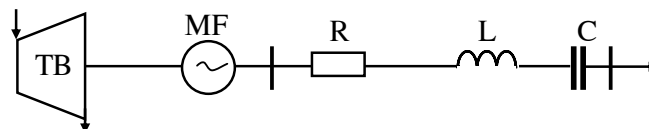
Ta có tần số của dòng điện trong hệ thống là  $f = 50\text{Hz}$ , do đó tần số đồng bộ của máy phát điện cũng như tuabin là  $f_{\text{db}} = 50\text{Hz}$ . Vì vậy, để tránh cộng hưởng tần số cao tần số riêng của trục roto máy phát điện hay tuabin phải nằm trong khoảng:

$$f_{r.MF} = f_{r.TB} = (10 \div 40)\text{Hz}$$

Trong đó:  $f_{r.MF}$  và  $f_{r.TB}$  là tần số riêng của trục máy phát hoặc tuabin do nhà chế tạo cung cấp.

Trong thực tế hiện nay, do lưới điện cao áp và siêu cao áp có thiết bị bù dọc (bù nối tiếp), nên có khả năng xuất hiện hiện tượng cộng hưởng tần số thấp ( $f = 15\text{ Hz}$ ).

Xét một mạch có bù nối tiếp như (hình 1-8).



Hình 1-8: Sơ đồ đấu máy phát điện với đường dây có bù.

R, L là thông số đường dây - C là tụ bù dọc

Nếu trong lưới xuất hiện dòng với tần số nhiễu xuất hiện ngẫu nhiên là:

$$f_n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Dòng điện với tần số  $f_n$  chạy trong cả ba pha máy phát điện tạo nên từ trường quay nhiễu  $\Phi_n$  với vận tốc  $\omega_n = 2\pi f_n$ .  $\Phi_n$  quét roto với vận tốc  $\omega_{db} \pm \omega_n$ , do đó trong roto có dòng điện với tần số  $f_{db} \pm f_n$ .

Nếu tần số riêng của máy là:  $f_r = f_{db} - f_n$  thì có hiện tượng cộng hưởng tần số thấp dẫn đến roto bị rung có thể làm trục roto bị gãy.

Để tránh hiện tượng này, khi xuất hiện hiện tượng cộng hưởng cần thực hiện điều chỉnh  $f_r$  hoặc  $f_n$  sao cho  $f_r \neq f_{db} - f_n$ . Tuy nhiên việc thực hiện điều chỉnh  $f_r$  gặp nhiều khó khăn và không thực hiện được (chỉ thực hiện được khi chế tạo), vì vậy chỉ thực hiện điều chỉnh  $f_n$  bằng cách đóng vào mạch stato máy phát mạch chống nhiễu (chủ yếu là R và L).

## □ 1.2 MÁY BIẾN ÁP ĐIỆN LỰC

### I. Thông số của máy biến áp.

#### 1. Công suất định mức, $S_{dm}$ .

Là công suất lớn nhất có thể liên tục truyền tải qua máy biến áp trong suốt thời gian phục vụ, ứng với các điều kiện tiêu chuẩn là: điện áp định mức, tần số định mức và nhiệt độ môi trường định mức. Công suất máy biến áp và máy biến áp tự ngẫu một pha bằng 1/3 công suất của máy biến áp và máy biến áp tự ngẫu ba pha tương ứng.

#### 2. Điện áp định mức, $U_{dm}$ .

- Điện áp định mức của cuộn dây sơ cấp máy biến áp: là điện áp giữa các pha phía sơ cấp khi cuộn dây thứ cấp hở mạch và có điện áp bằng điện áp định mức phía thứ cấp.

- Điện áp định mức của cuộn dây thứ cấp máy biến áp: là điện áp giữa các pha phía thứ cấp khi không tải mà điện áp trên cực cuộn dây sơ cấp bằng điện áp định mức sơ cấp.

#### 3. Hệ số biến áp, $k$ .

Được xác định bằng tỷ số giữa điện áp định mức của cuộn dây cao áp với điện áp định mức của cuộn dây hạ áp.

$$k = \frac{U_{C.dm}}{U_{H.dm}}$$

Hệ số biến áp của máy biến áp ba cuộn dây được xác định theo từng cặp cuộn dây tương ứng:

$$k_{C-H} = \frac{U_{C.dm}}{U_{H.dm}}; \quad k_{C-T} = \frac{U_{C.dm}}{U_{T.dm}}; \quad k_{T-H} = \frac{U_{T.dm}}{U_{H.dm}}$$

#### 4. Dòng điện định mức của cuộn dây sơ cấp và thứ cấp máy biến áp.

Được xác định theo công suất và điện áp định mức.

$$I_{C.dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3} \cdot U_{C.dm}}; \quad I_{T.dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3} \cdot U_{T.dm}}; \quad I_{H.dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3} \cdot U_{H.dm}}$$

#### 5. Điện áp ngắn mạch, $U_N$ .

Là điện áp ngắn mạch khi thí nghiệm nối ngắn mạch cuộn dây thứ cấp và đặt vào cuộn sơ cấp điện áp  $U_N$  sao cho dòng điện trong cuộn dây MBA bằng giá trị định mức. Thường được biểu diễn bằng phần trăm của điện áp định mức.

$$U_N \% = \frac{U_N}{U_{dm}} \cdot 100$$

Trị số điện áp ngắn mạch  $U_N$  phụ thuộc vào công suất, điện áp định mức của máy biến áp và thay đổi trong phạm vi rộng.

+ Từ (4,5÷5,5)% đối với máy biến áp công suất nhỏ, điện áp (10÷35) kV.

+ Từ (12÷14)% đối với máy biến áp công suất lớn, điện áp (220 ÷500) kV.

**6. Dòng không tải,  $i_{kt}$  hay  $i_0$ .**

Là dòng điện chạy trong máy biến áp khi không tải, dòng điện này có tác dụng từ hoá lõi thép MBA. Thường trị số dòng không tải tính theo phần trăm dòng định mức của máy biến áp.

$$i_0 \% = \frac{i_o}{i_{dm}} . 100$$

Trị số dòng điện không tải giảm khi công suất và điện áp định mức của máy biến áp tăng.

+ Đối với máy biến áp (10÷35) kV,  $i_0 = (2,0÷2,5)\%$ .

+ Đối với máy biến áp (200÷500) kV,  $i_0 = (0,5÷0,3)\%$ .

**7. Tổn thất công suất không tải,  $\Delta P_0$ .**

Là tổn thất công suất tác dụng trong máy biến áp khi không tải, xác định bằng thí nghiệm (nhà chế tạo cho).

**8. Tổn thất công suất ngắn mạch,  $\Delta P_N$ .**

Là tổn thất công suất khi thí nghiệm nối ngắn mạch cuộn dây thứ cấp và đặt vào cuộn sơ cấp điện áp  $U_N$  sao cho dòng điện trong cuộn dây MBA bằng giá trị định mức. Tổn thất công suất trong máy biến áp khi đó gọi là tổn thất công suất ngắn mạch.

**II. Làm mát máy biến áp.**

Khi máy biến áp làm việc, tổn hao năng lượng trong mạch từ và trong các cuộn dây biến thành nhiệt năng đốt nóng các phần tử trong máy biến áp. Để đảm bảo độ bền cách điện và thời gian phục vụ cần hạn chế sự phát nóng của máy biến áp và giữ cho nhiệt độ của máy biến áp nằm trong giới hạn cho phép.

**1. Máy biến áp kiểu khô.**

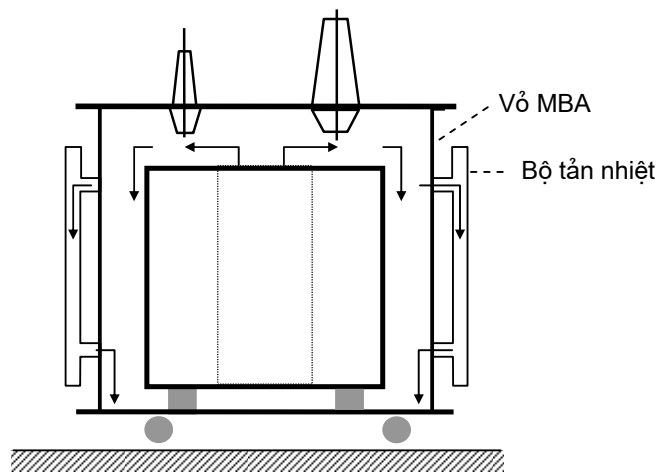
Máy biến áp khô, nhiệt lượng được toả ra bằng luồng không khí tự nhiên ở xung quanh máy biến áp. Phương pháp làm mát như vậy chỉ đạt yêu cầu cho những máy biến áp < 750 kVA với điện áp thứ cấp 220/127 V và 380/220 V. Tuy nhiên với cách điện đặc biệt, được tăng cường bằng các khí trơ cách điện nhưng dẫn nhiệt tốt có thể chế tạo máy biến áp đến 1000 kVA với điện áp 10 kV.

Ưu điểm của máy biến áp khô: cấu tạo đơn giản, an toàn vì không có dầu làm mát và được sử dụng rộng rãi khi đặt trong nhà.

Nhược điểm của máy biến áp khô: giá thành đắt, lớn hơn (3÷3,5) lần giá thành máy biến áp dầu có cùng công suất. Do đó, với máy biến áp có công suất lớn điện áp cao thường dùng phương pháp làm mát bằng dầu.

**2. Làm mát máy biến áp bằng dầu đối lưu tự nhiên.** (Hệ thống làm mát kiểu M).

Phần lớn các máy biến áp được làm mát bằng dầu cách điện tuần hoàn do đối lưu tự nhiên bên trong thùng (thùng có vỏ trơn, có gợn sóng, có ống dẫn hoặc có những bộ tản nhiệt) (hình 1-9).



Hình 1-9. Làm mát máy biến áp bằng dầu đối lưu tự nhiên.

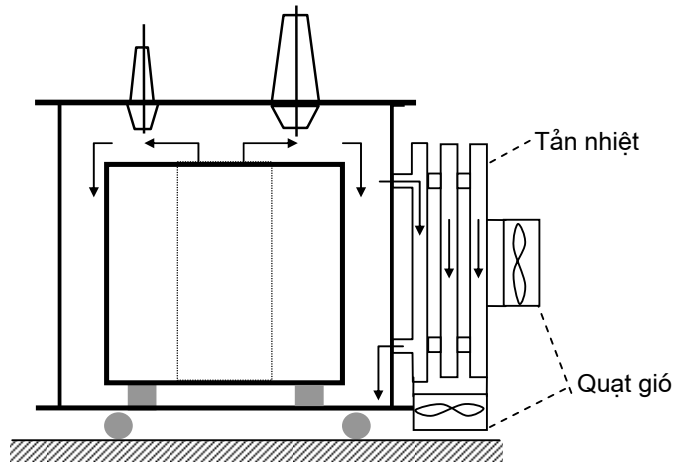
Hiệu quả của hệ thống làm mát bằng dầu đối lưu tự nhiên thấp, thùng có bề mặt trơn chỉ thích hợp cho những máy biến áp công suất nhỏ (máy biến áp do Liên Xô chế tạo công suất định mức đến 25 kVA). Khi bề mặt làm mát có dạng ống tản nhiệt thì công suất định mức của máy biến áp có thể chế tạo đến 1600kVA.

Công suất giới hạn của máy biến áp được làm mát bằng dầu tự nhiên có thể đạt (10÷16) MVA nếu tăng cường những bộ tản nhiệt có cấu trúc phức tạp.

Loại máy biến áp làm mát bằng dầu đối lưu tự nhiên là loại cơ bản và thường dùng làm chuẩn để đánh giá công suất và giá thành những loại máy biến áp khác.

**3. Làm mát máy biến áp bằng dầu đối lưu tự nhiên có quạt gió.** (Hệ thống làm mát  $\Delta$ ).

Hệ thống làm mát kiểu này dựa trên cơ sở làm mát kiểu M có đặt quạt gió để tăng cường độ tản nhiệt trên bề mặt thiết bị làm mát (hình 1-10). Do vậy có thể tăng công suất mang tải của máy biến áp.



Hình 1-10. Làm mát máy biến áp bằng dầu cưỡng bức.

Khi nhiệt độ không khí thấp hoặc phụ tải của máy biến áp nhỏ để giảm tiêu tốn điện năng cho bộ phận làm mát có thể cắt một số quạt, mở và tắt quạt có thể thực hiện tự động. Máy biến áp làm mát kiểu này, có thể làm việc ngay cả khi cắt hoàn toàn quạt gió, nhưng phụ tải cần phải giảm đi  $(25\div 30)\%S_{dm}$ .

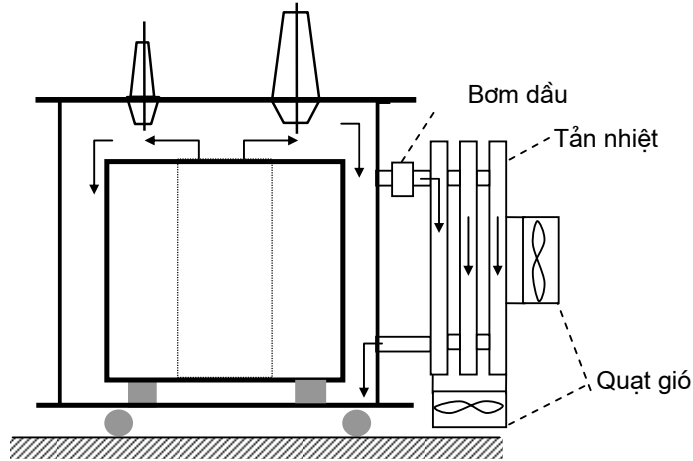
Hệ thống làm mát kiểu này chỉ có thể đảm bảo tản nhiệt cho các máy biến áp công suất  $< 80$  MVA.

**4. Làm mát máy biến áp bằng tuần hoàn cưỡng bức dầu và không khí.** (Hệ thống làm mát  $\Delta\Delta$ ).

Để làm mát cho các máy biến áp công suất lớn (thường  $> 80$ MVA) thường sử dụng hệ thống làm mát bằng tuần hoàn cưỡng bức bằng dầu và không khí. Hệ thống làm mát tương tự làm mát bằng dầu tuần hoàn tự nhiên nhưng có thêm bơm dầu cưỡng bức để nâng cao khả năng tuần hoàn của dầu (hình 1-11).

Máy biến áp làm mát bằng dầu và không khí tuần hoàn cưỡng bức chỉ được làm việc khi các quạt gió và bơm dầu tuần hoàn đều hoạt động. Số lượng quạt làm việc có thể thay đổi phụ thuộc tải và nhiệt độ dầu của máy biến áp. Tiêu thụ điện năng của hệ thống làm mát lớn hơn  $(2\div 3)$  lần hệ thống  $\Delta$ .



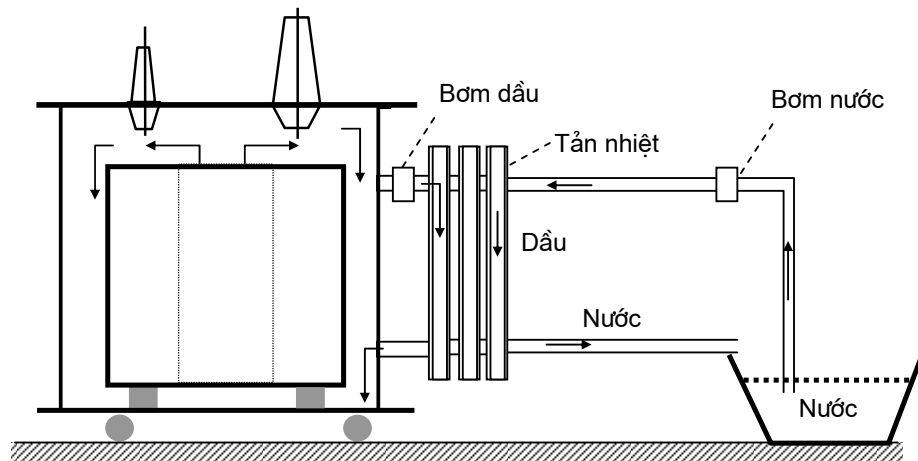


Hình 1-11. Làm mát máy biến áp bằng cường bức dầu và không khí.

**5. Làm mát bằng dầu và nước. (Hệ thống làm mát U).**

Làm mát bằng dầu và nước được dùng cho các máy biến áp có công suất lớn đặc biệt.

Bơm ly tâm được nối với thùng máy biến áp, bơm này hút dầu nóng từ phía trên của thùng ra và đẩy dầu qua bộ phận làm mát. Từ bộ phận làm mát dầu quay trở lại ở phần dưới của thùng. Nước làm mát chạy trong các ống của bộ phận làm mát dầu bởi bơm ly tâm, với áp lực chuyển động thấp hơn áp lực chuyển động của dầu khoảng  $0,2 \cdot 10^3$  ata để nước không thể xâm nhập vào hệ thống dầu khi bộ phận làm mát bị thủng (hình 1-12).



Hình 1-12. Làm mát máy biến áp cường bức bằng dầu và nước.

Máy biến áp làm mát kiểu U chỉ có thể làm việc khi bộ phận làm mát làm việc vì chỉ riêng bề mặt trơn của vỏ thùng không đủ làm mát ngay cả khi không tải.

Trong điều kiện làm việc bình thường nhiệt độ cho phép cực đại của nước làm mát là  $+25^{\circ}\text{C}$ . Nếu nước làm mát lớn hơn  $+25^{\circ}\text{C}$  là  $1^{\circ}\text{C}$  trong 24 giờ thì phải giảm tải 1% so với định mức. Làm mát loại này đắt và ít thuận tiện trong vận hành, vì vậy chỉ dùng cho máy biến áp rất lớn.

### III. Chế độ nhiệt của máy biến áp.

Khi làm việc, tổn thất trong máy biến áp sẽ biến thành nhiệt năng làm tăng nhiệt độ của máy biến áp và toả nhiệt ra môi trường xung quanh. Nguồn nhiệt chủ yếu toả ra từ các cuộn dây, do tổn hao trong cuộn dây (chiếm khoảng 80% tổng tổn hao).

Nhiệt độ điểm nóng nhất của cuộn dây cho phép cao hơn nhiệt độ trung bình của nó là  $13^{\circ}\text{C}$ . Như vậy, nhiệt độ trung bình của cuộn dây trong điều kiện vận hành định mức bằng  $85^{\circ}\text{C}$ .

Đối với máy biến áp khô độ tăng nhiệt độ cho phép phụ thuộc vào cấp cách điện sử dụng.

#### 1. Chế độ nhiệt của máy biến áp.

- Sự truyền nhiệt trong máy biến áp được thực hiện bằng dẫn nhiệt, bức xạ nhiệt và đối lưu nhiệt. Phân bố tăng nhiệt độ từ cuộn dây đến môi trường không khí xung quanh của máy biến áp dầu thể hiện trên (hình 1-13).

+ Đoạn 1-2 biểu thị sự giảm nhiệt độ trong cuộn dây, không vượt quá vài độ.

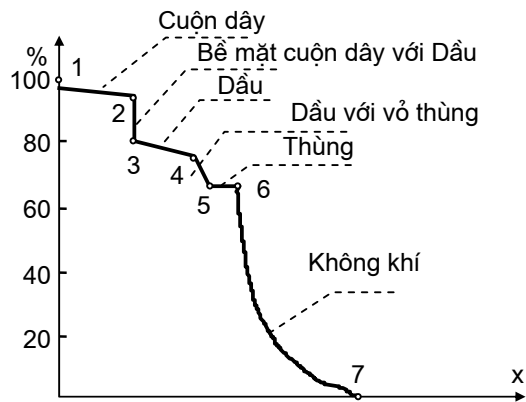
+ Đoạn 2-3 biểu thị sự thay đổi nhiệt độ từ bề mặt cuộn dây đến lớp dầu tiếp giáp, chủ yếu là bằng đối lưu nhiệt. Sự giảm nhiệt độ ở đây bằng (20÷30)% tổng độ tăng nhiệt độ của cuộn dây so với nhiệt độ không khí.

+ Đoạn 3-4 là sự giảm nhiệt độ trong dầu máy biến áp.

+ Đoạn 4-5 là sự giảm nhiệt độ từ lớp dầu tiếp giáp với thành thùng, quá trình truyền nhiệt này cũng được thực hiện bằng đối lưu nhiệt.

+ Đoạn 5-6 đặc trưng cho sự giảm nhiệt độ trong thành thùng máy biến áp, nó không lớn lắm, không vượt quá (2÷3)  $^{\circ}\text{C}$ .

+ Đoạn 6-7 biểu thị sự giảm nhiệt độ từ thành thùng dầu đến môi trường xung quanh (không khí). Quá trình truyền nhiệt này được thực hiện bằng đối lưu nhiệt và bức xạ nhiệt. Nhiệt giáng trong đoạn này chiếm khoảng (60÷70)% nhiệt giáng tổng.



Hình 1-13: Phân bố nhiệt độ từ cuộn dây đến không khí của MBA dầu

Nhiệt độ của dầu và cuộn dây máy biến áp cũng tăng theo chiều cao của máy biến áp. Khi tính toán gần đúng có thể xem sự thay đổi độ tăng nhiệt độ tuyến tính với chiều cao của máy biến áp.

