

Chương chín

XÁC ĐỊNH CẤU TRÚC TỐI ƯU CỦA MẠNG ĐIỆN

9-1. MỞ ĐẦU — XÂY DỰNG HÀM MỤC TIÊU.

Trong quá trình qui hoạch, thiết kế và vận hành hệ thống điện (hoặc hệ thống năng lượng nói chung) bài toán xác định cấu trúc tối ưu của hệ thống luôn luôn được đặt ra,

Hệ thống ở đây được hiểu theo nghĩa rất rộng, đó là tập hợp của nhiều phần tử có liên hệ, tác động lẫn nhau và có liên hệ với môi trường. Do tính chất phong phú của cách liên hệ nên nói chung hệ thống có những đặc tính hoặc chức năng mà từng phần tử riêng rẽ không có.

Theo định nghĩa đó, hệ thống có thể là tên gọi của rất nhiều đối tượng khác nhau, cụ thể và trừu tượng, chẳng hạn một tổ máy, một mạng điện, một xí nghiệp, một nền kinh tế của quốc gia, một hệ thống ngôn ngữ, một xã hội v.v...

Cấu trúc của hệ thống chính là mối liên hệ giữa các phần tử trong hệ, sự chấp nối giữa những phần tử. Như vậy cấu trúc của hệ có thể được mô tả nhờ các đồ thị hình học (graph) hoặc các bảng số (ma trận) hoặc những quan hệ hàm (ánh xạ).

Một đặc điểm quan trọng liên quan đến cấu trúc của hệ mà người thiết kế và vận hành (điều khiển) cần quan tâm đề sử dụng là: Khi thay đổi cấu trúc của hệ sẽ dẫn đến thay đổi về chức năng của hệ và do đó có thể tạo ra ảnh hưởng tốt hoặc xấu đối với việc thực hiện mục tiêu đề ra.

Từ đặc điểm này, đã nảy ra một nguyên lý rất cơ bản trong quá trình điều khiển hệ, đó là: Cần xác định cấu trúc tối ưu của hệ nhằm đạt được mục tiêu đề ra. Nếu trong hoàn cảnh môi trường còn nhiều bất định thì cần phải luôn thay đổi cấu trúc (còn gọi là hoàn thiện cấu trúc) để hệ thích nghi với hoàn cảnh và thỏa mãn mục tiêu qui định.

Bài toán xác định cấu trúc tối ưu của hệ luôn luôn gặp trong quá trình tính toán kinh tế — kỹ thuật ở hệ thống điện, chẳng hạn xác định tỉ lệ công suất phát tối ưu giữa các nhà máy điện, tức là bài toán phân phối tối ưu công suất đã đề cập ở chương trước; bài toán cơ cấu tối ưu các tổ máy (số tổ máy và công suất phát) trong nhà máy điện; bài toán tỉ lệ tối ưu điện năng giữa các loại nhà máy điện nhiệt, thủy, nguyên tử...; bài toán hệ cấp điện áp tối ưu trong mạng cung cấp điện; bài toán cấu trúc tối ưu của mạng điện (sơ đồ nối dây) v.v..

Những bài toán nêu trên đây đều có ý nghĩa kinh tế lớn lao khi qui hoạch thiết kế hệ thống điện, tuy nhiên chúng luôn luôn mang tính chất động, đa chỉ tiêu, phân cấp và bất định như đã trình bày ở chương sáu. Để giải quyết chúng cần phải sử dụng những phương pháp của qui hoạch toán học mà nội dung bộ sách sẽ lần lượt đề cập đến.

Trong chương này sẽ sử dụng một số mô hình mở rộng của bài toán qui hoạch tuyến tính để giải bài toán xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện thiết kế mới, khi đủ thông tin ban đầu (hoàn cảnh tất định) và giới hạn trong việc xác định sơ đồ nối dây tối ưu cung cấp điện ở trường hợp đơn giản.

Bài toán xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện thường có thể phát biểu như sau:

Cho biết cực điểm, công suất của các phụ tải và nguồn điện, xác định sơ đồ nối dây tối ưu của mạng điện thiết kế nhằm thỏa mãn cực tiểu hàm chi phí tính toán Z .

Cho đến nay để giải quyết bài toán đó thường tiến hành so sánh một số hữu hạn các phương án sơ đồ nối dây theo chỉ tiêu giá trị hàm Z , bao gồm vốn đầu tư và phí tổn vận hành hàng năm [xem chương 6]. Ở một số trường hợp trong hàm Z có đề cập đến thiệt hại kinh tế do mất điện, nghĩa là có xét thêm mục tiêu về độ tin cậy cung cấp điện của từng phương án [xem tập II].

Sau khi tính được các giá trị hàm Z cho các phương án đưa ra, ta xếp thứ tự các phương án theo giá trị Z và chọn phương án ứng với giá trị cực tiểu (min) của Z .

Phương pháp lựa chọn cấu trúc tối ưu của mạng điện trên đây có ưu điểm là đơn giản và tận dụng được kinh nghiệm tích lũy của người thiết kế. Tuy nhiên cũng bộc lộ một số nhược điểm, như có thể bỏ sót những phương án hợp lý vì nếu xét đến mọi phương án nối dây thì khối lượng tính toán rất lớn. Ngoài ra thuật toán lựa chọn chưa có dạng « chương trình hóa » để có thể nhờ sự giúp đỡ của máy tính điện tử. Để khắc phục những nhược điểm đó, trong lĩnh vực sử dụng mô hình toán học trong qui hoạch, thiết kế và điều khiển hệ thống điện đã có nhiều cố gắng giải quyết bài toán xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện theo hướng mô tả tổng quát và « chương trình hóa » trong thủ tục tìm lời giải.

Ở đây chú ý là bài toán được giới hạn trong hoàn cảnh tất định, nghĩa là nguồn, phụ tải cho sẵn và ngoài ra lời giải chỉ thỏa mãn đồng thời hai chỉ tiêu: cực tiểu vốn đầu tư và cực tiểu phí tổn vận hành, nghĩa là cực tiểu hàm Z .

Sau đây cần thành lập hàm mục tiêu của bài toán.

Giả thiết ở phương án nối dây của mạng điện có S nhánh, khi đó hàm chi phí tính toán hàng năm Z có dạng.

$$Z = \sum_S Z_{ij} \quad (9-1)$$

trong đó Z_{ij} là các chi phí tính toán hàng năm của nhánh ij thuộc vào tập S các nhánh của mạng điện. Nhánh ij nối từ nút i đến nút j .

$$Z_{ij} = (a_{0ij} + a_{1ij})K_{ij} + Y_{\Delta\Delta ij} \quad (9-2)$$

trong đó K_{ij} là vốn đầu tư xây dựng đường dây ij .

a_{vh}, a_{tc} là các hệ số vận hành, hệ số hiệu quả vốn đầu tư như đã giải thích ở chương sáu, để tiện lợi, kí hiệu $\tau = a_{tc} + a_{vh}$.

$Y_{\Delta Aij}$ là phí tổn về tổn thất điện hàng năm trên đoạn đường dây ij vốn đầu tư K_{ij} có thể biểu diễn như sau:

$$K_{ij} = (A + BF_{ij})l_{ij} \quad (9-3)$$

trong đó A — thành phần vốn đầu tư đường dây mà không phụ thuộc vào tiết diện dây dẫn, chẳng hạn, liên thăm dò tuyến, cột, móng, và v.v.

B — hệ số phản ánh giá liên dây dẫn theo đơn vị tiết diện, thứ nguyên B là $[d/km, mm^2]$

F_{ij} — tiết diện dây dẫn của nhánh ij $[mm^2]$

l_{ij} — chiều dài nhánh ij $[km]$

Phí tổn về tổn thất điện năng $Y_{\Delta Aij}$ được biểu diễn trong dạng:

$$Y_{\Delta Aij} = 3I_{ij}^2 R_{ij} \tau C \quad (9-4)$$

trong đó I_{ij} — dòng điện cực đại đi trên nhánh ij $[A]$

R_{ij} — điện trở dây dẫn nhánh ij $[\Omega]$

$$R_{ij} = \rho \frac{l_{ij}}{F_{ij}}$$

trong đó ρ — điện trở suất của vật liệu làm dây dẫn $\left[\frac{\Omega mm^2}{km} \right]$

τ — thời gian tổn thất công suất lớn nhất $[h]$

C — giá tiền 1 kWh tổn thất điện năng $[d/kWh]$

Đối với mạng điện khu vực, hoặc những mạng điện có đồ thị phụ tải tương đối bằng phẳng, tiết diện dây dẫn được chọn theo điều kiện $Z \Rightarrow \min$ là chủ yếu, nghĩa là chọn theo mật độ kinh tế của dòng điện j_{kt} . Khi đó có

$$F_{ij} = \frac{I_{ij}}{j_{kt}} \quad (9-5)$$

Thay biểu thức (9-5), (9-4), (9-3) vào (9-2) có:

$$Z_{ij} = a \left(A + B \frac{I_{ij}}{j_{kt}} \right) l_{ij} + 3\rho\tau C I_{ij} l_{ij}$$

trong đó giá trị $j_{kt} = \text{const}$ hoặc coi $j_{kt} = \sqrt{\frac{aB}{3\rho\tau C}}$ [xem chương 6].

Từ đây có thể viết

$$Z_{ij} = \alpha l_{ij} + \beta l_{ij} I_{ij}$$

trong đó

$$\alpha = aA$$

$$\beta = \left(\frac{aB}{j_{kt}} + 3a\rho\tau C \right) \text{ giả thiết là những hằng số.}$$

Như vậy biểu thức hàm chi phí tính toán hàng năm Z của phương án phụ thuộc vào các giá trị I_{ij} theo dạng

$$Z(I_{ij}) = \begin{cases} 0 & \text{khi } I_{ij} = 0 \\ \sum \alpha l_{ij} + \sum \beta l_{ij} I_{ij} & \text{khi } I_{ij} > 0 \end{cases} \quad (9-6)$$

Bài toán xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện trở thành bài toán xác định một tập giá trị các dòng điện I_{ij} (khi $I_{ij} = 0$ có nghĩa là nhánh ij không có trong sơ đồ nối dây) sao cho hàm $Z(I_{ij})$ đạt min.

Hàm mục tiêu $Z(I_{ij})$ ở đây có dạng gián đoạn tại điểm $I_{ij} = 0$ và gồm hai thành phần:

– Thành phần thứ nhất $\sum \alpha l_{ij}$ phụ thuộc vào tổng chiều dài các nhánh xuất hiện trong sơ đồ

– Thành phần $\sum \beta l_{ij} I_{ij}$ phụ thuộc vào tổng các tích giữa dòng điện đi trên nhánh và chiều dài nhánh tương ứng.

Bây giờ bài toán xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện được phát biểu trong dạng toán học như sau:

Xác định các giá trị I_{ij} sao cho

$$Z(I_{ij}) = \begin{cases} 0 & \text{khi } I_{ij} = 0 \\ (\sum \alpha l_{ij} + \sum \beta l_{ij} I_{ij}) \Rightarrow \min & \text{khi } I_{ij} > 0 \end{cases} \quad (9-7)$$

và thỏa mãn các ràng buộc (theo định luật Kirshoff I)

$$\sum_j I_{ij} = I_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9-8)$$

$$i \neq j$$

và

$$I_{ij} \geq 0 \quad (9-9)$$

trong đó I_i là dòng điện phụ tải (hoặc nguồn phát) ở nút thứ i . Ở đây giả thiết mạng điện có n nút (bao gồm các nguồn và phụ tải).

Trong phương trình (9-8) tổng $\sum$ lấy theo mọi nhánh đi vào nút i hoặc đi khỏi nút i với qui ước dòng điện đi vào I_{ij} có dấu ngược với dòng đi ra I_{ji} .

Số lượng ẩn trong bài toán này rất lớn. Nếu mạng có n nút thì số ẩn S (bao gồm cả dòng đi và dòng về) là

$$S = n(n-1)$$

Trong thực tế có thể bỏ qua những dòng điện đi trực tiếp từ phụ tải về nguồn nên có thể bỏ bớt một số ẩn.

Số ràng buộc dạng (9-8) chỉ có $(n-1)$ phương trình độc lập.

Từ đây thấy rằng nếu sử dụng phương pháp qui hoạch toán học để giải thì cấu trúc tối ưu của mạng điện chỉ bao gồm $(n-1)$ nhánh đối với mạng có n nút, nghĩa là mạng điện tối ưu có dạng hở (không tồn tại mạch vòng). Điều đó thể hiện đặc điểm của bài toán là chưa xét đến mức độ quan trọng khác nhau của các phụ tải, hoặc khi cần tăng cường độ tin cậy cung cấp điện thì dùng đường dây kép (không so sánh kinh tế – kỹ thuật).

Sau đây ta tìm cách giải bài toán, tìm cực trị hàm $Z(I_{ij})$ dạng (9-6).

Hàm $Z(I_{ij})$ ở đây có dạng phi tuyến đối với I_{ij} , chẳng hạn có thể viết

$$Z(I_{ij}) = \Sigma \left(\frac{A}{I_{ij}} l_{ij} + \beta l_{ij} \right) I_{ij} \text{ khi } I_{ij} > 0$$

đặt

$$C_{ij} = \frac{A}{I_{ij}} l_{ij} + \beta l_{ij}$$

ta có

$$Z(I_{ij}) = \Sigma C_{ij} I_{ij}$$

có dạng phi tuyến vì các hệ số C_{ij} phụ thuộc vào I_{ij} .

Từ biểu thức $Z(I_{ij})$ ở (9-6) khi $I_{ij} > 0$, viết được

$$Z(I_{ij}) = Z_1 + Z_2 \quad (9-10)$$

trong đó

$$Z_1 = A \Sigma l_{ij}$$

$$Z_2 = \beta \Sigma l_{ij} I_{ij}$$

Thành phần Z_1 phản ánh chi phí tỉ lệ với tổng chiều dài các đường dây trong mạng, chính là chi phí về đầu tư. Thành phần Z_2 phản ánh chi phí về tổn thất công suất (hoặc điện năng) trong mạng điện, là bộ phận chính của phí tổn vận hành.

Điều kiện bài toán là: Xác định $\{I_{ij}\}$ sao cho

$$\min Z(I_{ij}) = \min (Z_1 + Z_2) \quad (9-11)$$

và luôn luôn có điều kiện

$$\min Z(I_{ij}) > \min Z_1 + \min Z_2 \quad (9-12)$$

Biểu thức (9-12) sẽ trở thành đẳng thức khi phương án ứng với $\min Z_1$ trùng hoàn toàn với phương án ứng với $\min Z_2$, nghĩa là phương án nối dây của mạng điện vừa có vốn đầu tư nhỏ nhất vừa có phí tổn vận hành nhỏ nhất. Trong thực tế ít xảy ra những trường hợp như vậy. Do đó cần tìm những qui tắc phối hợp những phương án có $\min Z_1$ và $\min Z_2$. Để làm được việc đó, trước hết cần nêu lên phương pháp xác định riêng rẽ phương án có $\min Z_1$ và có $\min Z_2$.

9-2. THUẬT TOÁN TÌM CÂY BAO TRÙM NHỎ NHẤT.

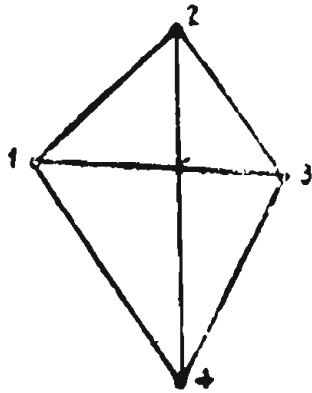
Trong mục này sẽ sử dụng một số khái niệm cơ bản của lý thuyết đồ thị (graph) để xác định phương án có tổng chiều dài đường dây ngắn nhất.

1. Một số định nghĩa cơ bản.

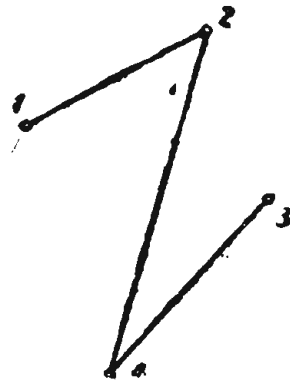
Một đồ thị (còn gọi là graph) liên thông là tập hợp các nút và các nhánh nối liên thông giữa các nút. Nhánh còn gọi là cạnh và nút còn gọi là đỉnh.

Một graph hoàn toàn là giữa hai đỉnh bất kỳ đều tồn tại cạnh nối (xem hình 9-1).

Cây của graph là tập hợp các cạnh đi qua tất cả các đỉnh của đồ thị nhưng không tạo một mạch kín nào. Trên hình 9-2 trình bày một cây của graph gồm 4 đỉnh.



Hình 9-1



Hình 9-2

Từ những định nghĩa trên ta nhận được một số kết quả sau đây:
Nếu một graph hoàn toàn có n đỉnh, thì số cạnh S của nó là:

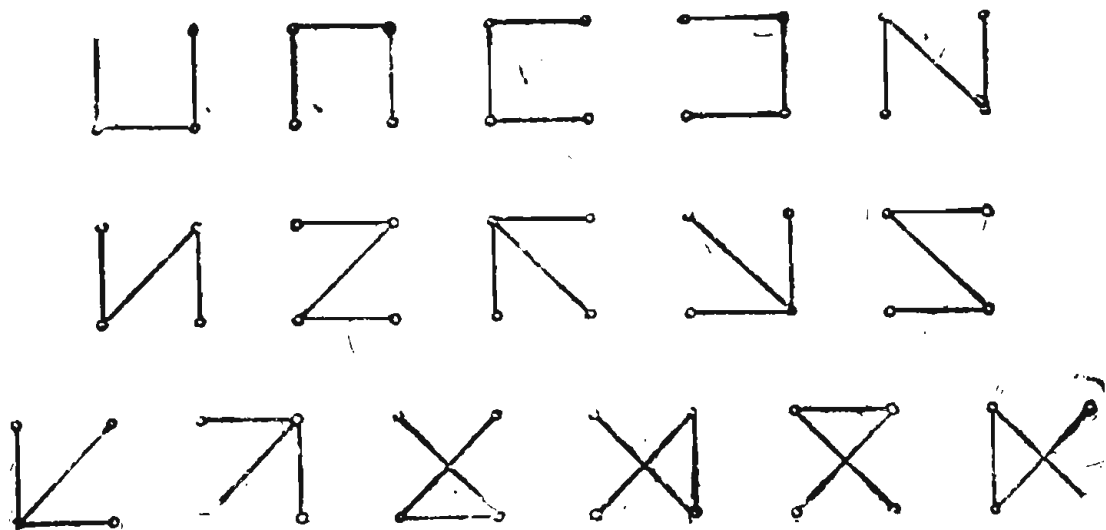
$$S = n(n-1) \cdot \frac{1}{2} \quad (9-13)$$

Thí dụ: có 4 đỉnh thì số cạnh của graph hoàn toàn là 6.

Một graph có n đỉnh thì cây của nó có $n - 1$ cạnh, và là một mạng hồ liên thông. Cần chú ý rằng số cây của graph rất nhiều (số phương án có thể nối giữa các đỉnh theo mạng hồ), và được xác định theo công thức sau:

Số cây C của graph có n đỉnh:

$$C = n^{n-2} \quad (9-14)$$



Hình 9-3

Như vậy khi graph có 3 đỉnh ta có thể lập 3 cây, graph có 4 đỉnh đã có thể lập $4^2 = 16$ cây và khi có 10 đỉnh thì số phương án mạng hồ lập theo lý thuyết graph lên tới $10^8 = 100$ triệu! Trên hình 9-3 trình bày 16 cây của graph gồm 4 đỉnh.

Cây bao trùm nhỏ nhất là một cây liên thông của graph và có tổng chiều dài là nhỏ nhất.

Từ đây thấy rằng một graph n đỉnh, tổng số cây bao trùm C là n^{n-2} , nhưng số cây bao trùm nhỏ nhất chỉ là 1 hoặc trong trường hợp có một số cạnh ngăn nhau ta có thể tìm được một số cây bao trùm nhỏ nhất.

Như vậy một cây bao trùm nhỏ nhất của graph mạng điện chính là một phương án nối dây mạng hồ có tổng chiều dài đường dây ($\sum l_{ij}$) là nhỏ nhất, nghĩa là thỏa mãn điều kiện cực tiểu về tổng vốn đầu tư của mạng điện.

Có nhiều phương pháp xác định cây bao trùm nhỏ nhất của graph. Sau đây trình bày hai thuật toán.

2. Thuật toán Prim, Krustal.

1) *Thuật toán Prim.* Đầu tiên chọn cạnh ngắn nhất của graph, chẳng hạn nhánh U_1 . Tiếp tục chọn cạnh ngắn thứ hai trong các cạnh, chẳng hạn U_2 . Sau khi chọn được k cạnh ngắn thứ tự $U_1, U_2, \dots, U_k$. Gọi A_k là tập hợp các nút của k cạnh đó, ta tiếp tục chọn cạnh U_{k+1} ngắn nhất trong các cạnh có một đầu mút thuộc tập A_k và một đầu mút không thuộc tập A_k (để không tạo thành mạch vòng). Quá trình chọn sẽ dừng khi $k = n - 1$. Khi đó ta được một cây bao trùm (liên thông với n đỉnh) có tổng chiều dài các cạnh là nhỏ nhất.

2) *Thuật toán Krustal.* Trước hết vẽ graph hoàn toàn có số cạnh là $\frac{n(n-1)}{2}$ ứng với số đỉnh n của graph. Sau đó xét các mạch vòng và bỏ đi cạnh dài nhất trên mạch vòng ở bước đó. Quá trình sẽ dừng khi không còn một mạch vòng nào. Khi đó nhận được cây bao trùm có tổng chiều dài các cạnh là nhỏ nhất.

Cả hai thuật toán trên đây đều có thể thực hiện theo chương trình trên máy tính điện tử số.

9-3. THUẬT TOÁN ĐƠN HÌNH GIẢI BÀI TOÁN MINZ₂.

Phương án mạng điện hồ ứng với $\min Z_2$ chính là phương án có cực tiểu của tổng các tích giữa chiều dài các cạnh và dòng điện tương ứng đi trên đó, chính là phương án có tổng mômen phụ tải $\sum P_{ij} l_{ij}$ nhỏ nhất hoặc tổng tổn thất điện năng trong mạng điện là nhỏ nhất.

Bài toán được phát biểu như sau: Xác định các giá trị I_{ij} sao cho

$$Z_2 = \sum \beta_{ij} I_{ij} \rightarrow \min$$

và thỏa mãn

$$\sum_j I_{ij} = I_i \quad (i = 1, 2, \dots, (n-1)) \quad i \neq j$$

Coi $\beta_{ij} = C_{ij}$ là hằng số, bài toán trên có thể giải nhờ thuật toán đơn hình.

Sau đây thông qua một thí dụ đơn giản, minh họa việc áp dụng thuật toán đơn hình giải bài toán tìm phương án mạng điện hồ có $\min Z_2$.

Có nguồn 0 cung cấp cho 5 phụ tải 1, 2, 3, 4, 5, như trong hình 9-4 với các số liệu sau:

Công suất:

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot 15 \text{ MVA}$$

$$S_2 = \sqrt{3} \cdot 17 \text{ MVA}$$

$$S_3 = \sqrt{3} \cdot 20 \text{ MVA}$$

$$S_4 = \sqrt{3} \cdot 13 \text{ MVA}$$

$$S_5 = \sqrt{3} \cdot 5 \text{ MVA}$$

$$(\text{do đó có } S_0 = \sum_{i=1}^5 S_i)$$

Chiều dài các đoạn đường:

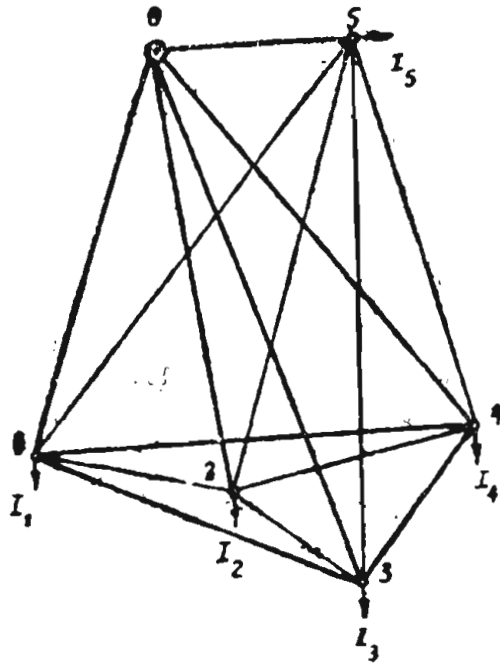
$$l_{01} = 50 \text{ km}; \quad l_{02} = 60 \text{ km}; \quad l_{03} = 85 \text{ km};$$

$$l_{04} = 80 \text{ km}; \quad l_{05} = 10 \text{ km}; \quad l_{23} = 30 \text{ km};$$

$$l_{24} = 35 \text{ km}; \quad l_{25} = 65 \text{ km}; \quad l_{15} = 55 \text{ km};$$

$$l_{14} = 80 \text{ km}; \quad l_{13} = 70 \text{ km}; \quad l_{12} = 50 \text{ km};$$

$$l_{34} = 10 \text{ km}; \quad l_{35} = 90 \text{ km}; \quad l_{45} = 75 \text{ km}.$$



Hình 9-4

Điện áp định mức toàn mạng $U_{dm} = 110 \text{ kV}$.

Cần xác định cấu trúc của mạng điện sao cho thỏa mãn điều kiện

$$Z_2 = \sum \beta l_{ij} I_{ij} \Rightarrow \min$$

Để thành lập các ràng buộc theo định luật Kirshoff I ta cần xác định dòng điện tại các nút $I_1, I_2, \dots, I_5$.

$$I_1 = \frac{S_1}{\sqrt{3}U} = 163,5 \text{ A. Tương tự có}$$

$$I_2 = 155 \text{ A}; \quad I_3 = 183 \text{ A}; \quad I_4 = 118 \text{ A}; \quad I_5 = 45,5 \text{ A}.$$

Nối các đỉnh ta có graph hoàn toàn, trình bày trên hình 9-4.

Có thể bỏ qua các dòng điện đi từ phụ tải về nguồn đó là $I_{10}, I_{20}, I_{30}, I_{40}, I_{50}$. Vậy số ẩn còn lại cần xác định là: $n(n-1) - 5 = 25$, vì ở đây $n = 6$. Đó là các ẩn:

$$I_{01}, I_{02}, I_{03}, I_{04}, I_{05}, I_{51}, I_{15}, I_{52}, I_{25}, I_{53}, I_{35}, I_{54}, I_{45},$$

$$I_{41}, I_{14}, I_{42}, I_{24}, I_{43}, I_{34}, I_{31}, I_{13}, I_{32}, I_{23}, I_{21}, I_{12}.$$

Chú ý: Để đảm bảo biết cả giá trị và chiều dòng điện trong nhánh, trên mỗi cạnh ta dùng hai dòng điện, một dòng đi vào nút và một dòng đi ra khỏi nút đó.

Các phương trình ràng buộc ở các nút phụ tải là (lấy nguồn điện làm điểm cân bằng):

$$I_{01} + I_{51} - I_{15} + I_{41} - I_{14} + I_{31} - I_{13} + I_{21} - I_{12} = I_1 = 136,5 \text{ A}$$

$$I_{02} + I_{52} - I_{25} + I_{42} - I_{24} + I_{32} - I_{23} + I_{12} - I_{21} = I_2 = 155 \text{ A}$$

$$I_{03} + I_{53} - I_{35} + I_{43} - I_{34} + I_{23} - I_{32} + I_{13} - I_{31} = I_3 = 183 \text{ A}$$

$$I_{04} + I_{54} - I_{45} + I_{34} - I_{43} + I_{24} - I_{42} + I_{14} - I_{41} = I_4 = 118 \text{ A}$$

$$I_{05} + I_{15} - I_{54} + I_{35} - I_{53} + I_{25} - I_{52} + I_{15} - I_{51} = I_5 = 45,5 \text{ A}$$

Chú ý: Khi thành lập hệ phương trình ràng buộc trên, ở vế trái, dòng điện đi vào đỉnh mang dấu + và dòng đi ra từ đỉnh mang dấu - (vì dòng phụ tải $I_1, \dots, I_5$ cũng đi ra từ đỉnh nhưng ở vế phải nên thành có dấu +).

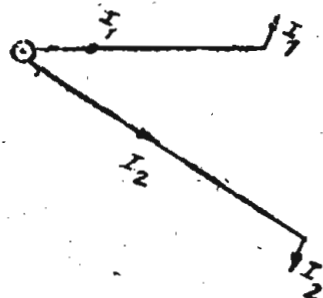
Giải theo thuật toán đơn hình, ở bước 1 lấy hệ ẩn cơ bản là $I_{01}, I_{02}, I_{03}, I_{04}, I_{05}$. Kết quả tính toán ở bước 1 được ghi vào bảng 9-1.

Bảng 9-1

Hệ số ẩn cơ bản	Tên ẩn cơ bản	Phương án	c_j							
			50 β I_{01}	60 β I_{02}	85 β I_{03}	80 β I_{04}	10 β I_{05}	50 β I_{12}	75 β I_{13}	...
50 β	I_{01}	136,5	1	0	0	0	0	-1	-1	...
60 β	I_{02}	155	0	1	0	0	0	1	0	...
85 β	I_{03}	183	0	0	1	0	0	0	1	...
80 β	I_{04}	118	0	0	0	1	0	0	0	...
10 β	I_{05}	45,5	0	0	0	0	1	0	0	...
	$Z_1(I_{ij})$	41590 β		0	0	0	0	< 0	< 0	< 0...

Trên bảng 9-1 ở các cột I_{ij} ta ghi tên 25 ẩn và 25 hệ số βI_{ij} ứng với các ẩn:

Sau bước 1 mọi Δ_j đều có giá trị âm hoặc bằng 0, nghĩa là lời giải đã đạt tối ưu. Vậy mạng có $\min Z_2$ là một cây bao trùm gồm các cạnh [01, 02, 03, 04, 05], nghĩa là một mạng hình tia, xuất phát từ nguồn điện 0. Điều này cũng dễ dàng nhận thấy vì khi có một nguồn cung cấp, chỉ có mạng hình tia (không phụ thuộc vào khoảng cách và độ lớn của phụ tải) mới thỏa mãn điều kiện tải điện ít tổn thất nhất, nghĩa là có ($\min \sum I_{ij} l_{ij}$), vì chính đường tải điện gần nhất là thẳng từ nguồn đến nơi nhận không đi qua các nút trung gian tương tự như bài toán vận tải thông thường).



Hình 9-5



Hình 9-6

Kết luận đây có thể chứng minh như sau: Chẳng hạn có một nguồn cung cấp điện cho hai phụ tải theo sơ đồ hình tia (hình 9-5) và sơ đồ nối liên tiếp (hình 9-6). So sánh tổng quát giá trị $Z_2 = \sum I_{ij} l_{ij}$ của hai phương án này.

Đối với phương án nối dây trên hình 9-5 có:

$$Z_2^{(a)} = \sum I_{ij} l_{ij} = I_1 l_1 + I_2 l_2 \quad (a)$$

Đối với phương án nối dây trên hình 9-6 có:

$$Z_2^{(b)} = \sum I_{ij} l_{ij} = (I_1 + I_2) l_1 + I_2 l_{12} \quad (b)$$

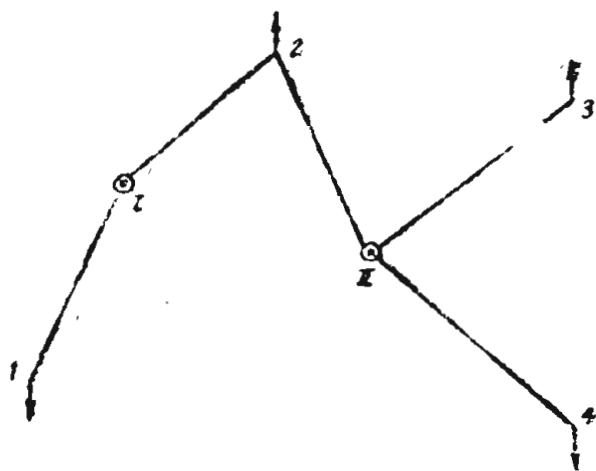
Từ biểu thức (b) có:

$$Z_2^{(b)} = I_1 l_1 + (l_1 + l_{12}) I_2$$

mà bao giờ cũng có $(l_1 + l_{12}) > l_2$ nên luôn luôn có $Z_2^{(b)} > Z_2^{(a)}$, nghĩa là khi có một nguồn cung cấp, mạng hình tia luôn luôn cho tổng tổn thất điện năng nhỏ nhất (khi dây dẫn cùng tiết diện).

Từ kết luận này thấy rằng khi chọn những phương án có tổng mômen phụ tải nhỏ nhất ($\sum P_{ij} l_{ij}$) là chỉ đảm bảo $Z_2 \min$, hoàn toàn không khẳng định được là đảm bảo tối ưu chung ($\min Z$).

Trong trường hợp mạng có nhiều nguồn cung cấp, phương pháp xác định cấu trúc mạng (hở) theo chỉ tiêu $\min Z_2$ hoàn toàn tương tự như đối với trường hợp một nguồn. Hình dáng mạng theo $\min Z_2$ là hình tia và để đảm bảo liên thông sẽ có một số nút phụ tải nhận điện từ hai nguồn đến, chẳng hạn có dạng như trên hình 9-7.



Hình 9-7

Trên đây ta đã nêu các thuật toán xác định các mạng điện riêng rẽ theo điều kiện $\min Z_1$ và $\min Z_2$.

Nói chung hai sơ đồ mạng điện đó không trùng nhau. Vì vậy lấy một trong hai mạng điện đó đều không đạt mục tiêu cực tiểu hàm $Z(I_{ij})$ tổng. Tuy nhiên việc xác định các cấu trúc mạng điện ứng với $\min Z_1$ và $\min Z_2$ rất bổ ích và lạ nên tăng đã tiếp tục xây dựng các thuật toán phối hợp để tìm cấu trúc mạng điện (hở) đạt mục tiêu $\min Z$. Đó là nội dung của các mục tiếp theo của chương này.

9-4. BÀI TOÁN VẬN TẢI MỞ RỘNG — XÁC ĐỊNH CẤU TRÚC TỐI ƯU CỦA MẠNG ĐIỆN.

Ta giả thiết rằng phương án mạng hở ứng với $\min Z_1$ không trùng với phương án mạng hở ứng với $\min Z_2$. Sẽ sử dụng những kết quả của bài toán vận tải [xem chương tám] và mở rộng xét phối hợp giữa hai phương án đó. Ở đây gọi là bài toán vận tải mở rộng vì phương án cuối cùng có thể xuất hiện việc chuyển tải điện năng qua các phụ tải trung gian mà không trực tiếp từ nguồn điện (khi yếu tố về vốn đầu tư Z_1 đáng kể).

Trình tự tiến hành các bước như sau:

- 1) Tìm phương án thỏa mãn $\min Z_1$, nghĩa là xác định cây bao trùm nhỏ nhất của graph mạng điện
- 2) Giải tích mạng đó, xác định giá trị dòng công suất (hoặc dòng điện) đi trên các nhánh của mạng (thỏa mãn cân bằng công suất tại các đỉnh).

3) Xác định thế vị α_i, α_j ở mọi đỉnh, căn cứ vào giá trị $C_{ij} = \beta l_{ij}$ của $(n-1)$ nhánh ij có mặt trong mạng điện, và các giá trị α_i, α_j xác định theo:

$$C_{ij} = \alpha_i - \alpha_j = \beta l_{ij} \quad (9-15)$$

trong đó β là hằng số đã biết và l_{ij} là chiều dài đoạn ij . Theo qui ước khi chiều dòng điện trong nhánh đi từ i đến j thì $\alpha_i > \alpha_j$. Ngoài ra để xác định n giá trị thế vị α_i, α_j ta giả thiết một $\alpha_k = 0$.

4) Kiểm tra chỉ tiêu tối ưu của mạng điện hiện tại căn cứ vào giá trị βl_{ij} của những nhánh không có mặt ở mạng hiện tại.

Phương án là tối ưu, nếu

$$(\alpha_i - \alpha_j) - \beta l_{ij} \leq 0 \quad (9-16)$$

trng với mọi nhánh chưa có mặt ở phương án hiện tại. Gọi hiệu số $(\alpha_i - \alpha_j) - \beta l_{ij} = \gamma_{ij}$.

5) Nếu tồn tại nhánh rs có

$$(\alpha_r - \alpha_s) - \beta l_{rs} > 0, \text{ nghĩa là } \gamma_{rs} > 0$$

thì cần đưa nhánh rs vào phương án để xét tiếp theo, tất nhiên phải loại ra một nhánh theo điều kiện phương án không tạo thành mạch vòng.

6) Xét xem nhánh rs đưa vào có làm giảm giá trị hàm Z tổng không, giả thiết nhánh ij loại ra:

Tính giá trị lượng tăng chi phí

$$\Delta Z_{rs} = [A(l_{rs} - l_{ij}) - \gamma_{rs} P_{rs}]$$

trong đó P_{rs} là công suất đi trên nhánh rs ,

$A(l_{rs} - l_{ij})$ là phần tăng lên của Z_1 khi đưa nhánh rs vào và loại ij ra

$\gamma_{rs} P_{rs}$ là phần giảm của Z_2 khi đưa nhánh rs vào.

Từ đây thấy rằng nếu $\Delta Z_{rs} < 0$ thì việc thay nhánh ij bằng nhánh rs là có lợi. Thử với mọi nhánh có giá trị $\gamma_{ij} > 0$

Chú ý nếu ở một bước có nhiều nhánh ứng với $\gamma_{ij} > 0$ thì chọn nhánh có γ_{ij} cực đại để đưa vào.

7) Dựa trên cấu trúc mới (có nhánh rs và bỏ nhánh ij chẳng hạn) tìm phân bố công suất trên các nhánh. Xác định giá trị thế vị của các đỉnh, nghĩa là quá trình tính toán lặp lại từ bước 2, cho tới khi mọi $\gamma_{ij} \leq 0$.

Tóm lại ta đã xuất phát từ mạng điện hở có tổng chiều dài nhỏ nhất, hiệu chỉnh dần theo phương hướng kết hợp với chỉ tiêu giảm tổn thất điện năng. Ở mỗi bước đều kiểm tra theo chỉ tiêu tối ưu chung là cực tiểu hàm Z .

Thuật toán trên đây tuy có khối lượng tính toán lớn, nhưng được mở tả theo cách « chương trình hóa » nên có thể sử dụng máy tính điện tử để tìm lời giải tối ưu.

1. Áp dụng.

Ta xét một thí dụ đơn giản sau đây: Xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện khi đã biết giá trị công suất nguồn, phụ tải, cấp điện áp tải điện, khoảng

cách giữa các nút và những hệ số khác. Số liệu ghi trên hình vẽ 9-8. Trong đó có hai nguồn 1,4 cung cấp điện cho ba phụ tải 2, 3, 5. Chiều dài các đoạn giữa các đỉnh là km ghi cạnh nhánh tương ứng.

Khi tính toán đã lấy: $a_{lc} = 0,2$; $a_{vh} = 0,04$;

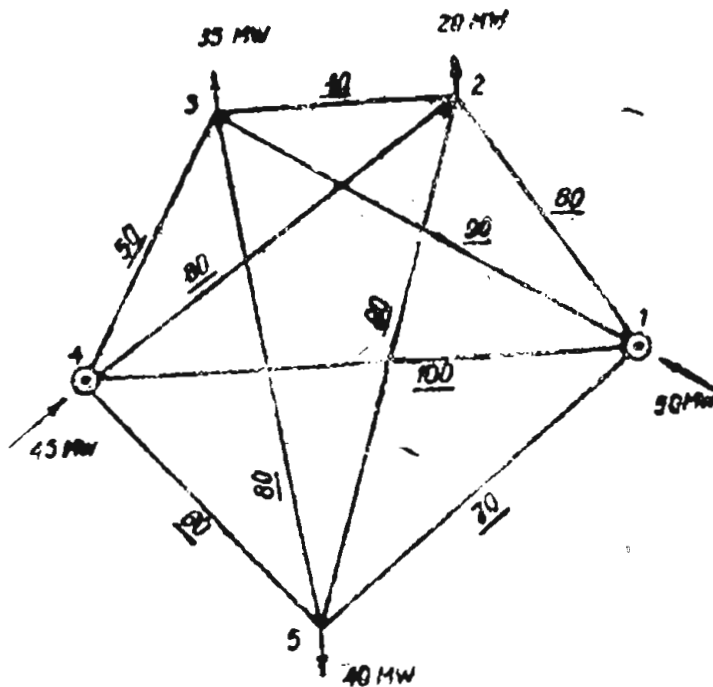
$c = 0,1$ đ/kWh, $A = 52.080$ đ/km; $B = 66$ đ/km $\cdot$ mm²; $\tau = 3000$ h;

$U = 110$ kV; $\cos\varphi = 0,8$.

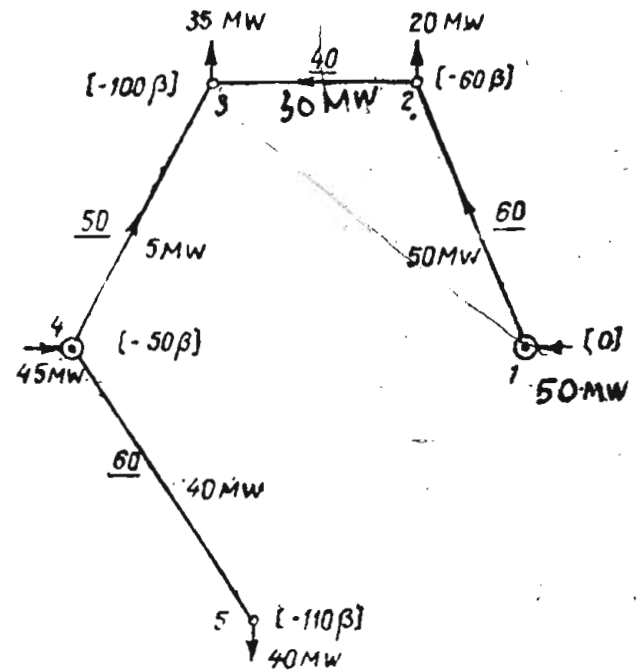
Tính được

$$A = 12500 \text{ đ/km}$$

$$\beta = 470 \text{ đ/km.}$$



Hình 9-8



Hình 9-9

1) Trước hết theo thuật toán Prim hoặc Krustal ta xác định được phương án cây bao trùm nhỏ nhất ứng với cấu trúc mạng điện thỏa mãn $\min Z_1$, như trên hình 9-9.

2) Giải tích mạng điện hình 9-9, xác định công suất đi trên các nhánh. Có kết quả:

$$P_{12} = 50 \text{ MW}$$

$$P_{23} = 30 \text{ MW}$$

$$P_{13} = 5 \text{ MW}$$

$$P_{45} = 10 \text{ MW}$$

Chiều công suất được ghi trên hình 9-9.

3) Căn cứ vào các giá trị βl_{ij} của nhánh 12, 23, 43 và 45 ta xác định các thế vị $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$

Có hệ phương trình:

$$\alpha_1 - \alpha_2 = 60\beta$$

$$\alpha_2 - \alpha_3 = 40\beta$$

$$\alpha_4 - \alpha_3 = 50\beta$$

$$\alpha_4 - \alpha_5 = 60\beta$$

Cho $\alpha_1 = 0$ nhận được: $\alpha_2 = -60\beta$; $\alpha_3 = -100\beta$; $\alpha_4 = -50\beta$; $\alpha_5 = -110\beta$.
Kết quả được ghi trên hình 9-9.