- Độ tăng nhiệt độ của máy biến áp có hệ thống làm mát M trong điều kiện vận hành định mức:

- + Nhiệt độ nóng nhất của dầu (lớp trên cùng) bằng khoảng 55<sup>0</sup>C.
- + Độ tăng nhiệt độ trung bình của dầu bằng khoảng 44<sup>0</sup>C.
- + Độ tăng nhiệt độ trung bình của cuộn dây bằng khoảng 65<sup>0</sup>C.
- + Độ tăng nhiệt độ của cuộn dây so với nhiệt độ của dầu bằng khoảng 23<sup>0</sup>C.
- + Độ tăng nhiệt độ điểm nóng nhất của cuộn dây so với nhiệt độ của dầu bằng khoảng 23<sup>0</sup>C và so với không khí xung quanh bằng 55<sup>0</sup>C + 23<sup>0</sup>C = 78<sup>0</sup>C.

Như vậy, nhiệt độ điểm nóng của cuộn dây trong điều kiện vận hành định mức sẽ là 78<sup>0</sup>C + 20<sup>0</sup>C = 98<sup>0</sup>C (nhiệt độ môi trường khoảng 20<sup>0</sup>C). Với nhiệt độ này máy biến áp có thể làm việc trong suốt thời gian phục vụ của nó.

- Độ tăng nhiệt độ của máy biến áp có hệ thống làm mát U và D:
- + Độ tăng nhiệt độ lớn nhất của dầu (lớp trên cùng) bằng 40<sup>0</sup>C.
- + Độ tăng nhiệt độ trung bình của dầu bằng khoảng 36<sup>0</sup>C.
- + Độ tăng nhiệt độ trung bình của cuộn dây bằng 65<sup>0</sup>C.
- + Độ tăng nhiệt độ điểm nóng nhất của cuộn dây so với nhiệt độ dầu là 38<sup>0</sup>C và tăng so với nhiệt độ môi trường bằng 40<sup>0</sup>C + 38<sup>0</sup>C = 78<sup>0</sup>C, tức là cũng giống như máy biến áp có hệ thống làm mát M.

**2. Độ tăng nhiệt độ của dầu và cuộn dây máy biến áp trong trạng thái xác lập khi phụ tải khác định mức.**

Sự truyền nhiệt của cuộn dây vào môi trường xung quanh (không khí, nước) gồm hai quá trình: truyền nhiệt từ cuộn dây đến dầu và từ dầu đến không khí.

Độ tăng nhiệt độ của dầu (lớp trên cùng) so với nhiệt độ môi trường làm mát gồm ba giai đoạn truyền nhiệt:

- + Giữa dầu và thành thùng bên trong.
- + Trong thành thùng.
- + Giữa thành thùng ngoài và môi trường xung quanh.

Độ tăng nhiệt độ của dầu so với môi trường làm mát tỷ lệ bậc m với tổn hao công suất trong máy biến áp. Giá trị của chỉ số m phụ thuộc vào hệ thống làm mát.

- Khi phụ tải định mức, tổn hao công suất trong cuộn dây và lõi thép:

$$\Delta P_{dm} = \Delta P_{cu} + \Delta P_{Fe} = \Delta P_N + \Delta P_0 = \Delta P_0 (1 + b) \tag{1-22}$$

Trong đó:  $b = \frac{\Delta P_N}{\Delta P_0}$  là tỷ số tổn hao công suất trong cuộn dây và lõi thép

khi phụ tải định mức, ( $b = 2 \div 6$ ).

- Khi phụ tải khác định mức, tổn hao công suất trong cuộn dây và lõi thép:

$$\Delta P = \Delta P_0 \cdot (1 + b \cdot k^2) \tag{1-23}$$

Trong đó:  $k = \frac{S}{S_{dm}}$  là phụ tải của máy biến áp.

- Độ tăng nhiệt của dầu lớp trên cùng so với nhiệt độ môi trường làm mát với hệ số phụ tải k có thể xác định theo biểu thức:

$$\theta_d = \theta_{d(dm)} \cdot \left( \frac{1 + b \cdot k^2}{1 + b} \right)^m \tag{1-24}$$

Trong đó:

- +  $\theta_{d(dm)}$  là độ tăng nhiệt độ của dầu khi phụ tải định mức.
- + m là hệ số phụ thuộc vào hệ thống làm mát, (bảng 1-2).

Bảng 1-2

Hệ thống làm mát	M	D	Ц	ДЦ	Ghi chú
Trị số m	0,8	0,9	1,0	1,0	
$\Delta\theta_{cd(dm)}, ^\circ\text{C}$	23	23	38	38	

- Độ tăng nhiệt độ của cuộn dây so với nhiệt độ của dầu tỷ lệ với tổn hao công suất trong cuộn dây theo lũy thừa bậc n. Mặt khác tổn hao công suất trong cuộn dây tỷ lệ với bình phương phụ tải, do đó:

$$\Delta\theta_{cd} = \Delta\theta_{cd(dm)} \cdot k^{2n} \quad (1-25)$$

Trong đó:  $\Delta\theta_{cd(dm)}$  là độ tăng nhiệt độ cuộn dây ở điểm nóng nhất so với nhiệt độ dầu lớp trên cùng khi phụ tải định mức (bảng 1-2), trong tính toán gần đúng người ta coi  $n = m$ .

Vậy, độ tăng nhiệt độ của cuộn dây tại điểm nóng nhất so với nhiệt độ môi trường làm mát khi hệ số phụ tải k bằng:

$$\theta_{cd} = \theta_d + \Delta\theta_{cd} \quad (1-26)$$

### 3. Độ tăng nhiệt độ của dầu và cuộn dây trong quá trình quá độ.

Nghiên cứu quá trình quá độ nhiệt của máy biến áp có ý nghĩa rất quan trọng bởi vì nó cho phép xác định được nhiệt độ đốt nóng máy biến áp khi quá tải.

Coi máy biến áp là một vật thể đồng nhất có thể viết được phương trình phát nóng trong quá trình quá độ như sau:

$$Q \cdot dt = C \cdot G \cdot d\theta + \beta \cdot F \cdot \theta \cdot dt \quad (1-27)$$

Trong đó:

+  $Q \cdot dt$  là lượng nhiệt sinh ra trong đơn vị thời gian  $dt$ .

+  $C$  là tỷ nhiệt của vật thể.

+  $G$  là trọng lượng của vật thể.

+  $\theta$  là độ tăng nhiệt độ của vật thể so với môi trường xung quanh.

+  $\beta$  là hệ số truyền nhiệt, tức là nhiệt lượng toả ra trong một đơn vị thời gian trên một đơn vị bề mặt khi độ tăng nhiệt độ bằng  $1^{\circ}\text{C}$ .

+  $F$  là bề mặt làm mát của vật thể.

+  $t$  là thời gian.

Thành phần thứ nhất của vế phải là nhiệt lượng dùng để tăng nhiệt độ của vật thể lên  $d\theta$ . Thành phần thứ hai của vế phải là nhiệt lượng toả vào môi trường xung quanh trên bề mặt vật thể trong thời gian  $dt$ .

Ở chế độ xác lập:  $d\theta = 0$  và  $Q = \beta \cdot F \cdot \theta_{xl}$ .

Với  $\theta_{xl}$  là độ tăng nhiệt độ ở chế độ xác lập. Từ đó ta có:

$$\theta_{xl} = \frac{Q}{\beta \cdot F} \quad (1-28)$$

Nếu không có sự tản nhiệt thì phương trình (1-27) có thể viết:

$$Q.dt = C.G.d\theta \tag{1-29}$$

Từ đó ta có trong khoảng thời gian t thì:  $Q.t = C.G.\theta$ .

Coi  $Q = \text{const}$ , C không phụ thuộc vào nhiệt độ.

Thời gian cần thiết để đạt đến nhiệt độ xác lập khi không có sự tản nhiệt gọi là hằng số thời gian của quá trình nhiệt, ký hiệu là  $\tau$ .

$$\tau = \frac{C.G.\theta_{xl}}{Q} = \frac{C.G}{\beta.F} \tag{1-30}$$

Chia phương trình (1-27) cho  $\beta.F$  ta có:

$$\frac{Q}{\beta.F}.dt = \frac{C.G}{\beta.F}.d\theta + \theta.dt \tag{1-31}$$

Từ (1-28) và (1-30) ta có:

$$\theta_{xl}.dt = \tau d\theta + \theta dt \tag{1-32}$$

Giải phương trình này ta được:

$$(\theta_{xl} - \theta) = (\theta_{xl} - \theta_0).e^{-\frac{t}{\tau}} \tag{1-33}$$

Với, độ tăng nhiệt độ ban đầu tại thời điểm  $t = 0$  là  $\theta_0$ .

Từ (1-33): 
$$\theta = \theta_{xl}.(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + \theta_0.e^{-\frac{t}{\tau}} \tag{1-34}$$

Biểu thức này giúp ta tính được độ tăng nhiệt độ của vật thể tại bất kỳ thời điểm nào của quá trình quá độ khi đốt nóng cũng như lúc để nguội của vật thể đồng nhất.

Nếu độ tăng nhiệt độ ban đầu bằng 0 thì  $\theta_0 = 0$ , do đó:

$$\theta = \theta_{xl}.(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \tag{1-35}$$

Về lý thuyết khi  $t = \infty$  thì  $\theta = \theta_{xl}$  nhưng thực tế độ tăng nhiệt độ sẽ đạt giá trị xác lập khi  $t = 4,6\tau$ . Vì  $e^{-4,6} = 0,01$  do đó  $1 - e^{-4,6} = 0,99$  và  $\theta = 0,99. \theta_{xl}$ .

Máy biến áp điện lực không phải là vật thể hoàn toàn đồng nhất nhưng trong tính toán gần đúng có thể sử dụng biểu thức (1-34). Hằng số  $\tau$  phụ thuộc vào công suất và hệ thống làm mát (bảng 1-3).

Bảng 1-3

STT	Công suất máy biến áp (MVA)	Hệ thống làm mát	$\tau$ (h)	Ghi chú
1	(0,001÷1,0)	M	2,5	
2	(1÷6,3)	M	3,5	
3	(6,3÷32)	D	2,5	
4	(32÷63)	D	3,5	
5	(100÷125)	Ц và ДЦ	2,5	
6	>125	Ц và ДЦ	3,5	

**IV. Khả năng tải của máy biến áp.**

Chế độ làm việc của máy biến áp không gây ra sự già cỗi cách điện nhanh chóng và giảm thời gian phục vụ của nó gọi là chế độ làm việc lâu dài cho phép hay chế độ định mức với các thông số của máy biến áp là định mức.

Chế độ làm việc của máy biến áp với các thông số lớn hơn giá trị định mức gây ra hao mòn cách điện nhanh chóng và rút ngắn thời hạn phục vụ của máy biến áp gọi là quá tải. Khi quá tải nhiệt độ của điểm nóng nhất không vượt quá trị số nguy hiểm gọi là quá tải cho phép.

Để xem xét khả năng tải của máy biến áp trong những điều kiện nhất định, cần xác định nhiệt độ có thể đạt tới của dầu và của cuộn dây cũng như sự già cỗi cách điện.

**1. Sự già cỗi cách điện do nhiệt.**

Khi nhiệt độ của cách điện bị nâng cao sẽ dẫn đến giảm độ bền cơ và điện làm cách điện bị già cỗi đi. Tuổi thọ trung bình của nhóm cách điện A (là cách điện thường dùng trong máy biến áp dầu) phụ thuộc vào sự thay đổi nhiệt độ từ (80÷140)<sup>0</sup>C có thể được biểu diễn:

$$Z = A \cdot e^{-at} \tag{1-36}$$

Trong đó:

- + A, a là các hệ số phụ thuộc vào chất cách điện và cấu tạo máy biến áp.
- + t là nhiệt độ điểm nóng nhất của cách điện, <sup>0</sup>C.

- Tuổi thọ của vật liệu điện ứng với nhiệt độ định mức của máy biến áp (+98<sup>0</sup>C),  $Z_{dm}$  là:

$$Z_{dm} = A \cdot e^{-a \cdot t_{dm}} \tag{1-37}$$

- Tuổi thọ tương đối của cách điện ( $Z_{*}$ ) được định nghĩa:

$$Z_* = \frac{Z}{Z_{dm}} = e^{-a(t-t_{dm})} \quad (1-38)$$

- Hao mòn cách điện tương đối (L) là đại lượng tỷ lệ nghịch với tuổi thọ tương đối.

$$L = \frac{Z_{dm}}{Z} = e^{a(t-t_{dm})} \quad (1-39)$$

Để thuận tiện trong tính toán người ta không dùng cơ số e mà dùng cơ số 2. Do đó biểu thức xác định hao mòn cách điện tương đối có thể viết:

$$L = \frac{a \cdot \ln e \cdot 2^{(t-t_{dm})}}{\ln 2} = a \cdot 2^{(t-t_{dm})} \cdot \frac{1}{0,693} = \frac{2^{(t-t_{dm})}}{\Delta} \quad (1-40)$$

Trong đó:  $\frac{1}{\Delta} = \frac{a}{0,693}$  và  $\frac{1}{0,693} = \frac{\ln e}{\ln 2}$

Hằng số Δ được chọn là 6<sup>0</sup>C, nghĩa là mỗi khi nhiệt độ thay đổi 6<sup>0</sup>C thì hao mòn tương đối và thời gian phục vụ tương ứng của cách điện cũng thay đổi 2 lần. Sự phụ thuộc này gọi là quy tắc sáu độ. Khi nhiệt độ bằng 98<sup>0</sup>C thì hao mòn cách điện tương đối bằng 1, tức là đúng hao mòn bằng cách điện định mức.

- Tích của hao mòn cách điện tương đối và thời gian xác định hao mòn cách điện (giờ, ngày, tháng, năm), gọi là hao mòn cách điện trong khoảng thời gian đó:

$$H = L.T$$

Trong đó:

+ L là hao mòn cách điện tương đối.

+ T là thời gian để xác định hao mòn cách điện.

Nếu nhiệt độ không ổn định, hao mòn cách điện được xác định như sau:

$$H = \int_0^T L \cdot dt = \int_0^T \frac{2^{(t-98)}}{6} dt \quad (1-41)$$

Trong tính toán gần đúng có thể thay thế tích phân này bằng phép cộng gần đúng. Phân chia biểu đồ nhiệt độ cuộn dây thành nhiều phần, trong phạm vi mỗi phần có thể xem nhiệt độ là không đổi và dựa theo biểu thức (1-40) để xác định hao mòn tương đối ứng với mỗi phần. Như vậy hao mòn sau thời gian T sẽ bằng:

$$H = \sum_{i=1}^n L_i \cdot t_i \quad (1-42)$$



Khi nhiệt độ của cách điện nhỏ hơn 80<sup>0</sup>C, hao mòn cách điện tương đối rất nhỏ và có thể xem như bằng không.

- Hao mòn cách điện trung bình sau một ngày đêm là:

$$L_{\text{ngày}} = \frac{H_{\text{ngày}}}{24} \quad (1-43)$$

Hao mòn cách điện trong một năm bằng tổng hao mòn cách điện của các ngày trong năm.

Thời hạn phục vụ của máy biến áp là thời gian kể từ lúc bắt đầu làm việc đến khi cách điện bị phá huỷ hoàn toàn. Đối với máy biến áp do Liên xô chế tạo, thời hạn phục vụ được quy định từ (20÷25) năm ứng với nhiệt độ định mức của môi trường  $\theta_0 = 5^0\text{C}$  và nhiệt độ điểm nóng nhất của cuộn dây trong điều kiện định mức là 98<sup>0</sup>C.

Thực tế nhiệt độ của môi trường luôn thay đổi và thường thấp, ngoài ra phụ tải của máy biến áp luôn thay đổi với số ngày có phụ tải nhỏ hơn định mức chiếm phần lớn, nên thời gian phục vụ của máy biến áp có thể lớn hơn định mức.

Vì vậy trong vận hành có thể cho máy biến áp làm việc với phụ tải lớn hơn định mức một lượng nào đấy, nghĩa là cho máy biến áp được quá tải mà thời gian phục vụ không giảm đi.

## 2. Khả năng quá tải cho phép của máy biến áp.

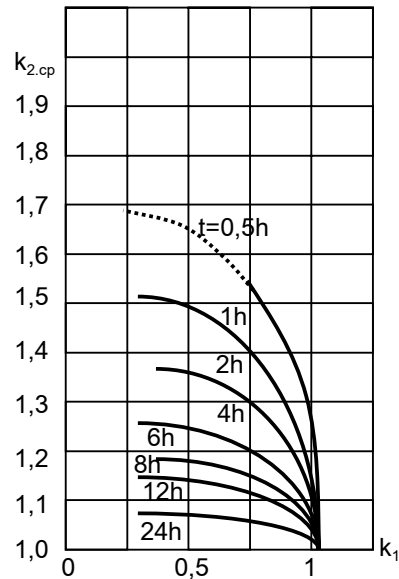
### a) Quá tải bình thường.

Là chế độ làm việc xét trong một khoảng thời gian nào đó (ngày, tháng, năm), trong đó có một khoảng thời gian máy biến áp làm việc quá tải và khoảng thời gian còn lại của chu kỳ khảo sát máy biến áp mang tải nhỏ hơn định mức.

Mức độ quá tải phải được tính toán sao cho hao mòn cách điện trong khoảng thời gian xét không vượt quá định mức tương ứng với nhiệt độ cuộn dây 98<sup>0</sup>C.

Khi quá tải bình thường, nhiệt độ nóng nhất của cuộn dây có thể lớn hơn những giờ phụ tải cực đại nhưng không được vượt quá 140<sup>0</sup>C và nhiệt độ lớp dầu phía trên không được vượt quá 95<sup>0</sup>C.

Hệ số quá tải bình thường có thể được xác định từ biểu đồ khả năng tải của máy biến áp (hình 1-14). Đó là quan hệ giữa hệ số quá tải cho phép  $k_{2cp}$ , hệ số phụ tải bậc một  $k_1$  và thời gian quá tải  $t$ .



Hình 1-14. Biểu đồ khả năng quá tải của máy biến áp.

Phương pháp này thực hiện được khi đồ thị phụ tải 2 bậc (bậc 1 - máy biến áp không quá tải và bậc 2 - khi máy biến áp quá tải). Nếu đồ thị phụ tải nhiều bậc cần phải biến đổi đồ thị phụ tải nhiều bậc của máy biến áp thành đồ thị phụ tải hai bậc đẳng trị. Công suất đẳng trị của máy biến áp trong khoảng thời gian xét được xác định theo biểu thức:

$$S_{dt.1} = \sqrt{\frac{S_1^2 \cdot t_1 + S_2^2 \cdot t_2 + \dots + S_{n_1}^2 \cdot t_{n_1}}{t_1 + t_2 + \dots + t_{n_1}}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_1} S_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^{n_1} t_i}} \tag{1-44}$$

$$S_{dt.2} = \sqrt{\frac{S_1^2 \cdot t_1 + S_2^2 \cdot t_2 + \dots + S_{n_2}^2 \cdot t_{n_2}}{t_1 + t_2 + \dots + t_{n_2}}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_2} S_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^{n_2} t_i}}$$

Trong đó:

- +  $S_i$  là phụ tải của máy biến áp trong khoảng thời gian  $t_i$ .
- +  $n_1$  là số bậc phụ tải khi không quá tải trong 10h trước hoặc sau khi có quá tải.
- +  $n_2$  là số bậc phụ tải trong thời gian quá tải.

Nếu:

- $S_{dt2} \geq 0,9 S_{max}$  thì thời gian máy biến áp làm việc ở cấp 2 là:

$$t_2 = \sum_{i=1}^{n_2} t_i \tag{1-45}$$

-  $S_{dt2} < 0,9 S_{max}$  thì lấy  $S_{dt2} = 0,9 S_{max}$  còn thời gian máy biến áp làm việc ở cấp thứ 2 là:

$$t_2 = \frac{S_{dt2}^2 \cdot \sum_{i=1}^{n_2} t_i}{(0,9 \cdot S_{max})^2} \tag{1-46}$$

Khi biến đổi thành đồ thị phụ tải hai bậc đẳng trị có các trường hợp sau:

- Đồ thị phụ tải nhiều bậc của máy biến áp có một cực đại vào buổi chiều (hình 1-15a).

Theo biểu thức (1-44) tính  $S_{dt2}$  với thời gian quá tải là  $t_2$  và tính  $S_{dt1}$  với thời gian trước lúc quá tải là 10 giờ ( $t_1 = 10h$ ).

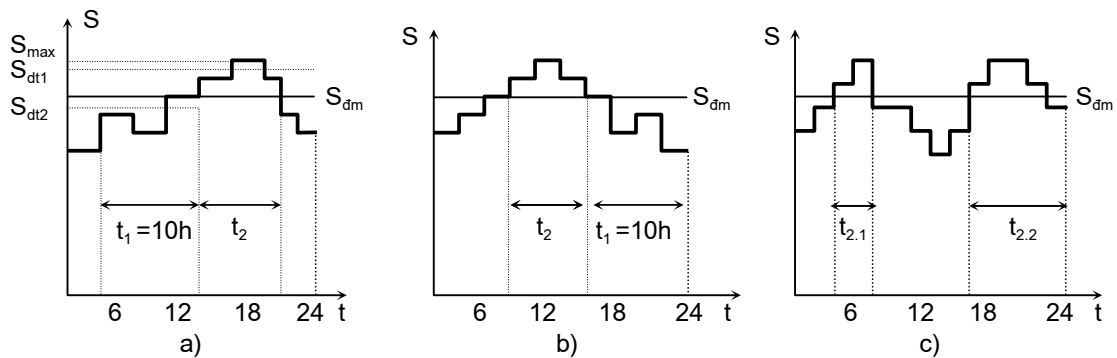
- Đồ thị phụ tải nhiều bậc của máy biến áp có một cực đại trong một ngày (hình 1-15b). Tính  $S_{dt2}$  tương tự như trên, tính  $S_{dt1}$  với thời gian sau khi kết thúc quá tải 10h.

- Đồ thị phụ tải nhiều bậc của máy biến áp có hai cực đại trong một ngày (hình 1-15c), phụ tải đẳng trị  $S_{dt2}$  được xác định như sau:

$$S_{dt.2} = S_{2.1} \cdot t_{2.1} + S_{2.2} \cdot t_{2.2}$$

Trong đó:

- $t_{2.1}, t_{2.2}$  là khoảng thời gian có công suất lớn hơn định mức thứ 1 và 2.
- $S_{2.1}, S_{2.2}$  là công suất trong khoảng thời gian  $t_{2.1}$  và  $t_{2.2}$ .



Hình 1-15: Đồ thị phụ tải của MBA

Khi đã chọn được  $S_{dt2}$  thì  $S_{dt1}$  sẽ tính như một trong hai trường hợp trên.

Khi máy biến áp đã làm việc với đồ thị phụ tải hai bậc hoặc đồ thị phụ tải nhiều bậc đã biến đổi đẳng trị về đồ thị phụ tải hai bậc, trình tự xác định quá tải cho phép của máy biến áp theo đường cong khả năng tải như sau:

- **B1.** Dựa vào phụ tải tính toán cực đại, chọn loại và công suất định mức của máy biến áp ( $S_{dm}$ ), sau đó tính hệ số quá tải của nó:

$$k_2 = \frac{S_2}{S_{dm}} \tag{1-47}$$

- **B2.** Xác định hệ số phụ tải bậc một:

$$k_1 = \frac{S_1}{S_{dm}} \tag{1-48}$$

- **B3.** Dựa vào loại máy biến áp (dầu, khô) và công suất của máy biến áp, xác định hằng số thời gian  $\tau$  (bảng 1-3). Tùy thuộc vào hệ thống làm mát, hằng số thời gian  $\tau$  của máy biến áp và nhiệt độ đẳng trị của môi trường làm mát chọn biểu đồ khả năng tải của máy biến áp (bảng 1-4)

\* *Chú ý: Đã xây dựng 36 biểu đồ tính toán khả năng tải của máy biến áp cho trong phụ lục nên chỉ cần chọn số hiệu.*

Bảng 1-4

Hệ thống làm mát	Hằng số thời gian của máy biến áp $\tau$ (h)	STT biểu đồ ứng với nhiệt độ đẳng trị của môi trường xung quanh, °C				Công suất của máy biến áp để xác định sơ bộ hằng số $\tau$ (MVA)
		10	20	30	40	
M	2,5	5	7	9	11	0.001 ÷ 1.0
M	3,5	6	8	10	12	1.0 ÷ 6.3
D	2.5	17	19	21	23	6.3 ÷ 32
D	3.5	18	20	22	24	32 ÷ 63
ДЦ	2,5	29	31	33	35	100 ÷ 125
ДЦ	3.5	30	32	34	36	> 125

- **B4.** Từ đường biểu đồ khả năng tải ứng với hệ số phụ tải bậc 1 ( $k_1$ ) và thời gian quá tải  $t_2$ , xác định được hệ số quá tải cho phép  $k_{2cp}$ .

- **B5.** So sánh hệ số tính toán  $k_2$  với hệ số quá tải cho phép  $k_{2cp}$  để kết luận về chế độ quá tải cho phép của máy biến áp.

+ Nếu  $k_{2cp} \geq k_2$ , máy biến áp được phép quá tải bình thường với hệ số  $k_2$ .

+ Nếu  $k_{2cp} < k_2$ , máy biến áp không được phép quá tải bình thường với hệ số  $k_2$  mà chỉ được phép quá tải với hệ số  $k_{2cp}$ .

Trường hợp đồ thị phụ tải có 2 lần quá tải (hình 1-15) thì  $S_{dt,1}$  được tính trong khoảng 10h trước hoặc sau quá tải lớn nhất tùy thuộc vào thời điểm xuất hiện quá tải nhỏ hơn. Khi biểu đồ phụ tải có 2 quá tải thì tính toán phụ tải đẳng trị bậc 2 được tiến hành đối với quá tải nào có tổng  $S_{dt,2} = \sum_{i=1}^{n_2} S_i \cdot t_i$  nào có trị số lớn nhất. Quá tải lớn nhất xuất hiện sau thì phụ tải đẳng trị bậc 1 được tính trong 10h ngay trước khi xuất hiện quá tải lớn nhất, khi quá tải lớn nhất xuất hiện trước thì phụ tải đẳng trị bậc 1 được tính trong 10h ngay sau khi xuất hiện quá tải lớn nhất.

*b) Quá tải sự cố.*

Quá tải sự cố là chế độ quá tải cho phép trong một số trường hợp ngoại lệ (sự cố) với một thời gian hạn chế để không gián đoạn việc cung cấp điện năng mà chưa gây hư hỏng. Như vậy, trị số quá tải sự cố cho phép được quyết định sao cho nhiệt độ của cuộn dây và dầu máy biến áp không vượt quá giá trị cho phép, để không ảnh hưởng đến sự làm việc bình thường tiếp theo của máy biến áp..

- + Nhiệt độ cho phép cực đại đối với dầu là 115<sup>0</sup>C.
- + Nhiệt độ cho phép cực đại của cách điện cuộn dây là 140<sup>0</sup>C.

Trong điều kiện sự cố, máy biến áp dầu (với bất kỳ hệ thống làm mát nào, không phụ thuộc vào nhiệt độ môi trường làm mát) cho phép quá tải 40% nếu thời gian quá tải của ngày không lớn hơn 6h, trong thời gian 5 ngày đêm và hệ số phụ tải bậc 1 ( $k_1$ ) nhỏ hơn 0,93.

Hệ số quá tải sự cố cho phép  $k_{qt} = 1,4$  được sử dụng trong tính toán chọn thông số của máy biến áp hay thông số chế độ. Khi vận hành, trị số quá tải được quyết định bởi điều kiện môi trường cụ thể khi tính toán chế độ nhiệt của máy biến áp (như mục a).

**Ví dụ:**

-----o0o-----

## Chương 2

# PHƯƠNG PHÁP CHUNG PHÂN PHỐI TỐI ƯU CÔNG SUẤT NHÀ MÁY ĐIỆN

### □ 2.1 KHÁI NIỆM CHUNG

Trong thiết kế, vận hành khai thác nhà máy điện và hệ thống điện, một chỉ tiêu quan trọng trong tính toán kinh tế-kỹ thuật của hệ thống điện là phân phối tối ưu công suất giữa các nhà máy điện trong hệ thống, nhằm đáp ứng yêu cầu của phụ tải và đảm bảo vận hành hệ thống điện kinh tế nhất.

Nghiên cứu phương thức vận hành tối ưu của hệ thống điện không những có ý nghĩa kinh tế rất quan trọng trong vận hành mà còn cung cấp các số liệu cho việc qui hoạch, thiết kế các nhà máy điện trong hệ thống điện.

Khi thiết kế hệ thống điện và các nhà máy điện, chọn thông số cho các thiết bị và các đường dây tải điện thường phải so sánh kinh tế-kỹ thuật các phương án, trong đó phải xét đến chế độ làm việc của đối tượng thiết kế. Thay đổi chế độ làm việc của các nhà máy điện sẽ làm thay đổi phí tổn vận hành, chủ yếu là phí tổn về nhiên liệu, ảnh hưởng rất lớn tới tính kinh tế-kỹ thuật của hệ thống. Quan trọng nhất của việc điều khiển, vận hành khai thác hệ thống điện là tìm được chế độ vận hành tối ưu, ứng với chi phí tính toán nhỏ nhất nhưng vẫn đảm bảo được trong phạm vi cho phép độ tin cậy cung cấp điện và chất lượng điện năng.

Vậy, muốn có chế độ làm việc tối ưu phải đạt được chi phí tính toán nhỏ nhất cho sản xuất, truyền tải và phân phối điện năng với những trị số tối ưu về độ tin cậy và chất lượng điện năng.

Tuy nhiên, việc xác định chế độ làm việc tối ưu với những chỉ tiêu như trên chưa thực hiện được hoàn chỉnh do hạn chế về phương pháp. Vì vậy, phân phối tối ưu công suất giữa các nhà máy điện được thực hiện thoả mãn một chỉ tiêu quan trọng là cực tiểu hàm chi phí về nhiên liệu trong toàn hệ thống.

## 2.2 PHƯƠNG PHÁP PHÂN PHỐI TỐI ƯU CÔNG SUẤT NHÀ MÁY ĐIỆN

### I. Phương pháp chung.

Về mặt toán học, giải bài toán tối ưu nghĩa là tìm trị số các đối số của một hàm nhiều biến sao cho hàm đó đạt giá trị cực đại hoặc cực tiểu. Nếu hàm đó có nhiều giá trị cực đại hoặc cực tiểu thì phải tìm trị số của các đối số sao cho là giá trị cực tiểu nhỏ nhất hoặc là giá trị cực đại lớn nhất. Các đối số có thể độc lập hoặc ràng buộc với nhau bởi các đẳng thức.

Bài toán tối ưu có thể phát biểu như sau:

Cần xác định các ẩn số  $x_1, x_2, \dots, x_n$  sao cho hàm mục tiêu nhiều biến (n biến):

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) \Rightarrow \min (\max). \tag{2-1}$$

và thỏa mãn m ràng buộc sau:

$$\begin{cases} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0 \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0 \\ \dots\dots\dots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0 \end{cases} \tag{2-2}$$

Trong trường hợp hàm mục tiêu (2-1) là hàm giải tích, khả vi hệ ràng buộc (2-2) gồm toàn các đẳng thức và ẩn số không lớn, có thể giải bài toán bằng phương pháp thay thế thông thường hay các phương pháp khác, đưa bài toán có ràng buộc nghĩa là có hệ (2-2) về bài toán tìm cực trị không ràng buộc.

Khi đó cần xác định:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) \Rightarrow \min (\max). \tag{2-3}$$

và

$$\begin{cases} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ \dots\dots\dots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \end{cases} \tag{2-4}$$

Trong đó:  $m \leq n$ .

Từ hệ (2-4) khử m ẩn số, còn lại (n-m) ẩn độc lập thay vào hàm mục tiêu (2-3). Khi đó F trở thành hàm (n-m) ẩn:  $x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_n$ .

Điều kiện cực trị của hàm F sẽ là:

$$\frac{\partial F}{\partial x_{m+1}} = 0; \quad \frac{\partial F}{\partial x_{m+2}} = 0; \quad \dots \quad ; \frac{\partial F}{\partial x_n} = 0 \tag{2-5}$$

Muốn biết tại đó hàm F đạt cực tiểu hay cực đại, xét đạo hàm bậc 2 của F. Phương pháp trên chỉ thực hiện được khi hàm F giải tích, khả vi và hệ phương trình ràng buộc là tuyến tính với số lượng m nhỏ. Trường hợp ngược lại, việc giải theo phương pháp trên gặp nhiều khó khăn.

Nếu hàm mục tiêu và ràng buộc là tuyến tính với ẩn số ít có thể sử dụng phương pháp Lagrange. Nếu hàm mục tiêu và các ràng buộc là các phiếm hàm (là tồn tại những tương quan giữa các hàm) sử dụng phương pháp Lagrange kết hợp với hệ phương trình Euler. Nếu các ràng buộc là những bất đẳng thức thì dùng phương pháp qui hoạch tuyến tính. Nếu hàm mục tiêu hoặc ràng buộc là dạng phi tuyến thì dùng phương pháp qui hoạch phi tuyến như: Gradient hoặc qui hoạch động...

**II. Phương pháp Lagrange.**

Để giải bài toán tối ưu về chế độ làm việc của hệ thống điện, phương pháp được dùng rộng rãi nhất là phương pháp Lagrange hoặc còn gọi là phương pháp hệ số không xác định.

Nội dung của phương pháp Lagrange.

Cần xác định các ẩn số  $x_1, x_2, \dots, x_n$  sao cho:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) \Rightarrow \min (\max). \tag{2-6}$$

và

$$\begin{cases} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ \dots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \end{cases} \tag{2-7}$$

Trong đó:  $m \leq n$ .

Hàm Lagrange được định nghĩa như sau:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n) = F(x_1, x_2, \dots, x_n) - \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \tag{2-8}$$

Trong đó:  $\lambda_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) là những hệ số không xác định.

Vì  $g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$  với  $i = 1, 2, \dots, m$ , nên hàm L đạt cực trị ở các giá trị  $x_i$  như hàm F.



Điều kiện cực trị của hàm L là:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial x_1} = \frac{\partial F}{\partial x_1} - \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot \frac{\partial g_i}{\partial x_1} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial x_2} = \frac{\partial F}{\partial x_2} - \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot \frac{\partial g_i}{\partial x_2} = 0 \\ \dots\dots\dots \\ \frac{\partial L}{\partial x_n} = \frac{\partial F}{\partial x_n} - \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot \frac{\partial g_i}{\partial x_n} = 0 \end{cases} \quad (2-9)$$

Trong đó:  $i = 1, 2, \dots, m$  và  $j = 1, 2, \dots, n$  (xác định bởi  $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n$ ).

Và hệ phương trình ràng buộc:

$$\begin{cases} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ \dots\dots\dots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \end{cases} \quad (2-10)$$

Từ (2-9) ta có n phương trình, từ (2-10) có m phương trình tạo thành (n+m) phương trình với (n+m) ẩn số ( $x_1, x_2, \dots, x_n; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ ). Giải hệ phương trình trên ta sẽ được giá trị của đối số, chính là giá trị làm cho hàm L và cũng chính là hàm F đạt cực trị.

Trong trường hợp trên nếu muốn tìm cực trị là cực đại hoặc cực tiểu thì phải xét dấu của vi phân bậc 2 của hàm F hoặc L.

- Nếu  $d^2(F) > 0$  hoặc  $d^2(L) > 0$  thì cực trị trên là cực tiểu.
- Nếu  $d^2(F) < 0$  hoặc  $d^2(L) < 0$  thì cực trị trên là cực đại.

Xác định chế độ tối ưu của hệ thống điện theo phương pháp Lagrange, nếu liên quan đến những phương trình phi tuyến phức tạp thì cách giải duy nhất là phải giải bằng phương pháp gần đúng, nhưng trong những trường hợp có số điều kiện hạn chế lớn thì phương pháp gần đúng không dùng được vì quá trình gần đúng không hội tụ.



**Chương 3**

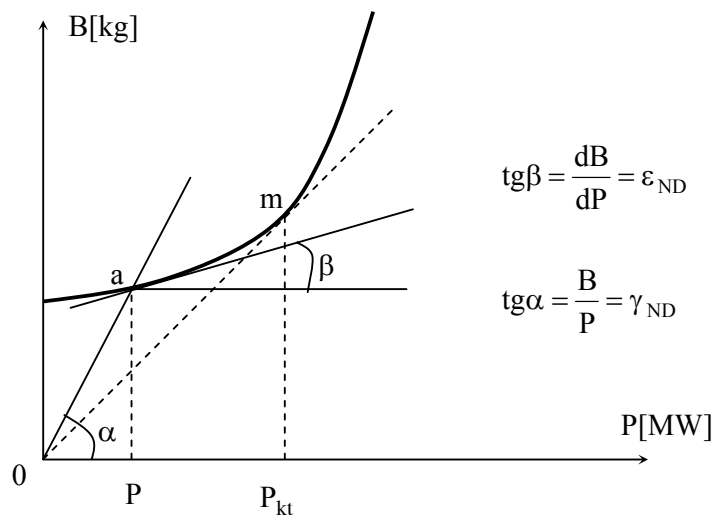
**KHAI THÁC TỐI ƯU NHÀ MÁY ĐIỆN**

**□ 3.1 KHÁI NIỆM CHUNG**

**I. Đặc tính tiêu hao nhiên liệu của Nhà máy nhiệt điện.**

**1. Đặc tính tiêu hao nhiên liệu.**

Mỗi Nhà máy nhiệt điện có đặc tính tiêu hao nhiên liệu B phụ thuộc công suất phát của nhà máy P. Thông thường quan hệ B và P là phi tuyến, thể hiện trên (hình 3-1). Ngoài ra sự phụ thuộc trên còn có thể cho dưới dạng bảng.



Hình 3-1: Đặc tính tiêu hao nhiên liệu của các Nhà máy nhiệt điện

Khi công suất phát của nhà máy nhỏ, tiêu hao nhiên liệu nhỏ. Khi công suất tăng đến giá trị giới hạn, nhiên liệu tăng không tuyến tính mà tăng rất nhanh. Vì vậy với mỗi Nhà máy điện, xác định công suất phát có ý nghĩa rất lớn trong tiết kiệm tiêu hao nhiên liệu.

**2. Suất tiêu hao nhiên liệu,  $\gamma_{ND}$ .**

Là lượng nhiên liệu tiêu hao B để Nhà máy nhiệt điện phát ra một lượng công suất là P. Được định nghĩa là tỷ số giữa B và P hay là hệ số góc của đường cát tuyến đi từ gốc tọa độ qua điểm làm việc.

$$\gamma_{ND} = \frac{B}{P} \quad \text{hay} \quad \text{tg}\alpha = \frac{B}{P} \quad (3-1)$$

Đơn vị:  $\left( \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right)$ .

Ta thấy, khi công suất của nhà máy càng tăng thì suất tiêu hao nhiên liệu của nhà máy càng giảm.

**3. Suất tăng tiêu hao nhiên liệu,  $\epsilon_{ND}$ .**

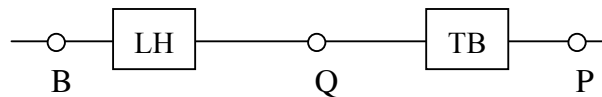
Là lượng nhiên liệu tiêu hao dB khi công suất của Nhà máy nhiệt điện thay đổi một lượng là dP trong khoảng thời gian nhỏ là dt. Được định nghĩa là tỷ số giữa dB và dP hay là hệ số góc của đường tiếp tuyến tại điểm làm việc.

$$\epsilon_{ND} = \frac{dB}{dP} \quad \text{hay} \quad \text{tg}\beta = \frac{dB}{dP} \quad (3-2)$$

Đơn vị: Do tiêu hao nhiên liệu B thường tính trong thời gian 1h, nên đơn vị của suất tăng tiêu hao nhiên liệu là:  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{kWh}}\right)$ .

Suất tăng tiêu hao nhiên liệu tiêu chuẩn đối với các Nhà máy nhiệt điện  $\epsilon_{ND}$  được xác định trên cơ sở suất tăng tiêu hao nhiên liệu của lò hơi  $\epsilon_L$  và tuabin  $\epsilon_T$ .

Xét đặc tính suất tăng tiêu hao nhiên liệu của một tổ máy gồm là hơi và tuabin (hình 3-2). Trong đó, nhiên liệu B vào lò hơi chuyển thành nhiệt lượng Q, qua tuabin tạo ra công suất cơ cho máy phát điện P.



Hình 3-2: Nguyên lý của một tổ máy nhiệt điện

Sự thay đổi của nhiên liệu B theo công suất P theo biểu thức sau:

$$\frac{dB}{dP} = \frac{dB}{dQ} \cdot \frac{dQ}{dP} \quad (3-3)$$

Trong đó:

- $\frac{dB}{dP}$  là suất tăng tiêu hao nhiên liệu của Nhà máy nhiệt điện ( $\epsilon_{ND}$ ).
- $\frac{dB}{dQ}$  là suất tăng tiêu hao nhiên liệu của lò hơi ( $\epsilon_L$ ),  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{kJ}}\right)$ .
- $\frac{dQ}{dP}$  là suất tăng tiêu hao nhiệt lượng của tua bin ( $\epsilon_T$ ),  $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}\right)$ .

Vậy, ta có suất tăng tiêu hao nhiên liệu của nhà máy:

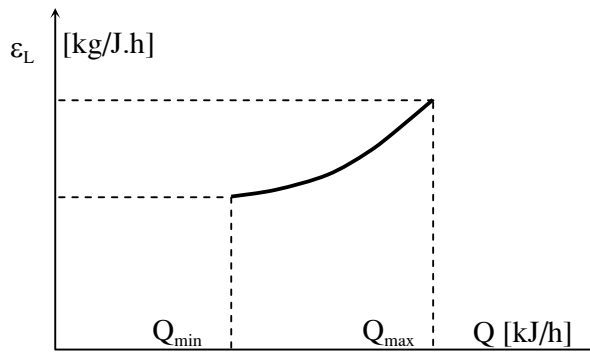
$$\epsilon_{ND} = \epsilon_L \cdot \epsilon_T \quad (3-4)$$

**4. Đặc tính suất tăng tiêu hao nhiên liệu.**

a) *Đặc tính suất tăng tiêu hao nhiên liệu của lò hơi,  $\epsilon_L$ .*

Đặc tính suất tăng tiêu hao nhiên liệu của lò hơi thường có dạng (hình 3-3). Trục hoành biểu diễn nhiệt lượng do lò hơi cung cấp (kJ/h), trục tung biểu diễn suất tăng tiêu hao nhiên liệu  $\epsilon_L$  (kg/kJ.h).