3) Đối với mọi nhánh chưa có mặt trong hình 9-9, xác định giá trị

$$\gamma_{ij} = (\alpha_i - \alpha_j) - \beta l_{ij}$$

Chú ý: đối với các nhánh có mặt ở hình 9-9 thì $\gamma_{ij} = 0$. Với nhánh 1-5: ta có $l_{15} = 70$ km, vậy

$$\gamma_{15} = (\alpha_1 - \alpha_5) - 70\beta = 110\beta - 70\beta = +40\beta$$

vì vậy cần đưa nhánh 1-5 vào để xét ở bước sau. Với nhánh 1-3: ta có $l_{13} = 90$ km, vậy

$$\gamma_{13} = (\alpha_1 - \alpha_3) - 90\beta = +100\beta - 90\beta = +10\beta$$

như vậy nhánh 1-3 cũng cần đưa vào xét ở bước tiếp theo.

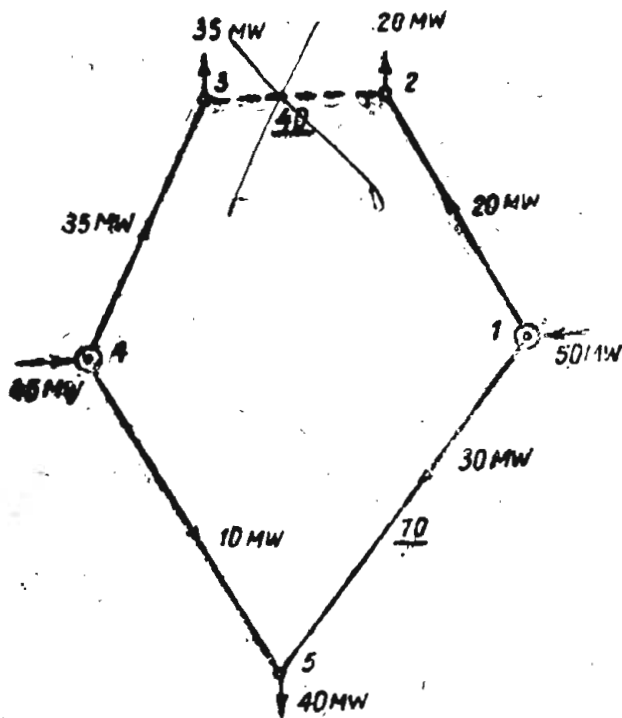
Chẳng hạn xét nhánh 1-4; $l_{14} = 100$ km, vậy

$$\gamma_{14} = (\alpha_1 - \alpha_4) - 100\beta = 50\beta - 100\beta = -50\beta$$

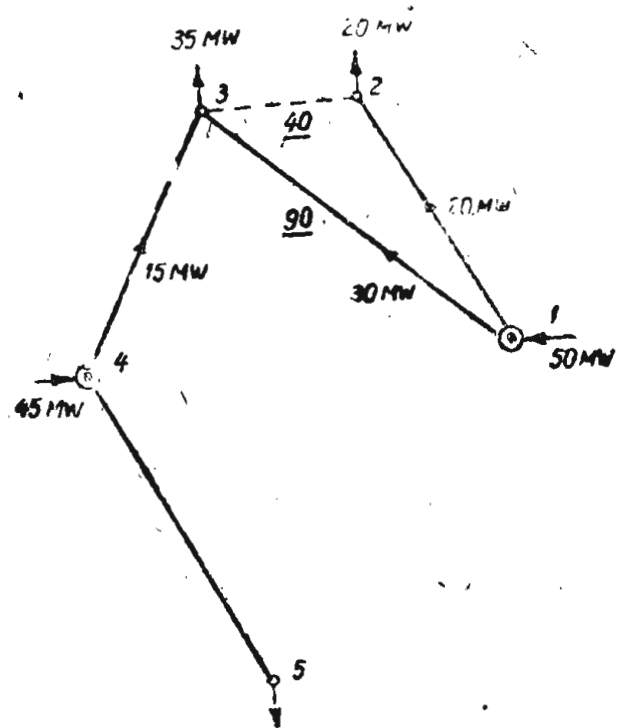
nghĩa là không cần đưa nhánh 1-4 vào xét, nói cách khác đưa nhánh 1-4 vào không làm giảm được chi phí về Z_2 mà nhất định làm tăng Z_1 vì đã xuất phát từ mạng có $\min Z_1$.

Tiếp tục xác định γ_{ij} với các nhánh khác, đều nhận được giá trị ≤ 0

4) Đưa nhánh 1-5 vào xét, để mạng không có mạch vòng ta loại nhánh 2-3 và có cấu trúc mạng mới như trên hình 9-10.



Hình 9-10



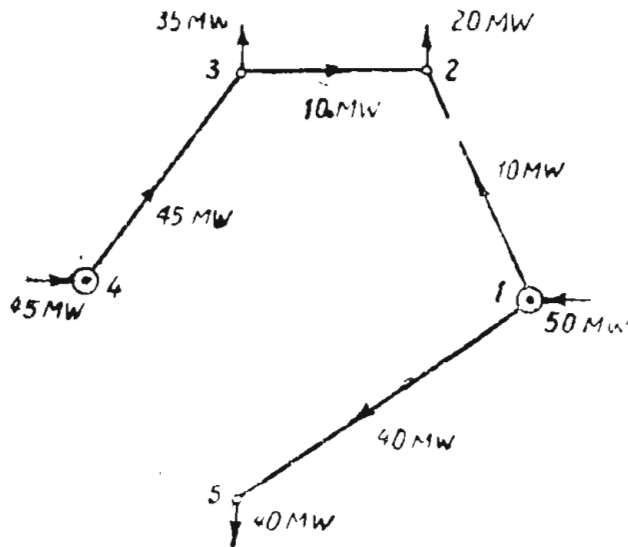
Hình 9-11

5) Tính giá trị ΔZ_{15} do đưa thêm nhánh 1-5 vào và bớt nhánh 2-3 đi:

$$\Delta Z_{15} = (\Delta l_{15} - \Delta l_{23}) - \gamma_{15} P_{15} = (70 - 40)\Delta - 40 \cdot 30\beta = -18900 < 0$$

nghĩa là đưa nhánh 1-5 vào và loại nhánh 2-3 đi thì giá trị hàm chi phí Z tăng một lượng âm. Do đó phương án mạng điện hình 9-10 tốt hơn phương án ứng với $\min Z_1$ (hình 9-9).

Tiếp theo cần xét thêm việc đưa thêm nhánh 1-3 vào và để không tạo mạch vòng ta cũng loại nhánh 2-3 (hình 9-11).



Hình 9-12

Xác định ΔZ_{13}

$$\begin{aligned}\Delta Z_{13} &= A(l_{13} - l_{23}) = \gamma_{13} P_{13} = \\ &= (90 - 10)A - 10 \cdot 30\beta = \\ &= 484000 > 0.\end{aligned}$$

Như vậy phương án khi thêm nhánh 1-3 và bỏ nhánh 2-3 thua phương án ứng với $\min Z_1$.

Vậy sẽ dùng phương án hình 9-10 để tính toán tiếp lặp lại từ bước 2 trở đi. Kết quả cuối cùng nhận được phương án tối ưu ($Z \Rightarrow \min$) biểu diễn trên hình 9-12.

9-5. BÀI TOÁN QUY HOẠCH SỐ NGUYÊN XÁC ĐỊNH CẤU TRÚC TỐI ƯU CỦA MẠNG ĐIỆN

Trong mục này sẽ trình bày áp dụng kết quả của bài toán quy hoạch số nguyên bộ phận cùng với việc sử dụng thuật toán Gomory [xem chương 8] để xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện hở.

Vấn đề được đặt ra như ở mục trước, nghĩa là tìm các giá trị công suất P_{ij} (hoặc I_{ij}) đi trên các nhánh thuộc mạng điện sao cho

$$Z = \sum [A l_{ij} + \beta l_{ij} P_{ij}] \rightarrow \min \quad (9-17)$$

Ta kí hiệu $A l_{ij} = a_{ij}$; $\beta l_{ij} = b_{ij}$ có thể biểu diễn hàm mục tiêu Z trong dạng

$$Z = \sum Z_{ij}$$

trong đó

$$Z_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{khi } P_{ij} = 0 \\ a_{ij} + b_{ij} P_{ij} & \text{khi } P_{ij} > 0 \end{cases} \quad (9-18)$$

Để đưa về bài toán quy hoạch số nguyên bộ phận ta thêm ẩn phụ n_{ij} vào hàm Z_{ij} như sau:

$$Z_{ij} = a_{ij} n_{ij} + b_{ij} P_{ij} \quad (9-19)$$

với điều kiện

$$n_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{khi } P_{ij} = 0 \\ 1 & \text{khi } P_{ij} > 0 \end{cases}$$

nghĩa là ẩn n_{ij} chỉ nhận giá trị nguyên 0, 1.

Để thêm những ràng buộc về các biến n_{ij} ta giả thiết đã biết công suất chuyên tải cực đại N_{ij} trên mỗi nhánh ij , khi đó có thể đưa thêm vào các điều kiện

$$\begin{aligned}P_{ij} &\leq n_{ij} N_{ij} \text{ hoặc} \\ P_{ij} - n_{ij} N_{ij} &\leq 0\end{aligned} \quad (9-20)$$

Từ đây thấy rằng khi $n_{ij} = 0$ có $P_{ij} = 0$ và khi $n_{ij} = 1$ có $P_{ij} \leq N_{ij}$.

Bài toán xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện (hở) có thể phát biểu trong dạng bài toán qui hoạch số nguyên bộ phận như sau.

Xác định giá trị $\{P_{ij}\}$ và $\{n_{ij}\}$ sao cho:

$$Z = \sum [a_{ij}n_{ij} + b_{ij}P_{ij}] \Rightarrow \min \quad (9-21)$$

và thỏa mãn những ràng buộc sau:

$$\sum_j P_{ij} = P_i \quad (9-22)$$

$$P_{ij} - n_{ij}N_{ij} \leq 0 \quad (9-23)$$

$$P_{ij} \geq 0 \quad (9-24)$$

$$n_{ij} \text{ là số nguyên (0 và 1)} \quad (9-25)$$

trong đó P_i là công suất tại các nút, nếu là phụ tải có $P_i > 0$, nếu nút là nguồn phát có $P_i < 0$.

Bài toán qui hoạch số nguyên bộ phận (chỉ cần thỏa mãn yêu cầu n_{ij} là số nguyên, còn giá trị P_{ij} chỉ cần không âm) trên đây có thể giải nhờ thuật toán Gomory như đã trình bày ở chương tám:

Tinh thần chủ yếu của thuật toán Gomory là:

Trước hết giải bài toán theo phương pháp thông thường của qui hoạch tuyến tính, chẳng hạn sử dụng thuật toán đơn hình. Nếu trong lời giải tối ưu mọi giá trị của ẩn n_{ij} là nguyên thì quá trình kết thúc.

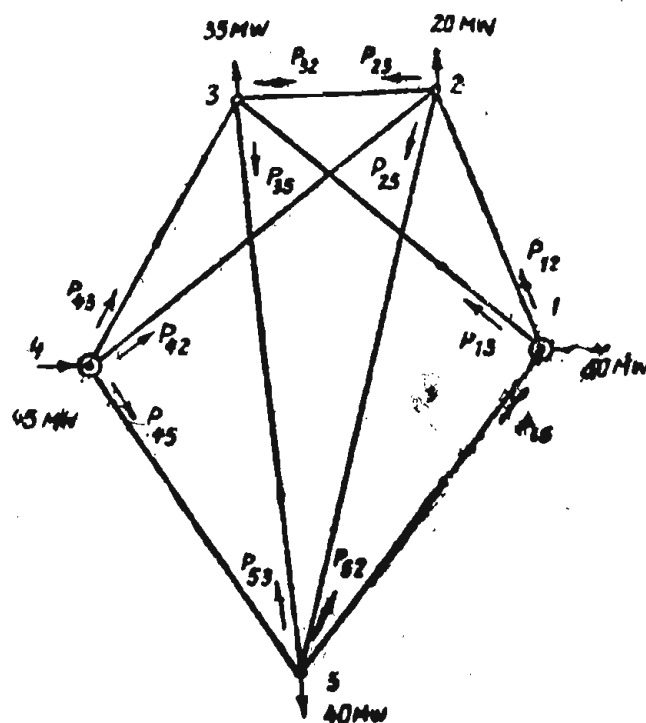
Khi còn một số nghiệm n_{ij} chưa nguyên, phải đưa vào điều kiện phụ theo thuật toán Gomory và giải bài toán mới theo thuật toán đơn hình đối ngẫu. Quá trình kết thúc khi mọi giá trị n_{ij} là nguyên.

1. Áp dụng.

Ta trở lại thí dụ xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện cho trên hình 9-8 của mục trước.

Nếu xét tới tất cả các nhánh ở graph hoàn toàn của mạng điện thì số nhánh lên tới $\frac{1}{2}(n-1)n = 10$ vì ở đây có 5 đỉnh và số ẩn tổng cộng về dòng công suất P_{ij} lên tới $10 \times 2 = 20$ (vì trên mỗi nhánh giả thiết có hai dòng công suất đều có giá trị không âm). Cùng với 20 ẩn phụ n_{ij} bài toán sẽ gồm 40 ẩn. Tuy nhiên để tính toán đỡ cồng kềnh có thể bỏ qua một số ẩn, chẳng hạn rõ ràng trong phương án tối ưu của mạng điện sẽ không tồn tại nhánh 1-4, nối trực tiếp giữa hai nguồn điện rất xa nhau, cũng như có thể loại bỏ những dòng công suất đi trực tiếp từ phụ tải về nguồn điện, như P_{21} , P_{31} , P_{51} , P_{34} , P_{54} .

Sơ đồ để xác định các ẩn P_{ij} và n_{ij} được trình bày trên hình 9-13.



Hình 9-13

Khi đó hàm mục tiêu $Z = Z(P_{ij}, n_{ij})$ được viết trong dạng sau:

$$Z = a_{12}n_{12} + b_{12}P_{12} + a_{13}n_{13} + b_{13}P_{13} + a_{15}n_{15} + b_{15}P_{15} + a_{23}n_{23} + b_{23}P_{23} + \\ + a_{32}n_{32} + b_{32}P_{32} + a_{42}n_{42} + b_{42}P_{42} + a_{43}n_{43} + b_{43}P_{43} + a_{45}n_{45} + b_{45}P_{45} + \\ + a_{53}n_{53} + b_{53}P_{53} + a_{52}n_{52} + b_{52}P_{52} + a_{35}n_{35} + b_{35}P_{35} + a_{25}n_{25} + b_{25}P_{25} \quad (9-26)$$

Ở đây có 12 ẩn P_{ij} và 12 ẩn n_{ij} tổng cộng là 24 ẩn, nhưng ta chỉ có 4 ràng buộc theo điều kiện cân bằng công suất tại các nút, trong đó một nút (chẳng hạn dùng nút 1) lấy làm điểm cân bằng. Theo qui ước về dấu của dòng công suất ở mỗi nút, ta có:

$$\left. \begin{aligned} 20 &= P_{12} - P_{23} - P_{25} + P_{32} + P_{42} + P_{52} \\ 35 &= P_{43} + P_{53} + P_{23} - P_{35} - P_{32} + P_{13} \\ 45 &= P_{43} + P_{42} + P_{45} \\ 40 &= P_{45} + P_{15} + P_{35} + P_{25} - P_{53} - P_{52} \end{aligned} \right\} \quad (9-27)$$

Ngoài ra ta có một số ràng buộc của các ẩn n_{ij} trong dạng bất đẳng thức ở biểu thức (9-23) như sau:

$$\left. \begin{aligned} P_{12} - 55n_{12} &\leq 0 \\ P_{13} - 35n_{13} &\leq 0 \\ P_{15} - 40n_{15} &\leq 0 \\ P_{23} - 35n_{23} &\leq 0 \\ P_{32} - 20n_{32} &\leq 0 \\ P_{43} - 55n_{43} &\leq 0 \\ P_{42} - 20n_{42} &\leq 0 \\ P_{45} - 40n_{45} &\leq 0 \\ P_{25} - 40n_{25} &\leq 0 \end{aligned} \right\} \quad (9-28)$$

trong đó những hệ số đứng trước n_{ij} là giá trị công suất cực đại phải tải qua nhánh ij .

Chú ý: Những biểu thức trên đây có thể viết đối với dòng điện I_{ij} trên các nhánh.

Đưa thêm các ẩn phụ vào ràng buộc phụ (9-28) để biến thành đẳng thức và lập hệ ẩn cơ bản đối với 4 phương trình cân bằng công suất. Sử dụng thuật toán đơn hình để giải, ở mỗi bước sẽ nhận được 4 ẩn cơ bản P_{ij} và 4 ẩn cơ bản n_{ij} , trong đó n_{ij} đòi hỏi là số nguyên ($n_{ij} = 1$ đối với nhánh có mặt trong phương án, $n_{ij} = 0$ ứng với nhánh không có mặt).

Thay các giá trị A, β, l_{ij} bằng số, xác định các hệ số a_{ij} và b_{ij} , sau nhiều bước giải, thu được kết quả theo bảng đơn hình như sau.

Bảng 9-2

P_{43}	P_{12}	P_{15}	P_{45}	n_{43}	n_{12}	n_{15}	n_{45}
35	20	30	10	7/11	4/11	3/5	2/9

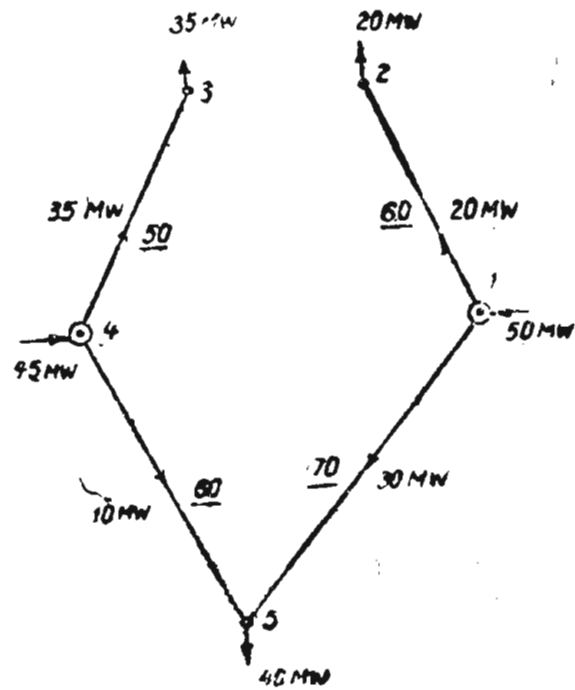
Các giá trị công suất P_{ij} ở bảng 9-2 là lời giải tối ưu của bài toán khi chưa xét đến điều kiện số nguyên của các giá trị n_{ij} , nghĩa là chỉ thuần túy xét về phương diện chuyển tải điện năng hợp lý mà chưa xét đến điều kiện xây dựng mạng điện. Cấu trúc mạng điện theo giá trị ở bảng 9-2 chính là mạng điện có $\min Z_2$, như trên hình 9-14. Khi đó $\min Z_2 = 5650 \cdot 10^3$ [kW . km]

Vì các giá trị n_{ij} chưa nguyên (phải bằng 1) nên cần tiếp tục giải nhờ thuật toán Gomory, đưa thêm các điều kiện phụ và sử dụng thuật toán đơn hình đối ngẫu.

Kết quả cuối cùng được ghi trong bảng 9-3.

Ứng với lời giải đó là kết cấu tối ưu của mạng điện trên hình 9-12.

Lời giải này hoàn toàn phù hợp với kết quả ở mục trước, khi áp dụng bài toán vận tải mở rộng (hình 9-12).



Hình 9-14

Bảng 9-3

P_{12}	P_{15}	P_{32}	P_{43}	n_{12}	n_{15}	n_{23}	n_{43}
10	40	10	45	1	1	1	1

Cần chú ý rằng trên đây là thí dụ về một trường hợp đơn giản mà khối lượng tính toán đã rất lớn: bảng đơn hình có mấy chục cột và hàng, phải hàng chục bước mới được một kết quả v.v... Khi số nút tăng lên, rõ ràng phải viết theo ngôn ngữ chương trình hóa để nhờ sự giúp đỡ của máy tính.

9.6. PHƯƠNG PHÁP CẬN VÀ NHÁNH XÁC ĐỊNH CẤU TRÚC TỐI ƯU CỦA MẠNG ĐIỆN.

Trong mục này sẽ trình bày việc áp dụng phương pháp cận và nhánh để xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện hở. Vấn đề được đặt ra như sau:

Cần xác định các giá trị công suất P_{ij} đi trên các nhánh của mạng điện tối ưu khi thiết kế sao cho hàm chi phí tính toán hàng năm là cực tiểu, đồng thời thỏa mãn những ràng buộc theo điều kiện cân bằng công suất ở các nút.

Hàm mục tiêu chi phí tính toán hàng năm của nhánh ij trong trường hợp này có dạng sau:

$$Z_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{khi } P_{ij} = 0 \\ a_{ij} + b_{ij} P_{ij} & \text{khi } P_{ij} > 0, \end{cases} \quad (9-17)$$

và

$$Z = \sum Z_{ij} = \sum a_{ij} + \sum b_{ij} P_{ij} \quad (9-18)$$

trong đó a_{ij} và b_{ij} là những hệ số phụ thuộc chiều dài các đoạn l_{ij}

Như đã phân tích ở mục 9-1 cần xác định P_{ij} sao cho biểu thức (9-18) đạt cực tiểu. Hàm Z có thể phân ra:

$$Z = Z_1 + Z_2$$

trong đó

$$Z_1 = \sum a_{ij}$$

$$Z_2 = \sum b_{ij} P_{ij}$$

Như vậy

$$\min Z = \min Z_1 + \min Z_2 \quad (9-19)$$

Ta gọi $\min Z_1 = W_1$ là giá trị bộ phận Z_1 của hàm Z , ứng với mạng điện có tổng chiều dài nhỏ nhất. Phương pháp xác định $\min Z_1$ đã trình bày ở mục 9-2.

Ta gọi $\min Z_2 = W_2$ là giá trị bộ phận Z_2 của hàm Z ứng với mạng điện có tổng mômen phụ tải cực tiểu. Phương pháp xác định $\min Z_2$ theo thuật toán đơn hình hoặc bài toán vận tải đã trình bày ở các mục trước.

Như vậy

$$W = W_1 + W_2 \quad (9-20)$$

là giá trị *cận dưới* của hàm mục tiêu Z của một phương án bất kỳ. Nói cách khác ta không thể tìm được một phương án có chi phí tính toán Z nhỏ hơn giá trị W . Giá trị $Z = W$ ứng với trường hợp mạng điện đồng thời có tổng vốn đầu tư cực tiểu (cây bao trùm nhỏ nhất) và tổng tổn thất điện năng cực tiểu (chuyên tải điện năng với cước phí ít nhất). Với tinh thần này ta sẽ tìm thuật toán để phối hợp những phương án có $\min Z_1$ và $\min Z_2$ và luôn luôn đề ý đến giá trị của *cận* W .

Số lượng phương án mạng điện (tuy mới đề cập mạng hở - cây của graph) rất lớn, với mạng có n nút, tổng số phương án nối dây (hở) là n^{n-2} . Vì vậy để giảm bớt khối lượng tính toán ta có thể bỏ qua những tập hợp phương án mà biết chắc chắn trong tập đó không chứa phương án tối ưu. Với tinh thần này ta tiến hành *phân nhánh*: chia các phương án thành những tập có chứa nhánh ij và tập không chứa nhánh ij . Ở mỗi tập trước hết chỉ cần tính giá trị *cận* W .

Đó chính là tinh thần của phương pháp *cận và nhánh* (*cận* là giá trị giới hạn của $\min Z_1$ và $\min Z_2$, *nhánh* là phân nhánh các lời giải theo các tập phương án, còn gọi là cây phương án).

Các bước chủ yếu của phương pháp *cận và nhánh* có thể trình bày như sau:

1) Đối với graph hoàn toàn của mạng điện thiết kế, ta xác định W_1 và W_2 theo phương pháp đã biết, và xác định giá trị của *cận* W ứng với điểm ban đầu O của cây phương án (xem hình 9-15).

2) Ta đi về phía tay phải theo các nhánh có chiều dài lớn dần, nghĩa là cạnh a ngắn hơn b , cạnh b ngắn hơn c ... cho đến khi có phương án cây bao trùm nhỏ nhất. Ở hình 9-15, cây bao trùm nhỏ nhất gồm các cạnh: a, b, c, d .

Đỉnh O, A, B, C, D mô tả tập hợp các cây của graph mạng điện. Chẳng hạn đỉnh O ứng với tập hợp tất cả các cây của mạng điện, nghĩa là tập hợp n^{n-2} phương án mạng hở. Đỉnh A ứng với tập hợp tất cả các phương án (cây của graph) bắt buộc chứa nhánh a và 3 nhánh bất kì khác miễn không tạo thành mạch vòng. Đỉnh B ứng với tập hợp tất cả các cây bắt buộc chứa nhánh a và b v.v....

Tại đỉnh D ta có một cây duy nhất (ở đây là cây bao trùm nhỏ nhất) ta cần tính giá trị hàm mục tiêu của cây đó.

$$Z_D = W_{1D} + Z_{2D} \quad (9-21)$$

Vì các cạnh a, b, c, d tạo thành cây bao trùm nhỏ nhất nên $Z_{1D} = W_{1D} = W_1$. Giá trị Z_{2D} tính theo tỉ lệ với tổng các tích giữa công suất P_{ij} và chiều dài l_{ij} trên các nhánh.

Ta lấy giá trị Z_D làm mốc để so sánh và bắt đầu đi trở lên đỉnh C .

3) Từ đỉnh C ta rẽ sang trái. Khi rẽ thì loại bỏ nhánh vừa đi lên. Ở đây từ C rẽ sang đỉnh E ta loại bỏ nhánh d (kí hiệu $\bar{d}$). Như vậy đỉnh E ứng với tập hợp tất cả các cây bắt buộc chứa các nhánh a, b, c và bắt buộc không chứa nhánh d . Tại đỉnh E ta tính giá trị cận W_1 , tức là tìm cây bao trùm nhỏ nhất của các cây phải chứa nhánh a, b, c và không chứa d . Giá trị cận W_2 ở đỉnh E có thể lấy gần đúng là giá trị $\min Z_2$ đã tính từ đầu. Rõ ràng $W_{2E} \geq \min Z_2$, vì chúng chỉ bằng nhau khi trong tập các cây ở đỉnh E có cây ứng với $\min Z_2$, đó là trường hợp đặc biệt. Như vậy giá trị cận của E

$$W_E = W_{1E} + W_2 \quad (9-22)$$

So sánh giá trị W_E với Z_D . Nếu $W_E > Z_D$ thì rõ ràng ứng với đỉnh E không có phương án tối ưu, vì giá trị cận W_E đã vượt Z_D thì $Z_E \geq W_E$ nhất định lớn hơn Z_D . Khi đó ta trở về C và tiếp tục đi lên đỉnh B . Trong trường hợp $W_E \leq Z_D$ ta cần phân nhánh tiếp như sẽ đề cập đến ở đỉnh F . Giả thiết ở đây $W_E > Z_D$.

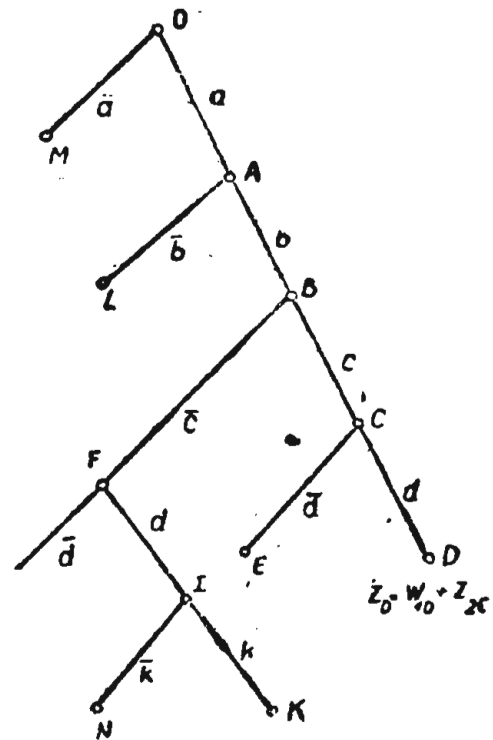
4) Lên đến đỉnh B lại rẽ sang trái đến đỉnh F . Đỉnh F ứng với tập hợp các cây (của graph mạng điện) chứa nhánh a, b và buộc không chứa nhánh c (lúc này có thể chứa nhánh d). Ta tính W_F

$$W_F = W_{1F} + W_2 \quad (9-23)$$

trong đó W_{1F} là giá trị Z_1 của cây bao trùm nhỏ nhất của các cây ở đỉnh F còn W_2 lấy giá trị đầu tiên là $\min Z_2$.

So sánh W_F với Z_D . Giả thiết $W_F \leq Z_D$.

5) Đi từ đỉnh F về phía tay phải theo hướng các nhánh có chiều dài tăng dần, cho đến đỉnh ứng với một cây duy nhất và là cây bao trùm nhỏ nhất có điều kiện (loại bỏ nhánh). Theo hình 9-15 đỉnh I ứng với tập hợp các phương án (cây) buộc có các nhánh a, b, d và không có nhánh c , trong đó chiều dài



Hình 9-15

nhánh d lớn hơn b , lớn hơn a . Tiếp tục đi đến đỉnh K bằng cách thêm nhánh k , có chiều dài $k > d$. Đỉnh K ứng với một cây duy nhất gồm các nhánh a, b, d, k đó chính là cây bao trùm nhỏ nhất có điều kiện (buộc không có nhánh c).

Tính giá trị hàm mục tiêu Z_k

$$Z_K = W_{1K} + Z_{2K} \quad (9-24)$$

trong đó Z_{2K} tính tỉ lệ với tổng các tích giá trị P_{ij} và l_{ij} của cây duy nhất ở đỉnh K .

Nếu $Z_K > Z_D$ ta vẫn lấy Z_D làm mốc để so sánh.

Nếu $Z_K \leq Z_D$ dùng giá trị Z_K làm mốc mới để so sánh ở các bước tiếp sau,

Giả thiết có $Z_K < Z_D$.

6) Tiếp tục từ K lên đỉnh I và rẽ sang trái, đến đỉnh N . Đỉnh N ứng với tập hợp các cây chứa các nhánh a, b, d đồng thời không được chứa nhánh c và k . Tính $W_N = W_{1N} + \min Z_2$. Giả thiết $W_N > Z_K$: ở đỉnh N không có phương án tối ưu. Đi về I và lên F .

7) Đi từ F sang trái tới đỉnh P . Đỉnh P ứng với tập hợp các cây chứa các nhánh a, b và không chứa c, d . Tính W_P . Để đơn giản, ở mọi bước chỉ cần tính W_1 có điều kiện còn W_2 luôn luôn lấy gần đúng là giá trị $\min Z_2$ từ đầu (tính gần đúng chỉ làm tăng các bước dẫn đến phương án tối ưu). Giả thiết $W_P > Z_K$.

8) Tiếp tục đi lên điểm A , rẽ sang trái đến L . Đỉnh L ứng với tập hợp tất cả các cây có chứa nhánh a và không chứa nhánh b . Giả thiết $W_L > Z_K$. Đi lên đỉnh O .

9) Từ O rẽ trái đến M . Tính W_M . Giả thiết $W_M > Z_K$. Hết đỉnh để đi lên. Vậy quá trình ngừng lại.

Trong trường hợp này phương án tối ưu ứng với đỉnh K , nghĩa là có các nhánh: a, b, d, k .

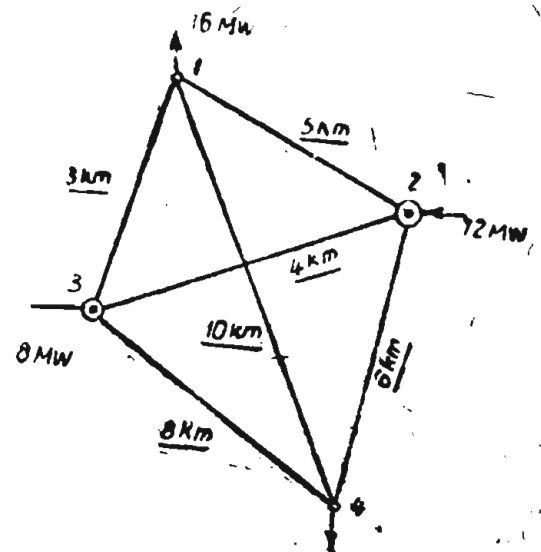
Như vậy nhờ tinh thần cận ta đã không cần tính chi tiết cho rất nhiều phương án có giá trị $Z > Z_K$, mà chỉ tính cụ thể (đến giá trị Z) cho một số phương án.

Phương pháp cận và nhánh là một trong những phương pháp qui hoạch toán học cho phép xác định cực trị tuyệt đối của bài toán phi tuyến đa cực trị.

Để minh họa các bước của thuật toán trên ta áp dụng cho thí dụ rất đơn giản sau đây.

1. Thí dụ

Có hai nguồn điện 2, 3 cung cấp cho hai phụ tải 1, 4. Giả thiết đã biết công suất của phụ tải và nguồn, khoảng cách giữa các nút và những hệ số khác khi qui hoạch. Cần xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện nhằm thỏa mãn mục tiêu cực tiểu hàm chi phí tính toán bằng năm Z . Những số liệu được ghi trong bảng 9-3 và sơ đồ graph hoàn toàn của mạng điện được trình bày trên hình 9-16.



Hình 9-16

Trên hình 9-16 có: công suất nguồn:

$$P_2 = 12 \text{ MW}$$

$$P_3 = 8 \text{ MW}$$

hai phụ tải

$$P_1 = 16 \text{ MW}$$

$$P_4 = 4 \text{ MW}$$

Chiều dài các khoảng cách:

$$l_{13} = 3 \text{ km}; l_{23} = 4 \text{ km}; l_{12} = 5 \text{ km}; l_{24} = 6 \text{ km}; l_{34} = 8 \text{ km}; l_{14} = 10 \text{ km}.$$

Giả thiết có

$$a_{ij} = 10^3 l_{ij} \text{ và}$$

$$b_{ij} = 10^2 l_{ij} \text{ ta có các số liệu ở bảng 9-3}$$

Chú ý: ở đây đề đơn giản và nhằm mục đích mô tả thuật toán nên đã dùng $a_{ij} = 10b_{ij}$, trong thực tế thường $a_{ij} > 10b_{ij}$ chẳng hạn ở thí dụ trong mục 9-4 có $a_{ij} = \alpha l_{ij}$; $b_{ij} = \beta l_{ij}$ mà $\alpha = 12500 \text{ đ/km}$ còn $\beta = 470 \text{ đ/km}$, nghĩa là $a_{ij} = 25b_{ij}$.

Như vậy ở thí dụ này b_{ij} có giá trị khá cao, do đó có thể dự đoán là vai trò giảm tổn thất điện năng sẽ có ảnh hưởng nhiều đến cấu trúc tối ưu của mạng điện.

Bảng 9-3

Nhánh	1-3	2-3	1-2	2-4	3-4	1-4
$a_{ij} \cdot 10^{-3}$	3	4	5	6	8	10
$b_{ij} \cdot 10^{-3}$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0

Trước hết thấy rằng mạng điện có 4 nút, vậy số nhánh của graph hoàn toàn là:

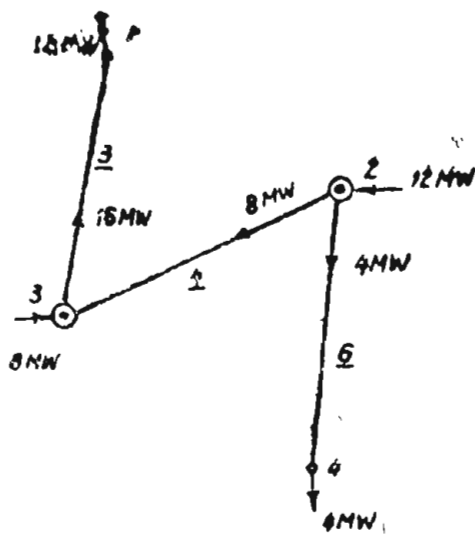
$$\frac{n(n-1)}{2} = 6.$$

Số phương án nối dây mạng hở là $n^{n-2} = 4^2 = 16$.

Sau đây ta sẽ không xét cả 16 phương án mà chỉ xét đến một số nhỏ nhờ thuật toán của phương pháp cận và nhánh.

1) Xác định phương án có $\min Z_1 = W_1$ theo thuật toán Prim tìm cây bao trùm nhỏ nhất của graph mạng điện. Kết quả ghi trên hình 9-17. Cây bao trùm nhỏ nhất gồm các nhánh 1-3, 2-3 và 2-4. Căn cứ vào phương trình cân bằng công suất ở các nút tính được phân bố công suất trên các nhánh. Kết quả cũng được ghi trên hình 9-17. Giá trị $W_1 = (3 + 4 + 6) 10^3 = 13 \cdot 10^3$.

2) Xác định phương án có $\min Z_2 = W_2$ theo thuật toán của bài toán vận tải.



Hình 9 - 17

Ở đây ta có hai nguồn phát $a_2 = 12$ và $a_3 = 8$ cung cấp điện cho hai nơi nhận $b_1 = 16$; $b_2 = 4$. Cước phí chuyên tải chính là các hệ số b_{ij} (ta gọi là c_{ij}). Ta cần xác định giá trị công suất P_{ij} đi từ nguồn phát i đến nơi nhận j sao cho tổng chi phí về vận tải điện năng (chính là tổng tổn thất điện năng) trong mạng là cực tiểu, nghĩa là đạt $\min Z_2$.

Dùng phương pháp góc tây bắc [xem chương tám], của bài toán vận tải trong qui hoạch tuyến tính, xác định được phương án phân phối công suất sơ bộ như trên bảng 9-4.

Trong bảng 9-4 giá trị cước phí chuyên tải c_{ij} (chính là hệ số $b_{ij} \cdot 10^{-3}$) ghi ở góc phải phía trên ở từng ngăn.

Bảng 9-4

Nhận Phát	1	4	a_i	α_i
2	$12 \ominus \begin{smallmatrix} 0,5 \\ 0,5 \end{smallmatrix}$	$4 \ominus \begin{smallmatrix} 0,6 \\ 0,6 \end{smallmatrix}$	(12)	0
3	$4 \oplus \begin{smallmatrix} 0,3 \\ 0,3 \end{smallmatrix}$	$4 \ominus \begin{smallmatrix} 0,8 \\ 0,8 \end{smallmatrix}$	(8)	-0,2
b_{ij}	(16)	(4)		
β_j	0,5	1,0		

Phương án phân phối công suất ban đầu là:

$$P_{21} = 12 \text{ MW}; P_{31} = 4 \text{ MW}; P_{34} = 4 \text{ MW}.$$

Dựa vào giá trị c_{ij} ở các ngăn nhận công suất để xác định giá trị thế vị của nguồn và phụ tải. Ở đây có hệ phương trình:

$$\alpha_2 + \beta_1 = 0,5$$

$$\alpha_3 + \beta_1 = 0,3$$

$$\alpha_3 + \beta_4 = 0,8.$$

trong đó α_2 là thế vị của nguồn 2 và β_1 là thế vị của phụ tải 1 t.v...

Vì cần xác định 4 ẩn: α_2 ; α_3 ; β_1 ; β_4 theo 3 phương trình trên nên cho $\alpha_2 = 0$. Từ đây có:

$$\alpha_2 = 0; \alpha_3 = -0,2; \beta_1 = 0,5; \beta_4 = 1,0.$$

Sau khi xác định thế vị của các nút, để kiểm tra chỉ tiêu tối ưu của phương án cần xét các ngăn chưa nhận công suất chuyên tải, ở đây là ngăn 2-4.

Nếu ở mọi ngăn còn trống, giá trị cước phí $c_{ij} > (\alpha_i + \beta_j)$ thì phương án đang xét là tối ưu, vì nếu cho những ngăn với cước phí c_{ij} lớn đó nhận công suất chỉ làm tăng chi phí tổng về chuyên tải điện năng.

Khi có $c_{ij} \leq (\alpha_i + \beta_j)$ thì để giảm chi phí về tổn thất điện năng, ở bước sau nên cho ngăn đó nhận công suất theo qui tắc vòng kín của bài toán vận tải.

Trong thí dụ này cần xét ngăn 2-4 có $c_{24} = 0,6$ mà $\alpha_2 + \beta_4 = 1,0$ nghĩa là: $c_{24} < (\alpha_2 + \beta_4)$. Như vậy cần cho nhánh 2-4 nhận công suất. Giá trị P_{24} ở bước tiếp theo được lấy là giá trị $P_{\min}$ ở vòng kín trên các ngăn 2-4; 2-1; 3-1 và 3-4. Kết quả: $P_{24} = 4 \text{ MW}$; $P_{21} = 8 \text{ MW}$; $P_{31} = 8 \text{ MW}$ như ghi trên bảng 9-5.

Bảng 9-5

Phát \ Nhận	1	4	α_i	β_j
2	0,5 8	0,6 4	12	0
3	0,3 8	0,8 0	8	- 0,2
b_i	16	4		
β_j	0,5	0,6		

Tiếp theo xác định thế vị các nút ứng với phương án ở bảng 4-5. Có kết quả:

$$\alpha_2 = 0; \alpha_3 = -0,2; \beta_1 = 0,5; \beta_4 = 0,6.$$

Xét ngăn 3-4. Có $C_{34} = 0,8$ mà $\alpha_3 + \beta_4 = 0,4$, nghĩa là $C_{34} > (\alpha_3 + \beta_4)$. Vậy không nên để ngăn 3-4 nhận công suất và do đó phương án chuyên tải điện năng như bảng 9-5 là tối ưu theo mục tiêu cực tiểu tổn thất trong mạng ($\min Z_2$). Sơ đồ nối dây của mạng điện hở ứng với $\min Z_2$ được vẽ trên hình 9-18, gồm các nhánh 2-1, 3-1, 2-4. Giá trị $\min Z_2 = W_2$ là

$$W_2 = (8.0,5 + 8.0,3 + 4.0,6) 10^3 = 8,8.10^3.$$

Như vậy ta có giá trị giới hạn dưới (cận) của hàm Z là:

$$W = 13.10^3 + 8,8.10^3 = 21,8.10^3.$$

Tiếp theo ta dùng cách phân nhánh (tạo một cây các phương án) để xét phối hợp giữa $\min Z_1$ và $\min Z_2$.

3) Bắt đầu từ đỉnh O đi về phía tay phải theo các nhánh của cây bao trùm nhỏ nhất và có chiều dài nhánh tăng dần, nghĩa là gồm các nhánh 1-3, 2-3

và 2-4 qua các đỉnh A, B, C , (xem hình 9-19). Tại đỉnh C ta có một cây duy nhất, đó là cây bao trùm nhỏ nhất có

$$W_{1C} = 13 \cdot 10^3$$

và cần tính Z_2 của đỉnh C

$$Z_{2C} = b_{ij} P_{ij} = (0,3 \cdot 16 + 0,48 + 0,6 \cdot 4) 10^3 = 10,4 \cdot 10^3.$$

Như vậy giá trị hàm mục tiêu của đỉnh C là:

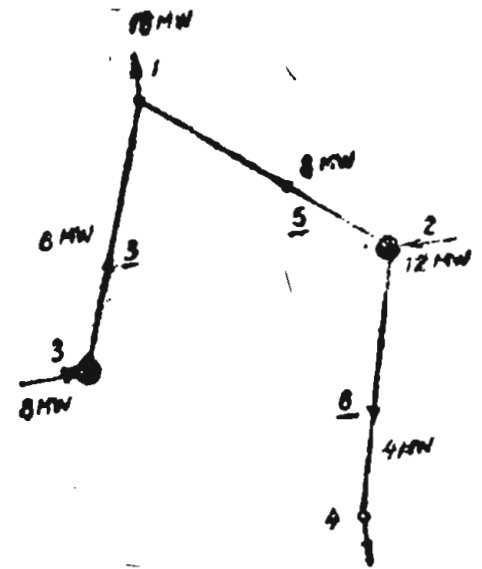
$$Z_C = W_{1C} + Z_{2C} = 23,4 \cdot 10^3.$$

Giá trị Z_C này được lấy làm mốc để so sánh trong những bước tiếp.