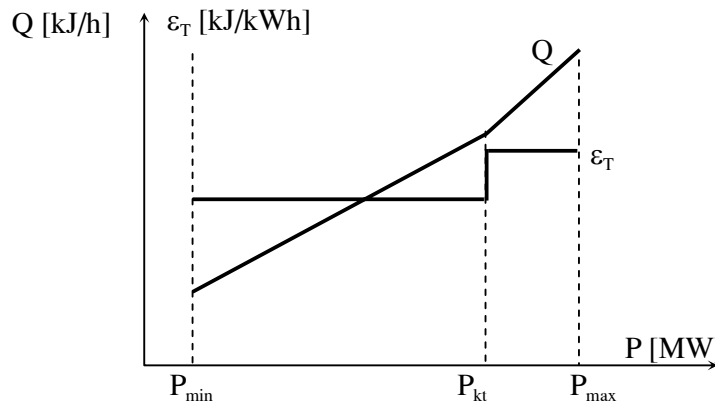
Đặc tính suất tăng tiêu hao nhiên liệu của lò hơi thay đổi theo từng loại lò. Đối với các lò hơi hiện đại với hiệu suất khoảng 90%, suất tăng tiêu hao nhiên liệu  $\epsilon_L$  ít biến đổi theo phụ tải nhiệt Q khoảng 20%. Đối với các loại lò cũ và các loại lò sử dụng than có chất lượng thấp thì biến đổi của suất tăng theo phụ tải tương đối lớn, khoảng 50%.



Hình 3-3: Đặc tính suất tăng tiêu hao nhiên liệu của lò hơi

b) *Đặc tính tiêu hao nhiệt lượng.*

Đặc tính tiêu hao nhiệt lượng Q và đường đặc tính suất tăng tiêu hao nhiệt lượng  $\epsilon_T$  của tuabin. Đường đặc tính tiêu hao nhiệt lượng Q theo P thực tế là một đường cong, nhưng độ cong không lớn có thể vẽ thành đường thẳng (đường Q, hình 3-4). Đường đặc tính này có một điểm gãy tương ứng với công suất kinh tế của tuabin  $P_{kt}$ .



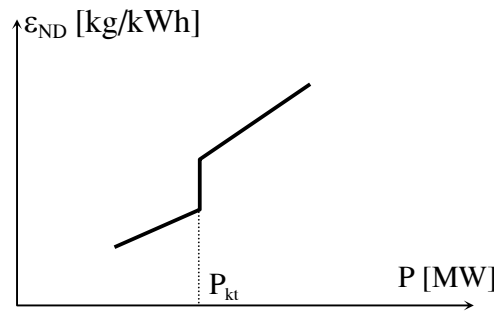
Hình 3-4: Đặc tính tiêu hao nhiệt lượng Q và đường đặc tính suất tăng tiêu hao nhiệt lượng  $\epsilon_T$

c) Đặc tính suất tăng tiêu hao nhiệt lượng của tuabin,  $\epsilon_T$ .

Ứng với đường đặc tính tiêu hao nhiệt lượng là đường đặc tính suất tăng tiêu hao nhiệt lượng  $\epsilon_T$ , có dạng 2 đường thẳng song song với trục hoành (đường  $\epsilon_T$ , hình 3-4). Đường đặc tính suất tăng tiêu hao nhiệt lượng có chỗ bị gián đoạn, tức là thay đổi một cách đột ngột tại  $P = P_{kt}$ , là do sự giảm đột ngột tính kinh tế của tuabin khi van quá tải mở.

d) Đặc tính suất tăng tiêu hao nhiên liệu của Nhà máy nhiệt điện,  $\epsilon_{ND}$ .

Đặc tính suất tăng tiêu hao nhiên liệu của một máy phát được xác định bằng tích của đặc tính suất tăng tiêu hao nhiên liệu của lò hơi  $\epsilon_L$  và đặc tính suất tăng tiêu hao nhiệt lượng của tuabin  $\epsilon_T$ , là đường gấp khúc với nhiều đoạn có trị số suất tăng tiêu hao tăng dần theo phụ tải (hình 3-5). Khi chuyển từ đoạn này đến đoạn tiếp theo thì suất tăng biến đổi nhảy vọt. Sự thay đổi dần dần của suất tăng là do thay đổi suất tăng của lò hơi, sự thay đổi đột ngột là do sự gián đoạn của đường đặc tính của tuabin.



Hình 3-5: Đặc tính suất tăng tiêu hao nhiên liệu của nhà máy nhiệt điện

Việc thành lập đặc tính suất tăng tiêu hao nhiên liệu của nhà máy gồm nhiều máy phát hoặc nhiều nhà máy, phải dựa trên đặc tính  $\epsilon_{ND}$  của nhiều tổ máy và tuân theo nguyên tắc cân bằng suất tăng tiêu hao nhiên liệu của các tổ máy nhằm đạt được sự phân phối tối ưu công suất.

**5. Kết luận.**

Ta thấy khi công suất nhỏ thì  $\gamma_{ND}$  thường lớn hơn  $\epsilon_{ND}$ , công suất càng tăng thì 2 trị số càng gần nhau, tại điểm m đoạn thẳng đi qua gốc toạ độ tiếp tuyến với đặc tính nên ta có  $\gamma_{ND} = \epsilon_{ND}$ . Công suất tại điểm này ứng với trị số cực tiểu của suất tiêu hao nhiên liệu  $\gamma_{ND}$ , do đó được gọi là công suất kinh tế  $P_{kt}$ .

Khi công suất phát  $P > P_{kt}$ , giá trị  $\varepsilon$  tăng nhanh nên tiêu hao nhiên liệu lớn không kinh tế. Vì vậy, để vận hành kinh tế nhà máy điện thường vận hành với công suất nhỏ hơn công suất kinh tế.

Ví dụ.

Cho nhà máy điện với thông số về tiêu hao nhiên liệu như (bảng 3-1).

STT	Công suất phát P [MW]	Tiêu hao nhiên liệu B [ $10^3$ .kg/h]	Suất tiêu hao $\gamma$ [kg/kWh]	Suất tăng tiêu hao $\varepsilon$ [kg/kWh]	G.chú
1	2500	1050	0,420	0,200	
2	2600	1070	0,412	0,200	
3	.....	.....	.....	.....	
4	5000	2000	0,400	0,700	
5	5100	2070	0,406	0,700	

Giá trị của  $\varepsilon_{ND}$  và  $\gamma_{ND}$  của nhà máy tại thời điểm có công suất  $P = 2500$  [MW] được xác định như sau:

Tra (bảng 3-1) ta có:

Tại  $P = 2500$  [MW],  $B = 1050.10^3$  [kg/h].

Xét trong khoảng thời gian công suất của nhà máy thay đổi  $P = 2500$  [MW] đến  $P = 2600$  [MW]. Tại  $P = 2600$  [MW],  $B = 1070.10^3$  [kg/h].

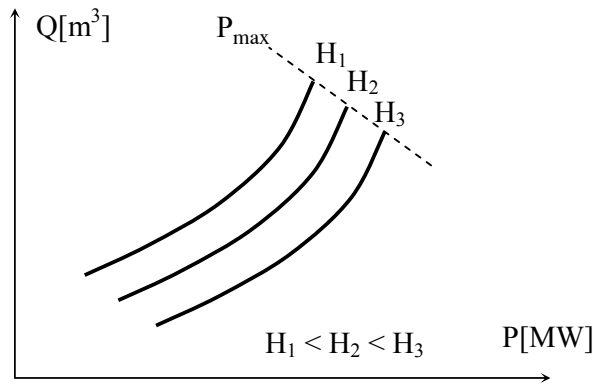
- Giá trị của  $\gamma_{ND}$ : 
$$\gamma_{ND} = \frac{B}{P} = \frac{1050.10^3}{2500.10^3} = 0,420 \quad [\text{kg} / \text{kWh}]$$

- Giá trị của  $\varepsilon_{ND}$ : 
$$\varepsilon_{ND} = \frac{dB}{dP} = \frac{(1070 - 1050).10^3}{(2600 - 2500).10^3} = 0,200 \quad [\text{kg} / \text{kWh}]$$

**II. Đặc tính tiêu hao nước của Nhà máy thủy điện.**

**1. Đặc tính tiêu hao nước.**

Mỗi Nhà máy thủy điện có đặc tính tiêu hao nước Q phụ thuộc vào công suất phát P khác nhau, thường quan hệ này là phi tuyến. Ngoài ra tiêu hao nước Q của Nhà máy thủy điện ứng với công suất P còn phụ thuộc vào chiều cao cột nước H của nhà máy. Thể hiện trên (hình 3-6) hoặc có thể cho dưới dạng bảng.



Hình 3-6: Đặc tính tiêu hao nước của các Nhà máy thủy điện

**2. Suất tăng tiêu hao nước,  $\epsilon_{TD}$ .**

Là lượng nước tiêu hao  $dQ$  khi công suất của Nhà máy thủy điện thay đổi một lượng là  $dP$  trong khoảng thời gian nhỏ là  $dt$  ứng với mỗi trị số của chiều cao cột nước  $H$ . Được định nghĩa là tỷ số giữa  $dQ$  và  $dP$  hay là hệ số góc của đường tiếp tuyến tại điểm làm việc.

$$\epsilon_{TD} = \frac{dQ}{dP} \quad \text{hay} \quad \text{tg}\beta = \frac{dQ}{dP} \quad (3-5)$$

Đơn vị: Do tiêu hao nước  $Q$  thường tính trong thời gian 1h, nên đơn vị của suất tăng tiêu hao nước là:  $\left(\frac{m^3}{kWh}\right)$ .

Ta thấy, khi công suất của nhà máy càng tăng thì suất tăng tiêu hao nước của nhà máy càng tăng.

**3. Suất tiêu hao nước,  $\gamma_{TD}$ .**

Là lượng nước tiêu hao  $Q$  để Nhà máy thủy điện phát ra một lượng công suất là  $P$  khi nhà máy làm việc với cột nước là  $H$ . Được định nghĩa là tỷ số giữa  $Q$  và  $P$  hay là hệ số góc của đường cát tuyến đi từ gốc tọa độ qua điểm làm việc.

$$\gamma_{TD} = \frac{Q}{P} \quad \text{hay} \quad \text{tg}\alpha = \frac{Q}{P} \quad (3-6)$$

Đơn vị: Do tiêu hao nước  $Q$  thường tính trong thời gian 1 h, nên đơn vị của suất tiêu hao nước là:  $\left(\frac{m^3}{kWh}\right)$ .

Ta thấy, khi công suất của nhà máy càng tăng thì suất tiêu hao nước của nhà máy càng giảm.

### III. Đặc tính chi phí sản xuất của Nhà máy nhiệt điện.

#### 1. Đặc tính chi phí sản xuất.

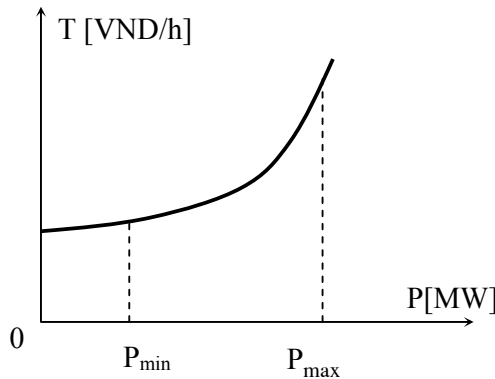
Chi phí sản xuất tính bằng tiền T phụ thuộc vào giá thành của nhiên liệu, được xác định bằng biểu thức sau:

$$T = \beta \cdot B \tag{3-7}$$

Trong đó:  $\beta$  là giá tiền một đơn vị nhiên liệu của nhà máy.

Đơn vị của T, thường xác định:  $\left(\frac{\text{VND}}{\text{h}}\right)$

Từ đặc tính tiêu hao nhiên liệu (hình 3-1), ta có đặc tính chi phí sản xuất của Nhà máy nhiệt điện có dạng tương tự như đặc tính tiêu hao nhiên liệu (hình 3-7).



Hình 3-7: Đặc tính chi phí sản xuất của các Nhà máy nhiệt điện

#### 2. Suất tăng chi phí sản xuất.

Khi tiêu hao nhiên liệu B được biểu diễn bằng chi phí sản xuất T thì  $\epsilon_{ND}$  được gọi là suất tăng chi phí sản xuất.

Trong đó:  $\epsilon_{ND} = \frac{dT}{dP}$ . Đơn vị là:  $\left(\frac{\text{VND}}{\text{kWh}}\right)$  (3-8)

Tương tự như suất tăng chi phí nhiên liệu, khi công suất của nhà máy càng tăng thì suất tăng chi phí sản xuất của nhà máy càng tăng.

#### 3. Suất chi phí sản xuất.

Khi tiêu hao nhiên liệu B được biểu diễn bằng chi phí sản xuất T thì  $\gamma_{ND}$  được gọi là suất chi phí sản xuất.

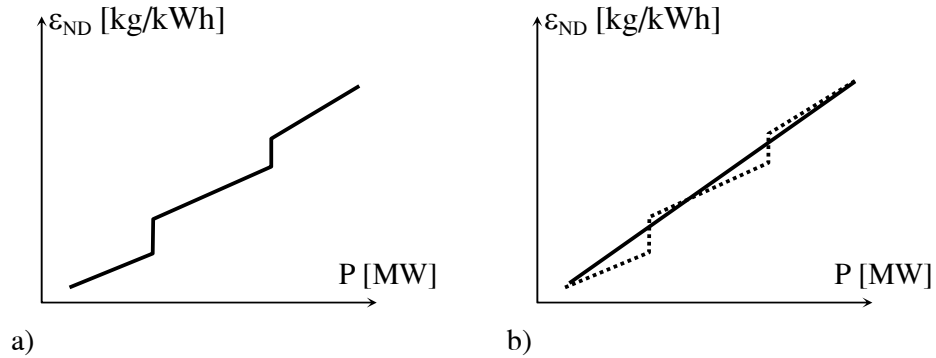
Trong đó:  $\gamma_{ND} = \frac{T}{P}$ . Đơn vị:  $\left(\frac{\text{VND}}{\text{kWh}}\right)$  (3-9)



Tương tự như suất chi phí nhiên liệu, khi công suất của nhà máy càng tăng thì suất chi phí sản xuất của nhà máy càng giảm.

**4. Đặc tính suất tăng chi phí sản xuất.**

Từ biểu thức (3-8) và đặc tính suất tăng tiêu hao nhiên liệu (hình 3-5) ta có đặc tính suất tăng chi phí sản xuất (hình 3-8).



Hình 3-8: Đặc tính suất tăng chi phí sản xuất của Nhà máy nhiệt điện

Ta thấy, đặc tính suất tăng chi phí sản xuất có dạng tuyến tính từng đoạn (hình 3-8a), tuy nhiên trong tính toán có thể thay thế gần đúng bằng đường thẳng duy nhất (hình 3-8b).

Khi đó, có thể xác định đặc tính  $\epsilon_{ND}$  theo phương trình đại số bậc nhất như sau:

$$\epsilon_{ND} = 2. a. P + b \tag{3-10}$$

Như vậy, đặc tính chi phí sản xuất sẽ có dạng phương trình đại số bậc 2 như sau:

$$T = a. P^2 + b. P + c \tag{3-11}$$

Trong đó: a, b, c là hệ số phụ thuộc vào công nghệ, nhiên liệu của nhà máy. (do nhà máy cung cấp).

Ví dụ:  $T_1 = 0,20. P_1^2 + 15 P_1 + 200$  [USD/h], với  $P_{dm} = 100$  [MW].

$T_2 = 0,10. P_2^2 + 17 P_2 + 300$  [USD/h], với  $P_{dm} = 120$  [MW].

Trong một số trường hợp có thể cho đặc tính chi phí sản xuất dưới dạng bảng.

#### IV. Đặc tính chi phí nước của Nhà máy thủy điện.

##### 1. Đặc tính chi phí nước.

Đối với Nhà máy thủy điện, chi phí nhiên liệu có thể coi bằng 0. Do đó sử dụng đặc tính chi phí nước (đặc tính tiêu hao nước) để tính toán, thường lập đặc tính chi phí nước chung cho một Nhà máy thủy điện. Đặc tính có dạng (hình 3-6), tuy nhiên trong tính toán có thể xác định đặc tính chi phí nước theo hàm bậc 2 như sau:

$$Q = \alpha \cdot P^2 + \beta \cdot P + \gamma \quad (3-11)$$

Trong đó:  $\alpha, \beta, \gamma$  là các hệ số phụ thuộc vào tình trạng hồ chứa ở đầu giờ tính công suất của nhà máy. (do nhà máy cung cấp)

##### 2. Suất tăng chi phí nước và đặc tính suất tăng chi phí nước.

Từ biểu thức (3-5) và (3-11) ta xác định suất tăng chi phí nước theo biểu thức sau:

$$\varepsilon_{TD} = 2 \cdot \alpha \cdot P + \beta \quad (3-12)$$

Do đó, đặc tính suất tăng chi phí nước là đường thẳng (3-12).

#### V. Suất tăng tổn thất công suất trong lưới điện.

Ta đã có tổn thất công suất trong mạng điện 2 nút a và b là:

$$\Delta P = \frac{P_{ab}^2 + Q_{ab}^2}{U_b^2} \cdot r_{ab}; \quad \Delta Q = \frac{P_{ab}^2 + Q_{ab}^2}{U_b^2} \cdot x_{ab}$$

Nếu mạng gồm n nút phụ tải và chọn n làm nút cân bằng, ta có:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \sum_{i=1}^{n-1} B_{ii} \cdot (P_i^2 + Q_i^2) + 2 \sum_{i=1}^{n-2n-1} \sum_{j=2} B_{ij} \cdot (P_i P_j + Q_i Q_j) - 2 \sum_{i=1}^{n-2n-1} \sum_{j=2} C_{ij} \cdot (P_i Q_j + Q_i P_j) \\ \Delta Q &= \sum_{i=1}^{n-1} D_{ii} \cdot (P_i^2 + Q_i^2) + 2 \sum_{i=1}^{n-2n-1} \sum_{j=2} D_{ij} \cdot (P_i P_j + Q_i Q_j) - 2 \sum_{i=1}^{n-2n-1} \sum_{j=2} F_{ij} \cdot (P_i Q_j + Q_i P_j) \end{aligned} \quad (3-13)$$

Với  $i \neq j$ .

Trong đó:

$$B_{ii} = \frac{r_{ii}}{U_i^2}; \quad B_{ij} = \frac{r_{ij}}{U_i \cdot U_j} \cdot \cos \delta_{ij}; \quad C_{ij} = \frac{r_{ij}}{U_i \cdot U_j} \cdot \sin \delta_{ij}$$

$$D_{ii} = \frac{x_{ii}}{U_i^2}; \quad D_{ij} = \frac{x_{ij}}{U_i \cdot U_j} \cdot \cos \delta_{ij}; \quad F_{ij} = \frac{x_{ij}}{U_i \cdot U_j} \cdot \sin \delta_{ij}$$

-  $r_{ii}, x_{ii}$  là điện trở và điện kháng của các đường dây nối với nút i đến nút cân bằng.

-  $r_{ij}, x_{ij}$  là điện trở và điện kháng của các đường dây nối nút i với nút j.

-  $\delta_{ij}$  là góc lệch điện áp giữa nút i và nút j.

Nếu lưới điện tập trung, khoảng cách truyền tải không quá lớn có thể xác định gần đúng:

$$\begin{aligned} \delta_{ij} = 0 \rightarrow \quad & \cos \delta_{ij} = 1; \quad \sin \delta_{ij} = 0 \\ & B_{ii} = \frac{r_{ii}}{U_i^2}; \quad B_{ij} = B_{ji} = \frac{r_{ij}}{U_i^2}; \quad C_{ij} = 0 \\ & D_{ii} = \frac{x_{ii}}{U_i^2}; \quad D_{ij} = D_{ji} = \frac{x_{ij}}{U_i^2}; \quad F_{ij} = 0 \end{aligned}$$

Và  $\cos \varphi = 1$ , với  $\varphi$  là góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện.

Khi đó:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} B_{ij} \cdot (P_i P_j + Q_i Q_j) \\ \Delta Q &= \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} D_{ij} \cdot (P_i P_j + Q_i Q_j) \end{aligned} \tag{3-13}$$

Đạo hàm riêng của  $\Delta P$  theo  $P_i$  ta có suất tăng tổn thất công suất trong lưới điện:

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial P_i} = \varepsilon = 2 \sum_{j=1}^{n-1} P_j \cdot B_{ij} \tag{3-14}$$

Ví dụ: Cho lưới điện gồm 3 nút, ta có suất tăng tổn thất công suất khi chọn nút 1 làm nút cân bằng là:

$$\varepsilon = 2(B_{11} \cdot P_1 + B_{12} \cdot P_2 + B_{13} \cdot P_3)$$

### □ 3.2 PHÂN PHỐI TỐI ƯU CÔNG SUẤT

#### GIỮA CÁC NHÀ MÁY NHIỆT ĐIỆN TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

##### I. Nguyên tắc thực hiện.

Giả thiết có n Tổ máy nhiệt điện hoặc Nhà máy nhiệt điện với đặc tính chi phí sản xuất của mỗi Tổ máy hoặc Nhà máy là  $T_i$ , giới hạn công suất là  $P_{i,\min}$  và  $P_{i,\max}$ . Biết công suất yêu cầu của phụ tải là  $P_{YC} = P_{PT} + \Delta P$ .