Tiếp theo, ta đi lên đỉnh B , rẽ sang trái, tức là loại bỏ nhánh 2-4 và đến đỉnh D . Đỉnh D ứng với tập các cây phải chứa nhánh 1-3, 2-3 và buộc không chứa nhánh 2-4. Ta cần xác định giá trị cần (W) của đỉnh D . Giá trị $W_D = W_{1D} + W_{2D}$.

Giá trị W_{1D} chính là giá trị của cây bao trùm nhỏ nhất có điều kiện (có 1-3, 2-3 và không có 2-4), đó chính là cây gồm các nhánh 1-3, 2-3 và 3-4. Do đó

$$W_{1D} = (3 + 4 + 3) 10^3 = 15 \cdot 10^3.$$



Hình 9-18

Để đơn giản tính toán, ở mọi đỉnh vẫn dùng một giá trị $W_2 = \min Z_2 = 8,8 \cdot 10^3$ (lẽ ra phải tính lại, xác định cây có $\min Z_2$ theo điều kiện của đỉnh D như vậy quá trình giải rút ngắn một số bước, nhưng việc tính lại $\min Z_2$ nhiều khi phức tạp và thời gian tính lại lâu hơn).

Vậy

$$W_D \approx (15 + 8,8) 10^3 = 23,8 \cdot 10^3.$$

So sánh W_D với Z_C . Thấy rằng $W_D > Z_C$ nên trong tập phương án ở đỉnh D nhất định không có phương án tối ưu và vì vậy không cần rẽ nhánh tiếp từ D mà trở về đỉnh B và đi lên đỉnh A .

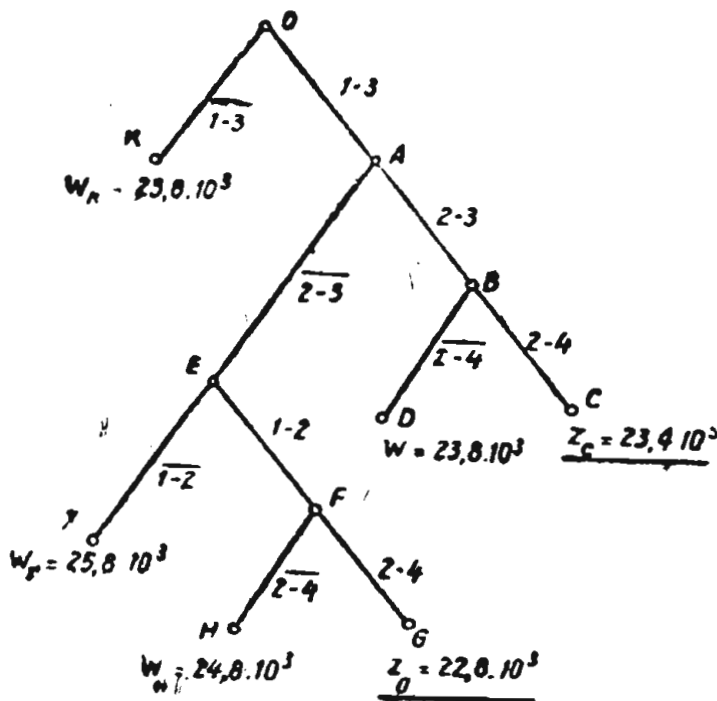
Từ A rẽ sang trái, tức là loại bỏ nhánh 2-3 và đến đỉnh E . Xác định giá trị $W_E = W_{1E} + W_2$.

Để xác định W_{1E} cần tìm cây bao trùm nhỏ nhất có chứa nhánh 1-3 và buộc không chứa nhánh 2-3. Từ graph hoàn toàn của mạng điện (hình 9-16) ta dễ dàng thấy cây ứng với W_{1E} gồm các nhánh 1-3, 1-2 và 2-4 và giá trị

$$W_{1E} = (3 + 5 + 6) 10^3 = 14 \cdot 10^3$$

do đó

$$W_E \approx (14 + 8,8) 10^3 = 22,8 \cdot 10^3.$$



Hình 9-19

Vì $W_E < Z_C$ nên có thể trong tập các cây ở đỉnh E có phương án tối ưu, nên cần phải đi tiếp về phía phải.

Từ E đi tiếp về phía phải theo các nhánh có chiều dài tăng dần, qua đỉnh F và đến G , ứng với một cây duy nhất: Cần xác định giá trị Z_G .

Cây duy nhất ở G gồm các nhánh 1-3, 1-2 và 2-4 là cây bao trùm nhỏ nhất có điều kiện, và đã có

$$W_{IG} = W_{IE} = 14 \cdot 10^3 \text{ cần tính } Z_{2G}.$$

Theo phân bố công suất trong mạng này (chính là cây có $\min Z_2$ đã xác định trên hình 9-18) gồm các nhánh 1-3, 1-2 và 2-4 có

$$Z_{2G} = (8,0,3 + 8,0,5 + 4,0,6) 10^3 = 8,8 \cdot 10^3.$$

Vậy

$$Z_G = (14 + 8,8) 10^3 = 22,8 \cdot 10^3.$$

Thấy rằng $Z_G < Z_C$ nên lấy giá trị $Z_G = 22,8 \cdot 10^3$ làm mốc mới để so sánh ở các bước tiếp theo.

Tiếp tục đi lên từ G đến đỉnh F và rẽ trái, nghĩa là loại bỏ nhánh 2-4, đến đỉnh H . Đỉnh H ứng với tập các cây chứa nhánh 1-3, không chứa 2-3 và 2-4. Như vậy cây bao trùm nhỏ nhất có điều kiện ở đỉnh H , gồm các nhánh 1-3, 1-2 và 3-4 (xem hình 9-16), và

$$W_{IH} = (3 + 5 + 8) 10^3 = 16 \cdot 10^3.$$

do đó

$$W_H \sim W_{IH} + W_2 = (16 + 8,8) 10^3 = 24,8 \cdot 10^3.$$

Thấy rằng $W_H > Z_G$ nên không cần rẽ nhánh tiếp từ đỉnh H . Tiếp tục lên đỉnh E và rẽ trái, nghĩa là bỏ nhánh 1-2, đến đỉnh I .

Đỉnh I ứng với tập các cây chứa nhánh 1-3 không chứa nhánh 2-3 và 1-2. Như vậy cây bao trùm nhỏ nhất có điều kiện ở đỉnh I gồm các nhánh 1-3, 2-4 và 3-4 (dựa vào hình 9-16) và

$$W_I = (3 + 8 + 6) 10^3 = 17 \cdot 10^3.$$

do đó

$$W_I \sim W_{II} + W_2 = (17 + 8,8) 10^3 = 25,8 \cdot 10^3.$$

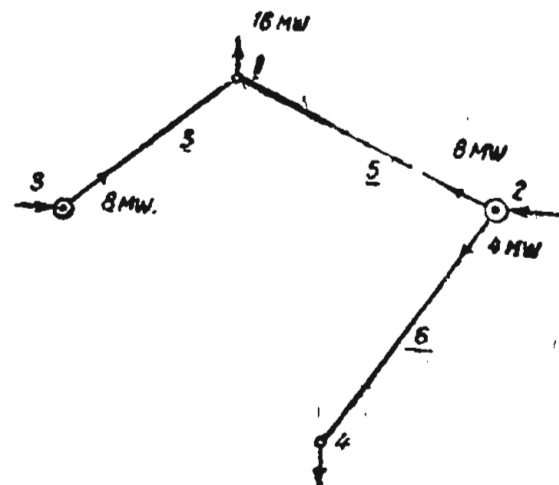
Vì $W_I > Z_G$ nên trong đỉnh I không có phương án tối ưu và tiếp tục đi về đỉnh A để đi lên đỉnh O và rẽ trái, nghĩa là bỏ nhánh 1-3 đến đỉnh K .

Đỉnh K ứng với tập các cây không chứa nhánh 1-3 còn chứa 3 nhánh bất kỳ khác miễn không có vòng kín. Vì ta chỉ quan tâm trước hết đến giá trị W_K nên cần xác định W_{IK} , đó là giá trị cây bao trùm nhỏ nhất với điều kiện không chứa nhánh 1-3 (xem hình 9-16): Ta có cây gồm các nhánh 2-3, 2-1 và 2-4, do đó:

$$W_{IK} = (4 + 5 + 6) 10^3 = 15 \cdot 10^3$$

$$W_K \sim W_{IK} + W_2 = (15 + 8,8) 10^3 = 23,8 \cdot 10^3$$

Vì $W_K > Z_G$ nên trong đỉnh cũng không có phương án tối ưu nên ta trở về



Hình 9-20

đỉnh O. Do trên O không còn đỉnh nào nữa nên quá trình phân nhánh kết thúc. Toàn bộ cây các phương án ghi trên hình 9-19 và cấu trúc tối ưu của mạng điện là ứng với đỉnh G gồm các nhánh 1-3, 1-2, 2-4 được trình bày trên hình 9-20.

Qua kết quả trên đây thấy rằng phương án tối ưu trùng với cây có tổng tổn thất điện năng cực tiểu. Điều đó thể hiện mục tiêu giảm chi phí về tổn thất điện năng đóng vai trò quan trọng, vì trong thí dụ này các giá trị b_{ij} lấy lớn như đã trình bày trước đây và cũng đã dự đoán về mức độ ảnh hưởng lớn của thành phần tổn thất điện năng đến lời giải tối ưu về cấu trúc mạng điện.

Trên đây đã sử dụng phương pháp cận và nhánh để xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện với những giả thiết đơn giản hóa bài toán. Khi số nút tăng lên, rõ ràng trên cơ sở thuật toán trên đây cần sự giúp đỡ của máy tính điện tử.

9-7. KẾT LUẬN.

Trong chương này đã sử dụng một số mô hình mở rộng của bài toán qui hoạch tuyến tính như bài toán vận tải mở rộng, bài toán qui hoạch số nguyên bộ phận và phương pháp cận và nhánh để xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện với những giả thiết đơn giản hóa của bài toán.

Xác định cấu trúc tối ưu là một bài toán khó và có ý nghĩa lớn trong quá trình tổng hợp và điều khiển hệ thống nói chung.

Những phương pháp trên đây tuy còn nhiều nhược điểm trong việc giải quyết bài toán, nhưng đã đóng góp những tiếng nói, những mô hình nhằm mô tả bài toán xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện một cách hình thức hóa và định lượng hóa những quan hệ giữa các thành phần của hệ (như vốn đầu tư, tổn thất điện năng). Nhờ những mô hình này các thủ tục tìm lời giải tối ưu đã được chương trình hóa và thời gian giải được rút ngắn đáng kể nhờ máy tính điện tử. Từ đây có thể chuẩn hóa và chương trình hóa công tác thiết kế, sơ bộ tìm cấu trúc tối ưu của mạng điện với những giả thiết đơn giản hóa.

Tuy nhiên chính do những giả thiết đơn giản hóa này mà lời giải nhận từ những phương pháp nêu trên mang những nhược điểm đáng kể.

Vì xuất phát từ những phương pháp của bài toán qui hoạch tuyến tính và chỉ căn cứ vào những ràng buộc về công suất (hoặc dòng điện) tại các nút theo định luật Kirshoff I nên cấu trúc mạng điện có dạng hở. Lời giải đó chỉ thích hợp với những mạng điện có những phụ tải cùng mức độ yêu cầu thấp về độ tin cậy cung cấp điện (hệ loại 3) hoặc khi cần tăng cường độ tin cậy thì chỉ dùng đường dây kép. Ngoài ra việc giả thiết các nhánh trong mạng điện đều chọn tiết diện theo mật độ kinh tế j_{kt} , trong đó coi $j_{kt} = \text{const}$ và dẫn đến hàm chi phí Z_{ij} có quan hệ tuyến tính với giá trị dòng điện I_{ij} trên các nhánh.

$$Z_{ij} = a_{ij} + b_{ij}I_{ij}$$

mà

$$a_{ij} = \text{const và } b_{ij} = \text{const},$$

trong nhiều trường hợp chưa chính xác. Trong thực tế thường các hệ số a_{ij} (có khi cả b_{ij}) phụ thuộc vào tiết diện dây dẫn, nghĩa là phụ thuộc vào I_{ij} như vậy hàm Z_{ij} có quan hệ phi tuyến với giá trị I_{ij} .

Cũng như trong quá trình xác định các phương án mạng điện hở không đề cập đến giá trị tổn thất lớn nhất của điện áp $\Delta U_{\max}$ như vậy có trường hợp vượt quá giá trị cho phép ΔU_{cr} và khi đó phải quan tâm đến những biện pháp điều chỉnh điện áp cũng như đầu tư phụ cho mạng điện.

Một giả thiết đơn giản hóa liên quan đến ngay từ đầu khi đặt bài toán là chỉ xét đến cấu trúc của mạng điện được thiết kế mới hoàn toàn mà chưa đề cập đến trường hợp cần xét cấu trúc của mạng điện đang phát triển, hiện có một bộ phận đang vận hành. Trường hợp này thường gặp trong thực tế của hệ thống điện.

Tất nhiên, như đã trình bày ở phần mở đầu của chương này, những lời giải nhận được ở đây ứng với trường hợp cần biết đầy đủ thông tin ban đầu như vị trí, độ lớn của nguồn và phụ tải, các hệ số khi thiết kế v.v..., nghĩa là bài toán được đặt trong khung cảnh tất định; cũng như lời giải tối ưu của cấu trúc mạng điện chỉ nhằm thỏa mãn hai chỉ tiêu là cực tiểu vốn đầu tư và cực tiểu phí tổn vận hành. Trong thực tế muốn có những lời giải tối ưu gần với lời giải chính xác cần đặt trong khung cảnh giải bài toán tối ưu đa chỉ tiêu cấu trúc của hệ trong điều kiện bất định.

Để khắc phục những nhược điểm nêu trên, hiện nay đã có những công trình cố gắng giải quyết bài toán xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện khi giả thiết hàm mục tiêu có quan hệ phi tuyến với dòng điện các nhánh, khi sử dụng thêm những ràng buộc theo định luật Kirshoff II về mạch vòng, khi có xét đến bộ phận mạng điện đang vận hành v.v...

Tuy nhiên kết quả còn rất hạn chế. Ở đây cần lưu ý một tính chất khi sử dụng phương pháp mô hình toán học là: Trong nhiều trường hợp những cố gắng để chi tiết hóa mô hình nhằm mô tả đối tượng nghiên cứu càng gần với thực tế lại dẫn đến nhiều khó khăn thậm chí không nhận được lời giải bằng con đường giải tích. Điều đó có nghĩa là thường muốn tiếp cận với thực tế mô tả đúng đắn hiện thực thì phải vượt lên những giả thiết đơn giản hóa, nhưng khi đó mô hình toán học được sử dụng sẽ phức tạp và không có thủ hiệu lực để nhận được lời giải và ít có may mắn giải được bằng phương tiện giải tích.

Từ tính chất này trong nhiều trường hợp, ở bước sơ bộ ta sử dụng mô hình toán học đơn giản để nhận được một lời giải tối ưu ban đầu sau đó hiệu chỉnh dần theo những mức độ phức tạp của bài toán và điều kiện thực tế. Chẳng hạn khi nghiên cứu quỹ đạo của viên đạn phải quan tâm đến tốc độ gió, nhiệt độ không khí, ma sát của viên đạn với lớp không khí và những yếu tố bất định khác, nhưng để nhận lời giải sơ bộ ta vẫn bằng lòng với mô hình toán học về quỹ đạo parabol của chất điểm chuyển động trong chân không (chỉ có tác động của trọng lực).

Với tinh thần như vậy, những kết quả thu được ở chương này là bổ ích, cho phép ta xác định cấu trúc hợp lý của mạng điện hở, từ đó lời giải sẽ được hoàn thiện bằng cách bổ sung những thông tin phù hợp với thực tế. Những thủ tục dẫn đến lời giải nêu trong chương này càng tỏ rõ hiệu lực khi sử dụng máy tính cho những khu vực mà số phụ tải lớn nhưng có tính chất tương đối giống nhau (yêu cầu về độ tin cậy cung cấp điện không cao)

Chương mười

QUY HOẠCH PHI TUYẾN ÁP DỤNG TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

10-1 MỞ ĐẦU.

Như đã trình bày ở các chương trước đây, bài toán qui hoạch tổng quát có thể phát biểu như sau:

Xác định giá trị của vector $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ sao cho thỏa mãn các ràng buộc

$$\left. \begin{aligned} g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) &= b_i; \quad i = 1, 2, \dots, k \\ g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq b_i; \quad i = k+1, k+2, \dots, m \end{aligned} \right\} \quad (10-1)$$

và đạt cực trị hàm mục tiêu sau

$$Z = Z(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (10-2)$$

trong đó thường đòi hỏi thêm điều kiện không âm của giá trị các ẩn $x_1, x_2, \dots, x_n$ hoặc một số ẩn phải là số nguyên.

Trong trường hợp nếu có:

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (10-3)$$

và

$$Z(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (10-4)$$

trong đó a_{ij} và c_j là những hằng số và các $x_j \geq 0$ thì ta có bài toán qui hoạch tuyến tính. Còn lại, những bài toán qui hoạch không thỏa mãn điều kiện (10-3), (10-4) đều qui định thuộc dạng phi tuyến.

Như vậy lớp các bài toán qui hoạch phi tuyến rất rộng, có thể hàm mục tiêu hoặc ràng buộc phi tuyến, hoặc hàm mục tiêu biểu diễn trong dạng tổng các hàm hoặc dạng bình phương.

Đối với bài toán qui hoạch phi tuyến có thể tìm được điểm cực trị địa phương nhưng chưa khẳng định được đó đồng thời là điểm cực trị tuyệt đối.

Nếu đối với bài toán qui hoạch tuyến tính điểm cực trị là đỉnh của đa giác lời giải cho phép, thì ở bài toán qui hoạch phi tuyến điểm cực trị có thể nằm ở đỉnh, trên cạnh, hoặc ở bên trong miền lời giải cho phép. Ngoài ra nếu các ràng buộc (10-1) là phi tuyến thì miền cho phép của lời giải sẽ không lồi [xem chương 8] và ngoài giá trị tối ưu tuyệt đối còn có thể tồn tại những điểm tối ưu cục bộ.

Trong chương này sẽ trình bày một vài phương pháp giải bài toán qui hoạch phi tuyến, chẳng hạn phương pháp Lagrange như đã trình bày ở chương 7 và sử dụng định lý Kuhn–Tucker trong việc giải bài toán dạng bình phương; tinh thần của phương pháp gradient và áp dụng vào một vài bài toán trong hệ thống điện.

Ta bắt đầu khảo sát bài toán qui hoạch phi tuyến bằng những ví dụ đơn giản sau đây bằng cách giải hình học.

Ví dụ 10-1. Xác định các giá trị x_1, x_2 sao cho hàm mục tiêu $Z = (x_1 - 4)^2 + (x_2 - 6)^2$ đạt *max* và *min* đồng thời thỏa mãn

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 &\geq 1 \\ 2x_1 + 3x_2 &\leq 12 \\ x_1 &> 0; x_2 > 0. \end{aligned}$$

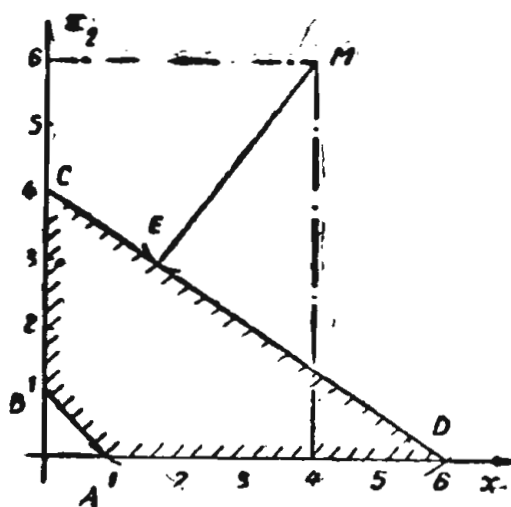
Miền lời giải cho phép tạo thành một đa giác lồi $ABCD$ (hình 10-1). Hàm Z luôn dương, là phương trình đường tròn tâm $M(4,6)$.

Khi x_1, x_2 tăng, hàm Z tăng và bán kính đường tròn tăng lên.

Vậy từ tâm M vẽ đường tròn tiếp xúc đầu tiên với đa giác $ABCD$ tại điểm E có $x_1 = \frac{24}{13}$ và $x_2 = \frac{36}{13}$ và Z đạt giá trị min và

bằng $Z_{\min} = \frac{196}{13}$. Ở đây có thể nhận được

lời giải (tọa độ điểm E) bằng cách giải hệ phương trình của hai đường thẳng ME và CD .



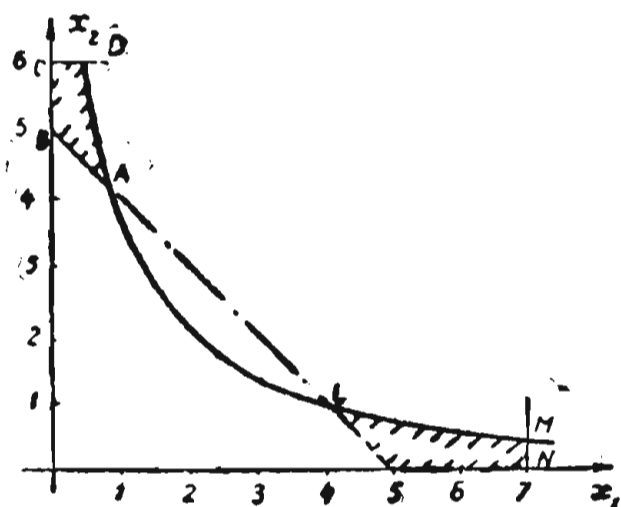
Hình 10-1

Để tìm giá trị *max* của hàm Z cần tìm điểm tiếp xúc giữa đường tròn tâm M với đa giác $ABCD$ khi tăng bán kính. Hàm Z đạt hai giá trị cực đại địa phương: đó là tại điểm $A(1,0)$ khi đó $Z(A) = 45$ và tại điểm $D(6,0)$ khi đó $Z(D) = 40$. Như vậy đỉnh A là điểm để Z có giá trị *max* tuyệt đối.

Ví dụ 10-2. Tìm giá trị x_1, x_2 sao cho hàm mục tiêu $Z = x_1^2 + x_2^2$ đạt *max* và *min* và thỏa mãn

$$\begin{aligned} x_1 \cdot x_2 &\leq 4 \\ x_1 + x_2 &\geq 5 \\ x_1 &\leq 7 \\ x_2 &\leq 6 \\ x_1 &> 0; x_2 > 0. \end{aligned}$$

Ở đây vì ràng buộc có dạng phi tuyến nên miền của các lời giải cho phép không là một đa giác lồi mà gồm hai phần $ABCD$ và $KLMN$ như trên hình 10-2.



Hình 10-2

Vì hàm $Z = x_1^2 + x_2^2$ là đường tròn

tâm O , vậy Z đạt giá trị *min* ở hai điểm $A (1,4)$ và $L (4,1)$, tại đó $Z(A) = Z(L) = 17$. Như vậy hàm Z đạt giá trị *max* ở hai điểm $D (2/3,6)$ có $Z(D) = 328/9$ và $M (7,4/7)$ có $Z(M) = 2417/49$, trong đó M là điểm cực đại tuyệt đối.

Những mô tả hình học trên đây chỉ thuận tiện trong trường hợp bài toán có không quá 3 ẩn và ràng buộc cho trong dạng không phức tạp. Trong trường hợp chung cần tìm lời giải của bài toán qui hoạch phi tuyến nhờ các mô tả giải tích.

10-2. PHƯƠNG PHÁP LAGRANGE VÀ ĐỊNH LÝ KUHN – TUCKER.

Như đã trình bày ở chương 7 bài toán qui hoạch phi tuyến trong trường hợp các ràng buộc có dạng đẳng thức ta có thể giải bằng phương pháp Lagrange. Đó là phương pháp kinh điển xác định cực trị có điều kiện (cực trị vướng) của hàm nhiều biến khi hàm đó liên tục cùng với đạo hàm riêng bậc nhất của nó.

Trong trường hợp này cần xác định các ẩn $x_1, x_2, \dots, x_n$ sao cho hàm

$$Z(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \max (\min) \quad (10-5)$$

với các ràng buộc

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0; i = 1, 2, \dots, m \quad (10-6)$$

Hàm Lagrange có dạng:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) = Z(x_1, x_2, \dots, x_n) + \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Thành lập hệ phương trình Lagrange như sau:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial x_j} &= \frac{\partial Z}{\partial x_j} + \sum_{i=1}^m \lambda_i \frac{\partial g_i}{\partial x_j} = 0; j = 1, 2, \dots, n \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda_i} &= g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0; i = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \right\} \quad (10-7)$$

Nếu ở điểm $X(0) = [x_1(0), x_2(0), \dots, x_n(0)]$ hàm $Z(x_1, x_2, \dots, x_n)$ đạt cực trị thì tồn tại vector $\Lambda(0) = [\lambda_1(0), \lambda_2(0), \dots, \lambda_m(0)]$ sao cho điểm $[x_1(0), x_2(0), \dots, x_n(0), \lambda_1(0), \lambda_2(0), \dots, \lambda_m(0)]$ là lời giải của hệ (10-7).

Về lý thuyết phương pháp Lagrange có thể sử dụng ngay cả khi các ràng buộc trong dạng bất đẳng thức. Khi đó cần đưa vào những ẩn phụ để chuyển các ràng buộc về dạng đẳng thức. Tuy nhiên thuật toán giải khi này có phức tạp

nên thường dùng phương pháp dựa trên định lý Kuhn – Tucker hoặc phương pháp gradient. Ngoài ra phương pháp Lagrange trong một số trường hợp có ứng dụng hạn chế vì hệ phương trình (10-7) có một số lời giải.

Những thí dụ và áp dụng phương pháp Lagrange đã trình bày ở chương 7.

Về định lý Kuhn – Tucker trong phần mở rộng phương pháp Lagrange ở chương 7 đã được trình bày một vài nét chủ yếu.

Ở đây sẽ nhắc lại tinh thần cơ bản và nêu việc áp dụng định lý này trong việc kiểm tra điều kiện cực trị của bài toán qui hoạch phi tuyến và mở rộng việc áp dụng để giải bài toán qui hoạch bình phương.

Định lý Kuhn – Tucker đóng vai trò trung tâm trong lý thuyết qui hoạch phi tuyến.

Giả thiết cần xác định $[x_1, x_2, \dots, x_n]$ sao cho đạt cực đại hàm mục tiêu $Z(x_1, x_2, \dots, x_n)$ và thỏa mãn các ràng buộc

$$\begin{aligned} g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) &\geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, m \\ x_1, x_2, \dots, x_n &\geq 0 \end{aligned} \quad (10-8)$$

Hàm Lagrange có dạng

$$L(X, \Lambda) = Z(X) + \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(X) \quad (10-9)$$

Nếu thỏa mãn điều kiện về điều hòa, nghĩa là tồn tại ít nhất một điểm X để có $g_i(X) > 0$ với mọi i thì ta có định lý Kuhn – Tucker như sau:

Vector $X(0)$ chỉ là lời giải tối ưu của bài toán (10-8) khi tồn tại vector $\Lambda(0)$ sao cho khi $X(0) \geq 0$ và $\Lambda(0) \geq 0$ với mọi $X \geq 0$ và $\Lambda \geq 0$ ta có

$$L(X, \Lambda(0)) \leq L(X(0), \Lambda(0)) \leq L(X(0), \Lambda) \quad (10-10)$$

Điểm $(X(0), \Lambda(0))$ còn gọi là điểm yên ngựa của hàm $L(X, \Lambda)$.

Trong trường hợp các hàm $Z(X)$ và $g_i(X)$ là khả vi thì biểu thức (10-10) tương đương với điều kiện Kuhn – Tucker sau đây

$$\left. \begin{aligned} &\left(\frac{\partial L}{\partial x_j} \right)_{X(0), \Lambda(0)} \leq 0 \\ &x_j(0) \left(\frac{\partial L}{\partial x_j} \right)_{X(0), \Lambda(0)} = 0 \end{aligned} \right\} \quad \text{đồng thời} \quad (10-11)$$

và

$$\left. \begin{aligned} &\left(\frac{\partial L}{\partial \lambda_j} \right)_{X(0), \Lambda(0)} \leq 0 \\ &\lambda_i(0) \left(\frac{\partial L}{\partial \lambda_i} \right)_{X(0), \Lambda(0)} = 0 \end{aligned} \right\} \quad \text{đồng thời} \quad (10-12)$$

$$\lambda_i(0) \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

trong đó $\left(\frac{\partial L}{\partial x_j} \right)_{X(0), \Lambda(0)}$ là giá trị đạo hàm riêng của hàm Lagrange theo x_j và lấy ở điểm $(X(0), \Lambda(0)) = (x_1(0), \dots, x_n(0), \lambda_1(0), \dots, \lambda_m(0))$.

Trước khi sử dụng các điều kiện Kuhn – Tucker (10-11) và (10-12) để khảo sát bài toán qui hoạch bình phương, sau đây nêu một ví dụ đơn giản áp dụng các điều kiện này để kiểm tra điểm cực trị của bài toán qui hoạch phi tuyến.

Ví dụ 10-3: Xác định $[x_1, x_2]$ sao cho

$$Z(x_1, x_2) = -x_1^2 - x_2^2 \rightarrow \max$$

và thỏa mãn các ràng buộc

$$2x_1 + x_2 \geq 2$$

$$2x_1 + x_2 \leq 8$$

$$x_1 + x_2 \leq 6$$

$$x_1 \geq 0; \quad x_2 \geq 0$$

Vì các ràng buộc tuyến tính, hàm $Z(x)$ đơn giản, nên có thể tìm dễ dàng lời giải của bài toán bằng mô tả hình học. Ta nhận được $x_1 = 0,8$; $x_2 = 0,4$ và $Z(x) = -0,8$.

Tuy nhiên để kiểm tra điểm cực trị $[x_1, x_2] = [0,8; 0,4]$ ta cần chứng minh rằng tồn tại vector $\Lambda(0) \geq 0$ sao cho điểm cực trị này thỏa mãn các điều kiện (10-11) và (10-12).

Vì ở đây có 3 bất phương trình ràng buộc nên

$$\Lambda^T = [\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3]$$

$$\text{Hàm } L(X, \Lambda) = -x_1^2 - x_2^2 + \lambda_1(2x_1 + x_2 - 2) + \lambda_2(8 - 2x_1 - x_2) + \lambda_3(6 - x_1 - x_2).$$

Xác định các giá trị đạo hàm riêng:

$$\frac{\partial L}{\partial x_1} = -2x_1 - 2\lambda_1 - \lambda_3; \quad \frac{\partial L}{\partial x_2} = -2x_2 + \lambda_1 - \lambda_2 - \lambda_3$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_1} = 2x_1 + x_2 - 2; \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda_2} = 8 - 2x_1 - x_2$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_3} = 6 - x_1 - x_2.$$

$$\text{Vì có } x_1 = 0,8; \quad x_2 = 0,4 \text{ nên đã có } \frac{\partial L}{\partial \lambda_1} = 0; \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda_2} = 6 > 0; \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda_3} = 4,8 > 0.$$

Như vậy để thỏa mãn điều kiện (10-12):

$$\lambda_i(0) \frac{\partial L}{\partial \lambda_i} = 0; \quad i = 1, 2, 3 \text{ thì phải có } \lambda_2 = 0; \quad \lambda_3 = 0$$

còn λ_1 có thể khác không. Với các giá trị λ_2, λ_3 như vậy ta có:

$$\frac{\partial L}{\partial x_1} = -2x_1 + 2\lambda_1 - \lambda_3 = -1,6 + 2\lambda_1$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_2} = -2x_2 + \lambda_1 - \lambda_2 - \lambda_3 = -0,8 + \lambda_1$$

Vì $x_1 > 0$; $x_2 > 0$ mà muốn thỏa mãn điều kiện (10-11) $x_j(0) \frac{\partial L}{\partial x_j} = 0$ thì phải có:

$$\frac{\partial L}{\partial x_1} = \frac{\partial L}{\partial x_2} = 0.$$

Từ đây có $\lambda_1 = 0,8$.

Như vậy tồn tại $\Lambda^T(0) = [0,8; 0; 0]$, nghĩa là điểm $[X(0), \Lambda(0)] = [0,8; 0,4; 0,8; 0; 0]$ thỏa mãn điều kiện Kuhn – Tucker và chính là điểm cực trị.

Chú ý rằng trên đây khảo sát điều kiện đạt cực đại hàm $Z(X)$, trong trường hợp cần đạt cực tiểu thì các bất đẳng thức ở (10-11) và (10-12) sẽ đảo ngược lại.

10.3. BÀI TOÁN QUI HOẠCH BÌNH PHƯƠNG

Đây là trường hợp riêng của bài toán qui hoạch phi tuyến, thường gặp trong lĩnh vực kinh tế – kỹ thuật.

Ở bài toán qui hoạch bình phương các ràng buộc là tuyến tính có dạng

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \Leftrightarrow \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = b_i; i = 1, 2, \dots, m \quad (10-13)$$

và hàm mục tiêu Z trong dạng tổng của những hàm tuyến tính và bình phương

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n + d_{11}x_1^2 + d_{22}x_2^2 + \dots + d_{nn}x_n^2 + \\ + 2d_{12}x_1x_2 + 2d_{23}x_2x_3 + \dots + 2d_{n-1,n}x_{n-1}x_n \quad (10-14)$$

Có thể viết gọn bộ phận bậc hai của hàm Z trong dạng tổng và dạng ma trận sau đây:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij}x_ix_j = X^T \cdot D \cdot X$$

trong đó X là ma trận cột n ẩn mà dạng chuyển vị X^T là

$$X^T = [x_1, x_2, \dots, x_n].$$

D là ma trận vuông cấp $n \times n$ có các hệ số d_{ij} , đối xứng qua đường chéo chính, nghĩa là $d_{ij} = d_{ji}$.

Từ đây có thể mô tả bài toán qui hoạch bình phương trong dạng ma trận như sau:

Xác định vector X sao cho:

$$\max Z = C^T X + X^T D X \quad (10-15)$$

và thỏa mãn

$$AX = B; X \geq 0 \quad (10-16)$$

trong đó

$$C^T = [c_1, c_2, \dots, c_n]$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{là ma trận hệ số của } m \text{ phương trình ràng buộc}$$

$B^T = [b_1, b_2, \dots, b_m]$ là vector các giá trị ở vế phải của ràng buộc (10-13).

Ở bài toán trên đây, vì ràng buộc là tuyến tính, nghĩa là tập các lời giải cho phép là lồi vì vậy nếu hàm mục tiêu Z ở (10-15) là lồi lên phía trên (hoặc lồi xuống phía dưới) thì giá trị cực đại (hoặc cực tiểu) địa phương sẽ đồng thời là tuyệt đối. Như vậy nếu bộ phận bậc hai của hàm Z là lồi thì việc tìm cực trị sẽ được giải quyết có kết quả.

Tính chất lồi của dạng bậc hai X^TDX phụ thuộc vào tính chất xác định dương, xác định âm, nửa xác định dương, âm, hoặc không xác định của dạng đó.

Dạng bậc hai X^TDX là xác định âm nếu $X^TDX < 0$ với mọi $X > 0$ trừ giá trị $X = 0$.

Dạng bậc hai là nửa xác định âm nếu $X^TDX \leq 0$ với mọi X và khi $X \neq 0$ thì $X^TDX = 0$.

Dạng bậc hai là xác định dương hoặc nửa xác định dương khi $-X^TDX$ là xác định âm hoặc nửa xác định âm.

Dạng bậc hai X^TDX là không xác định khi nó có giá trị dương với một số trị của X và âm với những trị X khác.

Để dễ dàng nhận thấy dạng xác định âm hoặc dương, thường ta đưa dạng bậc hai về dạng chính tắc, trong đó chỉ gồm toàn những số hạng bình phương của các ẩn x_j . Chẳng hạn biến đổi từ dạng X^TDX đến:

$$Z(x'_1, x'_2, \dots, x'_n) = \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j'^2 \quad (10-17)$$

trong đó x'_j là ẩn mới, kết quả của các phép biến đổi tuyến tính từ các ẩn x_j ban đầu, λ_j là những hằng số.

Như vậy từ (10-17) nếu mọi $\lambda_j > 0$ ta có dạng bậc hai X^TDX là xác định dương. Nếu mọi $\lambda_j < 0$ là xác định âm, còn nếu có $\lambda_j > 0$; $\lambda_l < 0$ thì có dạng X^TDX không xác định.

Ví dụ hàm mục tiêu có dạng:

$$Z(x_1, x_2, x_3) = -3x_1^2 + 2x_1x_2 - \frac{5}{4}x_2^2 - x_2x_3 + \frac{1}{2}x_1x_3 - \frac{5}{4}x_3^2$$

có thể sau một số phép biến đổi, đưa về dạng chính tắc sau:

$$Z(x''_1, x''_2, x''_3) = -3x''_1{}^2 - \frac{11}{12}x''_2{}^2 - \frac{183}{176}x''_3{}^2$$

trong đó có những biến đổi tuyến tính sau:

$$x_1 = x''_1$$

$$x_2 = x''_2 - \frac{5}{11}x''_3$$

$$x_3 = x''_3$$

và

$$x'_1 = x_1 - \frac{1}{3}x_2 + \frac{1}{12}x_3$$

$$x'_2 = x_2$$

$$x'_3 = x_3$$

Tiếp theo sử dụng điều kiện Kuhn — Tucker (10-11) và (10-12) để khảo sát bài toán qui hoạch bình phương.

Giả thiết hàm mục tiêu

$$Z(X) = C^T X + X^T D X \text{ là lồi}$$

và ràng buộc $AX = B$ có dạng tuyến tính, vì vậy có thể sử dụng điều kiện Kuhn — Tucker để xác định điều kiện cần và đủ của lời giải tối ưu.

Hàm Lagrange $L(X, \Lambda)$ có dạng ma trận sau:

$$L(X, \Lambda) = C^T X + X^T D X + \Lambda^T (B - AX) \quad (10-18)$$

và phương trình Lagrange

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial X} &= C^T + 2DX - A^T \Lambda \\ \frac{\partial L}{\partial \Lambda} &= B - AX \end{aligned} \right\} \quad (10-19)$$

Tiếp theo ta thành lập điều kiện (10-11) cho trường hợp này: Nếu vector X^* là giá trị tối ưu của bài toán qui hoạch bình phương thì phải tồn tại vector Λ^* , sao cho thỏa mãn

$$\frac{\partial L}{\partial X} = C^T + 2DX^* - A^T \Lambda^* \leq 0$$

và

$$(X^*)^T \cdot \left(\frac{\partial L}{\partial X} \right) = 0$$

Ta đặt vector $V^* = -\frac{\partial L}{\partial X}$ như vậy $V^* \geq 0$ và có phương trình:

$$V^* + \frac{\partial L}{\partial X} = 0, \text{ nghĩa là}$$

$$\left. \begin{aligned} C^T + 2DX^* - A^T \Lambda^* + V^* &= 0 \\ (X^*)^T V^* &= 0 \\ X^* \geq 0; V^* \geq 0 \end{aligned} \right\} \quad (10-20)$$

Biểu thức (10-20) chính là điều kiện Kuhn — Tucker (10-11) của bài toán qui hoạch bình phương.

Vì các ràng buộc là tuyến tính nên luôn thỏa mãn điều kiện (10-12) đó là $\Lambda^* \left(\frac{\partial L}{\partial \Lambda} \right) = 0$ nên không đòi hỏi điều kiện không âm của giá trị Λ .

Tóm lại nếu tồn tại $X \geq 0$, $V \geq 0$ và Λ , thỏa mãn điều kiện:

$$\left. \begin{aligned} AX &= B \\ 2DX - A^T \Lambda + V &= -C^T \\ X^T V &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (10-21)$$

thì X là lời giải tối ưu của bài toán qui hoạch bình phương. Từ đây thủ tục giải bài toán qui hoạch bình phương khi này có thể tiến hành như sau: Dựa trên lời giải cơ sở ban đầu nào đó thỏa mãn hệ

$$\left. \begin{aligned} AX &= B \\ 2DX - A^T \Lambda + V &= -C^T \end{aligned} \right\} \quad (10-22)$$

trong đó vectơ $\Lambda^T = [\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_m]$ và $V^T = [v_1, v_2, \dots, v_n]$. Tiếp theo tiến hành những biến đổi theo thuật toán đơn hình nhằm thỏa mãn sao cho biểu thức $X^T V$ giảm dần đến

$$X^T V = 0$$

Khi đó có $X^T = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ là giá trị tối ưu cần tìm.

Ví dụ 10-4. Xác định $[x_1, x_2]$ sao cho

$$Z(x) = 10x_1 - x_1^2 + 2x_1x_2 - 2x_2^2 \rightarrow \max$$

và thỏa mãn các ràng buộc

$$x_1 + 2x_2 \leq 10$$

$$x_1 + x_2 \leq 6$$

$$x_1 \geq 0; x_2 \geq 0.$$

Ta đưa vào các biến phụ x_3, x_4 để có các đẳng thức ràng buộc:

$$x_1 + 2x_2 + x_3 = 10$$

$$x_1 + x_2 + x_4 = 6$$

$$x_1; x_2; x_3; x_4 \geq 0.$$

Bài toán trên đây được đưa về dạng (10-22) với các ma trận và vectơ sau đây:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}; B^T = [10, 6]$$

$$D = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; C^T = [10, 0, 0, 0]$$

$$X^T = [x_1, x_2, x_3, x_4]; \Lambda^T = [\lambda_1, \lambda_2]; V^T = [v_1, v_2, v_3, v_4]$$

Từ đây lời giải cơ sở ban đầu dựa vào hệ (10-22) có dạng sau đây:

$$x_1 + 2x_2 + x_3 = 10$$

$$x_1 + x_2 + x_4 = 6$$

$$-2x_1 + 2x_2 - \lambda_1 - \lambda_2 + v_1 = -10$$

$$2x_1 - 4x_2 - 2\lambda_1 - \lambda_2 + v_2 = 0$$

$$-\lambda_1 + v_3 = 0$$

$$-\lambda_2 + v_4 = 0$$

$$x_i \geq 0; i = 1, 2, 3, 4$$

$$v_i \geq 0; i = 1, 2, 3, 4.$$

Lời giải cơ sở ban đầu là:

$$x_3 = 10; x_4 = 6; \lambda_1 = 10; v_2 = 10; v_4 = 10; v_3 = \lambda_1$$

Tiếp theo có thể dùng thuật toán đơn hình hoàn thiện lời giải theo phương hướng nhằm đạt được

$$X^T V = 0.$$

Kết quả nhận được

$$x_1 = \frac{23}{5}; x_2 = \frac{7}{5}; x_3 = \frac{13}{5}; x_4 = 0$$

$$v_1 = 0; v_2 = 0; v_3 = 0; v_4 = \lambda_2 = \frac{18}{5}$$

khi đó đạt $\max Z(x) = \frac{169}{5}$.

Trong một số trường hợp, dựa theo điều kiện Kuhn—Tucker (10-12), thủ tục giải bài toán qui hoạch bình phương có thể tiến hành theo thủ tục sau đây:

Trước hết từ hệ ràng buộc $AX = B$ xác định m ẩn phụ thuộc $x_1, x_2, \dots, x_m$. Sau đó xác định sự thay đổi giá trị của hàm mục tiêu $Z(x)$ theo các ẩn độc lập $x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_n$. Vì $Z(x)$ có dạng bậc hai với x nên cần xác định trị số $\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial Z}{\partial x_k}$; $k = m + 1, m + 2, \dots, n$.

Nếu mọi giá trị $\frac{1}{2} \frac{\partial Z}{\partial x_k} \leq 0$ thì hệ m ẩn đã chọn là tối ưu. Khi có giá trị $\frac{1}{2} \frac{\partial Z}{\partial x_k} > 0$, nghĩa là nếu cho x_k nhận giá trị dương thì hàm $Z(x)$ tăng. Vì ở đây xét bài toán $\max Z(x)$ nên khi đó cần đưa thêm ẩn mới x_k ; $k \in [(m + 1), (m + 2), \dots, n]$ vào hệ cơ sở và loại một ẩn cũ x_l ; $l \in (1, 2, \dots, m)$ ra. Quá trình tiếp tục, tương tự như ở thuật toán đơn hình, cho đến khi mọi $\frac{\partial Z}{\partial x_k} \leq 0$.