Trong đó:  $P_{PT}$  và  $\Delta P$  là công suất của phụ tải và tổn thất công suất trong lưới điện.

Giả thiết phụ tải không thay đổi trong 1h (thay đổi rất nhỏ) và tất cả các tổ máy đều tham gia vận hành.

Cần phân phối công suất phát của mỗi Tổ máy sao cho tổng chi phí sản xuất trong thời gian 1h vận hành của Nhà máy nhiệt điện hay Hệ thống điện là nhỏ nhất.

**Chú ý:** Cần kiểm tra chế độ làm việc lớn nhất ( $P_{\max}$ ) và chế độ làm việc nhỏ nhất ( $P_{\min}$ ) của các tổ máy phát hoặc nhà máy.

- Nếu  $P_i < P_{\min}$  thì lấy  $P_i = P_{\min}$ .
- Nếu  $P_i > P_{\max}$  thì lấy  $P_i = P_{\max}$ .

Sau đó cân bằng công suất cho các máy phát hoặc nhà máy còn lại.

##### II. Phân phối tối ưu công suất khi tổn thất công suất $\Delta P$ không phụ thuộc vào công suất phát của các nhà máy $P_i$ .

##### 1. Nguyên tắc tính toán.

Gọi chi phí tổng của Hệ thống điện là T, mà T cực tiểu sẽ ứng với chế độ tối ưu. Ẩn số là công suất phát ra của các Nhà máy nhiệt điện  $P_1, P_2, \dots, P_n$ . Giả thiết, chi phí tổng T chỉ phụ thuộc vào công suất tác dụng, nghĩa là:

$$T = f(P_1, P_2, \dots, P_n) \tag{3-15}$$

Điều kiện ràng buộc là phương trình cân bằng công suất tác dụng.

$$W_p = P_1 + P_2 + \dots + P_n - \sum P_{pt} - \Delta P = 0 \tag{3-16}$$

Lập phương trình Lagrange:

$$L = T - \lambda \cdot W_p \tag{3-17}$$

Điều kiện cực trị sẽ là:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial P_1} = \frac{\partial T}{\partial P_1} - \lambda \cdot \frac{\partial W_p}{\partial P_1} = \frac{\partial T}{\partial P_1} - \lambda = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial P_2} = \frac{\partial T}{\partial P_2} - \lambda \cdot \frac{\partial W_p}{\partial P_2} = \frac{\partial T}{\partial P_2} - \lambda = 0 \\ \dots\dots\dots \\ \frac{\partial L}{\partial P_n} = \frac{\partial T}{\partial P_n} - \lambda \cdot \frac{\partial W_p}{\partial P_n} = \frac{\partial T}{\partial P_n} - \lambda = 0 \end{cases} \quad (3-18)$$

Vì chi phí tổng bằng tổng các chi phí của các Nhà máy nhiệt điện, ta có:

$$T = T_1 + T_2 + \dots + T_n \quad (3-19)$$

Do đó:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial P_1} = \frac{\partial T_1}{\partial P_1} + \frac{\partial T_2}{\partial P_1} + \dots + \frac{\partial T_n}{\partial P_1} \\ \frac{\partial T}{\partial P_2} = \frac{\partial T_1}{\partial P_2} + \frac{\partial T_2}{\partial P_2} + \dots + \frac{\partial T_n}{\partial P_2} \\ \dots\dots\dots \\ \frac{\partial T}{\partial P_n} = \frac{\partial T_1}{\partial P_n} + \frac{\partial T_2}{\partial P_n} + \dots + \frac{\partial T_n}{\partial P_n} \end{cases} \quad (3-20)$$

Coi sự thay đổi chi phí sản xuất của nhà máy i không phụ thuộc vào công suất phát nhà máy k, do đó:

$$\frac{\partial T_i}{\partial P_k} = 0 \text{ khi } i \neq k \text{ và } \frac{\partial T_i}{\partial P_i} = \epsilon_i \quad (3-21)$$

Từ phương trình (3-20) và (3-21) ta có:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial P_1} = \frac{\partial T_1}{\partial P_1} = \epsilon_1 \\ \frac{\partial T}{\partial P_2} = \frac{\partial T_2}{\partial P_2} = \epsilon_2 \\ \dots\dots\dots \\ \frac{\partial T}{\partial P_n} = \frac{\partial T_n}{\partial P_n} = \epsilon_n \end{cases} \quad (3-22)$$

Thay (3-22) vào (3-18) ta có:

$$\epsilon_1 = \epsilon_2 = \dots = \epsilon_n \quad (3-23)$$

Với:  $\epsilon_i = \frac{\partial T_i}{\partial P_i} = f(P_i)$  là suất tăng chi phí của nhà máy i.

Vậy, điều kiện phân phối tối ưu công suất tác dụng là:

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \dots = \varepsilon_n \\ P_1 + P_2 + \dots + P_n = \sum P_{pt} + \Delta P \end{cases} \quad (3-24)$$

Giải hệ phương trình (3-24) sẽ được trị số tối ưu công suất của các Nhà máy nhiệt điện  $P_1, P_2, \dots, P_n$ .

Vậy, nếu không kể đến sự thay đổi của tổn thất công suất tác dụng và công suất của phụ tải thì điều kiện để phân phối công suất tối ưu giữa các Nhà máy nhiệt điện là cân bằng suất tăng chi phí của các Nhà máy nhiệt điện.

Để minh chứng cho điều kiện (3-24) là điều kiện phân phối tối ưu công suất, tìm giá trị cực tiểu của T bằng cách lấy đạo hàm bậc 2 của hàm L, với L dương.

$$d^2L = d^2T - \lambda.d^2W_p > 0 \quad (3-25)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} d^2T &= \frac{\partial^2 T_1}{\partial P_1^2} (dP_1)^2 + \frac{\partial^2 T_2}{\partial P_2^2} (dP_2)^2 + \dots + \frac{\partial^2 T_n}{\partial P_n^2} (dP_n)^2 + \\ &+ 2 \frac{\partial^2 T_1}{\partial P_1 \cdot \partial P_2} \cdot dP_1 \cdot dP_2 + 2 \frac{\partial^2 T_1}{\partial P_1 \cdot \partial P_3} \cdot dP_1 \cdot dP_3 + \dots \end{aligned}$$

Vì suất tăng chi phí sản xuất của nhà máy  $i$  không phụ thuộc vào công suất của nhà máy  $k$ , nên với  $i \neq k$  ta có:

$$d^2T = \frac{\partial^2 T_1}{\partial P_1^2} (dP_1)^2 + \frac{\partial^2 T_2}{\partial P_2^2} (dP_2)^2 + \dots + \frac{\partial^2 T_n}{\partial P_n^2} (dP_n)^2$$

Tương tự đạo hàm cấp hai  $W_p$  ta có:

$$\begin{aligned} d^2W_p &= \frac{\partial^2 W_p}{\partial P_1^2} (dP_1)^2 + \frac{\partial^2 W_p}{\partial P_2^2} (dP_2)^2 + \dots \\ &+ 2 \frac{\partial^2 W_p}{\partial P_1 \cdot \partial P_2} dP_1 dP_2 + 2 \frac{\partial^2 W_p}{\partial P_1 \cdot \partial P_3} dP_1 dP_3 + \dots \end{aligned}$$

Vì :  $\frac{\partial W_p}{\partial P_1} = 1; \frac{\partial W_p}{\partial P_2} = 1; \dots$       dẫn đến:  $\frac{\partial^2 W_p}{\partial P_1^2} = 0; \frac{\partial^2 W_p}{\partial P_2^2} = 0; \dots$

Do đó:  $d^2W_p = 0$

Vì vậy, ta có:

$$d^2L = \frac{\partial^2 T_1}{\partial P_1^2} (dP_1)^2 + \frac{\partial^2 T_2}{\partial P_2^2} (dP_2)^2 + \dots + \frac{\partial^2 T_n}{\partial P_n^2} (dP_n)^2 > 0 \quad (3-26)$$

Nghĩa là:

$$\frac{\partial^2 T_1}{\partial P_1^2} \geq 0; \quad \frac{\partial^2 T_2}{\partial P_2^2} \geq 0; \dots; \quad \frac{\partial^2 T_n}{\partial P_n^2} \geq 0$$

Muốn thoả mãn điều kiện trên thì  $\frac{\partial \epsilon_i}{\partial P_i} \geq 0$ , nghĩa là đặc tính suất tăng  $\epsilon_{ND}$

không giảm khi công suất tác dụng  $P_i$  tăng. Từ đường đặc tính suất tăng chi phí sản xuất thực tế (hình 3-8) ta thấy thoả mãn điều kiện trên. Vậy, (3-24) là điều kiện để chi phí sản xuất của hệ thống sẽ đạt cực tiểu.

## 2. Phương pháp tính.

a) *Phương pháp lập.*

Nếu chi phí tính toán của các Nhà máy nhiệt điện cho dưới dạng bảng hoặc hàm giải tích, phương pháp lập được thực hiện rất dễ dàng.

B1: Xác định điều kiện phân phối tối ưu công suất theo hàm Lagrange.

B2: Xác định các suất tăng  $\epsilon_i$ .

B3: Cho hệ số  $\lambda$  (có thể chọn giá trị bất kỳ).

B4: Xác định  $P_i$ .

B5: Cân bằng công suất theo hàm  $W_p = 0$ .

- Nếu  $W_p > 0$  thì giảm hệ số  $\lambda$ .

- Nếu  $W_p < 0$  thì tăng hệ số  $\lambda$ .

Quay lại B3 và tiếp tục cho đến khi thoả mãn phương trình  $W_p$ .

B6: Xác định công suất vận hành của các nhà máy và tổ máy phát  $P_i$ .

B7: Xác định chi phí sản xuất của nhà máy.

Ví dụ 1:

Cho Nhà máy nhiệt điện có 2 tổ máy với đặc tính chi phí sản xuất như sau:

$$T_1 = 0,005. P_1^2 + 2. P_1 + 500 \quad [\text{USD/h}].$$

$$T_2 = 0,006. P_2^2 + 1,6. P_2 + 400 \quad [\text{USD/h}].$$

$$P_{1\max} = P_{2\max} = 125 \quad [\text{MW}].$$

$$P_{1\min} = P_{2\min} = 20 \quad [\text{MW}].$$

Hai tổ máy làm việc đồng thời khi phụ tải thay đổi trong khoảng:

$$P_{pt.\max} = 250 \quad [\text{MW}]; \quad P_{pt.\min} = 40 \quad [\text{MW}].$$

Hãy phân phối công suất tối ưu cho 2 tổ máy trong Nhà máy nhiệt điện trên, với phụ tải  $P_{pt} = 50 \quad [\text{MW}]$  và  $P_{pt} = 180 \quad [\text{MW}]$ , khi không xét đến tổn thất công suất.

**Bài giải**

**B1:** Xác định điều kiện phân phối tối ưu công suất theo hàm Lagrange.

Điều kiện phân phối tối ưu công suất theo hàm Lagrange khi bỏ qua tổn thất công suất là:

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \lambda \\ W_p = P_1 + P_2 - P_{pt} = 0 \end{cases}$$

**B2:** Xác định các suất tăng.

Từ phương trình của  $T_1$  và  $T_2$  xác định được:

$$- \varepsilon_1 = \frac{dT_1}{dP_1} = 0,010.P_1 + 2 \quad [\text{USD/MWh}]$$

$$- \varepsilon_2 = \frac{dT_2}{dP_2} = 0,012.P_2 + 1,6 \quad [\text{USD/MWh}]$$

\*) Khi công suất của phụ tải là 50 MW.

**B3:** Cho hệ số  $\lambda$  (có thể chọn giá trị bất kỳ).

Công suất của các máy phát tính theo  $\lambda$ .

$$- \varepsilon_1 = \lambda = 0,010.P_1 + 2 \quad \rightarrow \quad P_1 = \frac{\lambda - 2}{0,010} \quad [\text{MW}]$$

$$- \varepsilon_2 = \lambda = 0,012.P_2 + 1,6 \quad \rightarrow \quad P_2 = \frac{\lambda - 1,6}{0,012} \quad [\text{MW}]$$

Chọn  $\lambda = 2,2$ .

**B4:** Xác định  $P_i$ .

$$- P_1 = \frac{2,2 - 2}{0,010} = 20 \quad [\text{MW}]$$

$$- P_2 = \frac{2,2 - 1,6}{0,012} = 50 \quad [\text{MW}]$$

**B5:** Cân bằng công suất theo hàm  $W_p = 0$ .

Kiểm tra cân bằng phụ tải, ta có:

$$W_p = 20 + 50 - 50 = 20 \quad [\text{MW}]$$

Vậy,  $W_p > 0$  sai số quá lớn, giảm hệ số  $\lambda$  và tiếp tục quay lại tính toán từ **B3** được kết quả trên (bảng 3-2).



Bảng 3-2

STT	$\lambda$	$P_1$ [MW]	$P_2$ [MW]	$P_{pt}$ [MW]	$W_p$ [MW]	G.chú
1	2,2	20	50	50	20	
2	2,1	10	41,66	50	1,6	
3	2,09	9	40,83	50	-0,17	
4	2,0909	9,09	40,908	50	0,002	Đạt

**B6:** Xác định công suất vận hành của các nhà máy và tổ máy phát  $P_i$ .

Từ điều kiện công suất max và min thấy rằng, các tổ máy phát có  $P_{min} = 20$  [MW], công suất phát của tổ máy nhỏ nhất phải lớn hơn hoặc bằng  $P_{min}$ . Do đó  $P_1 = 20$  [MW], khi đó  $P_2 = 50 - 20 = 30$  [MW].

**B7:** Xác định chi phí sản xuất của nhà máy.

Chi phí sản xuất của nhà máy là:

$$T_1 = 0,005 \cdot 20^2 + 2 \cdot 20 + 500 = 542,00 \text{ [USD]}.$$

$$T_2 = 0,006 \cdot 40,908^2 + 1,6 \cdot 40,908 + 400 = 453,4 \text{ [USD]}.$$

$$T = T_1 + T_2 = 518,59 + 475,49 = 995,4 \text{ [USD]}.$$

\*) Khi công suất của phụ tải là 180 [MW].

Tính toán tương tự như trên, ta có kết quả trong (bảng 3-3)

Bảng 3-3

STT	$\lambda$	$P_1$ [MW]	$P_2$ [MW]	$P_{pt}$ [MW]	$W_p$ [MW]	G.chú
1	2,9	90	108,33	180	18,3	
2	2,85	85	104,17	180	9,17	
3	2,8	80	100	180	0	Đạt

Từ  $P_{min} = 20$  [MW] ta có  $P_1 = 80$  [MW] và  $P_2 = 180 - 80 = 100$  [MW].

Chi phí sản xuất của nhà máy là:

$$T_1 = 0,005 \cdot 20^2 + 2 \cdot 20 + 500 = 692,00 \text{ [USD]}.$$

$$T_2 = 0,006 \cdot 40,908^2 + 1,6 \cdot 40,908 + 400 = 620,00 \text{ [USD]}.$$

$$T = T_1 + T_2 = 518,59 + 475,49 = 1312,00 \text{ [USD]}.$$



$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \lambda \\ W_p = P_1 + P_2 - P_{pt} = 0 \end{cases}$$

**B2:** Xác định các suất tăng.

Từ phương trình của  $T_1$  và  $T_2$  xác định được:

$$- \varepsilon_1 = \frac{dT_1}{dP_1} = 0,010 \cdot P_1 + 2 \quad [\text{USD/MWh}]$$

$$- \varepsilon_2 = \frac{dT_2}{dP_2} = 0,012 \cdot P_2 + 1,6 \quad [\text{USD/MWh}]$$

**B3:** Xác định hệ số  $\lambda$ .

Xác định các tham số gồm:

$$- a_T = \left( \sum_{i=1}^2 \frac{1}{2a_i} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{2a_1} + \frac{1}{2a_2} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{2.0,005} + \frac{1}{2.0,006} \right)^{-1} = 0,005455$$

$$- b_T = a_T \cdot \sum_{i=1}^2 \frac{b_i}{2a_i} = a_T \cdot \left( \frac{b_1}{2a_1} + \frac{b_2}{2a_2} \right) = 0,005455 \cdot \left( \frac{2}{2.0,005} + \frac{1,6}{2.0,006} \right) = 1,8182$$

\*) Khi công suất của phụ tải là 50 [MW].

$$- P_T = \sum_{i=1}^2 P_i = P_1 + P_2 = P_{pt} = 50 \quad [\text{MW}]$$

Vậy,  $\lambda = a_T \cdot P_T + b_T = 0,005455 \cdot 50 + 1,8182 = 2,0909$

**B4:** Xác định  $P_i$ .

Từ biểu thức xác định suất tăng ta có:

$$- P_1 = \frac{\lambda - 2}{0,010} = \frac{2,0909 - 2}{0,010} = 9,09 \quad [\text{MW}]$$

$$- P_2 = \frac{\lambda - 1,6}{0,012} = \frac{2,0909 - 1,6}{0,012} = 40,908 \quad [\text{MW}]$$

Ta thấy, giá trị  $P_1$  và  $P_2$  xác định được giống ví dụ 1.

\*) Khi công suất của phụ tải là 180 [MW].

$$- P_T = \sum_{i=1}^2 P_i = P_1 + P_2 = P_{pt} = 180 \quad [\text{MW}]$$

Vậy,  $\lambda = a_T \cdot P_T + b_T = 0,005455 \cdot 180 + 1,8182 = 2,8$

**B4:** Xác định  $P_i$ .

Từ biểu thức xác định suất tăng ta có:

$$- P_1 = \frac{\lambda - 2}{0,010} = \frac{2,8 - 2}{0,010} = 80 \quad [\text{MW}]$$

$$- P_2 = \frac{\lambda - 1,6}{0,012} = \frac{2,8 - 1,6}{0,012} = 100 \quad [\text{MW}]$$

Ta thấy, giá trị  $P_1$  và  $P_2$  xác định được giống ví dụ 1.

**B5:** Xác định công suất vận hành của các nhà máy và tổ máy phát  $P_i$ .

Như ví dụ 1.

**B6:** Xác định chi phí sản xuất của nhà máy.

Như ví dụ 1.

c) *Phương pháp đồ thị.*

Nếu cho đặc tính suất tăng chi phí dưới dạng bảng có thể dùng phương pháp đồ thị.

Xác định phân phối tối ưu công suất của các nhà máy điện theo các bước sau:

**B1:** Lập điều kiện phân phối tối ưu công suất theo hàm Lagrange.

**B2:** Lập đặc tính biểu diễn  $f(\varepsilon, P_i)$  và  $f(\varepsilon, P_\Sigma)$ .

**B3:** Xác định  $P_i$ .

Từ công suất của phụ tải tra các đặc tính xác định được  $P_1, P_2, \dots, P_n$  tương ứng với  $\varepsilon$ .

**B4:** Xác định công suất vận hành của các nhà máy và tổ máy phát  $P_i$ .

Ví dụ 3:

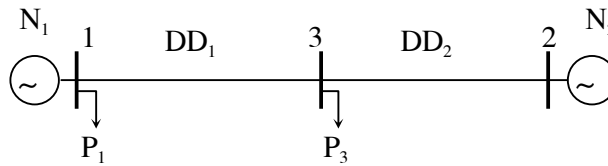
Cho hệ thống điện có sơ đồ (hình 3-9) với các nhà máy điện có đặc tính suất tăng chi phí như (bảng 3-4).

Bảng 3-4

$\varepsilon$	<b>0,42</b>	<b>0,44</b>	<b>0,46</b>	<b>0,48</b>	<b>0,50</b>	<b>0,52</b>	<b>0,54</b>	<b>0,56</b>
$P_1(\text{MW})$	22	29	34	34	34	34	34	42
$P_2(\text{MW})$	24,8	35	42	42	42	42	43,5	45
$P_\Sigma(\text{MW})$	48	64	76	76	76	76	77,5	87
$\varepsilon$	<b>0,58</b>	<b>0,60</b>	<b>0,62</b>	<b>0,64</b>	<b>0,66</b>	<b>0,68</b>	<b>0,70</b>	<b>0,72</b>
$P_1(\text{MW})$	50	50	50	50	50	0	50	50
$P_2(\text{MW})$	48	48	48	48	48	48	48	48
$P_\Sigma(\text{MW})$	98	98	98	98	98	98	98	98

Phụ tải của mạng điện là:  $P_{\text{pt.1}} = 10$  [MW],  $P_{\text{pt.3}} = 70$  [MW]. Công suất phát  $P_{\text{min}} = 20$  [MW],  $P_{\text{max}} = 60$  [MW]. Điện trở của các đường dây:  $R_1 = 9,2$  [ $\Omega$ ],  $R_2 = 13,5$  [ $\Omega$ ]. Điện áp định mức của mạng là 110 [kV]. Phân phối tối ưu

công suất của các nhà máy điện khi bỏ qua tổn thất công suất trên các đường dây?.



Hình 3-9: Sơ đồ mạng điện

**Bài giải**

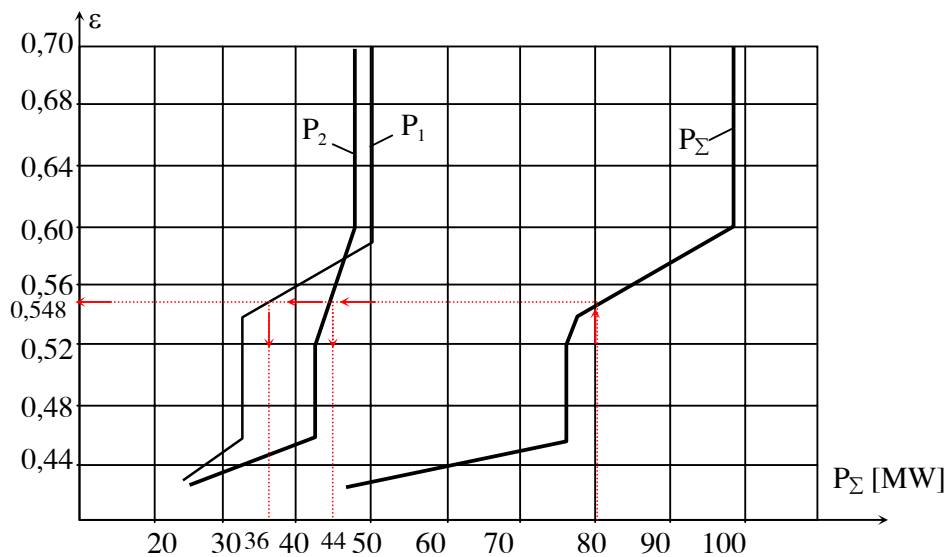
**B1:** Xác định điều kiện phân phối tối ưu công suất theo hàm Lagrange.

Điều kiện phân phối tối ưu công suất theo hàm Lagrange khi bỏ qua tổn thất công suất là:

$$\begin{cases} \epsilon_1 = \epsilon_2 = \lambda \\ W_p = P_1 + P_2 - P_{pt} = 0 \end{cases}$$

**B2:** Lập đặc tính biểu diễn  $f(\epsilon, P_i)$  và  $f(\epsilon, P_\Sigma)$ .

Từ (bảng 3-4) vẽ được các đường đặc tính như (hình 3-10).



Hình 3-10: Đường đặc tính suất tăng chi phí sản xuất

**B3:** Xác định  $P_i$ .

Từ (hình 3-10) xác định được  $\epsilon = 0,548$ . Do đó xác định được công suất của các nhà máy điện:

$$P_1 = 36 \text{ [MW]}, P_2 = 44 \text{ [MW]}.$$

**B4:** Xác định công suất vận hành của các nhà máy và tổ máy phát  $P_i$ .

Từ công suất  $P_{\max}$  và  $P_{\min}$  thấy rằng công suất tối ưu là  $P_1 = 36$  [MW] và  $P_2 = 44$  [MW].

**III. Phân phối tối ưu công suất khi tổn thất công suất  $\Delta P$  phụ thuộc vào công suất phát của các nhà máy  $P_i$ .**

**1. Nguyên tắc tính toán.**

Tổn thất công suất tác dụng trong mạng phụ thuộc vào công suất tác dụng của từng tổ máy (nhà máy) và không phụ thuộc vào công suất phản kháng, nghĩa là:

$$\Delta P = f(P_1, P_2, \dots, P_n)$$

Từ phương trình (3-15, 3-16, 3-17) có thể rút ra điều kiện phân phối tối ưu công suất tác dụng như sau:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial P_1} = \frac{\partial T}{\partial P_1} - \lambda \frac{\partial W_p}{\partial P_1} = \varepsilon_1 - \lambda \left( 1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_1} \right) = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial P_2} = \frac{\partial T}{\partial P_2} - \lambda \frac{\partial W_p}{\partial P_2} = \varepsilon_2 - \lambda \left( 1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_2} \right) = 0 \\ \dots\dots\dots \\ \frac{\partial L}{\partial P_n} = \frac{\partial T}{\partial P_n} - \lambda \frac{\partial W_p}{\partial P_n} = \varepsilon_n - \lambda \left( 1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_n} \right) = 0 \end{cases} \quad (3-27)$$

Từ hệ phương trình (3-27) ta có.

$$\lambda = \frac{\varepsilon_1}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_1}} = \frac{\varepsilon_2}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_2}} = \dots = \frac{\varepsilon_n}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_n}} \quad (3-28)$$

Hệ phương trình (3-28) cùng với phương trình cân bằng (3-16) ta có điều kiện phân phối tối ưu công là:

$$\begin{cases} \lambda = \frac{\varepsilon_1}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_1}} = \frac{\varepsilon_2}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_2}} = \dots = \frac{\varepsilon_n}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_n}} \\ W_p = P_1 + P_2 + \dots + P_n - \sum P_{pt} - \Delta P = 0 \end{cases} \quad (3-29)$$

Như vậy, muốn phân phối tối ưu công suất của các Nhà máy nhiệt điện khi kể đến tổn thất công suất, phải biết mối quan hệ giữa suất tăng chi phí với công suất tác dụng của các tổ máy  $\varepsilon_i = f(P_i)$  và quan hệ giữa các đạo hàm riêng của tổn thất công suất tác dụng với công suất tác dụng của các tổ máy

$\frac{\partial \Delta P}{\partial P_i} = f(P_1, P_2, \dots, P_n)$ . Thành phần  $\frac{\varepsilon_i}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_i}}$  là suất tăng chi phí của các tổ máy

nhưng đã qui đổi về nút cân bằng.

**2. Phương pháp tính toán.**

Khi mạng điện có nhiều Nhà máy nhiệt điện với lượng tổn thất công suất lớn, để đảm bảo phân phối công suất tối ưu cần xét đến tổn thất công suất tác dụng khi tính toán, các bước tính toán như sau:

B1: Chọn nút cân bằng.

B2: Xác định tổn thất công suất tác dụng của mạng điện  $\Delta P$  phụ thuộc vào công suất phát và phụ tải (hàm của  $P_i$ ) và tính đạo hàm của  $\Delta P$ .

B3: Xác định điều kiện phân phối tối ưu công suất theo hàm Lagrange.

- Nếu số phương trình nhỏ tiếp tục B4.

- Nếu số phương trình lớn tiếp tục B5.

B4: Xác định công suất tối ưu của các nhà máy điện  $P_i$  bằng phương pháp trực tiếp.

B5: Dùng phương pháp gần đúng phân phối tối ưu công suất các nhà máy điện khi bỏ qua tổn thất công suất.

B6: Cân bằng công suất của mạng điện khi kể đến tổn thất công suất.

- Nếu  $W_p = 0$  thì công suất tìm được là tối ưu.

- Nếu  $W_p \neq 0$  thì phải tiếp tục B7.

B7: Hiệu chỉnh  $\varepsilon$  tại nút không cân bằng theo biểu thức:

$$\varepsilon_i = \lambda \left( 1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_i} \right)$$

Xác định công suất  $P_i$  với  $\varepsilon_i$  vừa tìm được và thay vào biểu thức xác định  $\Delta P$ , tính lại  $\frac{\partial \Delta P}{\partial P_i}$ . Tiếp tục tính như trên sao cho  $\frac{\partial \Delta P}{\partial P_i}$  của lần tính thứ n và

$\frac{\partial \Delta P}{\partial P_i}$  của lần tính thứ (n+1) gần bằng nhau thì dừng. Khi đó  $\varepsilon_i$  của lần tính thứ (n+1) được dùng để xác định công suất tối ưu của các nhà máy điện.

B8: Cân bằng công suất của mạng điện khi kể đến tổn thất công suất.

- Nếu  $W_p > 0$  thì giảm hệ số  $\lambda$ .

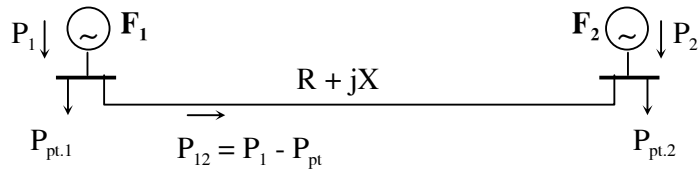
- Nếu  $W_p < 0$  thì tăng hệ số  $\lambda$ .

Quay lại tiếp tục tính lại **B5**.

**B9:** Xác định công suất vận hành của các nhà máy và tổ máy phát  $P_i$ .

**Ví dụ 4:**

Cho mạng điện có sơ đồ (hình 3-11).



Hình 3-11: Mạng điện liên lạc giữa 2 Nhà máy nhiệt điện

- Nhà máy nhiệt điện 1 có công suất phát là  $P_1$ . Đặc tính chi phí sản xuất  $T_1 = 0,005 \cdot P_1^2 + 2 \cdot P_1 + 500$  [USD].

- Nhà máy nhiệt điện 2 có công suất phát là  $P_2$ . Đặc tính chi phí sản xuất  $T_2 = 0,006 \cdot P_2^2 + 2 \cdot P_2 + 400$  [USD].

-  $P_{1,max} = P_{2,max} = 125$  [MW].

-  $P_{1,min} = P_{2,min} = 20$  [MW].

-  $P_{pt.1} = 10$  [MW];  $P_{pt.2} = 190$  [MW].

- Đường dây có thông số:  $R = 20$  [ $\Omega$ ];  $U_{dm} = 220$  [kV].

-  $\cos\varphi = 1$  cho toàn hệ thống.

**Bài giải**

**B1:** Chọn nút cân bằng.

Ta thấy, phụ tải 2 lớn hơn rất nhiều phụ tải 1, nên lấy nút 2 làm nút cân bằng.

**B2:** Xác định tổn thất công suất tác dụng của mạng điện  $\Delta P$  phụ thuộc vào công suất phát và phụ tải (hàm của  $P_i$ ) và tính đạo hàm của  $\Delta P$ .

- Xác định tổn thất công suất của mạng điện.

Do đó tổn thất công suất trong mạng là:

$$\Delta P = \frac{P_{12}^2 + Q_{12}^2}{U_{dm}^2} \cdot R$$

Vì  $\cos\varphi = 1$ , nên  $Q_{12} = 0$ .

$$\Delta P = \frac{P_{12}^2}{U_{dm}^2} \cdot R = \frac{(P_1 - P_{pt.1})^2}{U_{dm}^2} \cdot R = \frac{20}{220^2} (P_1 - P_{pt.1})^2 = 4,13 \cdot 10^{-4} \cdot (P_1 - P_{pt.1})^2$$

- Đạo hàm  $\Delta P$  theo  $P_1, P_2$  ta có:



$$\frac{\partial \Delta P}{\partial P_1} = 2.4,13.10^{-4} (P_1 - P_{pt.1}) = 8,26.10^{-4} (P_1 - P_{pt.1})$$

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial P_2} = 0$$

**B3:** Xác định điều kiện phân phối tối ưu công suất theo hàm Lagrange.

$$\begin{cases} \lambda = \frac{\varepsilon_1}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_1}} = \frac{\varepsilon_2}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_2}} \\ W_p = P_1 + P_2 + \dots + P_n - \sum P_{pt} - \Delta P = 0 \end{cases}$$

Vì số phương trình nhỏ tiếp tục **B4** theo phương pháp trực tiếp.

**B4:** Xác định công suất tối ưu của các nhà máy điện  $P_1$  bằng phương pháp trực tiếp.

- Cân bằng công suất tác dụng:

$$\begin{aligned} W_p &= P_1 + P_2 - P_{pt.1} - P_{pt.2} - \Delta P = \\ &= P_1 + P_2 - P_{pt.1} - P_{pt.2} - 4,13.10^{-4} \cdot (P_1 - P_{pt.1})^2 = \\ &= P_1 + P_2 - 200 - 4,13.10^{-4} \cdot (P_1 - P_{pt.1})^2 \end{aligned}$$

- Xác định công suất tối ưu:

Từ **ví dụ 1** ta có:

$$- \varepsilon_1 = 0,010 \cdot P_1 + 2 \quad [\text{USD/MWh}]$$

$$- \varepsilon_2 = 0,012 \cdot P_2 + 1,6 \quad [\text{USD/MWh}]$$

Từ điều kiện phân phối công suất tối ưu, có:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\varepsilon_1}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_1}} = \frac{\varepsilon_2}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_2}} \rightarrow \lambda = \frac{\varepsilon_1}{1 - 8,26.10^{-4} (P_1 - P_{pt.1})} = \varepsilon_2 \\ \rightarrow \lambda &= \frac{0,010 P_1 + 2}{1 - 8,26.10^{-4} (P_1 - P_{pt.1})} = 0,012 P_2 + 1,6. \end{aligned}$$

Và

$$\begin{aligned} W_p = P_1 + P_2 - P_{pt.1} - P_{pt.2} - \Delta P = 0 &\rightarrow P_2 = P_{pt.1} + P_{pt.2} + \Delta P - P_1 \\ \rightarrow P_2 &= 10 + 190 + 4,13.10^{-4} \cdot (P_1 - P_{pt.1})^2 - P_1 = 200 + 4,13.10^{-4} \cdot (P_1 - P_{pt.1})^2 - P_1. \end{aligned}$$

Thế vào biểu thức tính  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{0,010 P_1 + 2}{1 - 8,26.10^{-4} (P_1 - P_{pt.1})} = 0,012 [200 + 4,13.10^{-4} \cdot (P_1 - P_{pt.1})^2 - P_1] + 1,6.$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \frac{0,010.P_1 + 2}{1 - 8,26.10^{-4}(P_1 - 10)} &= 0,05.10^{-4}(P_1 - 10)^2 - 0,012.P_1 + 4,0 \\ \rightarrow P_1 &= 83,78 \quad [\text{MW}] \end{aligned}$$

Khi đó ta xác định  $\lambda$ , để tìm công suất của Nhà máy nhiệt điện 2:

$$\lambda = \varepsilon_2 = 0,012.P_2 + 1,6 = \frac{0,01.P_1 + 2}{1 - 8,26.10^{-4}(P_1 - P_{pt.1})} = \frac{0,01.83,78 + 2}{1 - 8,26.10^{-4}(83,78 - 10)} = 3,022$$

Vậy, công suất của Nhà máy nhiệt điện 2 là:

$$P_2 = 200 + 4,13.10^{-4}.(83,78 - 10)^2 - 83,78 = 118,468 \quad [\text{MW}]$$

Hoặc: 
$$P_2 = \frac{\lambda - 1,6}{0,012} = \frac{3,022 - 1,6}{0,012} = 118,5 \quad [\text{MW}]$$

Khi đó, tổn thất công suất trong mạng điện là:

$$\Delta P = 4,13.10^{-4}.(83,78 - 10)^2 = 2,248 \quad [\text{MW}]$$

**B9:** Xác định công suất vận hành của các nhà máy và tổ máy phát  $P_i$ .

Từ điều kiện công suất  $P_{\max}$  và  $P_{\min}$ , công suất  $P_1$  và  $P_2$  tìm được là công suất vận hành tối ưu của hệ thống điện.

**Ví dụ 5:**

**IV. Phân phối tối ưu công suất khi tổn thất công suất  $\Delta P$  phụ thuộc vào công suất tác dụng  $P_i$  và công suất phản kháng  $Q_i$  của nhà máy.**

Phân phối công suất tối ưu trong Hệ thống điện chỉ xét sự phụ thuộc của tổn thất công suất với riêng công suất tác dụng hay phản kháng như trên, chỉ đảm bảo sai số cho phép khi công suất của phụ tải không phụ thuộc vào điện áp và sản xuất công suất phản kháng không đòi hỏi chi phí sản xuất.

Trong thực tế, tổn thất công suất phụ thuộc vào công suất tác dụng và công suất phản kháng. Vì vậy hàm chi phí sản xuất được xác định như sau:

$$T = f(P_1, P_2, \dots, P_n; Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \quad (3-30)$$

Các phương trình ràng buộc sẽ là:

$$\begin{cases} W_P = P_1 + P_2 + \dots + P_n - \sum P_{pt} - \Delta P = 0 \\ W_Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n - \sum Q_{pt} - \Delta Q = 0 \end{cases} \quad (3-31)$$

Trong đó:

- $P_1, P_2, \dots, P_n$  là công suất tác dụng của các tổ máy 1, 2, ..., n.
- $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  là công suất phản kháng của các tổ máy 1, 2, ..., n.
- $\sum P_{pt}$  là tổng công suất tác dụng của phụ tải.
- $\sum Q_{pt}$  là công suất phản kháng của các phụ tải.

- $\Delta P$  là tổn thất công suất tác dụng trong mạng.
- $\Delta Q$  là tổn thất công suất phản kháng trong mạng.

Hàm Lagrange có dạng:

$$L = T - \lambda_1 \cdot W_P - \lambda_2 \cdot W_Q \tag{3-32}$$

Điều kiện phân phối tối ưu công suất là:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial P_1} = \varepsilon_1 - \lambda_1 \cdot \left(1 - \frac{\partial \Sigma P_{pt}}{\partial P_1} - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_1}\right) - \lambda_2 \cdot \left(-\frac{\partial \Sigma P_{pt}}{\partial P_1} - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_1}\right) = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial Q_1} = \theta_1 - \lambda_1 \cdot \left(-\frac{\partial \Sigma Q_{pt}}{\partial Q_1} - \frac{\partial \Delta Q}{\partial Q_1}\right) - \lambda_2 \cdot \left(1 - \frac{\partial \Sigma Q_{pt}}{\partial Q_1} - \frac{\partial \Delta Q}{\partial Q_1}\right) = 0 \end{cases} \tag{3-33}$$

Trong đó:

- $\varepsilon_i = \frac{\partial T_i}{\partial P_i}$  là suất tăng chi phí cho công suất tác dụng.
- $\theta_i = \frac{\partial T_i}{\partial Q_i}$  là suất tăng chi phí cho công suất phản kháng.

Từ phương trình (3-33), ta tính được  $\lambda_1$  và  $\lambda_2$  như sau:

$$\lambda_1 = \frac{\varepsilon_1 \left(1 - \frac{\partial \Sigma Q_{pt}}{\partial Q_1} - \frac{\partial \Delta Q}{\partial Q_1}\right) + \theta_1 \left(\frac{\partial \Sigma Q_{pt}}{\partial P_1} + \frac{\partial \Delta Q}{\partial P_1}\right)}{\left(1 - \frac{\partial \Sigma P_{pt}}{\partial P_1} - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_1}\right) \left(1 - \frac{\partial \Sigma Q_{pt}}{\partial Q_1} - \frac{\partial \Delta Q}{\partial Q_1}\right) - \left(\frac{\partial \Sigma Q_{pt}}{\partial P_1} + \frac{\partial \Delta Q}{\partial P_1}\right) \left(\frac{\partial \Sigma P_{pt}}{\partial Q_1} + \frac{\partial \Delta P}{\partial Q_1}\right)} \tag{3-34}$$

$$\lambda_2 = \frac{\theta_1 \left(1 - \frac{\partial \Sigma P_{pt}}{\partial P_1} - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_1}\right) + \varepsilon_1 \left(\frac{\partial \Sigma P_{pt}}{\partial Q_1} + \frac{\partial \Delta P}{\partial Q_1}\right)}{\left(1 - \frac{\partial \Sigma P_{pt}}{\partial P_1} - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_1}\right) \left(1 - \frac{\partial \Sigma Q_{pt}}{\partial Q_1} - \frac{\partial \Delta Q}{\partial Q_1}\right) - \left(\frac{\partial \Sigma Q_{pt}}{\partial P_1} + \frac{\partial \Delta Q}{\partial P_1}\right) \left(\frac{\partial \Sigma P_{pt}}{\partial Q_1} + \frac{\partial \Delta P}{\partial Q_1}\right)}$$

Để đơn giản ta đưa vào các ký hiệu sau:

$$M_i = 1 - \frac{\partial \Sigma P_{pt}}{\partial P_i} - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_i}$$

$$C_i = \frac{\partial \Sigma P_{pt}}{\partial Q_i} - \frac{\partial \Delta P}{\partial Q_i}$$

$$D_i = 1 - \frac{\partial \Sigma Q_{pt}}{\partial Q_i} - \frac{\partial \Delta Q}{\partial Q_i}$$

$$N_i = \frac{\partial \Sigma Q_{pt}}{\partial P_i} - \frac{\partial \Delta Q}{\partial P_i}$$

Phương trình (3-34) có dạng:

$$\lambda_1 = \frac{\varepsilon_1.D_1 + \theta_1.N_1}{M_1.D_1 - N_1.C_1} = \frac{\varepsilon_2.D_2 + \theta_2.N_2}{M_2.D_2 - N_2.C_2} = \dots = \frac{\varepsilon_n.D_n + \theta_n.N_n}{M_n.D_n - N_n.C_n} \quad (3-35)$$

$$\lambda_2 = \frac{\theta_1.M_1 + \varepsilon_1.C_1}{M_1.D_1 - N_1.C_1} = \frac{\theta_2.M_2 + \varepsilon_2.C_2}{M_2.D_2 - N_2.C_2} = \dots = \frac{\theta_n.M_n + \varepsilon_n.C_n}{M_n.D_n - N_n.C_n} \quad (3-36)$$

Nếu chia cả tử và mẫu của phương trình (3-35) cho  $D_i$  và phương trình (3-36) cho  $M_i$ , ta có:

$$\lambda_1 = \frac{\varepsilon_1 + \theta_1 \cdot \frac{N_1}{D_1}}{M_1 - \frac{N_1.C_1}{D_1}} = \frac{\varepsilon_2 + \theta_2 \cdot \frac{N_2}{D_2}}{M_2 - \frac{N_2.C_2}{D_2}} = \dots = \frac{\varepsilon_n + \theta_n \cdot \frac{N_n}{D_n}}{M_n - \frac{N_n.C_n}{D_n}} \quad (3-37)$$

$$\lambda_2 = \frac{\theta_1 + \varepsilon_1 \cdot \frac{C_1}{M_1}}{D_1 - \frac{N_1.C_1}{M_1}} = \frac{\theta_2 + \varepsilon_2 \cdot \frac{C_2}{M_2}}{D_2 - \frac{N_2.C_2}{M_2}} = \dots = \frac{\theta_n + \varepsilon_n \cdot \frac{C_n}{M_n}}{D_n - \frac{N_n.C_n}{M_n}} \quad (3-38)$$

Vậy, để phân phối tối ưu công suất của các Nhà máy nhiệt điện cân giải hệ  $2(n-1)$  phương trình dạng (3-37) và (3-38) cộng thêm 2 phương trình về cân bằng công suất tác dụng và phản kháng là  $2n$  phương trình, ẩn số là  $2n$ . Ta tìm được các giá trị  $P_1, P_2, \dots, P_n$  và  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  làm cho tổng chi phí là nhỏ nhất.