Áp dụng thủ tục trên đây với thí dụ đã xét:

Xác định $[x_1, x_2]$ sao cho

$$Z(x) = 10x_1 - x_1^2 + 2x_1x_2 - 2x_2^2 \Rightarrow \max$$

với các ràng buộc (đã đưa ẩn phụ vào):

$$x_1 + 2x_2 + x_3 = 10$$

$$x_1 + x_2 + x_4 = 6$$

$$x_j \geq 0; j = 1, 2, 3, 4.$$

Lời giải cơ sở ban đầu có:

$$x_3 = 10; x_4 = 6; x_1 = 0; x_2 = 0; Z(x) = 0$$

Vì $\frac{1}{2} \frac{\partial Z}{\partial x_1} = 5$ (khi thay $x_1 = 0; x_2 = 0$) nên có thể tăng x_1 để $Z(x)$ tăng. Cần xác định phạm vi của x_1 , giả thiết x_2 vẫn bằng không. Ta thấy:

$$x_3 \text{ sẽ bằng không khi } x_1 = 10; x_4 = 0 \text{ khi } x_1 = 6$$

$$\text{và } \frac{1}{2} \frac{\partial Z}{\partial x_1} = 5 - x_1 + x_2 = 0 \text{ khi } x_1 = 5.$$

Từ đây ta đưa vào biến tự do $u_1 = 5 - x_1 + x_2$ và lập hệ ẩn cơ bản mới, nhận được

$$x_1 = 5 - u_1 + x_2$$

$$x_3 = 5 + u_1 - 3x_2$$

$$x_4 = 1 + u_1 - 2x_2$$

$$Z(x) = 25 + 10x_2 - x_2^2 - u_1^2$$

Lời giải ở bước này là

$$x_1 = 5; x_3 = 5; x_4 = 1; x_2 = 0; u_1 = 0.$$

$$Z(x) = 25.$$

Vì có $\frac{1}{2} \frac{\partial Z}{\partial x_2} = 5$ nên ở bước tiếp theo cần đưa x_2 vào hệ ẩn cơ bản. Khi tăng giá trị x_2 , giá trị x_4 giảm. Tiếp tục xác định hệ phương trình ẩn cơ bản mới. Sau mấy bước, ta nhận được:

$$x_1 = \frac{23}{5}; x_2 = \frac{7}{5}; x_3 = \frac{13}{5}; x_4 = 0; u_1 = \frac{9}{5}; u_2 = 0$$

và

$$Z(x) = \frac{169}{5}$$

Vì $\frac{\partial Z}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial Z}{\partial x_4} < 0$ nên lời giải trên là tối ưu.

Trong thiết kế và vận hành mạng điện bài toán bù công suất phản kháng ở các phụ tải nhằm giảm tổn thất điện năng trong hệ thống điện có dạng bài toán qui hoạch bình phương.

Nếu gọi Q_{bi} là lượng công suất cần bù ở phụ tải thứ i , thì chi phí tính toán tổng Z , bao gồm vốn đầu tư cho thiết bị bù, tổn thất điện năng trong thiết bị bù và trên mạng điện khi đặt bù, có thể viết trong dạng bậc hai như sau:

$$Z(Q_b) = \sum_{i=1}^n C_i Q_{bi} + \sum_{i=1}^n D_i (Q_i - Q_{bi})^2$$

trong đó Q_i là công suất phản kháng của phụ tải i .

C_i, D_i là những hằng số

Ràng buộc ở đây là tổng dung lượng bù trong toàn mạng $Q_{b\Sigma}$

$$\sum_{i=1}^n Q_{bi} = Q_{b\Sigma}$$

hoặc định luật Kirshoff 1 về công suất phản kháng tại các nút phụ tải.

Bài toán này có thể dùng những thủ tục đã nêu để giải.

10-4. PHƯƠNG PHÁP GRADIENT

Đây là một trong những phương pháp giải bài toán qui hoạch phi tuyến, được sử dụng khi hàm mục tiêu có dạng bất kì miễn là thỏa mãn điều kiện khả vi và có thể lấy đạo hàm các ẩn phụ thuộc theo ẩn độc lập.

Một cách tổng quát có thể định nghĩa đây là phương pháp mà hướng đi đến điểm tối ưu của hàm mục tiêu trùng với hướng vector gradient của hàm đó.

Cần lưu ý là khi có hàm vô hướng $Z(x_1, x_2, \dots, x_n)$ thì gradient của $Z(x)$ viết tắt $\text{grad } Z(x) = \nabla Z(x)$, là một vector n thành phần có dạng

$$\nabla Z(X) = \left[\frac{\partial Z}{\partial x_1}, \frac{\partial Z}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial Z}{\partial x_n} \right]^T \quad (10-23)$$

Sử dụng phương pháp gradient để giải bài toán qui hoạch phi tuyến trong trường hợp chúng chỉ cho phép tìm được điểm tối ưu cục bộ. Điểm tối-ưu tuyệt đối chỉ tìm được khi hàm mục tiêu và miền các lời giải cho phép đều có tính

chất lồi. Ngoài ra phương pháp gradient dựa trên thủ tục lặp, nghĩa là từ một lời giải ban đầu, quá trình tính toán lặp dần đến lời giải tối ưu, tuy nhiên sự hội tụ của quá trình tính toán thường chậm.

Tinh thần chủ yếu của phương pháp gradient có thể hiểu như sau: Ta bắt đầu từ một lời giải ban đầu tùy ý $X(0)$ của bài toán, cần xác định giá trị của lời giải ở bước tiếp theo $X(1)$. Điều quan trọng là phải xác định một hướng $S(0)$ ở bước đầu tiên đó, sao cho với giá trị $\lambda > 0$ đủ nhỏ thì giá trị $X(1)$ vẫn nằm trong miền lời giải cho phép, trong đó

$$X(1) = X(0) + \lambda(0) \cdot S(0) \quad (10-21)$$

trong đó $S(0)$ là hướng di chuyển của lời giải sau bước đầu tiên, đó chính là gradient của hàm mục tiêu $Z(X)$ ở bước đầu tiên đó, khi $X(0)$ là điểm ở trong miền lời giải cho phép, nghĩa là:

$$S(0) = \nabla Z(X(0)) = \left[\frac{\partial Z}{\partial x_i} |_{x_i(0)} \right]^T \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (10-25)$$

Như trên đã biết, đối với trường hợp tìm cực đại thì gradient của hàm $Z(x)$ sẽ xác định hướng tăng nhanh nhất của hàm đó. Vì vậy khi dịch chuyển theo hướng đó, hàm $Z(x)$ tăng lên.

Từ trên đây thấy rằng đến bước lặp thứ k so với giá trị lời giải ở bước $(k-1)$ có

$$\Delta X(k-1) = X(k) - X(k-1) = \lambda(k-1) \cdot S(k-1) \quad (10-26)$$

Lời giải là tối ưu khi $\Delta X(k) = 0$.

Tùy thuộc vào cách xác định hướng $S(k)$ ở bước thứ k ta có các phương pháp gradient khác nhau. Những chi tiết về thủ tục giải bài toán qui hoạch phi tuyến nói chung theo phương pháp gradient độc giả có thể tham khảo ở các tài liệu chuyên đề khác, chẳng hạn [TK-16].

Sau đây trình bày việc áp dụng phương pháp gradient để giải một bài toán qui hoạch trong hệ thống điện.

Chẳng hạn cần xác định các ẩn $x_1, x_2, \dots, x_n$ sao cho

$$Z(x) = Z(x_1, x_2, \dots, x_n) \Rightarrow \min$$

và thỏa mãn m ràng buộc sau, với $m < n$:

$$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

$$g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

$$g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

Trong n ẩn trên đây ta chia ra m ẩn phụ thuộc, chẳng hạn $x_1, x_2, \dots, x_m$ và $(n-m)$ ẩn còn lại là các ẩn độc lập: $x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_n$.

Trước hết cho các ẩn độc lập những giá trị tùy ý. Từ đây ta xác định được giá trị của các ẩn phụ thuộc và xác định các giá trị đạo hàm riêng của hàm mục tiêu $Z(x)$ theo các ẩn độc lập:

$$\frac{\partial Z(x)}{\partial x_{m+1}}; \frac{\partial Z(x)}{\partial x_{m+2}}; \dots; \frac{\partial Z(x)}{\partial x_n}$$

Nếu tất cả giá trị đạo hàm riêng này đều xấp xỉ bằng không thì lời giải $x_1, x_2, \dots, x_m$ là tối ưu. Nếu các giá trị đạo hàm riêng đó chưa bằng không thì

phải xác định giá trị lời giải ở bước tiếp theo, khi đó cần thay đổi giá trị các ẩn độc lập ở bước tiếp dựa theo hướng ngược gradient (vì ở đây tìm min $Z(x)$).

Khi đó giá số của ẩn x_j ở bước đó được xác định theo biểu thức sau:

$$\Delta x_j = \frac{\left(\frac{\partial Z}{\partial x_j}\right) \cdot \lambda}{\sqrt{\sum_{j=m+1}^n \left(\frac{\partial Z}{\partial x_j}\right)^2}} \quad (10-27)$$

trong đó λ là giá trị của bước dịch chuyển, được chọn tùy ý theo các giá trị Δx_j ở bước trước dựa trên biểu thức:

$$\lambda = \sqrt{\sum_{j=m+1}^n (\Delta x_j)^2} \quad (10-28)$$

Sau khi xác định được các biến độc lập ở bước mới $x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_n$ ta tìm các giá trị mới của $\frac{\partial Z}{\partial x_j}; j = m+1, m+2, \dots, n$ và lại tiếp tục xác định các biến độc lập mới v.v... Quá trình kết thúc khi mọi giá trị tuyệt đối của đạo hàm riêng trở nên xấp xỉ không.

Theo các giá trị của các ẩn độc lập, nhờ các ràng buộc ta xác định các ẩn phụ thuộc $x_1, x_2, \dots, x_m$ và xác định hàm $Z(x)$.

Ở biểu thức (10-27) để xác định các đạo hàm riêng của $Z(x)$ theo các biến độc lập, có thể dùng biểu thức sau:

$$\frac{\partial Z}{\partial x_j} = \left(\frac{\partial Z}{\partial x_j}\right)' + \sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial Z}{\partial x_i}\right)' \frac{\partial x_i}{\partial x_j} \quad (10-29)$$

$$i = 1, 2, \dots, m; j = m+1, m+2, \dots, n$$

Trong đó

$\frac{\partial Z}{\partial x_j}$ là đạo hàm riêng toàn phần khi không đổi các ẩn độc lập khác

$\left(\frac{\partial Z}{\partial x_j}\right)'$ là đạo hàm riêng bộ phận khi các ẩn độc lập khác và mọi ẩn phụ thuộc đều không đổi.

Ngoài ra biểu thức (10-29) có tính đến khi thay đổi ẩn độc lập x_j thì các biến phụ thuộc $x_i; i = 1, m$ cũng thay đổi theo đạo hàm $\frac{\partial x_i}{\partial x_j}$. Để xác định giá trị đạo hàm riêng này có thể dùng hệ m phương trình tuyến tính sau:

$$\frac{\partial g_k}{\partial x_j} = \left(\frac{\partial g_k}{\partial x_j}\right)' + \sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial g_k}{\partial x_i}\right)' \frac{\partial x_i}{\partial x_j} = 0 \quad (10-30)$$

$$k = 1, 2, \dots, m$$

trong đó $\frac{\partial g_k}{\partial x_j}$ và $\left(\frac{\partial g_k}{\partial x_j}\right)'$ định nghĩa tương tự như với $\frac{\partial Z}{\partial x_j}$ trên kia.

Ví dụ 10-4. Xác định giá trị công suất tác dụng $P_1, P_2, \dots, P_n$ của n nhà máy nhiệt điện sao cho cực tiểu hàm chi phí nhiên liệu sau đây:

$$Z(P) = B_1(P_1) + B_2(P_2) + \dots + B_n(P_n) \Rightarrow \min$$

trong đó $B_i(P_i)$; $i = 1, 2, \dots, n$ là quan hệ giữa chi phí nhiên liệu và công suất ở nhà máy điện i .

Ràng buộc sau đây cần thỏa mãn:

$$g(P) = P_1 + P_2 + \dots + P_n - \Delta P - P_{ft} = 0$$

Giả thiết $P_{ft} + \Delta P = \text{const}$, coi P_n là ẩn phụ thuộc, ta có

$$\frac{\partial Z}{\partial P_1} = \epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_n, \frac{\partial P_n}{\partial P_1}$$

$$\frac{\partial Z}{\partial P_2} = \epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_n, \frac{\partial P_n}{\partial P_2}; \text{ v.v.}$$

Giá trị $\frac{\partial P_n}{\partial P_1}$; $\frac{\partial P_n}{\partial P_2} \dots$ được xác định từ phương trình sau:

$$\begin{aligned} \frac{\partial g(P)}{\partial P_1} &= \left(\frac{\partial g(P)}{\partial P_1} \right)' + \left(\frac{\partial g(P)}{\partial P_n} \right)' \frac{\partial P_n}{\partial P_1} = 0 \\ &= 1 + 1 \frac{\partial P_n}{\partial P_1} = 0. \text{ Từ đây } \frac{\partial P_n}{\partial P_1} = -1 \end{aligned}$$

Tương tự ta có $\frac{\partial P_n}{\partial P_2} = -1$ v.v... vì vậy có:

$$\frac{\partial Z}{\partial P_1} = \epsilon_1, \epsilon_n \frac{\partial Z}{\partial P_2} = \epsilon_2, \epsilon_n; \dots \text{ v.v.}$$

Bắt đầu ta chọn tùy ý giá trị các ẩn độc lập $P_1(0), P_2(0), \dots, P_{n-1}(0)$ và xác định $P_n(0)$ từ ràng buộc $g(P)$. Tiếp theo xác định các giá trị $\frac{\partial Z}{\partial P_1}$; $\frac{\partial Z}{\partial P_2} \dots$

Từ đây xác định được các số gia $\Delta P_1(0)$; $\Delta P_2(0)$ ở bước này theo biểu thức (10-27):

$$\begin{aligned} \Delta P_1(0) &= - \frac{(\epsilon_1 - \epsilon_n) \cdot h}{\sqrt[n-1]{\sum_{j=1}^{n-1} (\epsilon_j - \epsilon_n)^2}} \\ \Delta P_2(0) &= - \frac{(\epsilon_2 - \epsilon_n) h}{\sqrt[n-1]{\sum_{j=1}^{n-1} (\epsilon_j - \epsilon_n)^2}} \end{aligned}$$

Tiếp theo, xác định giá trị $P_1(1), P_2(1) \dots P_{n-1}(1)$ ở bước 1 và giá số $\Delta P_1(1), \Delta P_2(1), \dots, \Delta P_{n-1}(1)$. Giá trị cực tiểu của hàm $Z(x)$ sẽ đạt được khi mọi $\Delta P_i(n) \approx 0$, nghĩa là có điều kiện $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \dots = \epsilon_{n-1} = \epsilon_n$.

Đây chính là nguyên lý cân bằng suất tăng tiêu hao nhiên liệu $\epsilon_i = \frac{dB_i}{dP_i}$ nhằm đạt tối ưu phân phối công suất trong hệ thống gồm các nhà máy nhiệt điện như đã khảo sát ở chương 7.

Trong trường hợp các ràng buộc có dạng bất đẳng thức, việc áp dụng phương pháp gradient phức tạp hơn, khi đó sự dịch chuyển theo hướng ngược gradient phải đảm bảo thỏa mãn các ràng buộc.

Ngoài phương pháp gradient, những bài toán qui hoạch phi tuyến trong hệ thống điện thường có những đặc điểm riêng và có thể sử dụng những phương pháp thích hợp để giải. Chẳng hạn áp dụng phương pháp cận và nhánh xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện (chương 9), hoặc trong trường hợp hàm mục tiêu có dạng tổng các hàm và yếu tố thời gian đóng vai trò quan trọng thì phương pháp quy hoạch động tỏ ra có nhiều hiệu lực. Tinh thần cơ bản của phương pháp qui hoạch động và việc áp dụng trong hệ thống điện được trình bày trong chương tiếp theo.

Chương mười một

ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP QUI HOẠCH ĐỘNG TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

11-1. MỞ ĐẦU. TINH THẦN QUI HOẠCH ĐỘNG.

Qui hoạch động là một phương pháp qui hoạch toán học nhằm tìm lời giải tối ưu của quá trình nhiều bước (hoặc nhiều giai đoạn). Tinh từ « động » ở đây nhằm nhấn mạnh vai trò thời gian và sự xuất hiện dãy các quyết định trong quá trình giải bài toán, cũng như thứ tự các phép toán có ý nghĩa quan trọng.

Quá trình khảo sát được chia thành nhiều bước, ở mỗi bước ta sử dụng một quyết định. Quyết định ở bước trước có thể điều khiển quá trình ở bước sau. Như vậy qui hoạch động tạo nên một dãy quyết định. Dãy quyết định đó gọi là sách lược (hoặc có khi là chiến lược). Sách lược thỏa mãn mục tiêu qui định gọi là sách lược tối ưu. Chỉ tiêu tối ưu phải thể hiện đối với toàn bộ quá trình nhiều bước.

Sau đây dễ chuẩn bị tìm hiểu nội dung cơ bản của phương pháp qui hoạch động ta khảo sát một thí dụ về quá trình điều khiển nhiều bước.

Giả thiết cần tìm một sách lược tối ưu để phân phối nguồn vốn ban đầu X cho một hệ thống k xí nghiệp hoạt động trong n năm sao cho lợi nhuận thu được từ k xí nghiệp đó sau n năm là cực đại.

Ở đây nguồn vốn X có thể là nguồn vật tư, sức lao động, công suất đặt của động lực v.v... Ngoài ra bài toán có thể xây dựng theo những mục tiêu khác như chi phí về nhiên liệu là cực tiểu, hiệu quả tổng về lao động là cực đại v.v...

Sách lược tối ưu ở đây là bộ giá trị nguồn vốn đầu tư cho từng nhà máy ở mỗi năm sao cho lợi nhuận tổng sau n năm là cực đại.

Giả thiết gọi $X_j^{(i)}$ là giá trị nguồn vốn đầu tư cho xí nghiệp i ở đầu năm j , trong đó $i = 1, 2, \dots, k$ và $j = 1, 2, \dots, n$; ngoài ra thỏa mãn điều kiện về cân bằng nguồn vốn ở mỗi năm:

$$\sum_{i=1}^k X_j^{(i)} = X_j; j = 1, 2, \dots, n, \quad (11-1)$$

trong đó X_j là nguồn vốn tổng còn lại, đặt vào năm j cho k xí nghiệp.

Lợi nhuận tổng của k xí nghiệp sau n năm kí hiệu là W , giá trị của W phụ thuộc vào nguồn vốn ban đầu X và số năm hoạt động n . Có thể biểu diễn W là hàm của các giá trị $X_j^{(i)}$

$$W(X, n) = W(X_1^{(i)}, X_2^{(i)}, \dots, X_n^{(i)}) \quad (11-2)$$

Đây là bài toán diễn hình của qui hoạch động và có thể phát biểu như sau:

Xác định tập giá trị $\{X_j^{(i)}\}; i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, n$ sao cho

$$W(X, n) \rightarrow \max \quad (11-3)$$

và thỏa mãn

$$\sum_{i=1}^k X_j^{(i)} = X_j; j = 1, 2, \dots, n \quad (11-4)$$

$$X_j^{(i)} \geq 0 \quad (11-5)$$

trong đó biểu thức (11-3) ở trường hợp này có thể biểu diễn bằng tổng lợi nhuận của n năm, nghĩa là

$$W(X, n) = \sum_{j=1}^n W_j(X_j) \quad (11-6)$$

trong đó W_j là lợi nhuận của k xí nghiệp ở năm j . Như vậy hàm mục tiêu $W(X, n)$ có dạng một tổng, đây là một dạng thuận lợi khi sử dụng phương pháp qui hoạch động.

Ở đây giả thiết rằng nguồn vốn X đưa vào năm đầu tiên cho k xí nghiệp và hàng năm không được bổ sung. Không những thế lượng nguồn vốn của mỗi xí nghiệp qua từng năm đều bị hao hụt do sử dụng để sản xuất sinh lợi nhuận, nghĩa là đối với xí nghiệp i có:

$$X_1^{(i)} > X_2^{(i)} > \dots > X_j^{(i)} > \dots > X_n^{(i)} \quad (11-7)$$

Lời giải tối ưu ở đây được xác định nhờ giải quyết mâu thuẫn sau đây: Thường xí nghiệp sản xuất đem lại lợi nhuận nhiều lại có tỉ lệ hao hụt về nguồn vốn cao (hư hỏng máy móc, sử dụng nhiều vật tư, thiết bị, lao động). Ngoài ra cần đặc biệt lưu ý là lợi nhuận của k xí nghiệp phải đạt giá trị cực đại sau n năm, mà không phải chỉ xét từng năm riêng rẽ.

Bài toán xác định sách lược tối ưu phân phối nguồn vốn X cho k xí nghiệp sản xuất trong n năm trên đây có thể giải quyết theo hai hướng:

Hướng thứ nhất. Xác định đồng thời bộ giá trị $\{X_j^{(i)}\}$ để hàm lợi nhuận $W(W_1, W_2, \dots, W_n)$ đạt giá trị cực đại trong không gian n chiều. Trong trường hợp n nhỏ, các hàm W_j là giải tích, khả vi, bài toán có thể giải được nhờ những phép tính vi, tích phân. Khi n lớn (chẳng hạn $n = 10$), bài toán đã trở nên rất phức tạp.

Hướng thứ hai. Giải quyết bài toán trên đây theo từng bước. Hướng này cho thuật toán đơn giản hơn, đặc biệt trong trường hợp số bước n (số giai đoạn,

số năm) là lớn. Hường này thể hiện nội dung tinh thần của phương pháp qui hoạch động: Việc tối ưu hóa được thực hiện dần từng bước, nhưng phải đảm bảo nhận được lời giải tối ưu cho cả n bước. Đó là một đặc điểm quan trọng về nguyên lý tối ưu của qui hoạch động, nghĩa là trong quá trình tìm lời giải không được phép nhìn cục bộ, tìm tối ưu riêng rẽ cho từng bước mà phải nhìn rộng ra những bước sau, vì trong nhiều trường hợp một quyết định đem lại lợi nhuận cực đại riêng rẽ cho bước này có thể dẫn đến hậu quả tai hại cho bước sau. Chẳng hạn trong thí dụ về sách lược quản lý các xí nghiệp nêu trên, nếu chỉ nhìn cục bộ trong 1 năm thì để đạt lợi nhuận tối đa, ta đầu tư toàn bộ nguồn vốn X cho xí nghiệp nào mà sản xuất có nhiều lợi nhuận nhất mặc dù sau năm đó thiết bị hư hỏng nhiều gây thiệt hại sản xuất cho những năm sau.

Theo tinh thần của phương pháp qui hoạch động nêu trên, ta thấy ở mỗi bước đều phải chọn quyết định sao cho dãy quyết định còn lại phải tạo thành một sách lược tối ưu. Đó chính là nguyên lý tối ưu của qui hoạch động. Nguyên lý đó còn có thể phát biểu như sau: « Một bộ phận của sách lược tối ưu cũng là một sách lược tối ưu ». Điều đó phản ánh quan điểm hệ thống khi xét tối ưu theo từng bước như đã trình bày.

Tuy nhiên có một bước mà khi làm tối ưu ta không cần quan tâm đến tương lai, đó là bước cuối cùng (bước thứ n). Vì vậy quá trình qui hoạch động được tiến hành theo trình tự ngược: từ bước cuối cùng lên bước đầu tiên.

Trước hết ta qui hoạch cho bước cuối cùng. Nhưng khi đó chưa biết kết cục của bước trước đó, nghĩa là chưa biết bước $(n-1)$ kết thúc ra sao, chẳng hạn trong thí dụ về quản lý xí nghiệp, ta chưa biết năm thứ $(n-1)$ nguồn vốn còn lại bao nhiêu, lợi nhuận đã đạt được là bao nhiêu... Vì vậy cách làm của qui hoạch động là tìm lời giải tối ưu ở bước n ứng với những phương án kết thúc khác nhau ở bước $(n-1)$. Lời giải đó được gọi là giá trị tối ưu có điều kiện ở bước n nhằm đạt cực trị hàm mục tiêu ở bước n (và không quan tâm đến trạng thái của hệ sau bước n).

Tiếp tục cần xác định lời giải tối ưu có điều kiện ở bước $(n-1)$ ứng với mọi phương án kết thúc có thể của bước $(n-2)$ sao cho hàm mục tiêu đạt cực trị trong cả hai bước cuối (bước $n-1$ và n).

Tiếp theo khảo sát như vậy đến bước đầu tiên. Ở mỗi bước ta tìm được lời giải tối ưu có điều kiện đảm bảo cho cả dãy quyết định tiếp theo đến bước n là tối ưu. Thủ tục đó phản ánh nguyên lý tối ưu đã trình bày.

Sau khi thực hiện xong trình tự ngược xác định được lời giải (quyết định) tối ưu có điều kiện ở mỗi bước, căn cứ vào trạng thái ban đầu đã cho của bài toán, ta tiến hành trình tự thuận từ bước 1 đến bước n và xác định dãy quyết định tối ưu. Thuật toán cụ thể của hai trình tự này sẽ trình bày ở các mục sau.

Về mặt toán học, nhờ việc chuyển nghiên cứu quá trình n bước về từng bước, phương pháp qui hoạch động đã làm giảm thứ nguyên của bài toán, tạo thuận lợi để giải. Ngoài ra nhờ những thủ tục truy trũng mang tính chất chương trình hóa nên phương pháp qui hoạch động dễ dàng thực hiện trên máy tính điện tử số. Điều đó sẽ trình bày chi tiết ở những mục tiếp theo.

Ở đây cần chú ý rằng việc mô tả n giai đoạn (trong thời gian) của quá trình chỉ là qui ước, cũng có thể quan niệm hệ gồm n đối tượng khảo sát trong một giai đoạn thời gian, hoặc tổng quát là hệ gồm k đối tượng hoạt động trong n giai đoạn thời gian.

Sau đây trình bày việc xây dựng phương trình cơ bản của phương pháp qui hoạch động, còn gọi là phương trình phiếm hàm Bellman

11-2. THÀNH LẬP PHƯƠNG TRÌNH PHIẾM HÀM BELLMAN

Trong mục này sẽ dựa trên thí dụ về bài toán phân phối nguồn vốn hoặc còn có dạng tương tự là bài toán mua hàng [TK-21] để thành lập phương trình phiếm hàm Bellman, mô tả thủ tục của qui hoạch động.

Giả thiết ta đầu tư nguồn vốn ban đầu X_1 vào một xí nghiệp để sản xuất hai mặt hàng A và B . Quá trình khảo sát là n năm. Vào đầu năm thứ nhất nguồn vốn tổng X_1 được phân làm hai phần: x_1 để sản xuất mặt hàng A và $(X_1 - x_1)$ để sản xuất mặt hàng B .

Sau năm đầu mặt hàng A mang lại cho xí nghiệp một lợi nhuận theo quan hệ $g(x_1)$, mặt hàng B mang lại lợi nhuận $h(X_1 - x_1)$.

Để sản xuất các mặt hàng, nguồn vốn đều bị hao hụt. Giả thiết sau năm đầu sản xuất mặt hàng A , nguồn vốn x_1 còn:

$$x_2 = ax_1 \quad \text{trong đó } 0 < a < 1,$$

đối với mặt hàng B nguồn vốn còn:

$$X_2 - x_2 = b(X_1 - x_1) \quad \text{trong đó } 0 < b < 1.$$

Nguồn vốn x_2 và $X_2 - x_2$ tiếp tục đầu tư vào năm thứ hai để sản xuất mặt hàng A và B . Quá trình tiếp diễn trong n năm.

Giá trị ban đầu X_1 cũng như số năm n đã biết. Do có sự khác nhau giữa các giá trị $g(x_1)$, $h(X_1 - x_1)$, a , b nên xuất hiện yêu cầu tìm sự phân phối tối ưu nguồn vốn X_1 trong từng năm sao cho tổng lợi nhuận của xí nghiệp sau n năm là cực đại.

1. Cách đặt bài toán một cách cô điển.

Bài toán phân phối nguồn vốn trên đây có thể phát biểu một cách cô điển như sau:

Cần xác định các giá trị $x_1, x_2, \dots, x_n$ là lượng nguồn vốn đầu tư để sản xuất mặt hàng A ở năm thứ nhất, thứ hai, ... thứ n , sao cho tổng lợi nhuận của xí nghiệp khi sản xuất hai mặt hàng A và B sau n năm là cực đại, nghĩa là:

$$W(x_1, x_2, \dots, x_n) = g(x_1) + h(X_1 - x_1) + g(x_2) + h(X_2 - x_2) + \dots + g(x_n) + h(X_n - x_n) \Rightarrow \max \quad (11-8)$$

$$\text{Trong đó} \quad 0 \leq x_i \leq X_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (11-9)$$

và

$$\left. \begin{aligned} X_1 &\text{ đã cho} \\ X_2 &= ax_1 + b(X_1 - x_1) \\ &\vdots \\ X_n &= ax_{n-1} + b(X_{n-1} - x_{n-1}) \end{aligned} \right\} \quad (11-10)$$

Bài toán chuyển thành yêu cầu xác định điểm cực đại của hàm $W(x_1, x_2, \dots, x_n)$ trong không gian n chiều với các ràng buộc dạng (11-9) và (11-10).

Trong trường hợp n nhỏ lời giải có thể nhận được bằng phép tính vi phân. Tuy nhiên cần thận trọng về một số trường hợp cực đại có thể nằm ở biên của ràng buộc, ngoài ra khi n lớn, chẳng hạn $n \geq 10$, bài toán trở nên rất phức tạp. Không những thế, cách giải bài toán như vậy cho quá nhiều thông tin không cần thiết, vì khi đã biết X_1 và n chỉ cần xác định x_1 như là hàm của X_1 và n , như vậy bài toán được giải hoàn toàn, và suy ra $x_2, x_3, \dots, x_n$. Theo ý đó ta có thể đặt bài toán một cách mới, theo tinh thần qui hoạch động.

2. Cách đặt bài toán theo tinh thần qui hoạch động.

Để đơn giản ta giả thiết các hàm lợi nhuận $g(x_i)$ và $h(X_i - x_i)$ chỉ phụ thuộc vào lượng vốn đầu tư vào đầu năm thứ i là x_i và $(X_i - x_i)$ mà không thay đổi theo thời gian, nghĩa là dạng hàm $g(x_i)$ và $h(X_i - x_i)$ độc lập với thời gian.

Nhờ sách lược tối ưu phân phối nguồn vốn, lợi nhuận của xí nghiệp sau n năm sản xuất mặt hàng A và B đạt giá trị cực đại $f_n(X_1)$ là hàm của nguồn vốn ban đầu X_1 và số năm n khảo sát.

Nếu quá trình sản xuất của xí nghiệp chỉ diễn ra trong một năm thì lợi nhuận cực đại $f_1(X_1)$ có dạng

$$f_1(X_1) = \max_{0 \leq x_1 \leq X_1} [g(x_1) + h(X_1 - x_1)] \quad (11-11)$$

trong đó $f_1(X_1)$ là giá trị cực đại của lợi nhuận khi số năm khảo sát $n = 1$ và số nguồn vốn đặt vào đầu tiên là X_1 .

Biểu thức (11-11) cho ta cách xác định giá trị $f_1(X_1)$ như sau: cho x_1 nhận các giá trị khác nhau từ 0 đến X_1 , tính $g(x_1)$ và $h(X_1 - x_1)$ sau đó xác định $f_1(X_1)$. Từ đây thấy rằng nếu chỉ xét quá trình sản xuất 1 năm, nếu $g(x_1) > h(X_1 - x_1)$ thì toàn bộ X_1 đầu tư để sản xuất mặt hàng A , mặc dù sau một năm lượng X_1 đó sẽ bị hao hụt nhiều (giả thiết $a > b$) nhưng điều đó ta không quan tâm.

Bây giờ khảo sát quá trình chỉ trong 2 năm (không phải hai năm đầu của quá trình nhiều năm), nghĩa là $n = 2$. Khi đó, sau năm thứ nhất nguồn vốn đầu tư để sản xuất mặt hàng A trong năm thứ hai là:

$$x_2 = ax_1$$

đối với mặt hàng B có $(X_2 - x_2) = b(X_1 - x_1)$.

Theo nguyên lý tối ưu của qui hoạch động thì dù cho năm đầu phân phối X_1 thế nào, thì số vốn còn lại là $X_2 = ax_1 + b(X_1 - x_1)$ cũng phải phân phối tối ưu trong những năm còn lại, ở đây là 1 năm còn lại. Vì vậy lợi nhuận thu được ở năm thứ hai với số vốn X_2 phải đạt cực đại, bằng $f_1(X_2)$

$$f_1(X_2) = f_1[ax_1 + b(X_1 - x_1)] \quad (11-12)$$

trong đó $f_1(X_2)$ là lợi nhuận cực đại của 1 năm cuối của quá trình $n = 2$ năm.

Từ đây có thể viết biểu thức lợi nhuận cực đại của xí nghiệp trong quá trình sản xuất $n = 2$ năm.

$$f_2(X_1) = \max_{0 \leq x_1 \leq X_1} \{g(x_1) + h(X_1 - x_1) + f_1(X_2)\} \quad (11-13)$$

hoặc

$$f_2(X_1) = \max_{0 \leq x_1 \leq X_1} \{ g(x_1 + h(X_1 - x_1)) + \max_{0 \leq x_2 \leq X_2} [g(x_2) + h(X_2 - x_2)] \} \quad (11-14)$$

trong đó

$$\begin{aligned} x_2 &= ax_1 \\ X_2 - x_2 &= b(X_1 - x_1). \end{aligned}$$

Bây giờ ta khảo sát trường hợp tổng quát: xí nghiệp cần xây dựng sách lược phân phối tối ưu nguồn vốn X_1 trong quá trình n năm.

Giả thiết quá trình chia làm hai giai đoạn: năm đầu tiên và $(n-1)$ năm còn lại. Khi đó lợi nhuận tổng của xí nghiệp sau n năm bằng tổng hai khoản lợi nhuận: Khoản lợi nhuận năm đầu tiên do nguồn vốn X_1 gây nên:

$$g(x_1) + h(X_1 - x_1)$$

và khoản lợi nhuận của $(n-1)$ năm sau tạo nên bởi nguồn vốn còn lại sau năm thứ nhất là $X_2 = ax_1 + b(X_1 - x_1)$.

Theo nguyên lý tối ưu của qui hoạch động, dù ở năm thứ nhất giá trị x_1 được chọn thế nào, thì số vốn còn lại $X_2 = ax_1 + b(X_1 - x_1)$ cũng cần phải phân phối tối ưu suốt trong $(n-1)$ năm còn lại để nhận được giá trị lợi nhuận cực đại $f_{n-1}(X_2)$. Vì vậy để cho tổng lợi nhuận sau n năm là cực đại cần xác định x_1 sao cho đạt cực đại phiếm hàm sau đây:

$$W_n(x_1, X_1) = \{ g(x_1) + h(X_1 - x_1) + f_{n-1}(X_2) \} \Rightarrow \max \quad (11-15)$$

$$\text{Đặt} \quad f_n(X_1) = \max W_n(x_1, X_1).$$

ta có phương trình phiếm hàm Bellman, xác định thủ tục phân phối tối ưu trong quá trình n bước như sau:

$$f_n(X_1) = \max_{0 \leq x_1 \leq X_1} \{ g(x_1) + h(X_1 - x_1) + f_{n-1}[ax_1 + b(X_1 - x_1)] \} \quad (11-16)$$

trong đó $f_n(X_1)$ là giá trị cực đại của lợi nhuận trong n năm khi nguồn vốn tổng đặt vào năm đầu là X_1 .

$f_{n-1}[ax_1 + b(X_1 - x_1)] = f_{n-1}(X_2)$ là giá trị cực đại lợi nhuận của $(n-1)$ năm còn lại khi nguồn vốn tổng đặt vào là X_2 (từ năm thứ hai).

Phương trình phiếm hàm Bellman dạng (11-16) có ứng dụng rộng rãi và hiệu lực trong nhiều lĩnh vực qui hoạch các hệ thống phức tạp, đặc biệt khi số bước n lớn, thủ tục xác định $x_1, x_2, \dots, x_n$ được chương trình hóa và thực hiện trên máy tính điện tử.

Phương trình (11-16) có tính chất truy trính vì giá trị $f_n(X_1)$ xác định thông qua $f_{n-1}(X_2)$, trong đó lại có:

$$f_{n-1}(X_2) = \max_{0 \leq x_2 \leq X_2} \{ g(x_2) + h(X_2 - x_2) + f_{n-2}[ax_2 + b(X_2 - x_2)] \} \quad (11-17)$$

và tiếp tục tính cho đến $f_1(X_n)$, là giá trị cực đại của lợi nhuận 1 năm cuối cùng khi vốn đầu tư là X_n . Giá trị $f_1(X_n)$ được tính trước tiên.

Ở đây

$$f_1(X_n) = \max_{0 \leq x_n \leq X_n} \{ g(x_n) + h(X_n - x_n) \} \quad (11-18)$$

trong đó:

$$x_n = ax_{n-1}; \quad (X_n - x_n) = b(X_{n-1} - x_{n-1}).$$

11-2. ỨNG DỤNG. Đề minh họa thủ tục xác định sách lược tối ưu theo phương trình phiếm hàm Bellman ta xét hai thí dụ đơn giản sau đây:

THÍ DỤ 11-1. Vẫn sử dụng bài toán phân phối nguồn vốn (thiết bị) X_1 cho xí nghiệp sản xuất hai mặt hàng. Giả thiết hàng năm mặt hàng A cho lợi nhuận $g(x_i) = x_i^2$; $i = 1, 2, 3$; mặt hàng B cho lợi nhuận $h(X_i - x_i) = 2(X_i - x_i)^2$; $i = 1, 2, 3$. Sau mỗi năm do hao mòn, nguồn vốn x_i thành $x_{i+1} = ax_i$ với $a = 0,75$, nguồn $(X_i - x_i)$ thành $(X_{i+1} - x_{i+1}) = b(X_i - x_i)$ với $b = 0,30$. Xét quá trình sản xuất trong 3 năm. Cần xác định x_1 và từ đây có $x_2, x_3, X_1 - x_1, X_2 - x_2, X_3 - x_3$ sao cho lợi nhuận của xí nghiệp sau 3 năm đạt cực đại.

Như trên đã trình bày, quá trình giải được bắt đầu từ năm cuối cùng, ở đây là năm thứ ba.

Ta xác định lời giải tối ưu có điều kiện của năm thứ 3, nghĩa là xác định giá trị nguồn vốn đầu tư x_3 cho sản xuất mặt hàng A ở năm thứ 3 khi giả thiết rằng tổng số vốn còn lại sau 2 năm là X_3 và phải đạt lợi nhuận cực đại trong năm thứ ba là $f_1(X_3)$. Ở đây có:

$$f_1(X_3) = \max_{0 \leq x_3 \leq X_3} \{x_3^2 + 2(X_3 - x_3)^2\}$$

Vì các hàm $g(x_i)$ và $h(X_i - x_i)$ khả vi nên có thể sử dụng các phép tính vi phân.

Cần xác định x_3 để đạt $\max f_1(X_3)$.

Có
$$\frac{\partial f_1(X_3)}{\partial x_3} = 2x_3 - 4(X_3 - x_3) = 0 \text{ từ đây}$$

$$x_3 = \frac{2}{3} X_3$$

vì
$$\frac{\partial^2 f_1(X_3)}{\partial x_3^2} = 6 > 0$$

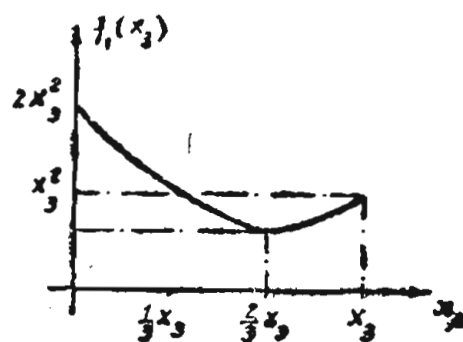
nên giá trị $x_3 = \frac{2}{3} X_3$ ứng với cực tiểu của hàm

$f_1(X_3)$. Như vậy hàm $f_1(X_3)$ đạt cực đại ở các giá trị biên của x_3 trong khoảng 0 và X_3 (xem hình 11-1).

Với $x_3 = 0$ có $f_1(X_3) = 2X_3^2$

Với $x_3 = X_3$ có $f_1(X_3) = X_3^2$. Vậy lời giải tối ưu là $x_3 = 0$, nghĩa là ở năm thứ ba, hoàn toàn không đầu tư vốn để sản xuất mặt hàng A mà tất cả vốn X_3 để sản xuất mặt hàng B. Điều đó dễ hiểu vì lợi nhuận do mặt hàng B đem lại gấp đôi do A đem lại. Tuy nhiên tỉ lệ hao mòn vốn khi sản xuất B rất lớn (70%) nhưng vì là năm cuối nên ta không quan tâm đến những năm tiếp nữa.

Tiếp theo ta xác định lời giải tối ưu có điều kiện ở năm thứ hai sao cho lợi nhuận đạt cực đại trong cả hai năm cuối (thứ hai và thứ ba). Lợi



Hình 11-1

nhuận cực đại trong hai năm cuối $f_2(X_2)$ khi nguồn vốn đặt vào năm thứ hai là X_2 , có dạng:

$$f_2(X_2) = \max_{0 \leq x_2 \leq X_2} \left\{ x_2^2 + 2(X_2 - x_2)^2 + f_1(X_3) \right\}$$

mà ở trên đã tính được $f_1(X_3) = 2X_3^2$

trong đó

$$X_3 = x_3 + (X_3 - x_3) = ax_2 + b(X_2 - x_2) = 0,75x_2 + 0,3(X_2 - x_2).$$

Thay giá trị $f_1(X_3)$ vào hàm $f_2(X_2)$, ta nhận được một đa thức bậc 2 cần tìm cực đại:

Hàm $f_1(X_2)$ cũng là một parabol lõm và có giá trị cực đại ở biên (tương tự hình 11-1). Giải ra nhận được:

$$\text{Với } x_2 = 0 \text{ có } f_2(X_2) = 2,18X_2^2$$

$$\text{Với } x_2 = X_2 \text{ có } f_2(X_2) = 2,125X_2^2$$

Như vậy để đảm bảo sách lược tối ưu cho cả hai năm cuối thì ở năm thứ hai toàn bộ nguồn vốn X_2 cũng dùng để sản xuất mặt hàng B. Khi đó lợi nhuận cực đại của cả hai năm cuối là:

$$f_2(X_2) = 2,18X_2^2 \text{ khi lượng vốn còn lại sau năm đầu là } X_2.$$

Tiếp theo ta xác định lời giải tối ưu có điều kiện cho năm đầu tiên sao cho đạt cực đại lợi nhuận trong cả ba năm và có giá trị $f_3(X_1)$, ứng với nguồn vốn đầu tư vào năm thứ nhất là X_1

$$f_3(X_1) = \max_{0 \leq x_1 \leq X_1} \left\{ x_1^2 + 2(X_1 - x_1)^2 + f_2(X_2) \right\}$$

mà đã tính được

$$f_2(X_2) = 2,18X_2^2 = 2,18[0,75x_1 + 0,3(X_1 - x_1)]^2$$

Thay giá trị $f_2(X_2)$ vào hàm $f_3(X_1)$ để khảo sát cực đại. Tương tự như hai trường hợp trên, hàm $f_3(X_1)$ là một parabol lõm, giá trị cực đại đạt ở biên ($x_1 = 0$ và $x_1 = X_1$).

$$\text{Ở đây: với } x_1 = 0 \text{ có } f_1(X_1) = 2,20X_1^2$$

$$\text{với } x_1 = X_1 \text{ có } f_1(X_1) = 2,23X_1^2.$$

Vậy để đảm bảo có sách lược tối ưu phân phối nguồn vốn trong 3 năm thì trong năm thứ nhất phải có $x_1 = X_1$, nghĩa là toàn bộ nguồn vốn dùng để sản xuất mặt hàng A. Lợi nhuận cực đại sau 3 năm của xí nghiệp là

$$f_3(X_1) = 2,23X_1^2$$

Tóm lại khi cho nguồn vốn ban đầu X_1 ta đã nhận được sách lược tối ưu gồm một dãy quyết định như sau:

$$x_1 = X_1; x_2 = 0; x_3 = 0$$

và

$$f_3(X_1) = 2,23X_1^2$$

Qua thí dụ trên đây cần chú ý mấy điểm sau đây:

1) Trên đây chỉ khảo sát quá trình sản xuất là 3 năm. Khi số năm khảo sát là $n(n > 3)$ mà những số liệu của bài toán $g(x_i)$, $h(X_i - x_i)$, a , b như cũ thì có thể suy ra được sách lược tối ưu như sau:

Hai năm cuối cùng toàn bộ vốn dùng để sản xuất mặt hàng B , còn từ năm đầu cho đến năm thứ $(n - 3)$ toàn bộ vốn dùng để sản xuất mặt hàng A .