Điều kiện phân phối tối ưu công suất ở trên rất phức tạp, để tính toán đơn giản ta giả thiết chi phí của mỗi tổ máy phát chỉ phụ thuộc vào công suất tác dụng của chính tổ máy đó, nghĩa là:

$$\theta_i = \frac{\partial T_i}{\partial Q_i} = 0$$

Đồng thời giả thiết công suất tác dụng và phản kháng của phụ tải không phụ thuộc vào điện áp tại các nút, nghĩa là:

$$\frac{\partial \sum P_{pt}}{\partial P_i} = \sum \frac{\partial P_{pt}}{\partial U_{pt}} \cdot \frac{\partial U_{pt}}{\partial P_i} = 0$$

$$\frac{\partial \sum Q_{pt}}{\partial P_i} = \sum \frac{\partial Q_{pt}}{\partial U_{pt}} \cdot \frac{\partial U_{pt}}{\partial P_i} = 0$$

tương tự ta có:

$$\frac{\partial \sum P_{pt}}{\partial Q_i} = 0; \quad \frac{\partial \sum Q_{pt}}{\partial Q_i} = 0.$$

Khi đó:

$$M_i = 1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_i}$$

$$C_i = \frac{\partial \Delta P}{\partial Q_i}$$

$$D_i = 1 - \frac{\partial \Delta Q}{\partial Q_i}$$

$$N_i = \frac{\partial \Delta Q}{\partial P_i}$$

Biểu thức (3-37) và (3-38) trở thành:

$$\frac{\varepsilon_1}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_1} - \frac{\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_1} \cdot \frac{\partial P_1}{\partial Q_1}}{1 - \frac{\partial \Delta Q}{\partial Q_1}}} = \frac{\varepsilon_2}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_2} - \frac{\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_2} \cdot \frac{\partial P_2}{\partial Q_2}}{1 - \frac{\partial \Delta Q}{\partial Q_2}}} = \dots = \frac{\varepsilon_n}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_n} - \frac{\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_n} \cdot \frac{\partial P_n}{\partial Q_n}}{1 - \frac{\partial \Delta Q}{\partial Q_n}}} \quad (3-39)$$

Và

$$\frac{\varepsilon_1 \cdot \frac{\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_1}}{1 - \frac{\partial \Delta Q}{\partial Q_1}}}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_1} - \frac{\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_1} \cdot \frac{\partial P_1}{\partial Q_1}}{1 - \frac{\partial \Delta Q}{\partial Q_1}}} = \frac{\varepsilon_2 \cdot \frac{\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_2}}{1 - \frac{\partial \Delta Q}{\partial Q_2}}}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_2} - \frac{\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_2} \cdot \frac{\partial P_2}{\partial Q_2}}{1 - \frac{\partial \Delta Q}{\partial Q_2}}} = \dots = \frac{\varepsilon_n \cdot \frac{\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_n}}{1 - \frac{\partial \Delta Q}{\partial Q_n}}}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_n} - \frac{\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_n} \cdot \frac{\partial P_n}{\partial Q_n}}{1 - \frac{\partial \Delta Q}{\partial Q_n}}} \quad (3-40)$$

Ta thấy, nếu chỉ xét đến biến đổi của tổn thất công suất tác dụng thì điều kiện (3-39) và (3-40) sẽ trở thành điều kiện (3-28). Nếu không xét đến biến đổi của tổn thất công suất tác dụng thì sẽ trở về điều kiện phân phối tối ưu công suất theo nguyên tắc cân bằng suất tăng chi phí, tức là điều kiện (3-26).

Ví dụ 6:

### □ 3.3 PHÂN PHỐI TỐI ƯU CÔNG SUẤT TRONG HỆ THỐNG HỖN HỢP NHIỆT ĐIỆN - THỦY ĐIỆN

#### I. Nguyên tắc tính toán.

Ta đã biết, phân phối tối ưu công suất trong Hệ thống điện chỉ có Nhà máy nhiệt điện. Thực tế trong Hệ thống điện luôn có cả Nhà máy nhiệt điện và Nhà máy thủy điện. Do đó phải xét đến phân phối tối ưu của Hệ thống điện khi có cả Nhà máy thủy điện.

Nhà máy thủy điện có đặc điểm quan trọng là bị hạn chế về năng lượng sơ cấp, đó là nước. Khả năng cung cấp nước cho tuabin của Nhà máy thủy điện phụ thuộc vào thời tiết và dung tích của hồ chứa. Vì vậy, công suất phát của Nhà máy thủy điện trừ những thời kỳ lũ thường thấp hơn khả năng phát của nhà máy.

Ta đã có, đặc tính tiêu hao nước của Nhà máy thủy điện như hàm sau:

$$Q = \alpha \cdot P^2 + \beta \cdot P + \gamma \tag{3-41}$$

Do đó, cần xác định lượng nước hạn chế của Nhà máy thủy điện được sử dụng vào thời gian nào với công suất bao nhiêu trong thời gian 1 ngày đêm để chi phí sản xuất của toàn Hệ thống điện là nhỏ nhất.

Phân phối công suất tối ưu trong Hệ thống điện cần tính trong thời gian 1 ngày (24h) với chi phí về nhiên liệu của Hệ thống điện chỉ có của Nhà máy nhiệt điện còn chi phí nhiên liệu của Nhà máy thủy điện coi như bằng 0.

Giả thiết Hệ thống điện có m Nhà máy nhiệt điện và n Nhà máy thủy điện, ta có:

- Hàm mục tiêu (hàm chi phí sản xuất) là:

$$T = T_1 + T_2 + \dots + T_t + \dots + T_{24} \tag{3-42}$$

Trong đó:  $T_t$  là chi phí nhiên liệu của Nhà máy nhiệt điện trong giờ thứ t ( $t = 1 \div 24$ ). Trong từng giờ thứ t thì  $T_t$  xác định theo biểu thức sau:

$$T_t = T_{ND1,t} + T_{ND2,t} + \dots + T_{NDm,t} \tag{3-43}$$

Với  $T_{ND1,t}, T_{ND2,t}, \dots, T_{NDm,t}$  là chi phí nhiên liệu của các Nhà máy nhiệt điện 1, 2, ..., m trong giờ thứ t.

- Các điều kiện ràng buộc, gồm 2 điều kiện:

+ DK1. Cân bằng công suất của Hệ thống điện trong từng giờ, t.

$$W_{P,t} = P_{ND1,t} + P_{ND2,t} + \dots + P_{NDm,t} + P_{TD1,t} + P_{TD2,t} + \dots + P_{TDn,t} - P_{pt\Sigma,t} - \Delta P_{\Sigma,t} = 0 \tag{3-44}$$

Trong đó:

+  $P_{p\Sigma,t}$  là tổng phụ tải của Hệ thống điện tại giờ thứ t.

+  $\Delta P_{\Sigma,t}$  là tổng tổn thất công suất của Hệ thống điện tại giờ thứ t.

+ ĐK2. Cân bằng nước cho từng Nhà máy thủy điện trong thời gian 1 ngày đêm.

$$\begin{cases} W_{Q,TD1} = \sum_{t=1}^{24} (Q_{TD1,t}) - Q_{TD1,\Sigma} = 0 \\ W_{Q,TD2} = \sum_{t=1}^{24} (Q_{TD2,t}) - Q_{TD2,\Sigma} = 0 \\ \dots\dots\dots \\ W_{Q,TDn} = \sum_{t=1}^{24} (Q_{TDn,t}) - Q_{TDn,\Sigma} = 0 \end{cases} \quad (3-45)$$

Trong đó:

+  $Q_{TD1,t}, Q_{TD2,t}, \dots, Q_{TDn,t}$  là lượng nước sử dụng để phát điện trong giờ t của Nhà máy thủy điện 1, 2, ..., n.

+  $Q_{TD1\Sigma}, Q_{TD2\Sigma}, \dots, Q_{TDn\Sigma}$  là lượng nước sử dụng trong một ngày đêm của Nhà máy thủy điện 1, 2, ..., n.

- Lập hàm Lagrange:

$$L = T_1 + T_2 + \dots + T_{24} - \lambda_1 \cdot W_{P,1} - \lambda_2 \cdot W_{P,2} - \dots - \lambda_{24} \cdot W_{P,24} + \lambda_{TD1} \cdot W_{TD1} + \lambda_{TD2} \cdot W_{TD2} + \dots + \lambda_{TDn} \cdot W_{TDn} \quad (3-46)$$

- Điều kiện phân phối tối ưu công suất xác định bằng cách đạo hàm riêng L theo công suất phát  $P_{ND1}, P_{ND2}, \dots, P_{NDm}$  với thời gian  $t = 1, 2, \dots, 24$  và  $P_{TD1}, P_{TD2}, \dots, P_{TDn}$  với thời gian  $t = 1, 2, \dots, 24$  ta có:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \frac{\partial L}{\partial P_{ND1.1}} = \varepsilon_{ND1.1} - \lambda_1 \cdot \left( 1 - \frac{\partial \Delta P_1}{\partial P_{ND1.1}} \right) = 0 \\
 \frac{\partial L}{\partial P_{ND1.2}} = \varepsilon_{ND1.2} - \lambda_2 \cdot \left( 1 - \frac{\partial \Delta P_2}{\partial P_{ND1.2}} \right) = 0 \\
 \dots\dots\dots \\
 \frac{\partial L}{\partial P_{ND1.24}} = \varepsilon_{ND1.24} - \lambda_{24} \cdot \left( 1 - \frac{\partial \Delta P_{24}}{\partial P_{ND1.24}} \right) = 0 \\
 \frac{\partial L}{\partial P_{ND2.1}} = \varepsilon_{ND2.1} - \lambda_1 \cdot \left( 1 - \frac{\partial \Delta P_1}{\partial P_{ND2.1}} \right) = 0 \\
 \frac{\partial L}{\partial P_{ND2.2}} = \varepsilon_{ND2.2} - \lambda_2 \cdot \left( 1 - \frac{\partial \Delta P_2}{\partial P_{ND2.2}} \right) = 0 \\
 \dots\dots\dots \\
 \frac{\partial L}{\partial P_{ND2.24}} = \varepsilon_{ND2.24} - \lambda_{24} \cdot \left( 1 - \frac{\partial \Delta P_{24}}{\partial P_{ND2.24}} \right) = 0 \\
 \dots\dots\dots \\
 \frac{\partial L}{\partial P_{NDm.1}} = \varepsilon_{NDm.1} - \lambda_1 \cdot \left( 1 - \frac{\partial \Delta P_1}{\partial P_{NDm.1}} \right) = 0 \\
 \frac{\partial L}{\partial P_{NDm.2}} = \varepsilon_{NDm.2} - \lambda_2 \cdot \left( 1 - \frac{\partial \Delta P_2}{\partial P_{NDm.2}} \right) = 0 \\
 \dots\dots\dots \\
 \frac{\partial L}{\partial P_{NDm.24}} = \varepsilon_{NDm.24} - \lambda_{24} \cdot \left( 1 - \frac{\partial \Delta P_{24}}{\partial P_{NDm.24}} \right) = 0
 \end{array} \right. \tag{3-47}$$



$$\begin{cases}
 \frac{\partial L}{\partial P_{TD1.1}} = \lambda_{TD1} \cdot \varepsilon_{TD1.1} - \lambda_1 \cdot \left( 1 - \frac{\partial \Delta P_1}{\partial P_{TD1.1}} \right) = 0 \\
 \frac{\partial L}{\partial P_{TD1.2}} = \lambda_{TD1} \cdot \varepsilon_{TD1.2} - \lambda_2 \cdot \left( 1 - \frac{\partial \Delta P_2}{\partial P_{TD1.2}} \right) = 0 \\
 \dots \\
 \frac{\partial L}{\partial P_{TD1.24}} = \lambda_{TD1} \cdot \varepsilon_{TD1.24} - \lambda_{24} \cdot \left( 1 - \frac{\partial \Delta P_{24}}{\partial P_{TD1.24}} \right) = 0 \\
 \dots \\
 \frac{\partial L}{\partial P_{TD2.1}} = \lambda_{TD2} \cdot \varepsilon_{TD2.1} - \lambda_1 \cdot \left( 1 - \frac{\partial \Delta P_1}{\partial P_{TD2.1}} \right) = 0 \\
 \frac{\partial L}{\partial P_{TD2.2}} = \lambda_{TD2} \cdot \varepsilon_{TD2.2} - \lambda_2 \cdot \left( 1 - \frac{\partial \Delta P_2}{\partial P_{TD2.2}} \right) = 0 \\
 \dots \\
 \frac{\partial L}{\partial P_{TD2.24}} = \lambda_{TD2} \cdot \varepsilon_{TD2.24} - \lambda_{24} \cdot \left( 1 - \frac{\partial \Delta P_{24}}{\partial P_{TD2.24}} \right) = 0 \\
 \dots \\
 \frac{\partial L}{\partial P_{TDn.1}} = \lambda_{TDn} \cdot \varepsilon_{TDn.1} - \lambda_1 \cdot \left( 1 - \frac{\partial \Delta P_1}{\partial P_{TDn.1}} \right) = 0 \\
 \frac{\partial L}{\partial P_{TDn.2}} = \lambda_{TDn} \cdot \varepsilon_{TDn.2} - \lambda_2 \cdot \left( 1 - \frac{\partial \Delta P_2}{\partial P_{TDn.2}} \right) = 0 \\
 \dots \\
 \frac{\partial L}{\partial P_{TDn.24}} = \lambda_{TDn} \cdot \varepsilon_{TDn.24} - \lambda_{24} \cdot \left( 1 - \frac{\partial \Delta P_{24}}{\partial P_{TDn.24}} \right) = 0
 \end{cases} \tag{3-48}$$

Từ phương trình (3-47) và (3-48) ta có được:

$$\begin{aligned}
 \lambda_1 &= \frac{\varepsilon_{ND1.1}}{1 - \frac{\partial \Delta P_1}{\partial P_{ND1.1}}} = \frac{\varepsilon_{ND2.1}}{1 - \frac{\partial \Delta P_1}{\partial P_{ND2.1}}} = \dots = \frac{\varepsilon_{NDm.1}}{1 - \frac{\partial \Delta P_1}{\partial P_{NDm.1}}} \\
 \lambda_2 &= \frac{\varepsilon_{ND1.2}}{1 - \frac{\partial \Delta P_2}{\partial P_{ND1.2}}} = \frac{\varepsilon_{ND2.2}}{1 - \frac{\partial \Delta P_2}{\partial P_{ND2.2}}} = \dots = \frac{\varepsilon_{NDm.2}}{1 - \frac{\partial \Delta P_2}{\partial P_{NDm.2}}} \\
 \dots \\
 \lambda_{24} &= \frac{\varepsilon_{ND1.24}}{1 - \frac{\partial \Delta P_{24}}{\partial P_{ND1.24}}} = \frac{\varepsilon_{ND2.24}}{1 - \frac{\partial \Delta P_{24}}{\partial P_{ND2.24}}} = \dots = \frac{\varepsilon_{NDm.24}}{1 - \frac{\partial \Delta P_{24}}{\partial P_{NDm.24}}}
 \end{aligned} \tag{3-49}$$

Và

$$\lambda_1 = \frac{\lambda_{TD1} \cdot \varepsilon_{TD1.1}}{1 - \frac{\partial \Delta P_1}{\partial P_{TD1.1}}} = \frac{\lambda_{TD2} \cdot \varepsilon_{TD2.1}}{1 - \frac{\partial \Delta P_1}{\partial P_{TD2.1}}} = \dots = \frac{\lambda_{TDn} \cdot \varepsilon_{TDn.1}}{1 - \frac{\partial \Delta P_1}{\partial P_{TDn.1}}}$$

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_{TD1} \cdot \varepsilon_{TD1.2}}{1 - \frac{\partial \Delta P_2}{\partial P_{TD1.2}}} = \frac{\lambda_{TD2} \cdot \varepsilon_{TD2.2}}{1 - \frac{\partial \Delta P_2}{\partial P_{TD2.2}}} = \dots = \frac{\lambda_{TDn} \cdot \varepsilon_{TDn.2}}{1 - \frac{\partial \Delta P_2}{\partial P_{TDn.2}}} \quad (3-50)$$

.....

$$\lambda_{24} = \frac{\lambda_{TD1} \cdot \varepsilon_{TD1.24}}{1 - \frac{\partial \Delta P_{24}}{\partial P_{TD1.24}}} = \frac{\lambda_{TD2} \cdot \varepsilon_{TD2.24}}{1 - \frac{\partial \Delta P_{24}}{\partial P_{TD2.24}}} = \dots = \frac{\lambda_{TDn} \cdot \varepsilon_{TDn.24}}{1 - \frac{\partial \Delta P_{24}}{\partial P_{TDn.24}}}$$

Từ (3-49) và (3-50) ta có điều kiện phân phối công suất tối ưu chung cho mỗi giờ là:

$$\lambda_1 = \frac{\varepsilon_{ND1.1}}{1 - \frac{\partial \Delta P_1}{\partial P_{ND1.1}}} = \frac{\varepsilon_{ND2.1}}{1 - \frac{\partial \Delta P_1}{\partial P_{ND2.1}}} = \dots = \frac{\lambda_{TD1} \cdot \varepsilon_{TD1.1}}{1 - \frac{\partial \Delta P_1}{\partial P_{TD1.1}}} = \frac{\lambda_{TD2} \cdot \varepsilon_{TD2.1}}{1 - \frac{\partial \Delta P_1}{\partial P_{TD2.1}}} = \dots$$

$$\lambda_2 = \frac{\varepsilon_{ND1.2}}{1 - \frac{\partial \Delta P_2}{\partial P_{ND1.2}}} = \frac{\varepsilon_{ND2.2}}{1 - \frac{\partial \Delta P_2}{\partial P_{ND2.2}}} = \dots = \frac{\lambda_{TD1} \cdot \varepsilon_{TD1.2}}{1 - \frac{\partial \Delta P_2}{\partial P_{TD1.2}}} = \frac{\lambda_{TD2} \cdot \varepsilon_{TD2.2}}{1 - \frac{\partial \Delta P_2}{\partial P_{TD2.2}}} = \dots \quad (3-51)$$

.....

$$\lambda_{24} = \frac{\varepsilon_{ND1.24}}{1 - \frac{\partial \Delta P_{24}}{\partial P_{ND1.24}}} = \frac{\varepsilon_{ND2.24}}{1 - \frac{\partial \Delta P_{24}}{\partial P_{ND2.24}}} = \dots = \frac{\lambda_{TD1} \cdot \varepsilon_{TD1.24}}{1 - \frac{\partial \Delta P_{24}}{\partial P_{TD1.24}}} = \frac{\lambda_{TD2} \cdot \varepsilon_{TD2.24}}{1 - \frac{\partial \Delta P_{24}}{\partial P_{TD2.24}}} = \dots$$

Ta thấy tại mỗi giờ tính toán t, phương trình phân phối tối ưu công suất của các Hệ thống điện có cả Nhà máy nhiệt điện và Nhà máy thủy điện chỉ khác khi Hệ thống điện chỉ có Nhà máy nhiệt điện là các suất tăng của Nhà máy thủy điện được nhân với hệ số  $\lambda_{TDi}$ .

Từ hệ phương trình (3-51) ta thấy nếu không xét đến sự biến thiên của  $\Delta P$  theo công suất phát của các tổ máy phát và giả thiết chỉ có Nhà máy nhiệt điện  $ND_1$  và Nhà máy thủy điện  $TD_1$ , ta có điều kiện phân phối tối ưu công suất trong mỗi giờ là:

$$\varepsilon_{ND1} = \lambda_{TD1} \cdot \varepsilon_{TD1} \quad \rightarrow \quad \lambda_{TD1} = \frac{\varepsilon_{ND1}}{\varepsilon_{TD1}} \quad (3-52)$$

Từ (3-52) ta có:  $\lambda_{TD1} = \frac{\partial T_{ND1}}{\partial P_{ND1}} \cdot \frac{\partial P_{TD1}}{\partial Q_{TD1}}$

Để đảm bảo cân bằng công suất trong Hệ thống điện thì công suất của Nhà máy nhiệt điện giảm bao nhiêu thì công suất của Nhà máy thủy điện phải tăng bấy nhiêu vì vậy:

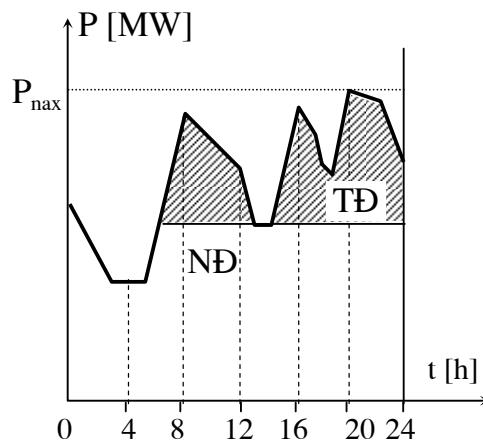
$$\partial P_{NDI} = \partial P_{TDI} \rightarrow \lambda_{TDI} = \frac{\partial T_{NDI}}{\partial Q_{TDI}} = \frac{\Delta T}{\Delta Q} \quad (3-53)$$

Vậy,  $\lambda_{TDI}$  là lượng chi phí tiết kiệm được khi sử dụng một đơn vị nước còn gọi là hệ số hiệu quả năng lượng, hay chính là hệ số qui đổi đẳng trị Nhà máy thủy điện thành Nhà máy nhiệt điện và phụ thuộc vào lượng nước sử dụng trong một ngày đêm.