2) Kết quả của thí dụ trên đây là những trường hợp đặc biệt, ở mỗi bước toàn bộ nguồn hoặc cho đối tượng A hoặc cho B . Thực tế thường gặp trường hợp ở mỗi bước cả hai đối tượng A và B đều nhận nguồn vốn, điều đó ứng với trường hợp hàm $f_n(X_1)$; $f_{n-1}(X_2)$... là những đa thức đạt cực đại với giá trị x_i trong khoảng

$$0 < x_i < X_i.$$

3) Trong thí dụ trên các hàm $g(x_i)$ và $f(X_i - x_i)$ đều giải tích và khả vi nên sử dụng được những phép tính vi phân. Ở đây việc tìm cực trị trong không gian 3 chiều (x_1, x_2, x_3) , nhờ tinh thần của phương pháp qui hoạch động đã chuyển về tìm cực trị trong không gian 1 chiều (một thứ nguyên) trong từng bước.

Việc giảm số thứ nguyên nhờ phương pháp qui hoạch động còn có thể áp dụng để giải bài toán qui hoạch phi tuyến, khi hàm mục tiêu có dạng tổng. Trong trường hợp này n được quan niệm là những đối tượng (những ầu) mà việc xác định tối ưu trong một bước cho n đối tượng sẽ chuyển thành tối ưu theo n bước mà ở mỗi bước hàm mục tiêu chỉ phụ thuộc một đối tượng. Để minh họa ta xét thí dụ sau đây.

THÍ DỤ 11-2. Xác định giá trị $\{x_1, x_2, x_3\}$ sao cho

$$F(x_1, x_2, x_3) = x_1^2 + 2x_2^2 + x_3^2 \Rightarrow \min$$

và thỏa mãn

$$x_1 + x_2 + x_3 = 9$$

$$x_i \geq 0; i = 1, 2, 3.$$

Ta kí hiệu

$$\min F(x_1, x_2, x_3) = f_3(X_3)$$

trong đó f_3 thể hiện cần tìm cực tiểu theo 3 đối tượng (x_1, x_2, x_3) ; X_3 là nguồn vốn cần phân phối cho ba đối tượng trên. Ở đây

$$X_3 = 9 = x_1 + x_2 + x_3.$$

Ta gọi nguồn vốn cần phân phối cho hai đối tượng x_1 và x_2 là X_2 , khi đó

$$X_2 = X_3 - x_3.$$

nguồn vốn cần phân cho đối tượng x_1 là X_1 , khi đó

$$X_1 = X_2 - x_2.$$

Như vậy với tinh thần của phương trình phiếm hàm Bellman, với nguồn vốn X_3 phân cho ba đối tượng x_1, x_2, x_3 sao cho chi phí (vì cần xác định cực tiểu) đạt giá trị cực tiểu và bằng $f_3(X_3)$. Ta viết được (bắt đầu từ x_3):

$$f_3(X_3) = \min \left\{ x_1^2 + 2x_2^2 + x_3^2 \right\} = \min_{0 \leq x_3 \leq X_3} \left\{ x_3^2 + f_2(X_3 - x_3) \right\}$$

trong đó $f_2(X_3 - x_3)$ là chi phí cực tiểu khi phân phối lượng nguồn còn lại $(X_3 - x_3)$ cho hai đối tượng x_1 và x_2 . Biểu thức $f_3(X_3)$ trên đây thể hiện nguyên lý tối ưu của qui hoạch động, nghĩa là dù cho x_3 nhận bao nhiêu thì số nguồn còn lại cũng phải phân phối tối ưu cho hai đối tượng x_2, x_1 .

Trong trường hợp này có

$$f_2(X_3 - x_3) = f_2(X_2) = \min \left\{ x_1^2 + 2x_2^2 \right\} \text{ với } x_1 + x_2 = X_2.$$

Tương tự như trên, phân nguồn X_2 cho x_1 và x_2 sao cho đạt $f_2(X_2)$.
Viết được

$$f_2(X_2) = \min_{0 \leq x_2 \leq X_2} \left\{ 2x_2^2 + f_1(X_2 - x_2) \right\}$$

mà $X_2 - x_2 = X_1$; hàm $f_1(X_1)$ có dạng X_1^2 , vì vậy ta viết được

$$f_2(X_2) = \min_{0 \leq x_2 \leq X_2} \left\{ 2x_2^2 + (X_2 - x_2)^2 \right\}.$$

Hàm $f_2(X_2)$ chỉ phụ thuộc vào x_2 . Dùng phép tính vi phân xác định cực trị, có

$$\frac{\partial f_2(X_2)}{\partial x_2} = 4x_2 - 2(X_2 - x_2) = 0$$

$$x_2 = \frac{X_2}{3}; f_2(X_2) = \frac{2}{3} X_2^2$$

Vì $\frac{\partial^2 f_2(X_2)}{\partial x_2^2} = 6 > 0$ nên $f_2(X_2)$ đạt giá trị cực tiểu với $x_2 = \frac{X_2}{3}$, nghĩa là x_2 nhận

$\frac{1}{3}$ lượng nguồn X_2 còn x_1 nhận $\frac{2}{3} X_2$. Như vậy $x_1 = 2x_2$.

Tiếp theo ta xác định

$$f_3(X_3) = \min_{0 \leq x_3 \leq X_3} \left\{ x_3^2 + f_2(X_3 - x_3) \right\}$$

Thay $f_2(X_2)$ bằng giá trị vừa tìm được $f_2(X_2) = \frac{2}{3} X_2^2$, mà $X_2 = (X_3 - x_3)$ vậy có:

$$f_3(X_3) = \min_{0 \leq x_3 \leq X_3} \left\{ x_3^2 + \frac{2}{3} (X_3 - x_3)^2 \right\}$$

Giải tương tự như trên, nhận được kết quả

$$x_3 = \frac{2}{5} X_3 \text{ và } f_3(X_3) = \frac{18}{5} X_3.$$

Thay giá trị $X_3 = 9$ ta có:

$$x_3 = \frac{18}{5}; X_2 = 9 - x_3 = \frac{27}{5}$$

do đó

$$x_2 = \frac{1}{3} X_2 = \frac{9}{5} \text{ và } x_1 = \frac{27}{5} - \frac{9}{5} = \frac{18}{5}$$

Từ đây có lời giải của bài toán qui hoạch phi tuyến như sau:

$$x_1 = \frac{18}{5}; x_2 = \frac{9}{5}; x_3 = \frac{18}{5}$$

$$\min F(x_1, x_2, x_3) = \frac{162}{5}$$

Qua thí dụ đơn giản trên, ta cần lưu ý một số điểm sau đây:

1) Trong trường hợp hàm mục tiêu không có dạng tổng thì dù là hàm lồi (có cực trị tuyệt đối) bài toán cũng sẽ trở nên phức tạp nhiều.

2) Trong trường hợp số ràng buộc về mối quan hệ giữa các đối tượng x_1, x_2, x_3 tăng lên, việc giải cũng trở nên khá phức tạp, mà ít dùng được phương pháp qui hoạch động.

3) Quy hoạch động phát huy hiệu lực khi hàm mục tiêu là dạng tổng, có thể chỉ là những bảng số liệu thống kê (không cần cho trong dạng giải tích), những ràng buộc giữa các đối tượng là tuyến tính và sách lược tối ưu cần xác định trong quá trình gồm nhiều giai đoạn.

4) Thí dụ đơn giản trên đây chỉ nhằm mô tả khả năng sử dụng phương pháp qui hoạch động để giải bài toán qui hoạch phi tuyến. Thực ra trong trường hợp này có thể dùng phương pháp Lagrange giải đơn giản hơn như sau:

Xây dựng hàm Lagrange [xem chương 7]

$$L(x) = x_1^2 + 2x_2^2 + x_3^2 + \lambda(x_1 + x_2 + x_3 - 9)$$

Xét đạo hàm $L(x)$ theo x_1, x_2, x_3 có:

$$\frac{\partial L(x)}{\partial x_1} = 2x_1 + \lambda = 0$$

$$\frac{\partial L(x)}{\partial x_2} = 4x_2 + \lambda = 0$$

$$\frac{\partial L(x)}{\partial x_3} = 2x_3 + \lambda = 0$$

Từ hệ thống phương trình này giải ra được:

$$x_1 = 2x_2 = x_3.$$

Kết hợp với phương trình ràng buộc

$$x_1 + x_2 + x_3 = 9$$

Nhận được:

$$x_1 + \frac{x_1}{2} + x_1 = 9$$

do đó:

$$x_1 = \frac{18}{5}; x_2 = \frac{9}{5}; x_3 = \frac{18}{5}$$

$$\text{và } \min E(x) = x_1^2 + 2x_2^2 + x_3^2 = \frac{162}{5} \text{ (có } \frac{\partial^2 L(x)}{\partial x_i^2} > 0)$$

Kết quả hoàn toàn như đã nhận được khi sử dụng phương pháp qui hoạch động mà quá trình giải đơn giản hơn rất nhiều (do hàm mục tiêu có dạng trong dạng giải tích, liên tục và khả vi). Tuy nhiên khi hàm mục tiêu có dạng tổng nhưng mang nhiều đặc điểm thì ta sẽ thấy phương pháp qui hoạch động rất có hiệu lực. Đó là nội dung của mục tiếp theo.

11-4 PHƯƠNG PHÁP QUI HOẠCH ĐỘNG KHI HÀM MỤC TIÊU CÓ DẠNG TỔNG.

Như trên đã đề cập tới, trong thực tế, nhiều trường hợp hàm mục tiêu được biểu diễn trong dạng đa thức, là tổng của nhiều thành phần. Chẳng hạn lợi nhuận của xí nghiệp trong n năm bằng tổng lợi nhuận các năm; chi phí nhiên liệu để sản xuất điện năng của toàn hệ thống bằng tổng chi phí nhiên liệu của các nhà máy điện cùng làm việc trong hệ thống v.v...

Bài toán đặt ra là xác định sách lược tối ưu để phân phối nguồn vốn X cho n đối tượng sao cho lợi nhuận là cực đại hoặc tổn thất là cực tiểu, từ đây dẫn đến bài toán tìm cực đại hoặc cực tiểu.

Thông thường giá trị lợi nhuận hoặc tổn thất của các đối tượng đều được đo bằng đơn vị chung và cùng hoặc khác đơn vị với nguồn vốn.

Vì bài toán tìm cực đại có thể chuyển về bài toán tìm cực tiểu và ngược lại, nên ở đây chỉ đề cập đến hàm lợi nhuận (thu nhập) của quá trình phân phối nguồn vốn.

Để đơn giản, giả thiết việc phân phối chỉ tiến hành trong một giai đoạn như vậy bài toán được phát biểu như sau:

Xác định $x_1, x_2, \dots, x_n$ sao cho

$$W(x_1, \dots, x_n) = g_1(x_1) + g_2(x_2) + \dots + g_n(x_n) \rightarrow \max \quad (11-18)$$

đồng thời thỏa mãn ràng buộc

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n = X \quad (11-19)$$

và

$$x_i \geq 0; i = 1, 2, \dots, n \quad (11-20)$$

trong đó $g_i(x_i); i = 1, 2, \dots, n$ là hàm lợi nhuận do đầu tư nguồn vốn x_i vào đối tượng i .

Ở đây giả thiết rằng lợi nhuận thu được từ mỗi đối tượng không phụ thuộc vào giá trị nguồn vốn đầu tư cho đối tượng khác, nghĩa là $g_i(x_i)$ chỉ là hàm của biến x_i . Ngoài ra cũng có giả thiết về cộng tính của hàm $W(x_1, \dots, x_n)$, nghĩa là lợi nhuận tổng bằng tổng lợi nhuận của các đối tượng.

Bài toán trên đây có thể giải dễ dàng nhờ các phương pháp giải tích cổ điển như phương pháp Lagrange, khi các hàm $g_i(x_i)$ là liên tục, khả vi và không có dạng đặc biệt.

Chẳng hạn sử dụng phương pháp Lagrange giải bài toán trên, ta thành lập hàm Lagrange

$$L(x_1, \dots, x_n) = g_1(x_1) + \dots + g_n(x_n) + \lambda(x_1 + \dots + x_n - X) \quad (11-21)$$

Lấy các đạo hàm của $L(x_1, \dots, x_n)$, theo $x_i, i = 1, 2, \dots, n$ cho triệt tiêu, được hệ phương trình Lagrange :

$$g'_i(x_i) + \lambda = 0; i = 1, 2, \dots, n \quad (11-22)$$

Kết hợp hệ phương trình (11-22) với ràng buộc (11-19) giải được các giá trị x_i và cực trị của hàm $W(x_1, \dots, x_n)$.

Để minh họa thuật toán đó ta khảo sát thí dụ sau :

Xác định $x_1, x_2, \dots, x_n$ sao cho

$$W(x_1, \dots, x_n) = a_1 x_1^2 + a_2 x_2^2 + \dots + a_n x_n^2 \Rightarrow \min$$

và thỏa mãn ràng buộc

$$\sum_{i=1}^n x_i = X$$

$$x_i \geq 0; i = 1, 2, \dots, n.$$

Từ hệ (11-14) có

$$2a_i x_i + \lambda = 0; i = 1, 2, \dots, n$$

Kết hợp với điều kiện ràng buộc ta có

$$-\sum_{i=1}^n \frac{\lambda}{2a_i} = X,$$

Từ đây rút giá trị λ và xác định được các giá trị tối ưu. Ở đây là

$$\min W(x_1, \dots, x_n) \text{ vì } \frac{\partial^2 W(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_i^2} > 0.$$

$$x_i = \frac{X}{2a_i \sum_{i=1}^n \frac{1}{2a_i}}$$

Trở lại thí dụ bằng số ở cuối mục 11-3, có

$$W(x_1, x_2, x_3) = x_1^2 + 2x_2^2 + x_3^2$$

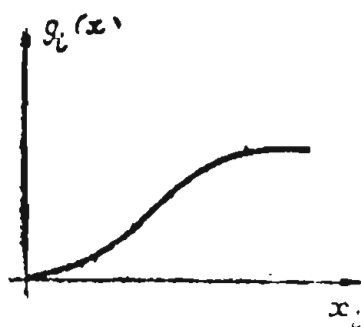
$$x_1 + x_2 + x_3 = 9$$

thay $a_1 = 1, a_2 = 2, a_3 = 1; X = 9$ nhận ngay được kết quả như cũ :

$$x_1 = \frac{18}{5}; \quad x_2 = \frac{9}{5}; \quad x_3 = \frac{18}{5}$$

Từ đây thấy rằng với những bài toán đơn giản như trên có thể dùng các phương pháp giải tích cổ điển để giải. Nhưng trong những bài toán kinh tế và kỹ thuật rất nhiều trường hợp các hàm $g_i(x_i)$ không liên tục, khả vi mà là gián đoạn, gãy khúc và thậm chí chỉ nhận được trong dạng những cặp giá trị từ thống kê. Khi đó rõ ràng phương pháp giải tích cổ điển không còn hiệu lực. Ngay cả trong trường hợp các hàm $g_i(x_i)$ liên tục, khả vi nhưng có dạng đặc biệt ta cũng sẽ thấy xuất hiện nhiều khó khăn cho giải tích cổ điển. Chẳng hạn hàm $g_i(x_i)$ có dạng như trên hình 11-2, thể hiện những đặc điểm về kinh

lẽ, đó là khi x_i quá nhỏ, lợi nhuận sẽ không đáng kể và tăng chậm, nhưng mặt khác khi đầu tư nguồn vốn x_i quá lớn cũng sẽ dẫn đến hiệu ứng « bảo hòa » về lợi nhuận.



Hình 11-2

Về mặt toán học, hàm $g_i(x_i)$ như trên hình 11-2 là đường cong phức tạp, chẳng hạn là đa thức bậc ba của x_i , khi đó phương trình dạng (11-22)

$$g'_i(x_i) + \lambda = 0$$

có thể có hai nghiệm x_i . Phải chọn một trong hai nghiệm đó ứng với cực trị tuyệt đối của hàm $W(x_1, \dots, x_n)$. Việc thử chọn đó sẽ rất khó khăn khi số đối tượng n lớn. Giả thiết mỗi phương trình (11-22) đều có hai nghiệm thì ta phải chọn 2^n trường hợp. Khi $n = 10$ đã phải xét 1024 trường hợp, khi $n = 20$ thì số trường hợp cần xét $2^{20} > 1$ triệu và trở ngại đó khó có thể vượt qua khi tính toán.

Không những thế phương pháp giải tích cổ điển không xét tới trường hợp cực trị tuyệt đối nằm ở giá trị biên của x_i trong khoảng $[0, X]$.

Khi bài toán ứng với các trường hợp như đã nêu, những khó khăn đó sẽ được vượt qua nhờ áp dụng phương pháp qui hoạch động với thuật toán xét tối ưu theo bước và luôn luôn đảm bảo nguyên lý tối ưu như đã trình bày là « dù cho trạng thái ở bước này thế nào, hãy xây dựng sách lược tối ưu cho mọi bước còn lại ».

Với nguyên lý tối ưu đó, giả thiết ta cho đối tượng thứ n nhận một lượng nguồn vốn x_n , với $0 \leq x_n \leq X$, khi đó lượng nguồn còn lại $(X - x_n)$ phải phân phối cho $(n - 1)$ đối tượng là $x_1, x_2, \dots, x_{n-1}$ sao cho đạt lợi nhuận cực đại $f_{n-1}(X - x_n)$. Ở đây có:

$$f_{n-1}(X - x_n) = \max \{g_1(x_1) + \dots + g_{n-1}(x_{n-1})\} \quad (11-23)$$

với

$$x_1 + \dots + x_{n-1} = X - x_n$$

Khi đó lợi nhuận tổng đem lại bởi n đối tượng, khi đối tượng thứ n nhận x_n , là

$$W(x_1, \dots, x_n) = g_n(x_n) + f_{n-1}(X - x_n) \quad (11-24)$$

Rõ ràng phải chọn quyết định tối ưu đối với đối tượng n , nghĩa là chọn giá trị x_n , sao cho lợi nhuận tổng $W(x_1, \dots, x_n)$ đạt giá trị cực đại $f_n(X)$:

$$f_n(X) = \max_{0 \leq x_n \leq X} \{g_n(x_n) + f_{n-1}(X - x_n)\} \quad (11-25)$$

Đây là phương trình phiếm hàm Bellman, tương tự như biểu thức (11-8), ở đây viết cho sách lược phân phối nguồn X cho n đối tượng. Biểu thức (11-25) cũng được xác định theo thuật toán truy trính, vì

$$f_{n-1}(X - x_n) = \max_{0 \leq x_{n-1} \leq (X - x_n)} \{g_{n-1}(x_{n-1}) + f_{n-2}(X - x_n - x_{n-1})\}$$

và tiếp tục đến

$$f_1(X) = g_1(X)$$

Từ đây ta cũng tính lần lượt như sau: biết $f_1(X)$ tính $f_2(X)$, biết $f_2(X)$ tính $f_3(X)$... đến $f_n(X)$.

Cũng xuất phát từ nguyên lý tối ưu của qui hoạch động đã nêu, ta thấy việc xét x_n đầu tiên hoặc x_1 nào khác là tùy tiện, không ảnh hưởng đến kết quả $f_n(X)$ và sách lược tối ưu $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. Điều này dẫn đến một kết luận quan trọng, hoặc cũng là một hình thức khác phát biểu về nguyên lý tối ưu của qui hoạch động, đó là: «Một sách lược tối ưu tạo thành một dãy quyết định thì một bộ phận bất kỳ của dãy đó đều tối ưu», nhưng ngược lại thì không chắc đúng, nghĩa là một số quyết định là tối ưu không đảm bảo toàn bộ sách lược là tối ưu. Một lần nữa nguyên lý này khẳng định quan điểm tối ưu tổng thể của tinh thần qui hoạch động.

11-5 PHƯƠNG PHÁP QUI HOẠCH ĐỘNG XÁC ĐỊNH CƠ CẤU TỐI ƯU CÁC TỔ MÁY LÀM VIỆC.

Một trong những bài toán quan trọng cần giải quyết khi vận hành và thiết kế hệ thống điện là ứng với mỗi thời điểm cần xác định số tổ máy làm việc và công suất ứng với mỗi tổ máy sao cho đạt cực trị một hàm mục tiêu nào đó. Chỉ tiêu tối ưu ở đây có thể là chi phí tính toán về sản xuất điện năng là nhỏ nhất, là tổng điện năng sản xuất ra là cực đại, độ tin cậy cung cấp điện của toàn hệ thống đạt cực đại v.v... Để đơn giản chỉ tiêu tối ưu thường xét theo cực tiểu lượng nhiên liệu tiêu hao trong toàn hệ thống. Trong mục này ta xét vấn đề theo chỉ tiêu đó.

Chi tiết về phân phối tối ưu công suất giữa các nhà máy nhiệt điện, giữa nhiệt điện và thủy điện đã trình bày ở chương 7. Khi đó giả thiết rằng ở mỗi thời điểm số tổ máy n và phụ tải tổng P_n đã biết, cần xác định P_i ; $i = 1, 2, \dots, n$ sao cho chi phí nhiên liệu $B_\Sigma \rightarrow \min$.

Trong mục này sẽ sử dụng phương pháp qui hoạch động xét bài toán xác định số tổ máy tối ưu cần thiết làm việc ở từng thời điểm (giai đoạn) đồng thời xác định lượng công suất tối ưu phân phối giữa chúng. Như vậy ở đây tương đương với bài toán xác định sách lược tối ưu phân phối nguồn vốn tổng P_n cho n đối tượng $P_1, P_2, \dots, P_n$ trong cả thời kỳ nhiều bước $t = 1, 2, \dots, T$ sao cho đạt cực tiểu về chi phí nhiên liệu tổng B_Σ .

Trước hết để đơn giản, ta giả thiết là số lượng tổ máy làm việc chỉ phụ thuộc vào chỉ tiêu lượng nhiên liệu tiêu hao mà chưa xét đến ảnh hưởng của việc ngừng hoặc mở lại tổ máy, nghĩa là ở đây chưa xét đến tổn hao nhiên liệu khi mở máy. Với giả thiết đó thì quá trình có thể xét độc lập ở mỗi thời điểm. Điều này đúng đối với các nhà máy nhiệt điện vì giả thiết rằng lượng nguồn nhiên liệu không bị hạn chế. Đối với thủy điện cần thận trọng hơn, vì quyết định lượng công suất ở bước này có ảnh hưởng nhiều đến quyết định của bước sau vì phải đảm bảo lượng nước tiêu hao không đổi cho cả chu kỳ điều tiết [xem chương 7]. Đặc điểm này ta sẽ đề cập đến sau.

Như vậy trước hết ta xét cơ cấu tối ưu các tổ máy nhiệt điện làm việc ở mỗi thời điểm và phân phối tối ưu công suất giữa chúng, nghĩa là bài toán được phát biểu như sau: Giả thiết hệ thống gồm n tổ máy nhiệt điện. Ứng với mỗi thời điểm t trong giai đoạn T , cần xác định các giá trị công suất phát của các tổ máy

$$P_1, P_2, \dots, P_n$$

sao cho

$$B_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n B_i(P_i) \Rightarrow \min \quad (11-26)$$

và thỏa mãn ràng buộc

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{ft} \quad (11-27)$$

$$P_{\min} \leq P_i \leq P_{\max} \quad (11-28)$$

trong đó $B_i(P_i)$ là quan hệ giữa chi phí nhiên liệu của tổ máy i khi phát công suất P_i .

P_{ft} là yêu cầu về công suất tổng của hệ thống có kể đến tổn hao trong mạng điện. Ở đây P_{ft} chính là lượng nguồn vốn tổng cần phân phối cho n đối tượng.

Lời giải $\{P_i\}; i = 1, 2, \dots, n$ thỏa mãn các điều kiện trên sẽ cho ta biết về cơ cấu tối ưu các tổ máy, ứng với $P_k = 0$ chứng tỏ ở thời điểm đó không nên cho tổ máy k làm việc.

Sau đây trình bày thuật toán giải dựa trên phương trình phiếm hàm Bellman.

1. Thuật toán dựa trên phương trình phiếm hàm Bellman.

Ở đây ta sử dụng phương pháp qui hoạch động trong sách lược phân phối tối ưu nguồn vốn công suất P_{ft} cho n đối tượng. Giả thiết đối tượng thứ n đã nhận công suất P_n , theo nguyên lý tối ưu của qui hoạch động, dù P_n là bao nhiêu, thì số nguồn còn lại ($P_{ft} - P_n$) cũng phải phân phối một cách tối ưu cho $(n - 1)$ đối tượng. Khi đó chi phí nhiên liệu trong toàn hệ thống là

$$B(P_1, \dots, P_n) = B_n(P_n) + f_{n-1}(P_{ft} - P_n) \quad (11-29)$$

trong đó $B_n(P_n)$ là chi phí nhiên liệu của tổ máy thứ n khi công suất phát ra là P_n

$f_{n-1}(P_{ft} - P_n)$ là chi phí nhiên liệu cực tiểu khi phân phối lượng công suất ($P_{ft} - P_n$) cho $(n - 1)$ tổ máy còn lại.

Việc chọn tổ máy nào là thứ n không ảnh hưởng đến kết quả tính toán.

Rõ ràng sách lược tối ưu là phải chọn giá trị P_n sao cho đạt cực tiểu $B(P_1, \dots, P_n)$. Từ đây ta có phương trình phiếm hàm Bellman trong trường hợp này như sau:

$$f_n(P_{ft}) = \min_{0 \leq P_n \leq P_{ft}} \{ B_n(P_n) + f_{n-1}(P_{ft} - P_n) \} \quad (11-30)$$

trong đó $f_n(P_{ft})$ là chi phí nhiên liệu cực tiểu khi phân lượng công suất tổng P_{ft} cho n tổ máy nhiệt điện.

Biểu thức (11-30) có dạng truy trướng như đã biết, và việc giải cũng sẽ được tiến hành theo hai quá trình: Quá trình ngược nhằm xác định lời giải tối ưu có điều kiện, nghĩa là xác định cơ cấu tổ máy tối ưu với những giá trị nguồn khác nhau khi bắt đầu từ bước cuối cùng, ở đây là một tổ máy. Sau đó xác định tối ưu có điều kiện của hai bước cuối cùng, ở đây là hai tổ máy v.v...

cho đến n tổ máy. Như vậy quá trình ngược là chuẩn bị đầy đủ thông tin về lời giải tối ưu phục vụ cho quá trình thuận tiếp theo.

Trong quá trình thuận, căn cứ vào P_{ft} đã cho, dựa vào những kết quả chuẩn bị ở quá trình ngược, xác định được cơ cấu tối ưu các tổ máy làm việc và phân phối tối ưu công suất giữa chúng.

Sau đây trình bày thuật toán của quá trình ngược và thuận để giải bài toán đã nêu.

Quá trình ngược bao gồm các bước sau đây:

1) Tìm lời giải tối ưu có điều kiện đối với từng tổ máy, nghĩa là xác định $B_i(P_i)$; $i = 1, 2, \dots, n$, trong đó P_i nhận các giá trị từ $P_i = 0$ đến P_{imax} . Trong trường hợp đặc tính tiêu hao nhiên liệu $B_i(P_i)$ cho trong dạng bảng số, ta có thể sử dụng trực tiếp. Kết quả tính ở bước này được ghi vào bộ nhớ, chính là các giá trị $f_1(P_i) = B_i(P_i)$.

2) Đối với trường hợp hai tổ máy, ta áp dụng phương trình phiên hàm Bellman, cần xác định

$$f_2(P_{ft}) = \min_{P_{2min} \leq P_2 \leq P_{2max}} \{ B_2(P_2) + f_1(P_{ft} - P_2) \} \quad (11-31)$$

trong đó $f_2(P_{ft})$ là chi phí nhiên liệu cực tiểu khi phân phối phụ tải P_{ft} cho hai tổ máy

$f_1(P_{ft} - P_2)$ là chi phí nhiên liệu cực tiểu của tổ máy một khi có lượng phụ tải chung là P_{ft} và tổ máy thứ hai nhận P_2 .

Ứng với bước này, để xác định lời giải tối ưu có điều kiện ta cần thực hiện hai chu trình.

Chu trình trong: Cho giá trị P_{ft} là cực tiểu: P_{ftmin} và thay đổi giá trị P_2 từ 0 đến P_{2max} (hoặc từ P_{2min}). Với mỗi giá trị P_2 ta tính chi phí nhiên liệu cho hai tổ máy, sau đó so sánh lấy giá trị min, theo biểu thức (11-31). Như vậy ứng với một giá trị phụ tải P_{ftmin} , trong trường hợp 2 tổ máy, ta ghi được trị số tối ưu $P_2(P_{ftmin})$ là công suất cần phát của tổ máy 2. Tất nhiên $P_1 = P_{ftmin} - P_2$. Ngoài ra cũng ghi được giá trị chi phí nhiên liệu cực tiểu khi phân phối P_{ftmin} cho hai tổ máy.

Chu trình giữa: Bây giờ cho giá trị P_{ft} tăng dần, từ $P_{ft} = P_{ftmin} = \Delta P$ đến $P_{ft} = 2\Delta P, \dots$, trong đó ΔP là bậc công suất chung trong hệ thống.

Ứng với mỗi giá trị P_{ft} ta lại thay đổi giá trị P_2 như trình bày ở chu trình trong và xác định được $P_2(P_{ftmin} + K\Delta P)$ và $f_2(P_{ftmin} + K\Delta P)$; $K = 1, 2, \dots$

Tăng giá trị P_{ft} đến $P_{ftmax} = P_{1max} + P_{2max}$.

Tóm lại ở cuối bước hai này, đối với hai tổ máy ta ghi được một dãy kết quả về phân phối tối ưu các phụ tải P_{ftmin} ; $(P_{ftmin} + K\Delta P)$; $K = 1, 2, \dots$; $(P_{1max} + P_{2max})$ cho hai tổ máy. Những kết quả đó là:

$$P_2(P_{ftmin} + K\Delta P) \text{ và } f_2(P_{ftmin} + K\Delta P);$$

— Những số liệu này chuẩn bị cho quá trình thuận sau này.

3) Trên đây là công việc chuẩn bị cho hai tổ máy. Bây giờ để tiếp tục tính cho 3 tổ máy ta thực hiện như sau:

Chu trình ngoài. Cho số tổ máy tăng đến 3. Ứng với số tổ máy nhất định ($n = 3$) quá trình tính toán lặp lại hai chu trình trong và giữa, nghĩa là lại thay đổi giá trị P_3 (với P_{ft} cố định), sau đó lại thay đổi P_{ft} .

Như vậy ứng với 3 tổ máy, cũng xác định được giá trị công suất tối ưu của tổ máy thứ ba $P_3(P_{ft} + K\Delta P)$ và giá trị cực tiểu của chi phí nhiên liệu cho ba tổ máy $f_3(P_{ft} + K\Delta P)$ khi phụ tải thay đổi $(P_{ft} + K\Delta P)$, $k = 0, 1, 2, \dots$

Những kết quả này đều được ghi vào bộ nhớ.

4) Xét tiếp cho 4, 5, ..., n tổ máy.

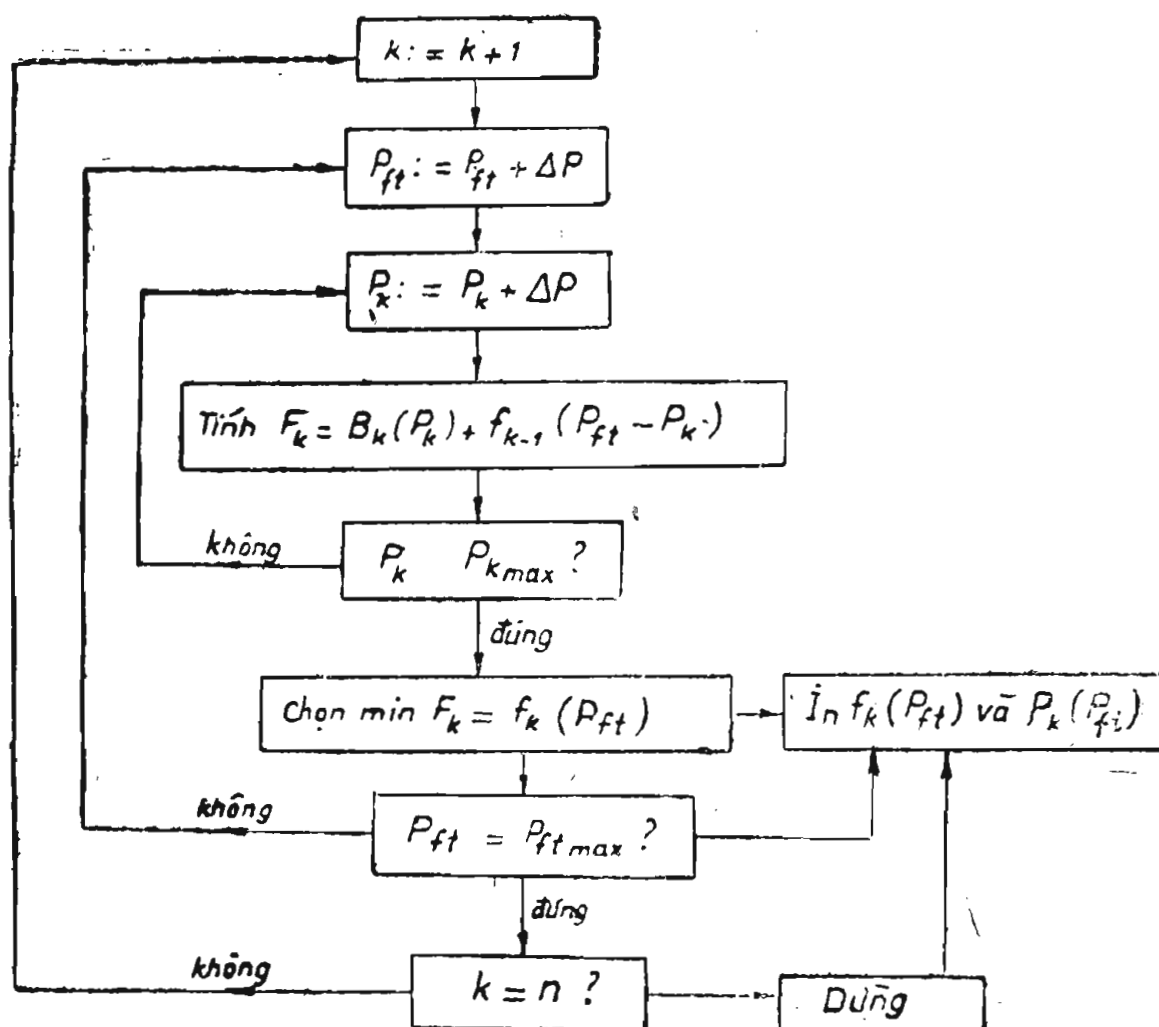
Đến đây kết thúc quá trình ngược và công việc chuẩn bị đã xong, nghĩa là đã có các bộ số liệu sau:

$$B_i(P_i); i = 1, 2, \dots, n$$

$$f_2(P_{ft}); P_2(P_{ft})$$

$$f_3(P_{ft}); P_3(P_{ft})$$

$$f_n(P_{ft}); P_n(P_{ft})$$



Hình 11-3

trong đó P_{ft} được nhận các giá trị khác nhau, từ P_{ftmin} đến P_{ftmax} ứng với mỗi bước (1, 2, ..., n tổ máy).

Quá trình chuẩn bị gồm ba chu trình: trong, giữa và ngoài trên đây có thể mô tả sơ lược nhờ giản đồ khối như sau (hình 11-3).

Tiếp theo trong quá trình thuận, căn cứ vào phụ tải tổng đã cho ở thời điểm đang xét $P_{ft}^{(n)}$ và số lượng tổ máy n có khả năng tham gia, ta sẽ xác định được số tổ máy có giá trị $P_i \geq 0$;

Biết P_{ft} và số n dựa vào số liệu ở quá trình ngược, từ bộ nhớ rút ra được P_n và $f_n(P_{ft})$, nghĩa là xác định được giá trị công suất tối ưu của tổ máy thứ n và chi phí nhiên liệu cực tiểu cho n tổ máy. Nếu tìm ra $P_n = 0$, có nghĩa là tổ máy thứ n không làm việc.

Tiếp theo xác định phụ tải ứng với $(n-1)$ tổ máy còn lại:

$$P_{ft}^{(n-1)} = P_{ft}^{(n)} - P_n$$

Ứng với lượng phụ tải $P_{ft}^{(n-1)}$ này, với $(n-1)$ tổ máy ta tra được giá trị P_{n-1} và $f_{n-1}(P_{ft}^{(n-1)})$. Tiếp tục làm như vậy cho đến khi còn một tổ máy (tổ máy thứ nhất), và xác định được $P_n, P_{n-1}, \dots, P_2, P_1$ thỏa mãn

$$B_n(P_n) + B_{n-1}(P_{n-1}) + \dots + B_2(P_2) + B_1(P_1) \rightarrow \min$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{ft}^{(n)}$$

Trên đây đã trình bày thủ tục xác định cơ cấu tối ưu các tổ máy làm việc và phân phối tối ưu công suất giữa chúng, ứng với giá trị phụ tải tổng P_{ft} ở một thời điểm nhất định. Khi phụ tải tổng thay đổi ở những thời điểm khác nhau quá trình tính toán lặp lại tương tự.

2. Đặc điểm khi xuất hiện thủy điện trong hệ thống.

Giả thiết trong hệ thống có những tổ máy thủy điện có thể điều chỉnh công suất phát P_{TDi} theo chu kì điều tiết của hồ chứa nước.

Như đã trình bày ở chương 7, bài toán xác định cơ cấu và phân phối tối ưu công suất giữa các tổ máy nhiệt và thủy điện trong trường hợp này phải thỏa mãn những ràng buộc sau đây:

Chi phí nhiên liệu của toàn hệ thống trong cả chu kì khảo sát là cực tiểu ($B_{\Sigma} \rightarrow \min$)

– Lượng nước tiêu thụ bởi mỗi nhà máy thủy điện trong chu kì điều tiết không vượt giá trị cho phép Q_{cl} .

Thỏa mãn về cân bằng công suất trong toàn hệ thống tại mỗi thời điểm của chu kì khảo sát.

Để giải bài toán này ta vẫn sử dụng thuật toán của qui hoạch động, nhưng cần lưu ý những điểm sau đây.

Đối với các tổ máy nhiệt điện vẫn sử dụng những quan hệ chi phí nhiên liệu $B_i(P_i)$ trong dạng giải tích hoặc bảng số thống kê. Nhưng đối với tổ máy thủy điện phải chuyển thành tổ máy nhiệt điện qui đổi, khi đó ta nhân toàn bộ giá trị lưu lượng nước Q_k với hệ số hiệu quả năng lượng λ [xem chương 7] trong quan hệ $Q_k = f(P_{TDk})$ của tổ máy thủy điện k . Sau đó cũng tiến hành quá trình chuẩn bị để xác định lời giải tối ưu có điều kiện ứng với các giá trị phụ tải tổng P_{ft} khác nhau.

Trong quá trình thuận sau khi xác định được giá trị P_l ; $l = 1, 2, \dots, n$ ở những thời điểm khác nhau trong chu kỳ điều tiết, nghĩa là xác định được đồ thị phụ tải của các tổ máy. Những giá trị này là kết quả ứng với một giá trị λ đã chọn. Vì vậy phải kiểm tra điều kiện ràng buộc về lưu lượng nước cho phép trong chu kỳ điều tiết của thủy điện. Nếu không thỏa mãn ràng buộc, nghĩa là giá trị lưu lượng tính toán $Q_{tt} \neq Q_{cf}$ thì phải chọn lại giá trị λ và tính lại các quá trình ngược và thuận trên kia.

Tóm lại lời giải tối ưu của bài toán xác định cơ cấu tổ máy và phân phối công suất giữa chúng trong trường hợp có nhiệt điện và thủy điện là sự kết hợp phương pháp chọn dần hệ số λ của thủy điện với thuật toán của qui hoạch động.

Chú ý: trong trường hợp hệ thống gồm toàn các tổ máy thủy điện, thuật toán giải theo phương pháp qui hoạch động hoàn toàn như đối với hệ gồm toàn nhiệt điện, khi đó hàm mục tiêu là cực tiểu lượng tiêu hao nước.

11-6. ÁP DỤNG.

Trong mục này sẽ khảo sát hai thí dụ đơn giản về việc áp dụng phương pháp qui hoạch động xác định cơ cấu làm việc tối ưu các tổ máy nhiệt điện và phân phối tối ưu công suất giữa chúng với giả thiết chưa xét đến tổn hao nhiên liệu khi mở máy. Thí dụ 1 nhằm minh họa trường hợp khi hàm chi phí nhiên liệu cho trong dạng hàm lồi, khả vi thì kết quả nhận được như khi sử dụng phương pháp Lagrange.

THÍ DỤ 11-3. Xác định phân phối tối ưu công suất $P_1, P_2, \dots, P_n$ của n tổ máy nhiệt điện, sao cho

$$B_{\Sigma} = B_1(P_1) + B_2(P_2) + \dots + B_n(P_n) \Rightarrow \min$$

và thỏa mãn ràng buộc

$$P_1 + P_2 + \dots + P_n = P_{tt}$$

$$P_i \leq P_{i\max}; i = 1, 2, \dots, n$$

Sử dụng thuật toán của qui hoạch động đã nêu, trước hết ghi nhớ quan hệ $B_n(P_n)$ của tổ máy thứ n khi thay đổi P_n từ 0 đến $P_{n\max}$.

Sau đó tìm phân phối tối ưu giữa tổ máy thứ n và $(n-1)$ ở đây có

$$f_2(P_{tt}) = \min \{B_n(P_n) + f_1(P_{tt} - P_n)\} \quad (11-32)$$

trong đó $f_2(P_{tt})$ là chi phí nhiên liệu cực tiểu của hai tổ máy n và $(n-1)$ khi nhận phụ tải chung là P_{tt}

$f_1(P_{tt} - P_n)$ là chi phí nhiên liệu cực tiểu của tổ máy thứ $(n-1)$ khi tổ máy thứ n đã nhận P_n . Ở đây $f_1(P_{tt} - P_n)$ chính là $B_{n-1}(P_{n-1})$.

Khi các quan hệ $B_i(P_i)$ cho trong dạng hàm giải tích, lồi, các giá trị tối ưu của P_n và P_{n-1} có thể nhận được bằng cách đạo hàm biểu thức (11-32) và cho triệt tiêu. Ta có

$$B'_n(P_n) - B'_{n-1}(P_{tt} - P_n) = 0$$

hoặc

$$B'_n(P_n) - B'_{n-1}(P_{n-1}) = 0,$$

nghĩa là

$$\epsilon_n = \epsilon_{n-1}$$

Tiếp tục xét điều kiện phân phối tối ưu cho 3, 4, ..., n tổ máy, ta nhận được điều kiện cân bằng suất tăng tiêu hao nhiên liệu: $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \dots = \epsilon_n$ như đã nhận được nhờ phương pháp Lagrange.