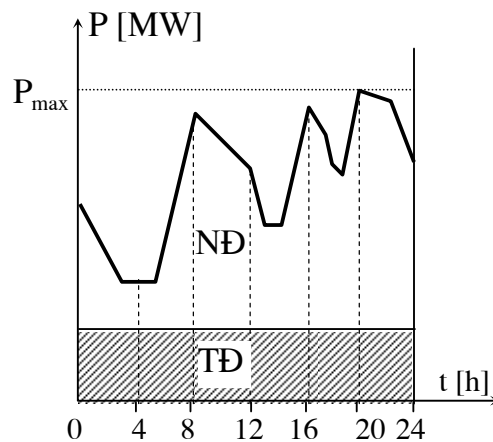
### II. Phương pháp tính toán.

Điều kiện làm việc tối ưu của Hệ thống điện là phân phối công suất giữa Nhà máy nhiệt điện và Nhà máy thủy điện sao cho chi phí sản xuất của Hệ thống điện là nhỏ nhất. Tuy nhiên các Nhà máy thủy điện bị giới hạn về năng lượng sơ cấp đặc biệt khi nhà máy chỉ có thể vận hành ở một chế độ theo yêu cầu kỹ thuật. Để tính toán cụ thể cần loại trước các trường hợp làm việc giới hạn của Nhà máy thủy điện, tức các trường hợp chỉ có một lời giải thoả mãn các điều kiện kỹ thuật. Do đó không còn tồn tại lựa chọn chế độ tối ưu như:

- Mùa nước nhỏ (mùa khô)  $Q_{cc} < Q_{yc}$  Nhà máy thủy điện chỉ có nhiệm vụ cung cấp điện cho Hệ thống điện, để tiết kiệm nước Nhà máy thủy điện chỉ làm việc (phát điện) trong những thời gian mà công suất của các Nhà máy nhiệt điện không đủ cung cấp điện cho các phụ tải của Hệ thống điện. Nghĩa là Nhà máy thủy điện phụ trách phần phụ tải đỉnh của đồ thị phụ tải (hình 3-12), còn các Nhà máy nhiệt điện thì phát hết công suất.



Hình 3-12: Đồ thị phụ tải của Hệ thống điện



Hình 3-13: Đồ thị phụ tải của Hệ thống điện

- Mùa nước lớn (lũ)  $Q_{cc} > Q_{yc}$ , dung tích của hồ chứa không chứa hết lưu lượng của dòng chảy. Để sử dụng tối đa năng lượng của dòng chảy, trong thời gian này cần cho Nhà máy thủy điện làm việc hết công suất trong cả ngày đêm (hình 3-13).

Ngoài 2 trường hợp giới hạn trên, phần lớn thời gian Nhà máy thủy điện có lưu lượng dòng chảy lớn hơn lưu lượng mà Nhà máy thủy điện cần thiết để làm việc theo đồ thị phụ tải (hình 3-12) nhưng không đủ để nhà máy làm việc theo đồ thị phụ tải (hình 3-13). Khi đó chế độ làm việc của Nhà máy thủy điện được lựa chọn theo điều kiện tối ưu.

### 1. Phương pháp lập.

Từ (3-50) và (3-51) thấy rằng, nếu biết các hệ số  $\lambda_{TD1}, \lambda_{TD2}, \dots, \lambda_{TDn}$  thì ta có thể phân phối tối ưu công suất của Hệ thống điện có cả Nhà máy nhiệt điện và Nhà máy thủy điện, như khi Hệ thống điện chỉ có Nhà máy nhiệt điện bằng các phương pháp đã biết. Vì vậy, trình tự tính toán như sau:

**B1:** Chọn một tập các hệ số  $\lambda_{TD1}, \lambda_{TD2}, \dots, \lambda_{TDn}$  và đẳng trị n Nhà máy thủy điện thành n Nhà máy nhiệt điện, khi đó trong hệ thống có (n+m) Nhà máy nhiệt điện.

**B2:** Phân phối tối ưu công suất trong Hệ thống điện gồm toàn Nhà máy nhiệt điện bằng các phương pháp đã học trong từng giờ thứ t.

Xác định được công suất của các Nhà máy thủy điện và Nhà máy nhiệt điện trong từng giờ vận hành.

$$P_{TD1,t}, P_{TD2,t}, \dots, P_{TDn,t}, P_{ND1,t}, P_{ND2,t}, \dots, P_{NDm,t}$$

Trong đó:  $t = \overline{1, 24}$  [h].

**B3:** Xác định lượng nước sử dụng của Nhà máy thủy điện.

Từ  $P_{TDi}$  xác định được lượng nước sử dụng của các Nhà máy thủy điện trong từng giờ vận hành  $Q_{TD1,t}, Q_{TD2,t}, \dots, Q_{TDn,t}$ . Với  $t = \overline{1, 24}$  [h].

**B4:** Cân bằng lưu lượng nước của các Nhà máy thủy điện theo hàm ràng buộc  $W_Q$ .

$$\begin{cases} W_{Q.TD1} = \sum_{t=1}^{24} (Q_{TD1,t}) - Q_{TD1,\Sigma} = 0 \\ W_{Q.TD2} = \sum_{t=1}^{24} (Q_{TD2,t}) - Q_{TD2,\Sigma} = 0 \\ \dots \\ W_{Q.TDn} = \sum_{t=1}^{24} (Q_{TDn,t}) - Q_{TDn,\Sigma} = 0 \end{cases}$$

- Nếu  $W_{QTDi} = 0$  nghĩa là lượng nước cung cấp bằng lượng nước sử dụng thì công suất của Nhà máy thủy điện đó là công suất tối ưu.
- Nếu  $W_{QTDi} < 0$  nghĩa là  $Q_{TDi} < Q_{TD\Sigma i}$  thì phải giảm  $\lambda_{TDi}$ .
- Nếu  $W_{QTDi} > 0$  nghĩa là  $Q_{TDi} > Q_{TD\Sigma i}$  thì phải tăng  $\lambda_{TDi}$ .

Tiếp tục tính lại BL phân phối công suất khi nào thỏa mãn điều kiện lượng nước tiêu phí bằng với lượng nước có cung cấp của Nhà máy thủy điện (thường cho phép sai số khoảng 5%) thì dừng quá trình tính toán.

## 2. Phương pháp gần đúng.

Xét Hệ thống điện gồm 1 Nhà máy thủy điện với điện năng phát trong một ngày đêm là  $A_{TD}$  và 1 Nhà máy nhiệt điện. Điện năng yêu cầu của phụ tải trong 1 ngày đêm là  $A_{pl.YC}$ .

Khi đó điện năng Nhà máy nhiệt điện cần phát là:

$$A_{ND} = A_{pl.YC} - A_{TD}$$

Cần xác định công suất phát trong từng giờ của Nhà máy nhiệt điện  $P_t$  ( $t = 1, 2, \dots, 24$ ) sao cho chi phí sản xuất của Nhà máy nhiệt điện  $T$  là nhỏ nhất, nghĩa là:

$$T = \sum_{t=1}^{24} T_t \rightarrow \min \tag{3-54}$$

Với điều kiện ràng buộc là:

$$W_A = \sum_{t=1}^{24} P_t - A_{ND} = 0 \tag{3-55}$$

Ta có hàm Lagrange là:

$$L = \sum_{t=1}^{24} T_t - \lambda \cdot W_A \tag{3-56}$$

Điều kiện phân phối tối ưu công suất là:

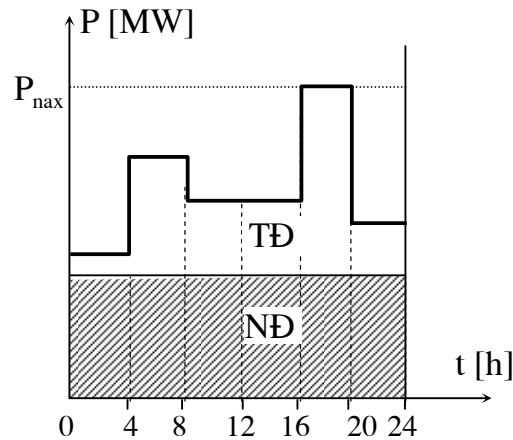
$$\frac{\partial L}{\partial P_t} = \frac{\partial T_t}{\partial P_t} - \lambda = \varepsilon_t - \lambda = 0$$

Vậy, ta có:

$$\varepsilon_t = \lambda = \text{const}$$

(3-57)

Từ (3-57) ta thấy, muốn chi phí sản xuất trong ngày đêm nhỏ nhất, Nhà máy nhiệt điện phải phát công suất bằng nhau trong tất cả các giờ  $t$  trong ngày đêm. Nghĩa là đồ thị phụ tải của Nhà máy nhiệt điện bằng phẳng thì chi phí sản xuất là nhỏ nhất (hình 3-14).



Hình 3-14: Đồ thị phụ tải của Hệ thống điện

Trong thực tế, khó đạt được điều kiện trên do hạn chế về công suất của Nhà máy thủy điện và hình dáng của đồ thị phụ tải. Do đó chỉ có thể điền công suất của Nhà máy thủy điện vào đồ thị phụ tải sao cho phần còn lại của Nhà máy nhiệt điện là bằng phẳng nhất. Khi đó công suất trung bình của của Nhà máy nhiệt điện được xác định như sau:

Tại giờ thứ  $t$ , ta xác định được:  $P_{ND,t} = P_{pt,t} - P_{TD,t}$ .

Do đó: 
$$P_{NDTB} = \frac{\sum_{t=1}^{24} P_{ND,t}}{24}$$

Trong Hệ thống điện có nhiều Nhà máy thủy điện và nhiều Nhà máy nhiệt điện thực hiện phân phối công suất như sau:

- B1: Phân phối công suất của các Nhà máy nhiệt điện và các Nhà máy thủy điện theo đồ thị phụ tải sao cho đồ thị phụ tải của các Nhà máy nhiệt điện là bằng phẳng nhất (chi phí sản xuất của toàn Hệ thống điện là nhỏ nhất).
- B2: Phân phối phần đồ thị phụ tải của các Nhà máy thủy điện cho từng Nhà máy thủy điện theo điều kiện cụ thể, chủ yếu là khả năng đáp ứng phụ tải.
- B3: Phân phối phần đồ thị phụ tải của các Nhà máy nhiệt điện cho từng Nhà máy nhiệt điện theo các phương pháp trên (khi đó đồ thị phụ tải tương đối bằng phẳng).

### □ 3.4 XÁC ĐỊNH THÀNH PHẦN TỔ MÁY VẬN HÀNH CỦA NHÀ MÁY NHIỆT ĐIỆN

#### I. Nguyên tắc thực hiện.

Trong vận hành Hệ thống điện, khi phụ tải cực đại tất cả các tổ máy phát điện của Nhà máy điện đều phải vận hành, trong các thời gian còn lại đặc biệt khi phụ tải thấp các tổ máy phát rất non tải. Vì vậy, cần xác định thành phần tổ máy tham gia vận hành hay là lịch ngừng-khởi động của từng tổ máy trong khoảng thời gian xét.

Tổ máy nên ngừng hoạt động khi phụ tải thấp và khởi động trở lại khi phụ tải tăng cao nếu chi phí do ngừng máy (chi phí ngừng máy, chi phí nhiên liệu tăng thêm ở các tổ máy còn lại, chi phí khởi động lại) nhỏ hơn chi phí nhiên liệu tiết kiệm được trong Hệ thống điện khi ngừng tổ máy. Sau khi tìm được các tổ máy nên ngừng, ta xác định được các tổ máy tham gia vận hành.

Ta đã biết, suất chi phí sản xuất của nhà máy (chi phí nhiên liệu, chi phí vận hành và bảo dưỡng) là hàm tỷ lệ nghịch với công suất phát, công suất phát càng lớn thì suất chi phí sản xuất càng nhỏ. Như vậy nếu ngừng một tổ máy thì các tổ máy còn lại sẽ đầy tải hơn và suất chi phí sản xuất sẽ nhỏ hơn, do đó tổng chi phí của Hệ thống điện sẽ nhỏ hơn. Nếu chi phí giảm được của Hệ thống điện lớn hơn chi phí cho ngừng và khởi động lại tổ máy phát điện thì tổ máy phát điện đó nên cho ngừng hoạt động.

Thời gian khởi động lại của tổ máy phát điện phụ thuộc công nghệ của tổ máy: Nếu tuabin khí khoảng 10', nếu tuabin hơi còn phụ thuộc vào thời gian ngừng hoạt động của tổ máy phát (thời gian ngừng máy lớn hơn 20h thì suất chi phí khởi động cho 1 giờ của tổ máy phát là hằng số). Khi đó chi phí để ngừng và khởi động lại tổ máy phát điện là hằng số cho mỗi tổ máy.

Tuy nhiên khi tính toán lựa chọn thành phần tổ máy vận hành cần lưu ý đến các hạn chế có thể ảnh hưởng đến khả năng làm việc của Hệ thống điện (chỉ tiêu kỹ thuật).

Dự trữ quay là khả năng đáp ứng sự thay đổi phụ tải của các máy phát điện đang tham gia vận hành, phải đảm bảo đáp ứng trong mọi tình trạng vận hành của hệ thống điện như: sự cố máy phát, sự cố đường dây, sai số do dự báo phụ tải, sự thay đổi phụ tải từ các Hệ thống điện có liên quan... ở các Hệ thống điện lớn thường xác định khoảng (3÷8)%. Dự trữ quay phải đảm bảo đáp ứng công suất trong thời gian khoảng 10'.

Với thời gian đáp ứng công suất 10' có thể sử dụng dự trữ lạnh bằng các máy phát điện khởi động nhanh như: tuabin khí, tuabin nước... Tuy nhiên dự trữ lạnh có nhược điểm là độ tin cậy kém khi khởi động do có thể xảy ra sự cố và quá trình quá độ lớn do bộ điều tốc chưa thể làm việc ngay trong thời gian ngắn.

Mỗi tổ máy phát điện có tốc độ thay đổi công suất nhất định đo bằng % công suất định mức trên 1 đơn vị thời gian là 1 phút gọi là tốc độ đáp ứng, phụ thuộc vào công nghệ của tổ máy phát. Nếu dự trữ quay đặt ở tất cả các tổ máy phát thì khả năng đáp ứng của Hệ thống điện sẽ cao hơn khi dự trữ quay đặt tại 1 tổ máy phát.

Ví dụ 7: Hệ thống điện có phụ tải là 1000 [MW], dùng 11 tổ máy phát có công suất 100 [MW] và tốc độ đáp ứng là 2%/phút. Do đó có dự trữ quay là 100 [MW].

- Nếu cho 10 tổ máy phát đầy tải, 1 tổ máy phát dự trữ quay thì trong thời gian 10' Hệ thống điện đáp ứng được:

$$P = 2\% \cdot 10 \cdot 100 \cdot 1 = 20 \text{ [MW]}.$$

- Nếu cho 11 tổ máy phát làm việc non tải với công suất 90,9 [MW] thì dự trữ quay vẫn là 100 [MW] và khả năng đáp ứng là:

$$P = 2\% \cdot 10 \cdot 90,9 \cdot 11 = 100 \text{ [MW]}.$$

Vậy, khả năng đáp ứng của Hệ thống điện khi cho 11 tổ máy phát dự trữ quay cao hơn 5 lần khi chỉ dự trữ quay 1 tổ máy phát. Điều này cho thấy nếu ngừng các tổ máy phát thì khả năng đáp ứng của Hệ thống điện sẽ giảm, cần phải lưu ý khi tính toán thành phần tổ máy phát vận hành trong Nhà máy điện.

## II. Phương pháp tính.

Ta đã có, tiêu chuẩn phân phối tối ưu công suất của các tổ máy hoặc Nhà máy nhiệt điện là:

$$\lambda = \frac{\varepsilon_1}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_1}} = \frac{\varepsilon_2}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_2}} = \dots = \frac{\varepsilon_n}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_n}} \quad (3-58)$$

$$\text{Đặt: } \sigma_1 = 1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_1}; \sigma_2 = 1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_2}; \dots; \sigma_n = 1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_n}$$

Trong đó:  $\sigma_i$  có thể tính gần đúng bằng suất tăng chi phí của lưới điện theo biểu thức sau:

$$\sigma_i = 1 - 2 \cdot B_{i1} \cdot P_1 - 2 \cdot B_{i2} \cdot P_2 - \dots - 2 \cdot B_{in} \cdot P_n$$



Xét tổ máy phát điện  $i$ , nếu trước khi dừng tổ máy phát điện  $i$  làm việc với công suất là  $P_{i0}$  với suất chi phí sản xuất là  $\gamma_{i0}$  (xác định từ đặc tính chi phí của tổ máy phát điện), khi dừng tổ máy phát điện sẽ tiết kiệm được lượng chi phí là:

$$T_{i0} = \gamma_{i0} \cdot P_{i0} \tag{3-59}$$

Công suất  $P_{i0}$  của tổ máy phát điện dừng phải được các tổ máy phát điện khác bù. Giả thiết tổ máy phát điện dừng giảm một lượng công suất là  $dP_i$  thì tại nút cân bằng nào đó của mạng điện cũng thay đổi 1 lượng công suất là  $dP_{cb}$  và trên lưới thay đổi 1 lượng tổn thất công suất là  $d\Delta P$ .

Vậy:  $dP_{cb} = dP_i - d(\Delta P)$

Với:  $d(\Delta P) = \frac{\partial(\Delta P)}{\partial P_i} dP_i$

Do đó:  $dP_{cb} = dP_i - \frac{\partial(\Delta P)}{\partial P_i} dP_i = dP_i (1 - \frac{\partial(\Delta P)}{\partial P_i}) = \sigma_i \cdot dP_i \tag{3-60}$

Khi đó chi phí sản xuất sẽ tăng lên 1 lượng là  $(\lambda \cdot \sigma_i \cdot dP_i)$  với  $\lambda$  là suất tăng chi phí sản xuất của Hệ thống điện khi phụ tải nút cân bằng tăng lên 1 đơn vị.

Vậy, sự tăng chi phí sản xuất khi dừng tổ máy phát  $i$  là:

$$\Delta T_i = \int_0^{P_{i0}} \lambda \sigma_i dP_i$$

Nếu công suất của tổ máy phát  $i$  rất nhỏ so với công suất của Hệ thống điện thì  $\lambda$  và  $\sigma_i$  biến đổi rất nhỏ, nên có thể xác định:

$$\Delta T_{i0} = \lambda_{tb} \cdot \sigma_{i.tb} \cdot P_{i0} \tag{3-61}$$

Trong đó:  $\lambda_{tb} = \frac{\lambda_0 - \lambda_k}{2}$ ;  $\sigma_{i.tb} = \frac{\sigma_{i.0} - \sigma_{i.k}}{2}$

Với: -  $\lambda_0, \lambda_k$  là suất tăng chi phí của Hệ thống điện trước và sau khi dừng tổ máy phát điện.

-  $\sigma_{i.0}, \sigma_{i.k}$  là giá trị của  $\sigma_i$  trước và sau khi dừng tổ máy phát điện.

Tương tự:  $\sigma_{tb} = 1 - 2 \cdot B_{i1} \cdot P_{1.tb} - 2 \cdot B_{i2} \cdot P_{2.tb} - \dots - 2 \cdot B_{in} \cdot P_{n.tb}$

Nếu công suất của tổ máy phát điện  $i$  khá lớn thì chia  $P_i$  làm nhiều phân đoạn, nên có thể xác định:

$$\Delta T_{i0} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \sigma_i \cdot P_i \tag{3-62}$$

Trong đó:  $\lambda_i, \sigma_i$  là giá trị trung bình trong mỗi đoạn.

Vậy, nếu không xét đến chi phí khi mở máy, thì dừng tổ máy phát sẽ có lợi khi:

$$T_{i0} > \Delta T_{i0} \text{ tức là } \gamma_{i0} \cdot P_{i0} > \gamma_{tb} \cdot \sigma_{i,tb} \cdot P_{i0} \text{ hay } \gamma_{i0} > \gamma_{tb} \cdot \sigma_{i,tb} > \varepsilon_{i,tb} \quad (3-63)$$

Đó là điều kiện để xác định thành phần tổ máy phát điện vận hành.

*Chú ý:* Nếu trong Hệ thống điện có cả Nhà máy thủy điện và Nhà máy nhiệt điện thì phải phân phối công suất của Nhà máy thủy điện và Nhà máy nhiệt điện theo đồ thị phụ tải trước, sau đó lựa chọn thành phần tổ máy phát điện vận hành của các Nhà máy nhiệt điện.

-----oOo-----