Tuy nhiên phương pháp qui hoạch động phát huy hiệu lực tốt khi các quan hệ $B_i(P_i)$ không là hàm lồi, hoặc chỉ cho trong bảng các cặp số liệu. Thí dụ bảng số sau đây sẽ minh họa cụ thể.

THÍ DỤ 11-1. Xác định cơ cấu tổ máy làm việc tối ưu và phân phối tối ưu công suất giữa chúng trong nhà máy nhiệt điện gồm 3 tổ máy có các tính tiêu hao nhiên liệu như trong bảng 11-1

Bảng 11-1

P_n [MW]	0	2	4	6	8	10	12
B_1 [tấn/h]	2	3	3,5	4	5	6	8
B_2 [tấn/h]	1	2	2,5	4,5	5,5	7	9
B_3 [tấn/h]	3	3	3	4	5,2	6,7	10

Ta bắt đầu bằng quá trình ngược nhằm chuẩn bị các lời giải tối ưu có điều kiện ứng với số lượng tổ máy khác nhau và giá trị phụ tải tổng khác nhau.

Trường hợp một tổ máy ta có chi phí nhiên liệu cực tiểu chính là giá trị $B_i(P_i)$; $i = 1, 2, 3$.

Đối với trường hợp hai tổ máy, cần xác định chi phí cực tiểu về nhiên liệu khi hai tổ máy nhận phụ tải chung là P_n . Khi đó ta thay đổi các giá trị P_n của từng tổ máy theo bảng 11-1 và ứng với mỗi giá trị phụ tải tổng lại thay đổi các giá trị P_1, P_2 để chọn giá trị $\min (B_1 + B_2)$ nghĩa là xác định

$$f_2(P_n) = \min_{0 \leq P_2 \leq 12} \{B_2(P_2) + B_1(P_n - P_2)\}$$

$$\text{và } P_1(P_n)$$

Để tiện lợi ta dùng bảng 11-2 để tính kết quả.

Trong bảng 11-2 những số ghi trong các ô là giá trị chi phí nhiên liệu tổng của hai tổ máy khi làm việc ứng với công suất P_1 và P_2 , nghĩa là tổng của các giá trị ở cột B_1 và hàng B_2 .

Ứng với mỗi giá trị phụ tải $P_n = P_1 + P_2$ ta có các giá trị $(B_1 + B_2)$ theo các ô trên đường chéo. Từ các giá trị này ta chọn trị số cực tiểu, đó chính là $f_2(P_n)$. Trên bảng 11-2 những giá trị $f_2(P_n)$ được khoanh tròn. Ứng với các giá trị $f_2(P_n)$ ở cột P_2 ta có giá trị công suất P_2 tối ưu và khi đó $P_n = P_2 + P_1$.

Chẳng hạn khi $P_n = 10\text{MW}$, ta nhìn vào đường chéo ứng với $P_1 + P_2 = 10\text{MW}$, thấy rằng chi phí nhiên liệu cực tiểu khi vận hành hai tổ máy $f_2(10) = 6,5$ tấn/h và

$$P_2(10) = 4\text{MW, do đó}$$

$$P_1 = 10 - 4 = 6\text{MW}$$

Tương tự có

$$f_2(4) = 4,5 \text{ tấn/h}; P_2(4) = 0\text{MW}; P_1(4) = 4\text{MW}$$

$$f_2(6) = 5 \text{ tấn/h}; P_2(5) = 0\text{MW}; P_1(6) = 6\text{MW}...$$

Bảng 11-2

	P_1	0	2	4	6	8	10	12
P_2	B_1 B_2	2	3	3,5	4	5	6	8
0	1	3	4	4,5	5	6	7	9
2	2	4	5	5,5	6	7	8	10
4	2,5	4,5	5,5	6	6,5	7,5	8,5	10,5
6	4,5	6,5	7,5	8	8,5	9,5	10,5	12,5
8	5,5	7,5	8,5	9	9,5	10,5	11,5	13,5
10	7	9	10	10,5	11	12	13	15
12	9	11	12	12,5	13	14	15	17

Tiếp theo, cần xác định chi phí nhiên liệu cực tiểu cho 3 tổ máy, ứng với các giá trị P_{11} khác nhau. Ta có

$$f_3(P_{11}) = \min_{0 \leq P_3 \leq 12} \{B_3(P_3) + f_2(P_{11} - P_3)\}$$

trong đó $B_3(P_3)$ lấy từ bảng 11-1 và $f_2(P_{11} - P_3)$ là kết quả của bảng 11-2 với những giá trị $f_2(P_{11})$. Để tiện lợi ta dùng bảng 11-3 để xác định $f_3(P_{11})$ và $P_3(P_{11})$.

Phương pháp xác định chi phí nhiên liệu tổng

$$B_3(P_3) + f_2(P_{11})$$

tương tự như đối với trường hợp hai máy, nghĩa là cộng các giá trị f_2 theo cột B_3 theo hàng ta nhận được các trị số trong từng ô. Giá trị $f_3(P_{11})$ chính là trị số cực tiểu theo từng đường chéo, nghĩa là ứng với một giá trị phụ tải tổng $P_{11} = P_{12} + P_3$ nào đó và được khoanh tròn trên bảng 11-3. Ứng với $f_3(P_{11})$ là $P_3(P_{11})$.

Thí dụ ứng với $P_{11} = 14$ MW khi vận hành 3 tổ máy thì chi phí nhiên liệu cực tiểu

$$f_3(14) = 9,5 \text{ tấn/h và tương ứng có:}$$

$$P_3(14) = 4\text{MW}.$$

Như vậy ta đã tiến hành xong quá trình chuẩn bị.

Bây giờ với một giá trị P_{11} cho trước ta sẽ xác định được $f_3(P_{11})$ và P_3, P_2, P_1 .

Bảng 11-3

P_3	$P_{1,2}$		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
	B_2	f_2	3	4	4,5	5	6	6,5	7,5	8,5	10,5	11,5	13	15	17
0	3		6	7	7,5	8	9	9,5	10,5	11,5	13,5	14,5	16	18	20
2	3		6	7	7,5	8	9	9,5	10,5	11,5	13,5	14,5	16	18	20
4	3		6	7	7,5	8	9	9,5	10,5	11,5	13,5	14,5	16	18	20
6	4		7	8	8,5	9	10	10,5	11,5	12,5	14,5	15,5	17	19	21
8	5,2		8,2	9,2	9,7	10,2	11,2	11,7	12,7	13,7	15,7	16,7	18,2	20,2	22,2
10	6,7		9,7	10,7	11,2	11,7	12,7	13,2	14,2	15,2	17,2	18,2	19,7	21,7	23,7
12	10		13	14	14,5	15	16	16,5	17,5	18,5	20,5	21,5	23	25	27

Thí dụ có $P_{ft} = 20\text{MW}$. Từ bảng 11-3 ứng với đường chéo của $P_3 + P_{12} = 20\text{MW}$, tìm thấy $f_3(20) = 12,5$ tần/h. Ứng với giá trị $f_3(20)$ ta có:

$$P_3(20) = 6\text{MW} \text{ và}$$

$$P_{12}(20) = 14\text{MW}$$

trong đó $P_{12}(20)$ là công suất chung của hai tổ máy 1 và 2 khi phải phụ tải tổng là 20 MW.

Từ bảng 11-2 ứng với đường chéo có $P_1 + P_2 = 14\text{MW}$, tìm thấy $f_2(14) = 8,5$ tần/h và $P_2(14) = 4\text{MW}$ do đó $P_1 = 14 - 4 = 10\text{MW}$.

Như vậy ứng với $P_{ft} = 20\text{MW}$, phân phối tối ưu giữa 3 tổ máy là:

$$P_3 = 6\text{MW}; \quad P_2 = 4\text{MW}; \quad P_1 = 10\text{MW}.$$

Tương tự như vậy ta xét phân phối tối ưu công suất giữa 3 tổ máy ứng với các giá trị phụ tải tổng khác nhau và tìm được cơ cấu tối ưu các tổ máy ghi trong bảng 11-4 sau đây:

Bảng 11-4

P_{ft} [MW]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
f_3 [tần/h]	6	6	6	7	7,5	8	9	9,5	10,5	11,5	12,5	13,7	15,2	16,7	18,2	19,7	21,7	23,7	27
P_2 [MW]	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	8	10	10	12	12	12
P_1 [MW]	0	0	0	0	4	6	8	6		10	10	10	10	10	10	10	10	12	12
P_3 [MW]	0	2	4	6	4	4	4	4	4	4	6	8	10	8	8	8	10	10	12

Từ bảng 11-4 thấy rằng do tổ máy 3 tuy suất tiêu hao nhiên liệu có lớn (3 tần/h) nhưng suất tăng tiêu hao nhiên liệu ở giai đoạn đầu rất nhỏ so với tổ máy 2 và 1 (xem bảng 11-1) vì vậy tổ máy 3 được ưu tiên nhận công suất ở giai đoạn đầu.

Trên đây đã xét bài toán xác định cơ cấu làm việc tối ưu của các tổ máy và phân phối tối ưu công suất giữa chúng trong trường hợp không xét đến tổn hao nhiên liệu (hoặc nước) khi mở máy, nghĩa là theo thuật toán tối ưu ta cho các tổ máy mới có suất tăng tiêu hao nhiên liệu bé vào làm việc mà không so sánh với trường hợp tiếp tục cho tổ máy đang làm việc nhận thêm phụ tải, tuy có làm tăng chi phí nhiên liệu nhưng không mất lượng nhiên liệu để khởi động tổ máy mới. Sự so sánh đó sẽ được đề cập đến trong mục tiếp theo.

11-7. PHƯƠNG PHÁP QUI HOẠCH ĐỘNG XÁC ĐỊNH CƠ CẤU TỐI ƯU CÁC TỔ MÁY LÀM VIỆC KHI XÉT ĐẾN TỒN HAO MỞ MÁY.

Trong mục này lời giải tối ưu thỏa mãn cực tiểu chi phí nhiên liệu tổng, không những phụ thuộc vào số lượng tổ máy vận hành mà còn phụ thuộc vào trình tự cho mở máy các tổ máy đó.

Bài toán được đặt ra như sau:

Có lượng phụ tải tổng P_{ft} là một đại lượng biến đổi theo thời gian, theo qui luật hàm tất định hoặc được ghi chép trong bảng thống kê. Giá trị P_{ft} trong từng giai đoạn (giờ) được phân phối cho n tổ máy. Cần xác định số lượng tối ưu tổ máy làm việc ở mỗi giai đoạn và phân phối công suất tối ưu giữa chúng sao cho chi phí nhiên liệu tổng trong cả thời kì là cực tiểu, trong đó có xét đến tiêu hao nhiên liệu để khởi động các tổ máy ở từng giai đoạn.

Để tiện lợi cho quá trình giải, ta kí hiệu trạng thái của tổ máy ở mỗi giai đoạn bằng số 0 và 1. Trong đó số 1 chỉ tổ máy làm việc, số 0 chỉ tổ máy ngừng. Thí dụ hệ thống có 4 tổ máy, trạng thái các tổ máy ở giờ thứ 2 là $T_2 = 0110$, nghĩa là chỉ có tổ máy 2 và 3 làm việc v.v...

Từ đây thấy rằng, ngay ở mỗi giai đoạn (giờ) số phương án về trạng thái các tổ máy đã rất nhiều. Chẳng hạn hệ có 3 tổ máy thì ở mỗi giờ có thể có 8 phương án trạng thái sau: 001; 010; 100; 011; 110; 101; 111 và 000. Như vậy nếu có n tổ máy, mỗi tổ máy có 2 trạng thái, thì ở mỗi giờ số phương án trạng thái các tổ máy (tức là phương án cơ cấu) lên tới 2^n và trong cả thời kì khảo sát, chẳng hạn trong 24 giờ thì số phương án cơ cấu tổ máy lên tới $(2^n)^{24}$.

Tuy nhiên ở mỗi giai đoạn đều có thể loại bớt những phương án không cho phép thực hiện do những hạn chế về ràng buộc. Ngoài ra ta có thể sử dụng nguyên lí tối ưu của qui hoạch động mà ở đây thể hiện là: dù cho ở thời điểm (giai đoạn) hiện tại hệ ở trạng thái nào đó thì việc phân phối phụ tải cho những giai đoạn còn lại cũng phải tuân theo chỉ tiêu tối ưu, điều đó còn có thể hiểu là một bộ phận nào đó của sách lược tối ưu cũng là một sách lược con tối ưu.

Nhờ những hiểu biết trên đây khối lượng phương án cơ cấu và khối lượng tính toán được giảm đi rất nhiều. Để sáng tỏ về thuật toán giải quyết bài toán đã nêu, ta xét một thí dụ đơn giản sau đây mà lời giải tối ưu đạt được nhờ phương pháp quy hoạch động.

THÍ DỤ 11-5. Có nhà máy thủy điện gồm 3 tổ máy, làm việc với cột nước không đổi trong 6 giờ. Phụ tải của nhà máy điện thay đổi theo thời gian và được cho ở bảng 11-5. Đặc tính tiêu hao nước của từng tổ máy được cho trong bảng 11-6.

Bảng 11-5

Giờ thứ t	0	1	2	3	4	5	6
P_{ft} [MW]	0	3,5	10	12	20	13	0

Bảng 11-6.

P [MW]	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5
Q_1 [m ³ /s]	30,8	33,7	36,8	40,3	43,7	47,5	51,4	55,6	60,0	64,5	69,3	74,3	79,5	84,9	90,4	96,0	102,0
Q_2 [m ³ /s]	28,0	32,1	36,2	40,4	44,8	49,3	53,8	58,5	63,3	68,3	73,3	78,4	83,7	89,1	94,6	100,2	105,8
Q_3 [m ³ /s]	28,8	32,9	37,1	41,3	45,5	49,9	54,2	58,6	63,1	67,8	72,2	76,9	81,5	86,3	91,1	95,9	100,8

Từ bảng 11-5 thấy rằng: cơ cấu tổ máy ở giờ 0 và 6 đã biết, đó là 000 và 000, nghĩa là không tổ máy nào làm việc. Ở những giờ 1 đến 5, cơ cấu tổ máy có thể ở một trong 7 trạng thái sau:

001, 010, 100, 011, 101, 110, 111

Tuy nhiên ở một số thời điểm có những cơ cấu không thể thực hiện được. Chẳng hạn ở giờ thứ nhất, vì phụ tải tổng $P_{ft} = 3,5$ MW mà P_{min} của mỗi máy là 2,5MW nên chỉ cho chạy 1 máy nào đó, vì vậy loại bỏ những phương án cơ cấu làm việc 2 và 3 tổ máy (011, 101,...). Cũng như từ giờ thứ 3 trở đi, công suất $P_{ft} \geq 12$ MW mà công suất cực đại của mỗi tổ máy là 10,5MW, vậy phải thực hiện phân phối cho 2 hoặc 3 tổ máy.

Trong sơ đồ tính toán hình 11-4 những cơ cấu không thực hiện, được mô tả trong khung đứt nét, còn những ô vuông liền nét mô tả những cơ cấu có thể ở mỗi thời điểm. Mỗi ô vuông trên hình 11-4 gồm 3 ngăn: ngăn bên trái ghi phương án cơ cấu tổ máy, ngăn bên phải phía trên ghi tiêu hao nước trong giờ khảo sát ứng với cơ cấu đó, ngăn phải phía dưới ghi tổng tiêu hao nước bé nhất từ đầu cho đến giờ đó ứng với phương án cơ cấu này, có kể cả tổn hao nước để khởi động tổ máy nếu cần.

Giả thiết tiêu hao nước để mở máy lấy đều cho mỗi tổ máy bằng 7200 m³/h, nghĩa là $Q_{mm} = 2$ m³/s.

Trên hình 11-4 chỉ vẽ những đường chuyển theo những quá trình tối ưu, nghĩa là ứng với mỗi cơ cấu của giờ thứ t ta xét mọi đường đi từ các cơ cấu của giờ thứ $t-1$, so sánh với nhau về chi phí nước, chỉ giữ lại đường có chi phí cực tiểu từ một cơ cấu nào đó ở $t-1$ đến cơ cấu đang khảo sát ở t .

Sau đây giải thích một vài bước tính toán theo sơ đồ hình 11-4.

1) Từ giờ 0 sang giờ thứ nhất, có 3 phương án có thể: 000 → 001: tiêu hao nước của Q_3 ứng với $P_{ft} = 3,5$ MW là $Q_3 = 37,1$ m³/s và thêm $Q_{mm} = 2$ m³/s vậy $Q_{\Sigma} = 39,1$ m³/s. Những số liệu này được ghi trong ô đầu của giờ thứ 1.

Tương tự:

$$000 \rightarrow 010 : 36,2 + 1Q_{mm} = 38,2 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$000 \rightarrow 100 : 36,8 + 1Q_{mm} = 38,8 \text{ m}^3/\text{s}.$$

2) Từ giờ thứ nhất sang giờ thứ hai: có thể chuyển từ 3 cơ cấu trên đến 7 cơ cấu có thể ghi trên hàng ba hình 11-4. Ta xét từng cơ cấu của giờ thứ hai. Chẳng hạn cơ cấu 001 có thể do cơ cấu 001 hoặc 010 hoặc 100 ở giờ thứ nhất chuyển đến. Từ mỗi cơ cấu ở giờ thứ nhất chuyển đến cơ cấu 001 ở giờ thứ hai ứng với một chi phí nước như trong bảng 11-7.

	Đến cơ cấu giờ thứ hai: 001		
	Từ cơ cấu giờ thứ nhất		
	001	010	100
Tiêu hao nước ở giờ thứ nhất $[m^3/s]$	39,1	38,2	38,8
Tiêu hao nước trong giờ thứ hai $[m^3/s]$	$95,9 + 0Q_{mm}$	$95,9 + 1Q_{mm}$	$95,9 + 1Q_{mm}$
Tiêu hao nước tổng $[m^3/s]$	135	136,1	136,7

Trên bảng 11-7, ở giờ thứ hai với $P_{tt} = 10MW$ vì đang khảo sát cơ cấu 001 nên có $Q_3 = 95,9 m^3/s$, khi chuyển từ cơ cấu 010 hoặc 100 ở giờ thứ nhất đến thì phải ngừng tổ máy 2 hoặc 1 và mở tổ máy 3 với $Q_{mm} = 2m^3/s$, tất nhiên không tiêu hao nước (hoặc nhiên liệu) để ngừng tổ máy. Từ kết quả ở bảng 11-7 thấy rằng đối với cơ cấu 001 ở giờ thứ hai thì tối ưu là chuyển từ cơ cấu 001 ở giờ thứ nhất vì có $Q_{\Sigma min} = 135m^3/s$, vì vậy trên sơ đồ hình 11-4 chỉ giữ lại đường chuyển đó.

Đối với hai cơ cấu 010 và 100 ở giờ thứ hai được khảo sát hoàn toàn tương tự như đối với cơ cấu 001, kết quả tính toán được ghi trên hình 11-4.

Riêng đối với các cơ cấu có hai tổ máy làm việc trở lên, việc tính toán có phức tạp hơn: Để xác định tiêu hao nước trong giờ thứ hai, phải xét phân phối tối ưu phụ tải $P_{tt} = 10MW$ cho hai hoặc 3 tổ máy sao cho đạt $Q_{\Sigma} \rightarrow min$. Việc làm này có thể sử dụng phương pháp cân bằng suất tăng tiêu hao nước hoặc phương pháp qui hoạch động như ở mục trước. Kết quả được ghi ở các ô của giờ thứ hai hình 11-4.

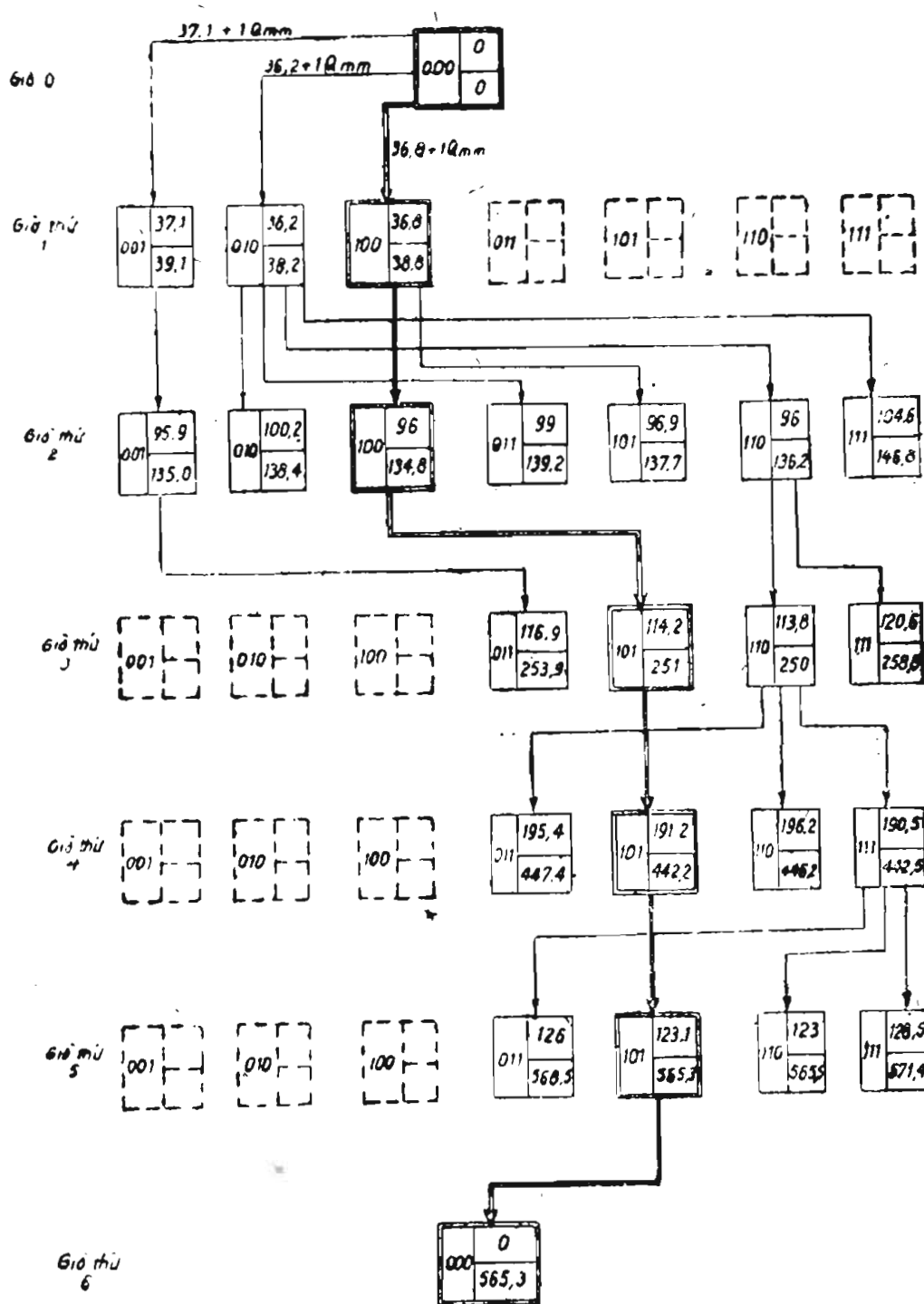
Ở đây cần chú ý rằng sau từng giờ ta đều biết được giá trị tiêu hao nước tổng cực tiểu từ đầu cho đến giờ đó, chẳng hạn ở giờ thứ nhất $Q_{\Sigma min} = 38,2m^3/s$, ở giờ thứ hai $Q_{\Sigma min} = 134,8 m^3/s$. Đó là những giá trị tối ưu cực bộ, điều ta quan tâm là giá trị $Q_{\Sigma min}$ sau 6 giờ làm việc, từ đấy mới xác định được sách lược tối ưu của bài toán.

Đối với các bước tiếp theo ở giờ thứ 3, 4, 5, 6 quá trình tính toán hoàn toàn tương tự. Kết quả được ghi lại trong các ô trên hình 11-4.

Trên hình 11-4 chỉ ghi tiêu hao nước khi chuyển từ giờ 0 sang giờ 1 có kể đến tổn hao mở máy, còn ở những giờ khác cách tính tương tự, kết quả đã ghi ở phía bên phải của các ô vuông.

Từ hình 11-4, thấy rằng sau 6 giờ làm việc, chi phí nước cực tiểu là $565,3 m^3/s$, nghĩa là ở giờ thứ 5 ứng với cơ cấu 101. Từ cơ cấu này đi trở về các giờ trên (giờ 4, 3, 2, 1, 0) xác định được con đường tối ưu dẫn đến cơ cấu 101 ở giờ 5. Đó chính là đường có hai nét trên hình 11-4. Rõ ràng muốn đạt được tối ưu tổng thể (trong cả 6 giờ) thì phải đi theo đường đó. Tất nhiên nếu số giờ khảo sát khác đi thì con đường tối ưu có thể khác. Một bộ phận bất kì

của con đường tối ưu từ $l = 0$ đến $l = 6$ cũng là tối ưu, vì chỉ có theo đúng bộ phận đó mới đạt được $Q_{\Sigma} \Rightarrow \min$ trong cả 6 giờ.



Hình 11-4

Con đường tối ưu trên hình 11-4 tạo nên sách lược cơ cấu tối ưu của 3 tổ máy thủy điện làm việc trong 6 giờ và trình bày trong bảng 11-8.

Bảng 11-8

Giờ thứ	0	1	2	3	4	5	6
Cơ cấu tối ưu	000	100	100	101	101	101	000

Tuy nhiên cần lưu ý là sách lược tối ưu trên đây chủ yếu nhằm giảm chi phí nhiên liệu mà chưa đề cập đến các chỉ tiêu khác như độ tin cậy cung cấp điện của toàn hệ chịu ảnh hưởng nhiều bởi số tổ máy làm việc cũng như những hạn chế kỹ thuật khác của các tổ máy v.v... Chẳng hạn theo sách lược tối ưu trên đây suốt trong 6 giờ tổ máy thứ hai đều không làm việc, như vậy có ảnh hưởng đến dự trữ nóng công suất cho hệ.

Việc nghiên cứu cơ cấu tối ưu các tổ máy trên nền tảng thỏa mãn đa chỉ tiêu là bài toán đáng quan tâm và hi vọng có dịp trình bày với độc giả.

11-8. NÓI THÊM VỀ ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP QUI HOẠCH ĐỘNG.

Trong các mục trên đây đã dẫn ra phương trình phiếm hàm Bellman dựa trên thuật toán truy trể để tìm sách lược tối ưu của quá trình nhiều bước và đề cập đến một số áp dụng xác định cơ cấu tối ưu của các tổ máy làm việc trong hệ thống điện.

Trong những năm gần đây việc áp dụng phương pháp qui hoạch động tìm lời giải tối ưu của quá trình nhiều bước rất được chú ý. Nguyên lý tối ưu của tinh thần qui hoạch động được sử dụng cố gắng giải quyết những bài toán qui hoạch nhiều bước trong trường hợp thiếu thông tin, khi đó quá trình được điều chỉnh theo phương hướng thích nghi.

Quá trình nhiều bước được hiểu rất rộng rãi, có thể là tập hợp các cơ cấu tổ máy của hệ thống điện theo thời gian vận hành, có thể là quá trình phát triển của hệ thống điện qua các năm khác nhau của thời gian qui hoạch, có thể là các tầng khác nhau của một tên lửa nhiều tầng, có thể là kế hoạch sản xuất nhiều năm của một tổ chức kinh tế v.v...

Sau đây trình bày thêm một vài vấn đề về áp dụng tinh thần qui hoạch động trong việc xác định lời giải tối ưu.

1. Mô tả bài toán qui hoạch phát triển hệ thống điện.

Bài toán có thể phát biểu như sau:

Ở thời điểm bắt đầu qui hoạch, hệ thống điện đang ở một trạng thái nào đó. Cần xác định một sách lược (kế hoạch) phát triển tối ưu hệ thống điện trong T năm nhằm thỏa mãn mục tiêu chi phí tính toán tổng là cực tiểu.

Trạng thái của hệ thống điện được hiểu tổng quát là tập hợp các tham số đặc trưng cho cấu trúc và chức năng của hệ ở thời điểm khảo sát, chẳng hạn tổng công suất, cơ cấu tổ máy cấp điện áp tải điện, tổng vốn đầu tư, tổng tổn thất điện năng trong hệ thống v.v...

Ở mỗi năm hệ thống điện có thể nhận những trạng thái khác nhau, đó chính là các phương án của hệ thống ở năm đó.

Tập hợp kế tiếp các trạng thái từ năm đầu ($t = 0$) đến năm cuối của thời gian qui hoạch ($t = T$) tạo thành một dãy quyết định hoặc còn gọi là một sách lược phát triển hệ thống điện. Sách lược thỏa mãn một (hoặc nhiều) chỉ tiêu đề ra gọi là sách lược tối ưu.

Mỗi sách lược phát triển hệ thống điện trong T năm ứng với một chi phí tính toán $Z(T)$. Giá trị $Z(T)$ phụ thuộc vào chi phí tính toán của hệ ở những

trạng thái kế tiếp $Z(t)$; $t = 1, 2, \dots, T$ và chi phí tính toán phụ $Z(t-1, t)$ để chuyển hệ thống điện từ trạng thái ở $(t-1)$ đến t .

Như vậy $Z(T)$ có thể biểu diễn trong dạng:

$$Z(T) = \sum_{t=1}^T \{ Z(t-1, t) + Z(t) \} \quad (11-33)$$

Sách lược tối ưu phát triển hệ thống điện trong T năm có chi phí tương ứng

$$f(T) = \min Z(T) \quad (11-34)$$

Từ đây thấy rằng bài toán phát triển tối ưu hệ thống điện có thể mô tả tương tự như bài toán xác định cơ cấu tối ưu các tổ máy trong một số bước thời gian như đã trình bày ở mục trước. Trong đó chi phí phụ để chuyển trạng thái (đầu tư xây dựng mới và cải tạo) được xem như tổn hao mở máy; còn chi phí tính toán ở trạng thái t được xem là tiêu hao nước (hoặc nhiên liệu) ứng với cơ cấu ở thời điểm đó. Như vậy có thể sử dụng nguyên lý tối ưu của qui hoạch động thông qua những thuật toán đã trình bày ở mục trước để giải.

Cũng như bài toán xác định cơ cấu làm việc tối ưu các tổ máy, nếu sách lược tối ưu lựa chọn trên cơ sở liệt kê mọi sách lược cho phép thì khối lượng sẽ rất lớn, vì nếu quá trình qui hoạch $T = n$ năm mà mỗi năm hệ thống có thể nhận k trạng thái, thì số sách lược cho phép S lên tới

$$S = k^n$$

Chẳng hạn $n = 10$ năm, $k = 4$ thì $S = 4^{10} > 10^6$

Nhưng nhờ áp dụng tinh thần của nguyên lý tối ưu nên có thể giảm số phương án cần xét một cách đáng kể. Ở mỗi trạng thái ở bước t ta chỉ giữ lại đường chuyển tối ưu từ một trạng thái nào đó trong tất cả các trạng thái ở bước $t-1$, tiếp tục như vậy cho đến bước $t = T$, dựa trên giá trị cực tiểu chi phí tính toán tổng sau T bước, ta xác định được con đường phát triển (sách lược) tối ưu từ trạng thái ban đầu đến một trạng thái nào đó ở bước $t = T$ (cách làm như đã trình bày trên hình 11-4 trong đó các ô được xem như các trạng thái cho phép của hệ thống điện tại các bước $t = 1, 2, \dots, T$). Về những vấn đề phát triển tối ưu mạng điện theo phương pháp qui hoạch động giả có thể tham khảo ở [TK-20].

2. Tính bất định của thông tin ban đầu.

Trong tất cả các mục của chương này khi khảo sát ta đều đặt bài toán trong khung cảnh bất định, nghĩa là những thông tin ban đầu về bài toán đều đầy đủ. Chẳng hạn khi nghiên cứu về sách lược tối ưu sản xuất mặt hàng A và B của một xí nghiệp trong thời gian n năm [xem mục 11-2] ta đều giả thiết có sự xác định hoàn toàn về những số liệu ban đầu như hàm lợi nhuận $g(x)$ do mặt hàng A đem lại, hoặc hàm $h(X-x)$ do mặt hàng B đem lại, cũng như giả thiết về tính bất định của những tỉ lệ vốn còn lại sau từng năm của mặt hàng A và B là a và b . Cũng như trong bài toán xét cơ cấu tối ưu các tổ máy những số liệu về tiêu hao nhiên liệu và những chi phí khác đều giả thiết là bất định.

Trong thực tế mọi dự đoán đều chịu tác động của nhiều yếu tố ngẫu nhiên và chính do sự hiểu biết không đầy đủ của ta về đối tượng khảo sát mà ta vẫn thường gọi một cách tế nhị là đối tượng có tính « bất định », buộc ta phải có những thông tin tức thời về thực tiễn để xác định sách lược tối ưu một cách đúng đắn. Đó chính là yêu cầu thích nghi đối với sách lược.

Bài toán trở nên phức tạp khi phải xác định được sách lược tối ưu khi kết cục của mọi hoạt động là bất định.

Trước hết thấy rằng không thể tìm, chẳng hạn giá trị cực đại về lợi nhuận của xí nghiệp sau n năm, vì đại lượng đó là ngẫu nhiên, phụ thuộc nhiều yếu tố. Ở đây phải chuyển sang tìm cực đại giá trị trung bình (hoặc kì vọng toán) của lợi nhuận tổng sau n năm.

Với tinh thần đó bài toán xác định sách lược tối ưu sản xuất của xí nghiệp cần bổ sung những điều kiện sau đây:

1) Khi sản xuất mặt hàng A từ lượng nguồn vốn x , với xác suất p_1 ta thu được lợi nhuận $g_1(x)$ và số vốn còn lại sau năm đầu là a_1x . Như vậy với xác suất $p_2 = (1 - p_1)$ ta thu được lợi nhuận $g_2(x)$ và số vốn còn lại là a_2x .

2) Tương tự như vậy, đối với mặt hàng B với số nguồn vốn $(X - x)$:

Với xác suất q_1 ta có $h_1(X - x)$ và $b_1(X - x)$

Với xác suất $q_2 = (1 - q_1)$ có $h_2(X - x)$ và $b_2(X - x)$

Những hằng số trên đây thỏa mãn điều kiện:

$$0 < a_1, a_2, b_1, b_2 < 1$$

Để đơn giản, ta khảo sát quá trình vô hạn, nghĩa là số năm $n \rightarrow \infty$. Khi đó lợi nhuận cực đại của xí nghiệp với lượng nguồn vốn ban đầu X là $f(X)$ có dạng

$$f(X) = \lim_{n \rightarrow \infty} f_n(X) \quad (11-35)$$

trong đó $f_n(X)$ là lợi nhuận cực đại sau n năm với lượng nguồn vốn ban đầu X .

Trong trường hợp này $f(X)$ như là kì vọng toán của lợi nhuận khi nguồn vốn ban đầu X nhờ sách lược sản xuất tối ưu mặt hàng A và B. Bằng cách lập luận của tinh thần qui hoạch động, giá trị $f(x)$ được biểu diễn trong phương trình phiếm hàm sau:

$$\begin{aligned} f(X) = \max_{0 \leq x \leq X} \bigg\{ & p_1 q_1 [g_1(x) + h_1(X - x) + f[a_1x + b_1(X - x)]] + \\ & + p_1 q_2 [g_1(x) + h_2(X - x) + f[a_1x + b_2(X - x)]] + \\ & + p_2 q_1 [g_2(x) + h_1(X - x) + f[a_2x + b_1(X - x)]] + \\ & + p_2 q_2 [g_2(x) + h_2(X - x) + f[a_2x + b_2(X - x)]] \bigg\} \quad (11-36) \end{aligned}$$

Phương trình (11-36) với những hệ số đã biết, sẽ được khảo sát như trong trường hợp tất định. Như vậy thấy rằng: sau khi đưa vào khái niệm kì vọng toán học ta chuyển về quá trình tất định để khảo sát.

Tuy nhiên việc xác định sách lược tối ưu của quá trình nhiều bước khi tồn tại, những bất định là một bài toán phức tạp nằm trong khung cảnh của lý thuyết điều khiển tối ưu khi quá trình có nhiễu. Hệ thống điện cũng như những hệ thống kinh tế — kỹ thuật khác luôn luôn đòi hỏi được quản lý dựa trên việc giải quyết những bài toán như vậy.

Hy vọng một số giải đáp về những vấn đề này độc giả có thể tìm thấy trong các công trình chuyên khảo.

3. Phương hướng điều khiển thích nghi của qui hoạch động.

Thực chất của việc xác định sách lược tối ưu của quá trình nhiều bước là xây dựng những quyết định để điều khiển quá trình khảo sát đi đến mục tiêu đề ra (lợi nhuận n năm là cực đại, chi phí nhiên liệu sau T giờ là cực tiểu v.v...) Nói cách khác điều khiển tối ưu một quá trình nào đó là luôn giữ nó ở trạng thái qui định. Vì trong quá trình khảo sát tồn tại bất định nên trạng thái của hệ khó giữ mãi ở vị trí tối ưu. Để điều khiển trạng thái hệ về vị trí tối ưu phải có chi phí. Chi phí này gồm hai bộ phận: bộ phận thứ nhất phụ thuộc vào độ sai lệch giữa trạng thái khảo sát và trạng thái tối ưu. Bộ phận chi phí thứ hai tỉ lệ với vốn đầu tư cho bản thân các phương tiện điều khiển. Mục tiêu của điều khiển tối ưu là hệ luôn ở trạng thái yêu cầu với tổng chi phí, bao gồm cả hai bộ phận, là cực tiểu.

Thí dụ: mục tiêu của việc điều khiển tối ưu chất lượng điện áp tại các nút phụ tải trong hệ thống điện là xây dựng một sách lược nhằm luôn luôn giữ giá trị điện áp bằng giá trị yêu cầu với chi phí về thiệt hại kinh tế do lệch điện áp và chi phí đầu tư các thiết bị điều chỉnh (máy bù đồng bộ, tụ điện v.v...) là cực tiểu. Mục tiêu của việc điều khiển tối ưu độ tin cậy cung cấp điện là luôn luôn đảm bảo để xác suất ngừng cung cấp điện không lớn hơn một giá trị qui định khi chi phí tổng, bao gồm thiệt hại kinh tế do mất điện và vốn đầu tư về dự trữ trong hệ thống, là cực tiểu v.v...

Tổng quát bài toán điều khiển tối ưu có thể phát biểu một cách sơ lược như sau:

Giả thiết trạng thái của hệ được mô tả bởi vector $\vec{x}(t)$ thỏa mãn phương trình dạng:

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = A\vec{x} + \vec{f}(t) \quad (11-37)$$

$$\vec{x}(0) = \vec{c} \quad (11-30')$$

trong đó A là ma trận hằng

$\vec{f}(t)$ là vector đại lượng điều khiển

$\vec{x}(0)$ là vector trạng thái ban đầu của hệ

$\vec{c}$ là vector hằng.

Giả thiết $\vec{x}^*(t)$ là vector trạng thái yêu cầu (tối ưu) của hệ, $F(\vec{x}^* - \vec{x})$ là phiên hàm đánh giá chi phí về độ lệch giữa $\vec{x}^*$ và $\vec{x}$.

Giả thiết $G(\vec{f})$ là phiên hàm đánh giá chi phí về các phương tiện điều khiển.

Khi đó chi phí tổng bằng

$$J(\vec{f}, \vec{c}) = F(\vec{x}^* - \vec{x}) + G(\vec{f}) \quad (11-39)$$

Bài toán đặt ra là: phải chọn $\vec{f}(t)$ sao cho đạt min $J(\vec{f}, \vec{c})$. Đây là lớp các bài toán biến phân mà mức độ phức tạp tùy thuộc vào các lớp phiên hàm trong biểu thức (11-39).

Phương pháp qui hoạch động cùng với khả năng của các máy tính số trong nhiều trường hợp đã giúp ta tìm lời giải bằng số của những bài toán điều khiển trên đây một cách nhanh chóng mà mấy chục năm về trước nhiều nhà toán học đã phải lùi bước.

Ngoài ra nhờ nguyên lý tối ưu của phương pháp qui hoạch động: «Hãy hành động theo cách tốt nhất đối với tình huống đã cho» ta có thể xây dựng những thuật toán, qui tắc, thủ tục để tìm lời giải của những bài toán điều khiển ngẫu nhiên và bất định (khi đó ở phương trình trạng thái của hệ (11-37) có thêm thành phần nhiễu).

Một nguyên tắc quan trọng của việc điều khiển khi tồn tại ngẫu nhiên và bất định là dựa trên thông tin tức thời liên hệ ngược từ đối tượng và từ đó sách lược điều khiển nhằm làm thích nghi hành vi của đối tượng với sự thay đổi của ngoại cảnh. Nói cách khác vì sự hiểu biết của ta về đối tượng lúc đầu còn ít, chưa đủ, nhưng theo thời gian, sự hiểu biết đó được bổ sung và nhờ những thông tin bổ sung đó ta thay đổi biện pháp điều khiển, thay đổi cấu trúc của hệ v.v... nhằm dắt dẫn hệ đến mục tiêu đã qui định, nghĩa là tạo cho hệ những hành vi mềm dẻo và làm cho hệ trở thành luôn bất biến với những thay đổi (nhiều) của ngoại cảnh.

Những bài toán về điều khiển thích nghi hệ thống diện trong qui hoạch, thiết kế và vận hành khi xét đến tính bất định của bản thân đối tượng và môi trường hiện đang được quan tâm nhiều trong ngành năng lượng. Trong tập III sẽ trình bày một số cơ sở phương pháp luận của vấn đề này và những áp dụng bước đầu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] ВЕНИКОВ. В.А. (под редакцией). электрические системы. высшая школа, москва, 1974. том 5.

[2] ГУК.Ю.П., Многоцелевая оптимизация структуры энергетических систем, энергетика и транспорт, N-1-1973

[3] ЕРМИЛОВ А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий, энергия, Москва, 1968.

[4] ХОХЛОВ В.Х., Экономика строительства и эксплуатации электрических сетей, энергия, Москва, 1968

- [5] NEUMAN V., Theory of games and economic behaviour, princeton, New york 1944.
- [6] HÀ NGOC TRAC. Thiết kế và vận hành hệ thống điện, giáo trình ĐHBK Hà nội, 1973.
- [7] ĐẶNG NGỌC DINH, Bài giảng lớp bồi dưỡng sau đại học, ĐHBK Hà Nội, 1977, Bài giảng quy hoạch, thiết kế hệ thống điện ĐHBK Hà Nội, 1971, 1977
- [8] АОКИ.М. Введение методы оптимизации, наука, Москва, 1977.
- [9] ВЕНЦЕЛЬ.Е.С., Исследование операций, советское радио, Москва, 1972
- [10] DENIS J.B. Mathematical programming and electrical networks, New york, 1959 (Bản tiếng Nga, 1961).
- [11] МАРКОВИЧ.И.М. Режимы энергетических систем, энергия, Москва, 1969
- [12] WALTER J., Operacni vyzkum, SNTL, Praha, 1973.
- [13] HADLEY G. Nonlinear and dynamic programming, New york, 1964.
- [14] Từ điển toán học, Khoa học và kỹ thuật, Hà nội, 1977
- [15] GASS. S. Linear programming (Methods and applications), Macaraw, 1961
- [16] КВЗНЕЦОВ Ю.Н. другие, математическое программирование, высшая школа, Москва 1976
- [17] МАРКОВИЧ И.М. Шарнопольский, об одной возможности использования обобщенной транспортной задачи для определения оптимальной эл сети, изв АН, ссср, энергетика и транспорт, N°5—1967.
- [18] ЛАЗЕБНИК А.И. Применение метода ветвей границ для выбора оптимальной эл сети, изв. АН ссср, энерг.-и. транспорт N°2-1969
- [19] Luận án tốt nghiệp kỹ sư ngành phát dẫn điện, ĐHBK Hà nội (Nguyễn Minh Chức—1970, Lê Hồng Việt—1970)
- [20] ДАЛЕ В.А. другие, динамическое программирование Врасчетах развития эл сетей, зинатне, Рига 1969
- [21] EDWIN F. Beckenbach, Modern Mathematics for the engineer, 1956 (Bản tiếng Việt) N.X.B. Đại học và THCN, Hà nội 1977).
- [22] BELLMAN R, and DREY FUS S. Applied dynamic programming, Princeton, New york, 1962

- PHẦN THỨ BA

TẢI ĐIỆN ĐI XA VÀ ỔN ĐỊNH CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

Trong phần này ngoài những định nghĩa về thông số chế độ và thông số phần tử, đã khảo sát những chế độ làm việc bình thường và đặc biệt của đường dây tải điện đi xa dựa trên phương trình đường dây thông số rải. Đã nêu một số nội dung thiết kế đường dây tải điện đi xa.

Phẩm chất ổn định của hệ thống điện được khảo sát trong chế độ làm việc bình thường (lĩnh) dựa trên đường đặc tính công suất và chế độ có sự cố (động) dựa trên phương pháp điện tích và phân đoạn liên tiếp nhằm xác định thời gian giới hạn cắt sự cố.

Bài toán tổng quát về ổn định được khảo sát theo phương pháp trực tiếp của Ljapunov và áp dụng để khảo sát ổn định động của hệ thống điện.

Chương mười hai

HỆ THỐNG, TẢI ĐIỆN ĐI XA VÀ CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC

12.1. HỆ THỐNG ĐIỆN

1. Hệ thống điện

Là tập hợp bao gồm các nguồn điện và các phụ tải điện được nối liền với nhau bởi các trạm biến áp, trạm cắt, trạm biến đổi dòng điện và mạng điện với các cấp điện áp định mức khác nhau.

Hệ thống điện làm nhiệm vụ sản xuất, chuyển tải và sử dụng điện năng. Hệ thống điện là một bộ phận của hệ thống năng lượng và thuộc trong hệ thống kinh tế quốc dân.

Mỗi thiết bị cấu thành hệ thống điện được gọi là *phần tử của hệ thống điện*. Có những phần tử trực tiếp sản xuất, biến đổi, truyền tải và tiêu thụ điện năng như: máy phát điện, máy biến áp, máy biến đổi dòng điện, dây dẫn các loại... Có các phần tử giữ nhiệm vụ điều khiển, điều chỉnh và bảo vệ quá trình sản xuất và phân phối điện năng như: tự động điều chỉnh kích thích, bảo vệ rơ le, máy cắt điện...

Mỗi phần tử của hệ thống điện được đặc trưng bằng các thông số, các thông số này xác định bởi các tính chất vật lý, sơ đồ nối các phần tử và nhiều điều kiện giản ước tính toán khác. Nói chung các thông số của các phần tử có giá trị phụ thuộc vào chế độ công tác của hệ thống điện, song trong nhiều trường hợp thực tế có thể xem các thông số đó là bất biến, điều này làm dễ dàng cho việc khảo sát hệ thống điện lực.

Các thông số của các phần tử của hệ thống điện lực được gọi là các *thông số của hệ thống điện*. Ví dụ về các thông số của hệ thống điện là: tổng trở, tổng dẫn của đường dây, máy biến áp, hệ số biến áp, hệ số khuếch đại của thiết bị điều chỉnh kích thích...

Các phần tử, cách sắp xếp và mối liên hệ qua lại giữa chúng xác định *cấu trúc của hệ thống điện*.

Tập hợp các quá trình tồn tại trong hệ thống điện và xác định trạng thái làm việc của nó trong một thời điểm hoặc một khoảng thời gian nào đó gọi là *chế độ của hệ thống điện*.

Chế độ của hệ thống điện được đặc trưng bởi các chỉ tiêu định lượng về trạng thái làm việc của nó. Các chỉ tiêu đó là công suất tác dụng và công suất phản kháng, điện áp, dòng điện, tần số, góc lệch pha giữa các vectơ sức điện động... Các chỉ tiêu này được gọi là các *thông số của chế độ*. Các thông số của chế độ chỉ xuất hiện khi hệ thống điện làm việc. Trái với các thông số hệ thống, các thông số chế độ biến đổi không ngừng theo thời gian, tuân theo các qui luật ngẫu nhiên. Nhiều thông số của các chế độ công tác bình thường của hệ thống điện, trong nhiều điều kiện tuân theo luật phân bố chuẩn. Ví dụ: phụ tải điện, điện áp của mạng điện phân phối...

Các thông số chế độ có quan hệ nhân quả đối với nhau, xác định lẫn nhau thông qua các thông số của hệ thống. Ví dụ:

$$U = I \cdot R; P = \frac{U^2}{R}; \Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R.$$

Như vậy các thông số hệ thống và thông số chế độ quan hệ mật thiết với nhau, tác động qua lại lẫn nhau. Khi các thông số hệ thống thay đổi sẽ làm thay đổi các thông số chế độ, điều này được sử dụng để điều khiển các chế độ của hệ thống điện. Các thông số của chế độ thay đổi cũng làm cho các thông số hệ thống thay đổi. Chẳng hạn, điện kháng của đường dây phụ thuộc vào tần số của dòng điện đi trên đó. Song sự phụ này nhỏ nên chỉ cần xét đến trong các trường hợp đặc biệt như khảo sát chế độ không đồng bộ.

Các chế độ làm việc của hệ thống điện có thể chia làm hai loại: chế độ xác lập và chế độ quá độ.

Chế độ xác lập là chế độ trong đó các thông số của chế độ thực tế không thay đổi theo thời gian. Có chế độ xác lập bình thường và chế độ xác lập sau sự cố.

Chế độ quá độ là chế độ trong đó các thông số chế độ biến thiên mạnh theo thời gian (ngắn mạch, dao động công suất của các máy phát...).

Đối với chế độ xác lập bình thường là chế độ làm việc thường xuyên của hệ thống điện nên yêu cầu phải đảm bảo độ tin cậy, chất lượng điện năng và các chỉ tiêu kinh tế. Đối với chế độ xác lập sau sự cố các yêu cầu trên đây được giảm đi, song chế độ này không được kéo dài mà phải nhanh chóng chuyển về chế độ bình thường.

Đối với các chế độ quá độ yêu cầu phải kết thúc nhanh bằng các chế độ xác lập và các thông số chế độ biến thiên trong giới hạn cho phép.

Như vậy độ tin cậy cung cấp điện, chất lượng điện năng, tính kinh tế là các chỉ tiêu cơ bản để đánh giá chế độ làm việc cũng như cấu trúc của hệ thống điện trong chế độ làm việc bình thường. Còn thời gian quá độ và biên độ của các thông số chế độ là chỉ tiêu chủ yếu để đánh giá các chế độ quá độ.

2. Đặc điểm công tác của hệ thống điện.

1) Sự sản xuất, truyền tải, phân phối và sử dụng điện năng xảy ra tức thời. Do không có phương tiện dự trữ điện năng nên phụ tải tiêu thụ bao nhiêu năng lượng thì đồng thời nguồn điện sản xuất ra bấy nhiêu và truyền tải đến phụ tải theo mạng điện. Trong quá trình sản xuất, truyền tải và tiêu thụ một phần điện năng bị mất mát do phát nóng dây dẫn, rò điện và vãng quang.

Sự cân bằng công suất giữa nguồn điện và hộ tiêu thụ được thực hiện một cách tự nhiên. Khi công suất của nguồn điện giảm đi thì công suất tiêu thụ của phụ tải cũng tự động giảm đi theo và ngược lại, nhưng khi đó chất lượng điện năng là điện áp và tần số bị thay đổi.

Công suất tác dụng của nguồn điện cung cấp cho phụ tải được xem là đủ khi tần số của hệ thống điện bằng định mức, 50 hay 60 Hz. Còn công suất phản kháng được xem là đủ khi điện áp của hệ thống điện nằm trong giới hạn cho phép. Khi thiếu công suất, tần số và điện áp sẽ giảm xuống, chất lượng điện năng bị xấu đi. Để đảm bảo chất lượng điện năng của hệ thống điện và điều chỉnh nó, đòi hỏi trong hệ thống điện luôn luôn có đủ công suất tác dụng và phản kháng, muốn thế cần phải có một lượng công suất dự trữ.

2) Các quá trình trong hệ thống điện xảy ra rất nhanh chóng, vì vậy cần phải có các thiết bị tự động tác động rất nhanh để điều khiển và bảo vệ hệ thống điện.

3) Hệ thống điện cung cấp năng lượng cho tất cả các ngành kinh tế quốc dân và sinh hoạt của nhân dân, vì thế sự phát triển của hệ thống điện phải kịp thời đáp ứng yêu cầu về năng lượng ngày càng tăng của đất nước. Muốn vậy sự phát triển của hệ thống điện phải vượt trước một bước so với sự phát triển của các ngành kinh tế khác.

Các đặc điểm trên đây cần được quán triệt đầy đủ trong công tác qui hoạch, thiết kế và vận hành hệ thống điện.

Xu hướng phát triển của hệ thống điện là từ các nhà máy điện riêng rẽ cung cấp điện riêng rẽ cho các khu vực phụ tải độc lập, các nhà máy điện và

các phụ tải được nối liền với nhau thành các hệ thống khu vực và cuối cùng các hệ thống này được nối liền bằng các đường dây dài thành hệ thống điện thống nhất quốc gia.

Việc thành lập các hệ thống điện khu vực và hệ thống điện thống nhất quốc gia mang lại những lợi ích sau đây:

1) Tăng cường độ tin cậy cho các phụ tải. Các phụ tải lớn quan trọng có thể nhận điện từ nhiều nhà máy điện khác nhau.

2) Có thể sử dụng một cách kinh tế các nguồn nhiên liệu khác nhau (than đá, thủy năng, dầu mỏ, năng lượng nguyên tử...) bằng cách phân bổ kinh tế công suất cho các nhà máy điện. Có thể thực hiện các chế độ vận hành có lợi nhất cho các loại nhà máy điện.

3) Giảm được đáng kể công suất dự trữ trong hệ thống điện. Cho phép xây dựng các nhà máy điện có tổ máy công suất lớn có các đặc tính kinh tế cao.

4) Cho phép sử dụng cao hơn công suất đặt của các nhà máy điện do đồ thị phụ tải của hệ thống điện được san bằng hơn so với đồ thị phụ tải của từng phụ tải riêng rẽ.

Hệ thống điện làm việc liên tục và không ngừng phát triển.

Trong khi làm việc hệ thống điện chịu tác động của các yếu tố ngẫu nhiên tuân theo các luật phân bố khác nhau (sự biến động ngẫu nhiên của phụ tải, các quá trình hỏng hóc do tác động lên các thiết bị quá điện áp, ngắn mạch...); đồng thời hệ thống điện khi vận hành đòi hỏi phải đạt được nhiều chỉ tiêu đồng thời (chất lượng điện năng, độ tin cậy, tính kinh tế).

Hệ thống điện phát triển trong điều kiện bất định do các yếu tố ngoại cảnh trong tương lai là không biết trước một cách chắc chắn.

Tóm lại hệ thống điện là hệ thống đa chỉ tiêu, vận hành dưới tác động của các yếu tố ngẫu nhiên và phát triển trong điều kiện bất định. Do đó việc xây dựng được một cấu trúc của hệ thống điện có tính thích nghi cao, tìm được các phương pháp và phương tiện điều khiển tốt nhất sự phát triển hành vi của hệ thống điện là một việc khó khăn phức tạp. Trong các lĩnh vực này nói chung đã đạt được một số thành tựu và công tác nghiên cứu đang phát triển mạnh. Những vấn đề liên quan đến lĩnh vực này sẽ được đề cập ở tập III của bộ sách.

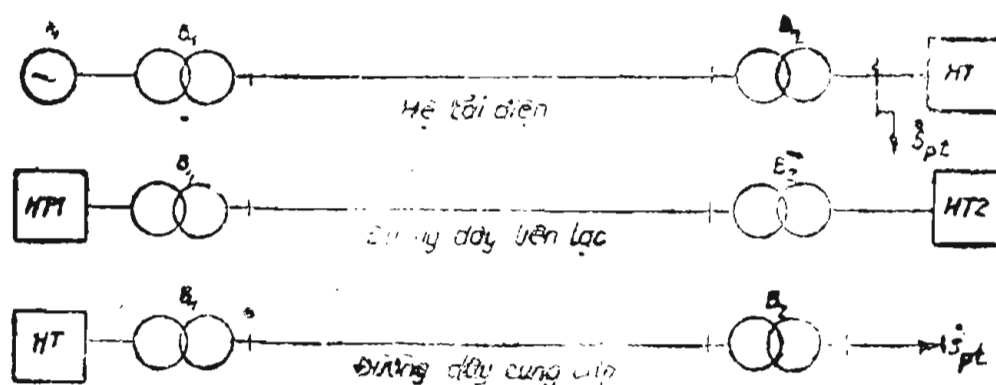
12-2. TẢI ĐIỆN ĐI XA

Sự phát triển của hệ thống điện thường gặp phải tình hình là nguồn nhiên liệu để sản xuất điện năng nhiều khi ở rất xa trung tâm tiêu thụ điện. Do đó vấn đề đặt ra là nên vận chuyển nhiên liệu đến trung tâm phụ tải rồi sản xuất điện, hoặc sản xuất điện ở chỗ có nhiên liệu rồi truyền tải điện năng về trung tâm phụ tải. Đối với các nguồn thủy điện thì đương nhiên là phải truyền tải điện năng. Còn đối với các nguồn nhiên liệu khác thì với các phương tiện và kỹ thuật vận tải như hiện nay thường việc tải điện năng kinh tế hơn, nhất là với các loại nhiên liệu có nhiệt độ thấp. Vì các lý do đó xuất hiện trong hệ thống điện các đường dây tải điện dài hoặc rất dài nối liền các nhà máy điện ở xa với các trung tâm tiêu thụ điện, các nhà máy điện này cùng với các đường dây dài tạo thành *hệ tải điện đi xa*.

Mặt khác do sự phát triển rộng lớn về địa dư, việc nối liền các khu vực khác nhau của hệ thống điện hoặc nối các hệ thống điện khác nhau của cả nước cũng cần có các đường dây tải điện dài. Các đường dây loại này được gọi là các *đường dây liên lạc*. Đường dây liên lạc chuyên tải điện năng qua lại giữa các miền khác nhau của hệ thống điện thống nhất. Nếu khả năng tải của các đường dây này tương đương với công suất phát của các miền thì được gọi là *đường dây liên lạc mạnh*, còn khi khả năng đó chỉ bằng 10 -- 15% của miền có công suất nhỏ nhất thì gọi là *đường dây liên lạc yếu*.

Ngoài ra cũng có trường hợp dùng đường dây dài cung cấp điện cho phụ tải có công suất lớn ở xa hệ thống điện mà việc xây dựng nguồn điện ở đó không kinh tế

Sơ đồ các loại đường dây tải điện xoay chiều đi xa trên đây được trình bày trên hình vẽ 12-1.



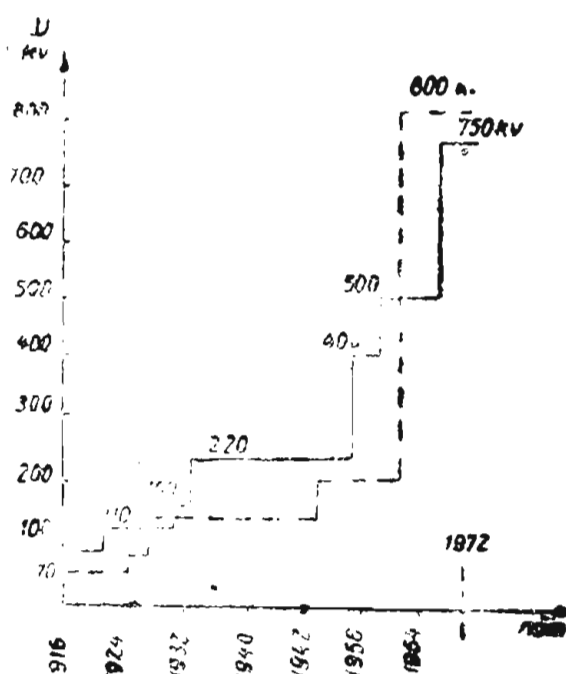
Hình 12-1

Việc truyền tải điện năng công suất lớn đi xa đòi hỏi điện áp của đường dây tải điện phải rất cao. Các đồ thị trên hình 12-2 cho thấy sự phát triển của điện áp một chiều và xoay chiều từ năm 1916 đến năm 1972 [1].

Hiện nay ở các nước công nghiệp lớn đang nghiên cứu và thiết kế các đường dây tải điện xoay chiều 1000 — 1200kV và một chiều từ 1500 đến 2000kV.

Khả năng tải điện của các đường dây tải điện xoay chiều điện áp cao ở phạm vi sau đây:

Với điện áp 110 kV	khả năng tải	30 MW
— 220 kV	—	120 MW
— 330 kV	—	450 MW
— 400 kV	—	550 MW
— 500 kV	—	850 MW
— 750 kV	—	2000 MW
— 1000 kV	—	4000 MW



Hình 12-2

Các giá trị trên đây tương ứng với độ dài tải điện dưới 1000 km.

Khả năng tải điện bằng dòng điện một chiều còn lớn hơn nữa, nó tùy thuộc vào công suất của các thiết bị biến đổi dòng điện.

Việc sử dụng điện áp cao (≤ 220 kV) hoặc siêu cao (> 220 kV) xoay chiều đi xa gặp phải những vấn đề kỹ thuật phức tạp mà ở các cấp điện áp thấp đường dây ngắn không hề có. Việc giải quyết những vấn đề này làm giảm đi rất nhiều tính kinh tế của việc tải điện đi xa bằng dòng điện xoay chiều điện áp cao.

Gắn liền với điện áp cao là hiện tượng vàng quang điện gây ra tổn thất điện năng rất lớn. Khi điện áp từ 80 kV trở lên, vàng quang điện là yếu tố chủ yếu để lựa chọn tiết diện dây dẫn và là yếu tố quan trọng quyết định khoảng cách giữa chúng nhằm giảm tổn thất điện năng đến mức chấp nhận được. Bởi vậy tiết diện dây dẫn thường phải chọn rất lớn. Dùng dây dẫn đặc tiết diện lớn như vậy không kinh tế. Để giải quyết vấn đề này người ta dùng các dây dẫn ở mỗi pha phân làm 2, 3 hay 1 nhánh song song với nhau (dây dẫn phân nhánh). Biện pháp này vừa hạn chế được tổn thất vàng quang vừa không phải dùng các dây dẫn có tiết diện quá lớn. Dây dẫn phân nhánh được dùng bắt đầu từ cấp điện áp 220 kV thông qua so sánh kinh tế kỹ thuật với dây dẫn đặc. Từ điện áp cao hơn thì hầu như hiện nay đều dùng dây phân nhánh.

Do điện áp cao cách điện ở các trạm biến áp và đường dây trở nên rất phức tạp và chính vấn đề cách điện làm cho vốn đầu tư các đường dây dài rất cao, hạn chế khả năng kinh tế của chúng. Biện pháp chính để giảm cách điện của các hệ thống điện áp cao là nối đất trực tiếp trung tính của các máy biến áp, khi đó cách điện chỉ cần tính toán cho điện áp pha. Điều bất lợi ở đây là hệ thống bị cắt điện khi chạm đất một pha (thường là chạm đất thoáng qua), để khắc phục nhược điểm này có thể sử dụng tự động đóng lại một pha trên các đường dây tải điện.

Khi đường dây dài làm việc không tải, xảy ra hiện tượng tăng cao điện áp ở cuối đường dây tải điện phía hở mạch, nếu đường dây dài 1000 km điện áp có thể tăng gấp đôi. Điều này không thể cho phép, do đó ở các đường dây dài phải sử dụng các thiết bị bù rất đắt tiền để điều chỉnh điện áp.

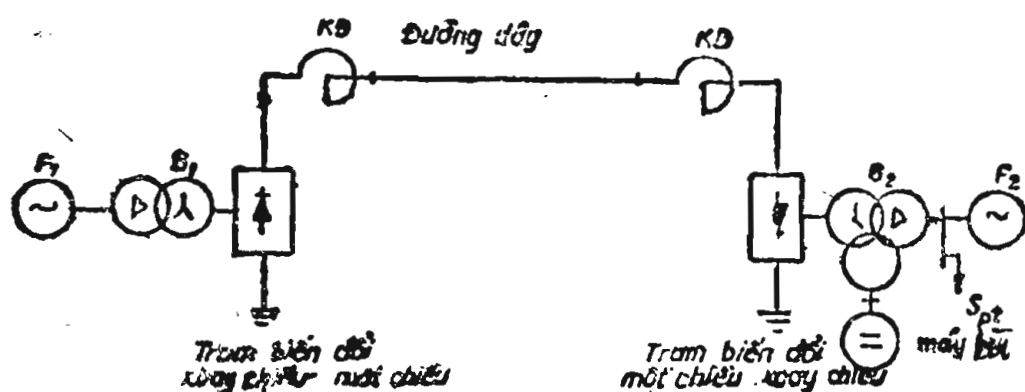
Khi làm việc không tải, ở các máy phát điện nối với các đường dây dài có thể xảy ra hiện tượng tự kích thích. Do điện dung của đường dây rất lớn, lúc không phát công suất tác dụng, máy phát mang phụ tải điện dung. Dòng điện dung tính này từ hóa stato của máy phát cùng chiều với dòng điện kích thích từ hóa rotor, vì vậy điện áp máy phát có chiều hướng tự tăng lên. Hiện tượng này hay xảy ra khi thử đường dây dài trước khi đưa vào vận hành hoặc sau các sự cố nặng nề.

Hạn chế cơ bản nhất việc sử dụng điện áp cao xoay chiều để tải điện đi xa là vấn đề ổn định, tức là giữ vững chế độ làm việc đồng bộ của các máy phát làm việc song song. Muốn giữ được ổn định, công suất tải trên đường dây dài không được vượt quá công suất giới hạn nào đó, công suất này thường nhỏ hơn công suất giới hạn lớn nhất khoảng 20—30%. Đường dây tải điện càng dài thì công suất giới hạn này càng thấp, để khắc phục phải nâng điện áp lên rất cao bởi vì công suất giới hạn tỉ lệ thuận với bình phương của điện áp và tỉ lệ nghịch với điện kháng đường dây.

Để tải điện đi rất xa phải sử dụng các biện pháp đặc biệt để nâng cao ổn định, sẽ được đề cập chi tiết ở các chương sau.

Những khó khăn phức tạp trong việc tải điện đi xa bằng dòng điện xoay chiều trên đây đã dẫn đến những nghiên cứu và thực hiện tải điện đi xa bằng dòng điện một chiều điện áp siêu cao. Việc tải điện một chiều khác phục được các vấn đề phức tạp do tải điện xoay chiều đã nêu trên đây. Ngoài ra việc tải điện một chiều còn có nhiều thuận lợi khác nữa như: — chỉ dùng 2 dây dẫn do đó nếu tải cùng công suất thì vốn đầu tư về đường dây rẻ hơn; — tổn thất vàng quang nhỏ hơn so với dòng điện xoay chiều do đó có thể chọn dây dẫn nhỏ hơn; — cách điện đường dây dễ dàng hơn, việc dùng cáp đặc liệt thuận lợi hơn so với dòng điện xoay chiều vì cáp có thể chịu điện áp một chiều cao hơn nhiều lần điện áp xoay chiều. Nếu điện áp như nhau thì cáp chịu được dòng điện một chiều lớn hơn dòng điện xoay chiều; — có thể dùng đất làm dây dẫn trở về.

Sơ đồ nguyên lý của đường dây tải điện một chiều trên hình 12-3. Ở hai đầu đường dây tải điện có đặt các trạm biến đổi dòng điện xoay chiều thành một chiều và ngược lại.



Hình 12-3

Việc tải điện một chiều hiện nay còn gặp những khó khăn sau đây:

- Các thiết bị biến đổi dòng điện đồng thời làm vai trò máy cắt điện làm cho các trạm ở hai đầu đường dây rất phức tạp và đắt tiền.
- Vì dòng điện một chiều chỉ tải công suất tác dụng cho nên phải đặt các nguồn công suất phản kháng ở đầu phía phụ tải của đường dây (ứng với 1-kW cần đặt từ 1 đến 1,5 kVar).
- Cần phải có thiết bị đề lọc các sóng điều hòa bậc cao bảo đảm dạng hình sin của điện áp xoay chiều sau khi biến đổi từ một chiều sang.
- Do chưa làm được các máy cắt điện một chiều cho nên đường dây một chiều không thể phân nhánh mà chỉ có thể tải công suất thẳng từ đầu này đến đầu kia đường dây.
- Chưa làm được các thiết bị bảo vệ chống quá điện áp.

Do các hạn chế trên đây việc tải điện một chiều chưa hoàn toàn thắng thế so với dòng điện xoay chiều (trừ các trường hợp cần nối liền các hệ thống điện có tần số khác nhau). Do đó trong tương lai việc tải điện bằng dòng điện xoay chiều vẫn sẽ còn phát triển mạnh và tồn tại song song với tải đi n bằng dòng điện một chiều.

Ở các chương tiếp theo sẽ chỉ xét vấn đề tải điện đi xa bằng dòng điện xoay chiều điện áp cao, đó là vấn đề hiện thực trước mắt của hệ thống điện

nước ta. Trong đó sẽ trình bày các phương trình cơ bản để tính toán các chế độ làm việc bình thường cũng như các chế độ đặc biệt của đường dây tải điện đi xa và các nét lớn về vấn đề thiết kế chúng, sau đó sẽ xét vấn đề ổn định và các biện pháp nâng cao ổn định.

12-3. CÁC PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN CỦA ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN ĐI XA.

1. Mở đầu.

Mục đích của việc giải tích đường dây tải điện đi xa là thiết lập những quan hệ nhằm xác định những thông số chế độ của đường dây dài trong các tình trạng vận hành khác nhau.

Các thông số được quan tâm đến nhất là công suất P , Q và điện áp U ở hai đầu và trên đường dây, cũng như góc ϕ giữa các vector điện áp ở hai đầu đường dây.

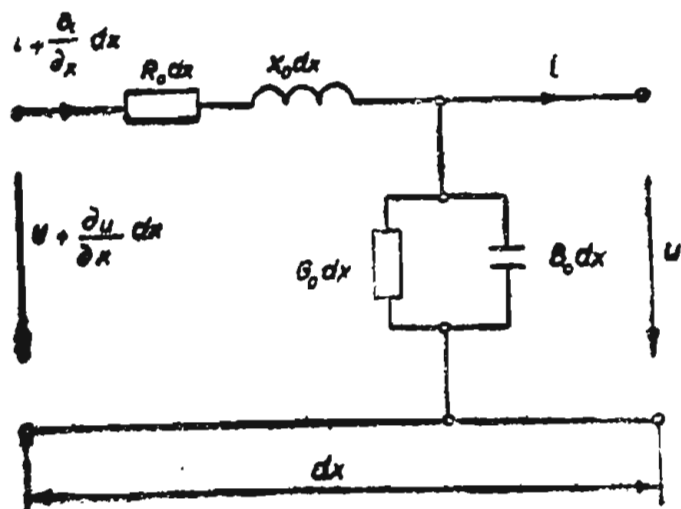
Kết quả giải tích đường dây dài là cơ sở để tiến hành các tính toán kinh tế – kỹ thuật khi thiết kế cũng như khi vận hành đường dây tải điện đi xa. Chẳng hạn phải lựa chọn các phần tử của đường dây, lựa chọn các biện pháp, thiết bị điều chỉnh, điều khiển sao cho khi vận hành các thông số chế độ được giữ trong phạm vi cho phép, khả năng tải của đường dây được nâng cao và chúng tỏ sự hợp lý về kinh tế của các lựa chọn đó.

Bản chất của quá trình truyền tải năng lượng điện theo đường dây tải điện là quá trình sóng, trong đó các sóng điện áp và dòng điện không ngừng truyền năng lượng từ nguồn điện đến nơi tiêu thụ.

Đối với các đường dây tải điện ngắn ($l \leq 200 - 300$ km) và điện áp thấp ($U < 220$ kV) việc tính toán các chế độ trên cơ sở giả thiết đơn giản hóa là đường dây có thông số tập trung.

Khi đường dây rất dài hoặc điện áp rất cao, việc tính toán bằng phương pháp trên có sai số không cho phép. Lúc này cần phải xét đến tính chất sóng của quá trình truyền năng lượng trên đường dây tải điện với các thông số rải đều trên toàn bộ chiều dài của nó.

Trong mục này sẽ dẫn xuất các phương trình sóng cơ bản của đường dây dài.



Hình 12-4

2. Thành lập hệ phương trình vi phân cơ bản.

Ta giả thiết đường dây tải điện đi xa là đồng nhất (có các thông số rải đều trên toàn bộ đường dây) và mang tải đều trên ba pha.

Ta xét một phần tử nhỏ của đường dây có độ dài dx ở cách điểm cuối đường dây, tức là điểm nhận điện năng, một độ dài x (hình 12-4).

Các thông số của phần tử đường dây này gồm có:

- Điện trở $R_0 dx$ [Ω]
- Điện kháng $X_0 dx = \omega L_0 dx$ [Ω]
- Điện dẫn tác dụng $G_0 dx$ [Ω^{-1}]
- Điện dẫn phản kháng (dung dẫn) $B_0 dx = \omega C_0 dx$ [Ω^{-1}]

Trong các biểu thức trên đây: R_0 – điện trở [Ω/km], X_0 – điện kháng [Ω/km], L_0 – độ tự cảm [H/km], G_0 – điện dẫn [$1/\Omega\text{km}$], B_0 – dung dẫn [$1/\Omega\text{km}$], C_0 – điện dung [F/km], đều tính trên một đơn vị độ dài đường dây tải điện, f – tần số của dòng điện, $\omega = 2\pi f$.

Nếu điện áp pha và dòng điện ở phía cuối của phần tử đường dây là u và i thì ở đầu phần tử đường dây điện áp và dòng điện sẽ là: $u + \frac{\partial u}{\partial x} dx$ và $i + \frac{\partial i}{\partial x} dx$.

Từ hình 12-4 thấy rằng: sở dĩ có sự biến đổi điện áp như trên là do có giáng áp trên điện trở $R_0 dx$ và trên điện kháng $L_0 dx \frac{\partial i}{\partial t}$. Còn sự biến đổi dòng điện là do có dòng điện dò chạy qua điện dẫn tác dụng $G_0 dx u$ và dung dẫn $C_0 dx \frac{\partial u}{\partial t}$.

Theo định luật Kirchof II cho mạch vòng như trên hình 12-4 ta có thể viết:

$$u + \frac{\partial u}{\partial x} dx - u - R_0 dx i - L_0 dx \frac{\partial i}{\partial t} = 0 \quad (12-1)$$

Giản ước phương trình ta có:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = R_0 i + L_0 \frac{\partial i}{\partial t} \quad (12-2)$$

Theo định luật Kirchof I cho điểm nút ở cuối phần tử đường dây ta có:

$$i + \frac{\partial i}{\partial x} dx - i - G_0 dx u - C_0 dx \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \quad (12-3)$$

Sau khi giản ước ta được:

$$\frac{\partial i}{\partial x} = G_0 u + C_0 \frac{\partial u}{\partial t} \quad (12-4)$$

Các biểu thức (12-2) và (12-4) là các phương trình vi phân cơ bản xác định sự biến đổi của điện áp và dòng điện trên đường dây tải điện đi xa. Giải (12-2) và (12-4) sẽ được quan hệ của điện áp và dòng điện biến đổi trong không gian và theo thời gian.

3. Giải hệ phương trình đường dây dài cho điện áp và dòng điện hình sin.

Điện áp và dòng điện hình sin được diễn tả bằng các số phức $\dot{U}$ và $\dot{I}$. Đạo hàm của $\dot{U}$ và $\dot{I}$ theo t ta có:

$$\frac{d\dot{U}}{dt} = j\omega\dot{U}, \quad \frac{d\dot{I}}{dt} = j\omega\dot{I} \quad (12-5)$$

Thay (12-5) vào (12-2) và (12-4) ta được;

$$\frac{d\dot{U}}{dx} = R_0 \dot{I} + j\omega L_0 \dot{I} = \dot{I}(R_0 + j\omega L_0) = \dot{I}Z_0 \quad (12-6)$$

$$\frac{d\dot{I}}{dx} = G_0 \dot{U} + j\omega C_0 \dot{U} = \dot{U}(G_0 + j\omega C_0) = \dot{U}Y_0 \quad (12-7)$$

Trong (12-6) và (12-7) Z_0 và Y_0 là tổng trở và tổng dẫn của một đơn vị độ dài đường dây.

Lần lượt lấy đạo hàm bậc hai của $\dot{U}$ và $\dot{I}$ theo x , sau đó sử dụng các biểu thức (12-6) và (12-7) ta được:

$$\frac{d^2\dot{U}}{dx^2} = \frac{d\dot{I}}{dx} Z_0 = \dot{U}Y_0 Z_0 = \gamma^2 \dot{U} \quad (12-8)$$

$$\frac{d^2\dot{I}}{dx^2} = \frac{d\dot{U}}{dx} Y_0 = \dot{I}Z_0 Y_0 = \gamma^2 \dot{I} \quad (12-9)$$

Trong các biểu thức trên:

$$\gamma = \sqrt{Y_0 Z_0} = \sqrt{(G_0 + j\omega C_0)(R_0 + j\omega L_0)} = \beta + j\alpha = |\gamma| e^{j\theta} \quad (12-10)$$

được gọi là hệ số truyền sóng.

Chuyển về (12-8) và (12-9) ta thu được các phương trình vi phân cơ bản của đường dây tải điện xoay chiều ba pha:

$$\frac{d^2\dot{U}}{dx^2} - \gamma^2 \dot{U} = 0 \quad (12-11)$$

$$\frac{d^2\dot{I}}{dx^2} - \gamma^2 \dot{I} = 0 \quad (12-12)$$

Phương trình (12-11) có nghiệm tổng quát:

$$\dot{U}_x = K_1 e^{\gamma x} + K_2 e^{-\gamma x} \quad (12-13)$$

Lấy đạo hàm của (12-13) theo x rồi thay vào (12-6) ta được

$$\begin{aligned} \dot{I}_x &= \frac{\gamma}{Z_0} (K_1 e^{\gamma x} - K_2 e^{-\gamma x}) = \\ &= \frac{\sqrt{(G_0 + j\omega C_0)(R_0 + j\omega L_0)}}{R_0 + j\omega L_0} (K_1 e^{\gamma x} - K_2 e^{-\gamma x}) = \\ &= \sqrt{\frac{G_0 + j\omega C_0}{R_0 + j\omega L_0}} (K_1 e^{\gamma x} - K_2 e^{-\gamma x}) = \\ &= \frac{1}{Z_0} (K_1 e^{\gamma x} - K_2 e^{-\gamma x}) \end{aligned} \quad (12-14)$$

Trong biểu thức trên

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R_0 + j\omega L_0}{G_0 + j\omega C_0}} = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}} = |Z_0| e^{j\theta} = Z_0 / 0 \quad (12-15)$$

gọi là tổng trở sóng của đường dây dài, Z_0 chỉ phụ thuộc vào các thông số của đường dây.

γ và Z_0 là hai thông số đặc trưng của đường dây tải điện đi xa.

Các biểu thức (12-13) và (12-14) cho phép xác định vectơ điện áp và dòng điện ở mọi điểm trên đường dây tải điện. Các hằng số $\dot{K}_1$ và $\dot{K}_2$ được xác định theo các điều kiện biên cho trước.

Ta hãy tính điện áp và dòng điện tại điểm bất kỳ của đường dây khi biết điện áp $\dot{U}_2$ và dòng điện $\dot{I}_2$ ở điểm cuối đường dây tải điện, nghĩa là với $x = 0$.

Viết lại các phương trình (12-13) và (12-14) cho điều kiện này, có:

$$\begin{aligned}\dot{U}_2 &= \dot{K}_1 + \dot{K}_2 \\ \dot{I}_2 &= \frac{\dot{K}_1 - \dot{K}_2}{Z_0}\end{aligned}\quad (12-16)$$

Giải hệ (12-16) được:

$$\begin{aligned}\dot{K}_1 &= \frac{1}{2} (\dot{U}_2 + \dot{I}_2 Z_0) \\ \dot{K}_2 &= \frac{1}{2} (\dot{U}_2 - \dot{I}_2 Z_0)\end{aligned}\quad (12-17)$$

Thay (12-17) vào (12-13) và (12-14) ta có các hàm số xác định điện áp và dòng điện tại điểm x bất kỳ tính từ cuối đường dây:

$$\begin{aligned}\dot{U}_x &= \frac{1}{2} (\dot{U}_2 + \dot{I}_2 Z_0) e^{\gamma x} + \frac{1}{2} (\dot{U}_2 - \dot{I}_2 Z_0) e^{-\gamma x} = \\ &= \dot{U}_2 \frac{e^{\gamma x} + e^{-\gamma x}}{2} + \dot{I}_2 Z_0 \frac{e^{\gamma x} - e^{-\gamma x}}{2}\end{aligned}\quad (12-18)$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_x &= \frac{\dot{U}_2 + \dot{I}_2 Z_0}{2Z_0} e^{\gamma x} - \frac{\dot{U}_2 - \dot{I}_2 Z_0}{2Z_0} e^{-\gamma x} = \\ &= \dot{I}_2 \frac{e^{\gamma x} + e^{-\gamma x}}{2} + \frac{\dot{U}_2}{Z_0} \frac{e^{\gamma x} - e^{-\gamma x}}{2}\end{aligned}\quad (12-19)$$

Chuyển (12-18) và (12-19) về dạng lượng giác hyperbol với các quan hệ:

$$\text{Sh} \gamma x = \frac{e^{\gamma x} - e^{-\gamma x}}{2} \quad \text{và} \quad \text{Ch} \gamma x = \frac{e^{\gamma x} + e^{-\gamma x}}{2}$$

ta được:

$$\left. \begin{aligned}\dot{U}_x &= \dot{U}_2 \text{Ch} \gamma x + \dot{I}_2 Z_0 \text{Sh} \gamma x \\ \dot{I}_x &= \dot{I}_2 \text{Ch} \gamma x + \frac{\dot{U}_2}{Z_0} \text{Sh} \gamma x\end{aligned} \right\} \quad (12-20)$$

Các giá trị điện áp $\dot{U}_1$ và dòng điện $\dot{I}_1$ ở đầu phát điện của đường dây tải điện sẽ nhận được từ (12-20) khi thay x bằng độ dài l của đường dây tải điện

$$\left. \begin{aligned}\dot{U}_1 &= \dot{U}_2 \text{Ch} \gamma l + \dot{I}_2 Z_0 \text{Sh} \gamma l \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_2 \text{Ch} \gamma l + \frac{\dot{U}_2}{Z_0} \text{Sh} \gamma l\end{aligned} \right\} \quad (12-21)$$

Dẫn xuất tương tự ta có thể xác định điện áp và dòng điện khi biết điện áp U_1 và dòng điện I_1 ở đầu dây tải điện, khoảng cách x lấy từ đầu đường dây:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_x &= \dot{U}_1 \operatorname{Ch} \gamma x - \dot{I}_1 Z_c \operatorname{Sh} \gamma x \\ \dot{I}_x &= \dot{I}_1 \operatorname{Ch} \gamma x - \frac{\dot{U}_1}{Z_c} \operatorname{Sh} \gamma x \end{aligned} \right\} \quad (12-22)$$

Điện áp $\dot{U}_2$ và dòng điện $\dot{I}_2$ ở cuối đường dây:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_2 &= \dot{U}_1 \operatorname{Ch} \gamma l - \dot{I}_1 Z_c \operatorname{Sh} \gamma l \\ \dot{I}_2 &= \dot{I}_1 \operatorname{Ch} \gamma l - \frac{\dot{U}_1}{Z_c} \operatorname{Sh} \gamma l \end{aligned} \right\} \quad (12-23)$$

Các biểu thức (12-20), (12-21), (12-22) và (12-23) dùng để tính toán các chế độ vận hành của đường dây tải điện. Các công thức này sử dụng cho điện áp pha. Khi cần tính điện áp dây cần phải nhân thêm $\sqrt{3}$ vào số hạng của các hàm điện áp.

4. Phân tích quá trình sóng trên đường dây dài.

Các hằng số $\dot{K}_1$, $\dot{K}_2$ và tổng trở sóng $\dot{Z}_c$ đều là các số phức do đó có thể viết dưới dạng modul và argumen

$$\dot{K}_1 = K_1 \angle \varphi_1, \quad \dot{K}_2 = K_2 \angle \varphi_2; \quad \dot{Z}_c = Z_c \angle \theta \quad (12-24)$$

Thay (12-24) vào (12-13) và (12-14) được:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_x &= K_1 e^{\beta x} e^{j\alpha x + j\varphi_1} + K_2 e^{-\beta x} e^{-j\alpha x + j\varphi_2} \\ \dot{I}_x &= \frac{K_1}{Z_c} e^{\beta x} e^{j\alpha x + j\varphi_1 - j\theta} - \frac{K_2}{Z_c} e^{-\beta x} e^{-j\alpha x + j\varphi_2 - j\theta} \end{aligned} \right\} \quad (12-25)$$

Từ các hàm phức trên đây, theo các quy tắc đã trình bày trong cơ sở lý thuyết mạch dễ dàng lập được các hàm thực của điện áp và dòng điện, đó là các hàm biến thiên theo thời gian t và độ dài đường dây x :

$$\left. \begin{aligned} u_{x,t} &= \sqrt{2} K_1 e^{\beta x} \sin(\omega t + \alpha x + \varphi_1) + \sqrt{2} K_2 e^{-\beta x} \sin(\omega t - \alpha x + \varphi_2) \\ i_{x,t} &= \sqrt{2} \frac{K_1}{Z_c} e^{\beta x} \sin(\omega t + \alpha x + \varphi_1 - \theta) + \sqrt{2} \frac{K_2}{Z_c} e^{-\beta x} \sin(\omega t - \alpha x + \varphi_2 - \theta) \end{aligned} \right\} \quad (12-26)$$

Ta hãy khảo sát hàm $u_{x,t}$. Để cho tiện ta giả thiết $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$, như vậy hàm $u_{x,t}$ gồm hai thành phần chứa $\sin(\omega t + \alpha x)$ và $\sin(\omega t - \alpha x)$.

Trước tiên ta xét thành phần điện áp chứa $\sin(\omega t + \alpha x)$ ký hiệu là u_1 :

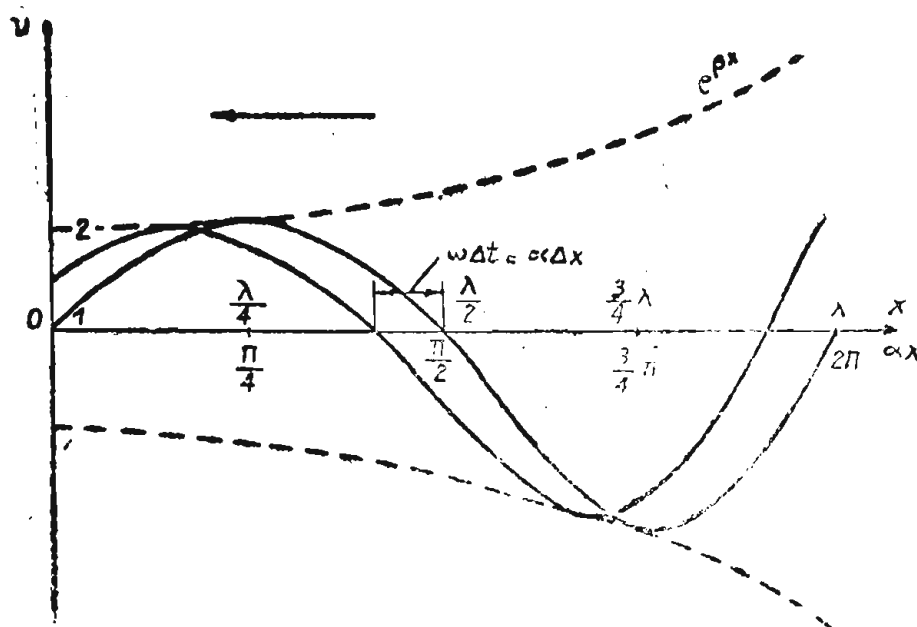
$$u_1 = k_1 e^{\beta x} \sin(\omega t + \alpha x) \quad (12-27)$$

tại một thời điểm bất kỳ, ví dụ $t = 0$, điện áp u_1 phân bố theo dạng sóng hình sin trên chiều dài đường dây tải điện, có biên độ tăng dần theo chiều tăng của x (hình 12-5, đường 1).

Ở sóng hình sin này có bước sóng, tức là độ dài giữa hai điểm của đường dây mà điện áp u_1 ở các điểm đó trùng pha với nhau, ta ký hiệu là λ thì góc biến thiên $\alpha \lambda$ giữa hai điểm cách nhau một độ dài sóng sẽ là 2π , do đó.

$$\lambda = \frac{2\pi}{\alpha} \quad (12-28)$$

Bây giờ ta lấy thời gian tăng lên một lượng là Δt , ta nhận thấy sóng hình sin vẫn giữ nguyên dạng nhưng dịch chuyển về phía trái theo chiều



Hình 12-5

giảm đi của x một góc là $\omega\Delta t$ (đường 2). Như vậy sau thời gian Δt sóng dịch chuyển được một góc $\omega\Delta t$, góc này nếu tính theo độ dài đường dây Δx sẽ là $\alpha\Delta x$, như vậy: $\omega\Delta t = \alpha\Delta x$. Từ đây tốc độ truyền sóng v tính được là

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\omega}{\alpha} \quad (12-29)$$

Với giả thiết ban đầu là $x = 0$ ứng với điểm cuối, điểm nhận diện

của đường dây, chiều truyền năng lượng là từ đầu đến cuối đường dây. Vậy sóng áp u_1 dịch chuyển theo chiều truyền năng lượng, có biên độ giảm dần ta gọi là *sóng tới* hay là *sóng thuận*.

Tương tự như trên, sóng áp:

$$u_p = K_2 e^{-\beta x} \sin(\omega t - \alpha x) \quad (12-30)$$

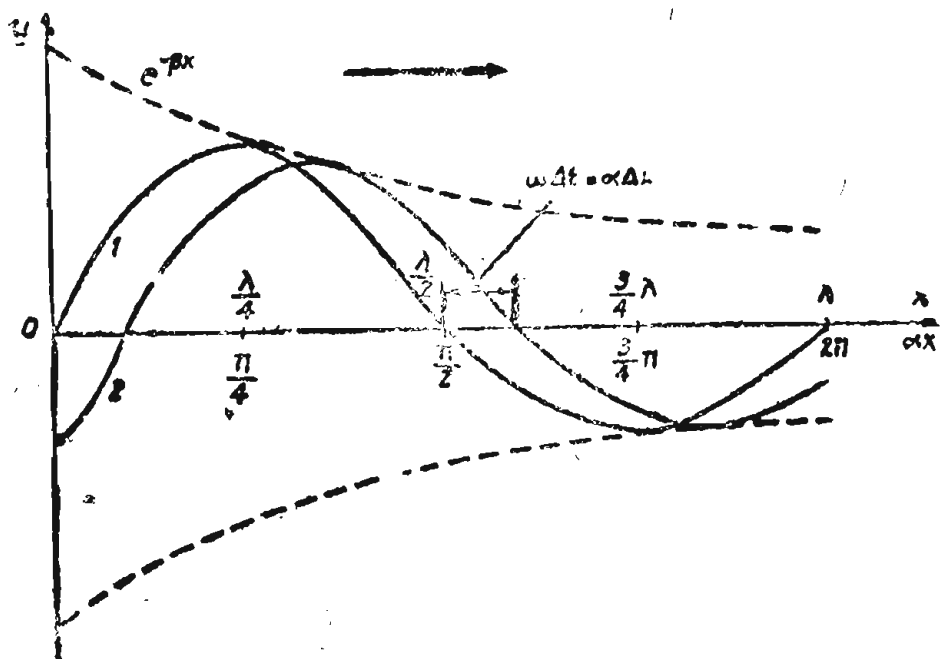
là sóng chuyển dịch theo chiều tăng của x , cũng với tốc độ như sóng thuận, tức là chuyển dịch ngược với chiều truyền năng lượng ta gọi là *sóng phản xạ* hay là *sóng ngược*. Sóng ngược cũng có biên độ giảm dần theo chiều truyền sóng (hình 12-6).

Điện áp trên mọi điểm của đường dây tải điện là tổng của sóng thuận và sóng ngược

$$u_{x,t} = u_1 + u_p \quad (12-30a)$$

Từ khảo sát trên ta thấy, thành phần β của hệ số truyền sóng có tác dụng làm giảm biên độ sóng ta gọi là *hệ số suy giảm*, đơn vị là [Neper/km] hay [dexiben] (1Np = 8,68db).

Còn α nói lên tốc độ biến thiên góc pha của sóng dọc theo tọa độ x của đường dây gọi là *hệ số pha*, đơn vị là [rad/km] hay [°/km].



Hình 12-6

Các hệ số suy giảm và hệ số pha phụ thuộc vào các thông số của đường dây và tần số của dòng điện. Ở tần số 50 Hz với đường dây trên không β thường có giá trị từ 0,0001 đến 0,0007 Np/km, với cáp β vào khoảng 0,003 Np/km, còn α có giá trị từ 0,001 đến 0,003 rad/km đối với đường dây trên không, 0,001 rad/km đối với cáp.

Đối với dòng điện quá trình truyền sóng cũng tương tự.

Dễ kết thúc mục này cần lưu ý rằng, việc tách điện áp cũng như dòng điện thành các sóng thuận và ngược là dễ dàng khảo sát quá trình truyền tải điện năng. Thực chất trên mọi điểm của đường dây tải điện, ở mọi thời gian chỉ tồn tại một giá trị áp và dòng duy nhất xác định bởi biểu thức (12-26).

12.4. CÔNG SUẤT TỰ NHIÊN.

Công suất tự nhiên là đại lượng đặc trưng quan trọng cho chế độ công tác của đường dây tải điện đi xa. Chế độ vận hành với công suất tự nhiên của đường dây dài xảy ra khi tổng trở của phụ tải ở cuối đường dây bằng tổng trở sóng Z_c , tức là

$$Z_{p1} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2} = Z_c \quad (12-31)$$

Rút $\dot{I}_2$ từ (12-31) rồi thay vào (12-17) ta được

$$\begin{aligned} \dot{K}_1 &= \dot{U}_2 \\ \dot{K}_2 &= 0 \end{aligned} \quad (12-32)$$

Do $\dot{K}_2 = 0$ thành phần sóng phản xạ của dòng điện và điện áp bằng không. Sóng áp và dòng chỉ còn các sóng thuận. Theo (12-13) và (12-14) ta có các sóng đó là:

$$\begin{aligned} \dot{U}_x &= \dot{U}_2 e^{\gamma x} = \dot{U}_2 e^{\alpha x} \cdot e^{j\beta x} \\ \dot{I}_x &= \frac{\dot{U}_2}{Z_c} e^{\gamma x} = \frac{\dot{U}_2}{Z_c} e^{\beta x} \cdot e^{j\alpha x - \theta} \end{aligned} \quad (12-33)$$

Từ (12-33) ta nhận thấy: Góc pha giữa điện áp và dòng điện ở mọi điểm đều bằng argumen θ của tổng trở sóng, góc pha giữa điện áp ở đầu $\dot{U}_1$ và ở cuối đường dây $\dot{U}_2$ bằng αl .

Theo điều kiện (12-31) ta tính được công suất tự nhiên:

$$\dot{S}_{1n} = 3\dot{U}_2 \cdot \frac{\hat{U}}{\hat{Z}_c} = 3 \frac{\dot{U}_2^2}{\hat{Z}_c} = P_{1n} + jQ_{1n} \quad (12-34)$$

trong (12-34) điện áp lấy giá trị pha, $\hat{U}$ là số phức liên hợp của $\dot{U}$.

Do không có sóng phản xạ, chế độ vận hành với công suất tự nhiên có các ưu điểm sau đây:

1. Phân bố điện áp trên đường dây là bằng phẳng nhất.

Độ chênh lệch điện áp giữa các điểm của đường dây chỉ phụ thuộc vào hệ số suy giảm β , mà không phụ thuộc vào sự giao thoa giữa sóng ngược và sóng thuận như ở các chế độ làm việc khác.

Đặc biệt là đối với các đường dây không tổn thất có $R_0 = 0$, $G_0 = 0$, khi đó có

$$\gamma = \sqrt{j\omega L_0 \cdot j\omega C_0} = j\omega \sqrt{L_0 C_0} = 0 + j\alpha \quad (12-35)$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{j\omega L_0}{j\omega C_0}} = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \quad (12-36)$$

Ta thấy hệ số suy giảm bằng không, do đó độ lớn của điện áp là hằng số trên toàn bộ đường dây và chỉ có góc pha thay đổi vì

$$\dot{U}_x = \dot{U}_2 e^{j\alpha x} \quad (12-37)$$

Tổng trở sóng Z_c là số thực do đó:

$$\dot{I}_x = \frac{\dot{U}_2}{Z_c} e^{j\alpha x} \quad (12-38)$$

Dòng điện cũng có biên độ không đổi và không trùng pha với điện áp. Công suất tự nhiên là công suất thuần tác dụng:

$$P_{\text{tn}} = 3 \frac{U^2}{Z_c} \quad (12-39)$$

Các hiện tượng trên đây có thể giải thích bằng sự cân bằng năng lượng giữa từ trường và điện trường trên từng phần tử của đường dây (tự bù). Thật vậy để sinh ra điện trường cần có năng lượng $\frac{1}{2} C_0 U^2$ và để sinh ra từ trường cần có năng lượng $\frac{1}{2} L_0 I^2$. Ta thấy năng lượng điện trường gần như không đổi vì điện áp U thay đổi ít, còn năng lượng từ trường phụ thuộc vào dòng điện phụ tải I . Ở trạng thái cân bằng ta có:

$$\frac{1}{2} C_0 U^2 = \frac{1}{2} L_0 I^2 \quad (12-40)$$

từ đây rút ra

$$\frac{U}{I} = \frac{L_0}{C_0} = Z_c \quad (12-41)$$

Tỷ số $\frac{U}{I}$ đồng thời cũng là tổng trở của phụ tải ở cuối đường dây tải điện. Như vậy khi $Z_{\text{pt}} = Z_c$ sẽ xảy ra hiện tượng tự bù trên đường dây tải điện. Khi đó không cần có dòng điện từ nguồn để sinh ra các trường, do đó dòng điện và điện áp luôn là hằng số và trùng pha với nhau.

Ta cũng thấy là nếu công suất tải của đường dây nhỏ hơn công suất tự nhiên thì đẳng thức (12-40) bị phá hoại và vì giá trị I nhỏ nên công suất phản kháng do điện dung của đường dây sinh ra lớn hơn tổn thất công suất phản kháng trên điện cảm. Do đó có dòng điện dung từ nguồn đến làm cho điện áp trên đường dây cao hơn ở đầu nguồn. Ngược lại khi công suất tải cao hơn công suất tự nhiên, công suất phản kháng do đường dây sinh ra không đủ bù vào tổn thất công suất phản kháng trên đường dây, do đó có dòng điện điện cảm chạy từ nguồn vào đường dây làm cho điện áp trên đường dây thấp hơn so với điện áp đầu nguồn.

2. Hiệu suất tải điện cao nhất.

Các chế độ khác chế độ công suất tự nhiên, do có sóng ngược nên một phần năng lượng truyền đến phụ tải phản xạ ngược trở lại mà không đi vào phụ tải. Hơn nữa do có sóng ngược điện áp trên đường dây sẽ lên cao kéo theo tổn thất vàng quang phụ thêm. Do vậy các chế độ này đều có hiệu suất kém hơn chế độ công suất tự nhiên.

Do có các đặc tính tốt trên đây, đặc biệt là đặc tính san bằng điện áp, chế độ vận hành với công suất tự nhiên là chế độ rất thuận lợi và công suất tự nhiên được coi là thông số đặc trưng cho khả năng tải của đường dây tải điện đi xa.

Bảng 12-1 dưới đây cho các giá trị của công suất tự nhiên của các đường dây tải điện với các điện áp khác nhau.

Bảng 12-1

Công suất tự nhiên của đường dây tải điện

Điện áp định mức [kV]	60	110	220	400	500	650	750	1000	Đường dây trên không
Tổng trở sóng [Ω]	380	390	400	290	290	280	280	270	
Công suất tự nhiên [MW]	10	30	120	550	850	1380	2190	4000	
Tổng trở sóng [Ω]	40	40	40	40	Đường dây cáp				
Công suất tự nhiên [MW]	100	300	1200	5500					

12-5. TÍNH TOÁN CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA ĐƯỜNG DÂY KHÔNG TỒN THẤT ($R=0$, $G=0$).

1. Các thông số đặc trưng.

Đây là đường dây tải điện lý tưởng. Trong thực tế không tồn tại đường dây không tổn thất, tuy nhiên ở các đường dây tải điện đi xa điện áp cao do sử dụng các dây dẫn tiết diện lớn và do cách điện hoàn hảo nên các giá trị của R_0 và G_0 nhỏ hơn nhiều so với X_0 và B_0 , do đó có thể bỏ qua ảnh hưởng của R_0 và G_0 . Ví dụ, với điện áp 220kV, dây dẫn không phân nhánh tỷ số $X_0/R_0=5/1$, điện áp 400kV, dây dẫn phân ba nhánh có tỷ số $X_0/R_0 = 11/1$.

Do $R_0 = 0$ và $G_0 = 0$, tổng trở sóng có giá trị thực, hệ số suy giảm bằng không, chỉ tồn tại hệ số pha α ,

$$Z_c = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \quad \alpha = \omega \sqrt{L_0 C_0}$$

Theo (12-28) tốc độ truyền sóng v sẽ là:

$$v = \frac{\omega}{\alpha} = \frac{\omega}{\omega \sqrt{L_0 C_0}} = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} \quad (12-42)$$

ta biết rằng:

$$L_0 C_0 = \frac{\mu_0 \mu_r}{\pi} \cdot \epsilon_0 \epsilon_r \pi = \mu_0 \epsilon_0 \mu_r \epsilon_r = \frac{1}{C_0^2} \mu_r \epsilon_r \quad (12-43)$$

trong các biểu thức trên μ_0 , μ_r , ϵ_0 , ϵ_r là các độ từ thẩm và hằng số điện môi của chân không và của môi trường, $C_0 = 300.000 \text{ km/s}$ là tốc độ ánh sáng.

Do đó:

$$v = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} = \frac{C_0}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \quad [\text{km/s}]$$

Đối với đường dây trên không $\mu_r = 1$, $\epsilon_r = 1$ vì vậy tốc độ truyền sóng bằng tốc độ ánh sáng.

Độ dài sóng theo (12-28) có giá trị:

$$\lambda = \frac{2\pi}{\alpha} = \frac{2\pi v}{\omega} = \frac{v}{f} \quad [\text{km}]$$

nếu tần số dòng điện $f = 50 \text{ Hz}$ thì

$$\lambda = \frac{300.000}{50} = 6.000 \text{ km}$$

Đối với đường cáp $\mu_r = 1$, $\epsilon_r = 4$ do đó

$$v = 150.000 \text{ km/s}, \lambda = 3000 \text{ km}.$$

2. Tính toán các chế độ làm việc

Trường hợp thông thường nhất khi tính toán chế độ của đường dây tải điện là tính toán phân bố điện áp trên đường dây, điện áp và công suất ở đầu đường dây tải điện khi đã biết điện áp và công suất ở cuối đường dây tải điện tức là ở phía hệ thống nhận điện.

Ta ký hiệu các thông số ở cuối đường dây tải điện là U_2 , Q_2 và ở đầu đường dây tải điện là U_1 , Q_1 . Như vậy cần xác định U_1 , Q_1 , phân bố điện áp trên đường dây U_x , góc δ giữa U_1 và U_2 . Do không có tổn thất nên công suất tác dụng ở đầu và ở cuối đường dây như nhau và ký hiệu là P .

Do $R = 0$, $G = 0$, theo các quy tắc của lượng giác hyperbol:

$$\text{Ch} \gamma x = \text{Sh} j \alpha x = \cos \alpha x$$

$$\text{Sh} \gamma x = \text{Sh} j \alpha x = j \sin \alpha x$$

do đó các phương trình cơ bản (12-20) sẽ trở thành:

$$\begin{aligned} \dot{U}_x &= \dot{U}_2 \cos \alpha x + j \dot{I}_2 Z_c \sin \alpha x \\ \dot{I}_x &= \dot{I}_2 \cos \alpha x + j \frac{\dot{U}_2}{Z_c} \sin \alpha x \end{aligned} \quad (12-45)$$

Ta xét hàm điện áp $\dot{U}_x$ trong (12-45). Biểu thức này viết cho điện áp pha, trong thực tế thường tính theo điện áp dây, do đó cần nhân thêm $\sqrt{3}$ vào hai vế của (12-45), lấy vector $\dot{U}_2$ trùng với trục thực và vẫn giữ nguyên các ký hiệu, ta có:

$$\dot{U}_x = U_2 \cos \alpha x + j \sqrt{3} \dot{I}_2 Z_c \sin \alpha x \quad (12-46)$$

Độc giả cần chú ý rằng biểu thức (12-46) là cho điện áp dây, từ đây về sau các biểu thức sẽ đều viết cho điện áp dây mà không thay đổi ký hiệu.

Bây giờ cần biến đổi (12-46) sao cho $\dot{U}_x$ là hàm số của P và Q_2 , U_2 ở cuối đường dây.

Ta có:

$$\dot{I}_2 = \frac{P - jQ_2}{\sqrt{3} U_2} \quad (12-47)$$

tổng trở sóng Z_c có thể biểu diễn theo công suất tự nhiên P_{dm} và điện áp định mức U_{dm} :

$$Z_c = \frac{U_{dm}^2}{P_{dm}} \quad (12-48)$$

Thay (12-47), (12-48) vào (12-46) và nhân thêm vào $\frac{U_2^2}{U_{dm}^2}$ có:

$$\begin{aligned} \dot{U}_x &= U_2 \cos \alpha x + j \sqrt{3} \cdot \frac{P - jQ_2}{\sqrt{3} U_2} \cdot \frac{U_{dm}^2}{P_{dm}} \cdot \frac{U_2^2}{U_{dm}^2} = \\ &= U_2 (\cos \alpha x + k^2 Q_2^* \sin \alpha x + j k^2 P^* \sin \alpha x) \end{aligned} \quad (12-49)$$

Trong (12-49) P^* và Q_2^* là tỷ số giữa công suất yêu cầu và công suất tự nhiên và

$$k = \frac{U_{dm}}{U_2}$$

Khi $U_2 = U_{dm}$ thì $k = 1$ và (12-49) sẽ đơn giản còn:

$$\dot{U}_x = U_2 (\cos \alpha x + Q_2^* \sin \alpha x + j P^* \sin \alpha x) \quad (12-50)$$

Điện áp ở đầu đường dây:

$$\dot{U}_1 = U_2 (\cos \alpha l + Q_2^* \sin \alpha l + j P^* \sin \alpha l) \quad (12-51)$$

trong đó l là độ dài đường dây tính bằng km.

Dẫn xuất tương tự ta có:

$$\dot{I}_x = \frac{U_2}{\sqrt{3} Z_c} [k^2 P^* \cos \alpha x + j (\sin \alpha x - k^2 Q_2^* \cos \alpha x)] \quad (12-52)$$

$$\dot{I}_1 = \frac{U_2}{\sqrt{3} Z_c} [k^2 P^* \cos \alpha l + j (\sin \alpha l - k^2 Q_2^* \cos \alpha l)] \quad (12-53)$$

Các biểu thức (12-49), (12-50) và (12-52) cho phép tính toán giá trị hiệu dụng của điện áp dây và dòng điện trên dây tại bất kỳ vị trí nào của đường dây tải điện.

Công suất ở đầu dây của đường dây $\dot{S}_1$ cũng là công suất do nguồn điện truyền vào đường dây:

$$\dot{S}_1 = \sqrt{3} \dot{U}_1 \dot{I}_1^* = P + jQ_1 \quad (12-54)$$

$$Q_1 = \frac{U_2^2}{\sqrt{3} Z_c} [\sin \alpha l \cos \alpha l (1 - k^4 P^* - k^4 Q_2^*) + k^2 Q_2^* (\cos^2 \alpha l - \sin^2 \alpha l)]$$

Góc lệch pha giữa U_1 và U_2 là :

$$\delta = \operatorname{arctg} \frac{P^* \sin \alpha l}{\cos \alpha l + Q_2^* \sin \alpha l} \quad (12-55)$$

Tỷ số tuyệt đối giữa điện áp ở cuối và ở đầu đường dây là :

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \sqrt{(\cos \alpha l + Q_2^* \sin \alpha l)^2 + (P^* \sin \alpha l)^2}$$

Tồn thất điện áp: $\Delta U = (K - 1) 100 [\%]$

Trong trường hợp biết trước $\dot{U}_1$, Q_1 , P cần tính $\dot{U}_2$, Q_2 ta cũng biến đổi tương tự như trên, ở biểu thức (12-22) lấy vector $\dot{U}_1$ trùng với trục thực ta được:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_x &= U_1 [\cos \alpha x - Q_1^* \sin \alpha x - j^* \sin \alpha x] \\ \dot{I}_x &= \frac{U_1}{\sqrt{3} Z_c} [P^* \cos \alpha x - j(\sin \alpha x + Q_1^* \cos \alpha x)] \end{aligned} \right\} \quad (12-56)$$

Thay $x = l$ ta sẽ được $\dot{U}_2$, $\dot{I}_2$, công suất ở cuối đường dây là:

$$S_2 = \dot{U}_2 \hat{I}_2 = P - jQ_2 \quad (12-57)$$

Trong biểu thức (12-56) nếu hệ số $k \neq 1$ (tức $U_1 \neq U_{dm}$) thì phải nhân hệ số k^2 vào các phân tử có chứa P^* hoặc Q^* .

3. Khảo sát sự biến đổi điện áp dọc đường dây tải điện đi xa.

Đối với các đường dây dài sự phân bố điện áp dọc đường dây có nhiều đặc điểm. Khi thiết kế và vận hành cần phải quan tâm.

Ta hãy xét hàm điện áp U_x (12-50) trong các trường hợp sau:

1) $Q_2^* = 0$, nghĩa là phụ tải không yêu cầu công suất phản kháng, đường dây tải toàn công suất tác dụng. Khi đó

$$\dot{U}_x = U_2 (\cos \alpha x + j P^* \sin \alpha x) \quad (12-58)$$

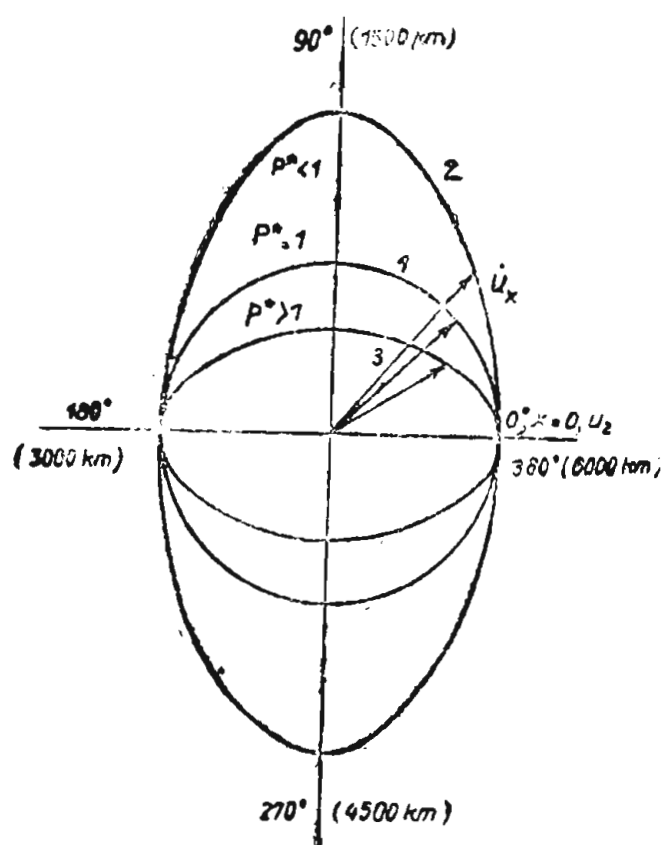
Khi công suất tác dụng bằng công suất tự nhiên tức là $P^* = 1$, ta có:

$$\dot{U}_x = U_2 (\cos \alpha x + j \sin \alpha x) \quad (12-59)$$

nếu αx biến thiên từ 0° đến 360° tương ứng với x biến thiên từ 0 đến 6000km (đường dây trên không), đầu mút vector $\dot{U}_x$ theo (12-59) vẽ nên đường tròn có bán kính U_2 (hình 12-7). Ta thấy điện áp không thay đổi theo độ dài đường dây tải điện mà chỉ thay đổi góc pha.

Khi công suất tải khác công suất tự nhiên, $P^* \neq 1$, vector $\dot{U}_x$ sẽ vẽ nên các đường elip: Nếu $P^* > 1$, công suất tải lớn hơn công suất tự nhiên, trục chính của elip sẽ nằm ngang (đường 2), ta nhận thấy điện áp ở độ dài 3000km và 6000km luôn bằng điện áp ở đầu đường dây tải điện. Điện áp ở 3000km thì lệch pha với điện áp ở đầu đường dây một góc 180° , còn điện áp ở 6000km thì trùng pha với điện áp ở đầu đường dây. Điện áp ở các độ dài khác đều bị giảm đi. Nếu $P^* < 1$, công suất tải bé hơn công suất tự nhiên, trục chính

của elip trùng với trục đứng của đồ thị (đường 3), lúc này điện áp ở các độ dài đường dây khác 3000km và 6000 km tăng lên so với điện áp U_2 .



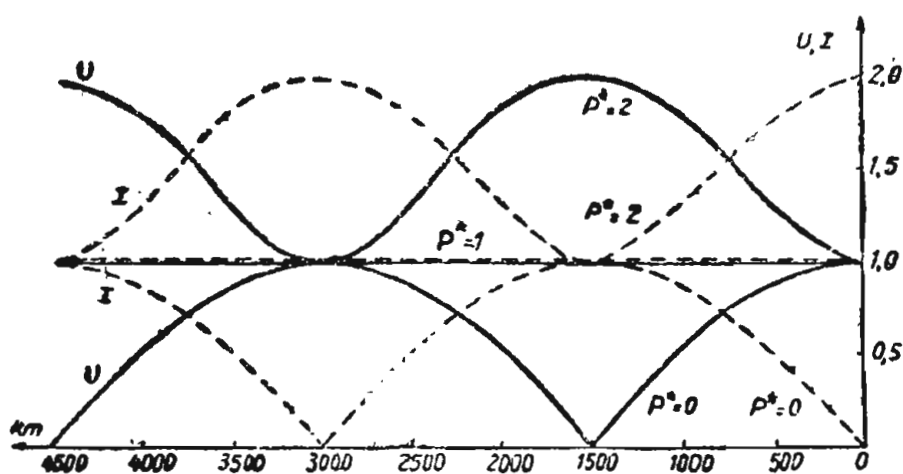
Hình 12-7

Ta thấy rằng khi công suất phụ tải khác công suất tự nhiên điện áp phân bố không đều dọc đường dây tải điện.

Trên hình 12-8 là đồ thị khai triển của điện áp và dòng điện trên dọc đường dây tải điện 500kV dùng dây dẫn 3×ACO-500 độ dài 4500km. Chỗ điện áp và dòng điện có giá trị nhỏ nhất gọi là nút sóng, còn chỗ chúng cực đại gọi là bụng sóng. Trên hình 12-8 ta thấy rằng khi đường dây không tải $P^* = 0$, ở các nút sóng dòng và áp đều bằng không, đó là các sóng đứng; các nút sóng đều cách nhau $\frac{1}{4}$ độ dài sóng tức là 1500 km.

2) $Q_2^* \neq 0$. Trường hợp này phải sử dụng biểu thức (12-50) để tính toán. Nếu vẽ đồ thị vector, ta

thấy đầu mút vector điện áp cũng vẽ nên các elip nhưng các trục chính của chúng không trùng với trường hợp $Q_2^* = 0$ (hình 12-9). Khi $Q_2^* > 0$ trục chính của elip nghiêng với trục thực một góc từ 0° đến 90° (đường 1), khi $Q_2^* < 0$ từ $90^\circ - 180^\circ$ (đường 2).



Hình 12-8

Trên hình 12-10 là đồ thị dòng điện và điện áp của ví dụ đã nêu trên đây nhưng $Q_2^* = -1$, $S^* = P^* - j1$.

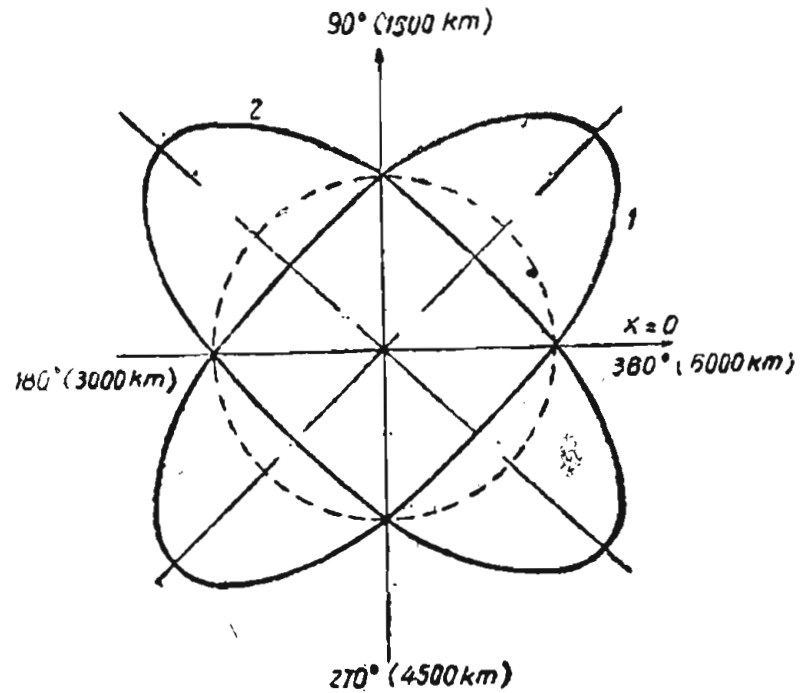
Ta nhận thấy, sự có mặt của Q_2 làm tăng thêm độ không đều của điện áp, ngay cả khi công suất tác dụng bằng công suất tự nhiên, tuy nhiên khi có độ không đều của điện áp là nhỏ nhất.

Việc tải công suất phản kháng trên đường dây tải điện đi xa còn bất lợi ở chỗ gây ra tổn thất điện năng trên đường dây. Vì vậy, để tránh tổn thất đó $\cos\varphi$ trên đường dây dài đòi hỏi rất cao, từ 0,95 đến 1, nghĩa là sẽ bù công suất phản kháng nhờ thiết bị bù đặt tại các hộ tiêu thụ.

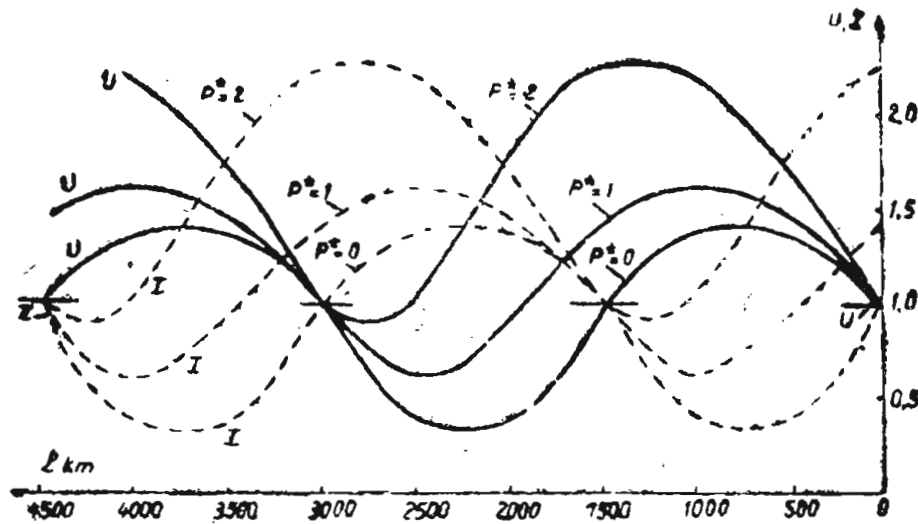
12-6. TÍNH TOÁN CHẾ ĐỘ CỦA ĐƯỜNG DÂY CÓ TỔN THẤT VÀ ĐƯỜNG DÂY CÓ ĐIỆN ÁP HAI ĐẦU KHÔNG ĐỀU

1. Đường dây có điện trở khác không.

Trường hợp thông thường nhất của đường dây tải điện đi xa là tỷ số giữa điện trở và điện kháng khá nhỏ (dưới 1/10) còn điện dẫn tác dụng nhỏ đến mức có thể bỏ qua ($G = 0$) mà không



Hình 12-9



Hình 12-10

gây ảnh hưởng gì đáng kể đến phân bố điện áp trên đường dây tải điện. Để tính toán điện áp phải sử dụng các biểu thức (12-20) và (12-21), trong đó phải tính đến Z_c và γ .

Ta làm các biến đổi như sau:

$$Z_c = \sqrt{\frac{R_o + jX_o}{jB_o}} = \sqrt{\frac{X_o}{B_o} \left(1 - j \frac{R_o}{X_o}\right)} = Z_c \sqrt{1 - j \frac{R_o}{X_o}}$$

$$\gamma = \sqrt{(R_o + jX_o)jB_o} = \sqrt{j^2 X_o B_o \left(1 - j \frac{R_o}{X_o}\right)} = j\alpha \sqrt{1 - j \frac{R_o}{X_o}}$$

Đại lượng $\sqrt{1 - j \frac{R_0}{X_0}}$ có thể phân thành chuỗi, chuỗi này hội tụ khi $-1 < \frac{R_0}{X_0} < 1$. Do tỷ số $\frac{R_0}{X_0}$ nhỏ nên ta chỉ lấy số hạng đầu của chuỗi này

$$\sqrt{1 - j \frac{R_0}{X_0}} \approx \left(1 - j \frac{R_0}{2X_0}\right)$$

Cuối cùng ta có:

$$Z_c = \sqrt{\frac{X_0}{B_0}} \left(1 - j \frac{R_0}{2X_0}\right) = Z_c \left(1 - j \frac{R_0}{2X_0}\right) \quad (12-60)$$

$$\gamma = j\sqrt{X_0 B_0} \left(1 - j \frac{R_0}{2X_0}\right) = \frac{R_0}{2X_0} \alpha + j\alpha = \beta + j\alpha \quad (12-61)$$

Sử dụng (12-60), (12-61) vào các hàm lượng giác hyperbol ta có thể thực hiện các phép biến đổi gần đúng sau:

$$\begin{aligned} \text{Ch}\gamma x &= \text{Ch}\left(\frac{R_0}{2X_0} \alpha x + j\alpha x\right) \\ &= \text{Ch}\left(\frac{R_0}{2X_0} \alpha x\right) \cdot \text{Ch}j\alpha x + \text{Sh}\left(\frac{R_0}{2X_0} \alpha x\right) \cdot \text{Sh}j\alpha x \\ &\approx \cos \alpha x + j \frac{R_0}{2X_0} \alpha x \cdot \sin \alpha x \end{aligned} \quad (12-62)$$

bởi vì; $\text{Ch}j\alpha x = \text{Ch}\alpha x$, $\text{Sh}j\alpha x = j\sin \alpha x$ và do tỷ số $\frac{R_0}{2X}$ rất bé nên:

$$\text{Ch}\left(\frac{R_0}{2X_0} \alpha x\right) \approx 1, \quad \text{Sh}\left(\frac{R_0}{2X_0} \alpha x\right) \approx \frac{R_0}{2X_0} \alpha x$$

Tương tự:

$$\begin{aligned} \text{Sh}\gamma x &= \text{Sh}\left(\frac{R_0}{2X_0} \alpha x + j\alpha x\right) \\ &\approx \frac{R_0}{2X_0} \alpha x \cdot \cos \alpha x + j\sin \alpha x \end{aligned} \quad (12-63)$$

Thay (12-62), (12-63) vào (12-20), biến đổi về điện áp dây ta được:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{U}_2 \left(\cos \alpha x + j \frac{R_0}{2X_0} \alpha x \sin \alpha x \right) + \\ &\quad + 3\dot{I}_2 Z_c \left(1 - j \frac{R_0}{2X_0}\right) \left(\frac{R_0}{2X_0} \alpha x \cos \alpha x + j \sin \alpha x \right) \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_2 \left(\cos \alpha x + j \frac{R_0}{2X_0} \alpha x \sin \alpha x + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\dot{U}_2}{\sqrt{3} Z_c \left(1 - j \frac{R_0}{2X_0}\right)} \left(\frac{R_0}{2X_0} \alpha x \cos \alpha x + j \sin \alpha x \right) \right) \end{aligned} \quad (12-64)$$

Các biểu thức này có thể biến đổi về dạng phụ thuộc vào công suất ở cuối đường dây.

Cho điện áp $\dot{U}_1$:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 = & \dot{U}_2 [\cos \alpha x + (\alpha x \cos \alpha x + \sin \alpha x) \times \\ & \times \frac{R_0}{2X_0} P_2^* + Q_2^* \sin \alpha x + j \dot{U}_2 \left[\frac{R_0}{2X_0} \alpha x \sin \alpha x + \right. \\ & \left. + P_2^* \sin \alpha x - (\alpha x \cos \alpha x + \sin \alpha x) \frac{R_0}{2X_0} Q_2^* \right] \end{aligned} \quad (12-65)$$

Trong biểu thức trên Q_2^* và P_2^* là tỉ số giữa công suất phản kháng và công suất

$$\text{tác dụng với công suất cơ sở } P_{cs} = \frac{U_2^2}{Z_c}$$

Vẽ đồ thị vectơ của $\dot{U}_x$ ta sẽ được hình xoắn ốc. (hình 12-11).

Tỷ số điện áp:

$$\begin{aligned} K = \frac{U_1}{U_2} = & \sqrt{\left[\cos \alpha l + \frac{R_0}{2X_0} (\alpha \cos \alpha l + \sin \alpha l) P_2^* + \right. \\ & \left. + Q_2^* \sin \alpha l \right]^2 + \left[\frac{R_0}{2X_0} \alpha \sin \alpha l + P_2^* \sin \alpha l - \right. \\ & \left. - (\alpha \cos \alpha l + \sin \alpha l) \frac{R_0}{2X_0} Q_2^* \right]^2} \end{aligned} \quad (12-66)$$

Góc ϕ :

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{\frac{R_0}{2X_0} \alpha \sin \alpha l + P_2^* \sin \alpha l - \frac{R_0}{2X_0} (\alpha \cos \alpha l + \sin \alpha l) Q_2^*}{\cos \alpha l + \frac{R_0}{2X_0} (\alpha \cos \alpha l + \sin \alpha l) P_2^* + Q_2^* \sin \alpha l} \quad (12-67)$$

Việc tính toán tổn thất công suất và tổn thất điện năng của đường dây dài khi tính đến tất cả các thông số rải đều của nó khá phức tạp, vì thế sẽ trình bày riêng ở mục 12-8.

2. Đường dây có $R \neq 0$ và $G \neq 0$.

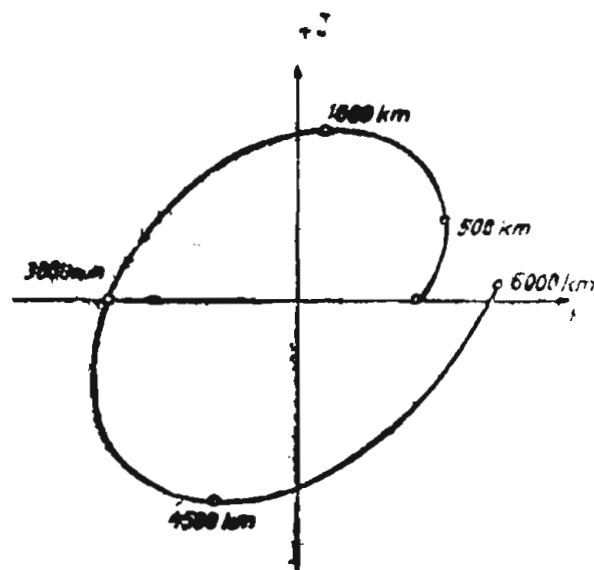
Trong trường hợp này ta phải biến đổi $Ch \gamma x$ và $Sh \gamma x$ thành chuỗi;

$$Ch \gamma x = 1 + \frac{(\gamma x)^2}{2} + \frac{(\gamma x)^4}{24} + \dots$$

$$Sh \gamma x = \gamma x + \frac{(\gamma x)^3}{6} + \frac{(\gamma x)^5}{120} + \dots$$

ta cũng có:

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}} = \frac{Z_0}{\sqrt{Z_0 Y_0}} = \frac{Z_0}{\gamma}$$



Hình 12-11

hay là

$$\frac{1}{Z_c} \sqrt{\frac{Y_o}{Z_o}} = \frac{Y_o}{\sqrt{Z_o Y_o}} = \frac{Y_o}{\gamma}$$

Thay các kết quả trên vào (12-20) ta nhận được hệ phương trình đường dây dài dưới dạng chuỗi, có thể tính toán dễ dàng:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_x &= \dot{U}_2 \left[1 + \frac{(\gamma x)^2}{2} + \frac{(\gamma x)^4}{24} + \dots \right] + \sqrt{3} \dot{I}_2 Z_o x \left[1 + \frac{(\gamma x)^2}{6} + \frac{(\gamma x)^4}{120} + \dots \right] \\ \dot{I}_x &= \dot{I}_2 \left[1 + \frac{(\gamma x)^2}{2} + \frac{(\gamma x)^4}{24} + \dots \right] + \frac{\dot{U}_2}{\sqrt{3}} Y_o x \left[1 + \frac{(\gamma x)^2}{6} + \frac{(\gamma x)^4}{120} + \dots \right] \end{aligned} \right\} \quad (12-68)$$

Trong biểu thức trên:

$$Z_o = R_o + jX_o \quad Y_o = G_o + jB_o$$

$$\gamma = \sqrt{Z_o Y_o} = \beta + j\alpha$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{2} (R_o G_o - X_o B_o) + \frac{1}{2} \sqrt{(R_o^2 + X_o^2)(G_o^2 + B_o^2)}} \quad (12-69)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} (B_o X_o - R_o G_o) + \frac{1}{2} \sqrt{(R_o^2 + X_o^2)(G_o^2 + B_o^2)}} \quad (12-70)$$

3. Phân bố điện áp trên đường dây có điện áp hai đầu không đổi.

Bằng cách đặt các thiết bị bù trên đường dây tải điện đi xa có thể giữ cho điện áp ở một số điểm nào đó trên đường dây dài ở một giá trị nhất định như vậy làm giảm độ không đều của điện áp đến mức cho phép.

Ta cần tính phân bố điện áp trên đường dây giữa hai điểm có điện áp cho trước $\dot{U}_1$ và $\dot{U}_2$, cách nhau độ dài l .

Ta viết lại hệ phương trình (12-20) và (12-21) cho điện áp dây

$$\dot{U}_x = \dot{U}_2 \operatorname{ch} \gamma x + \sqrt{3} \dot{I}_2 Z_c \operatorname{sh} \gamma x \quad (12-71)$$

$$\dot{I}_x = \dot{I}_2 \operatorname{ch} \gamma x + \frac{\dot{U}_2}{\sqrt{3} Z_c} \operatorname{sh} \gamma x$$

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 \operatorname{ch} \gamma l + \sqrt{3} \dot{I}_2 Z_c \operatorname{sh} \gamma l$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 \operatorname{ch} \gamma l + \frac{\dot{U}_2}{\sqrt{3} Z_c} \operatorname{sh} \gamma l \quad (12-72)$$

ta rút $\dot{I}_2$ từ phương trình đầu của (12-72):

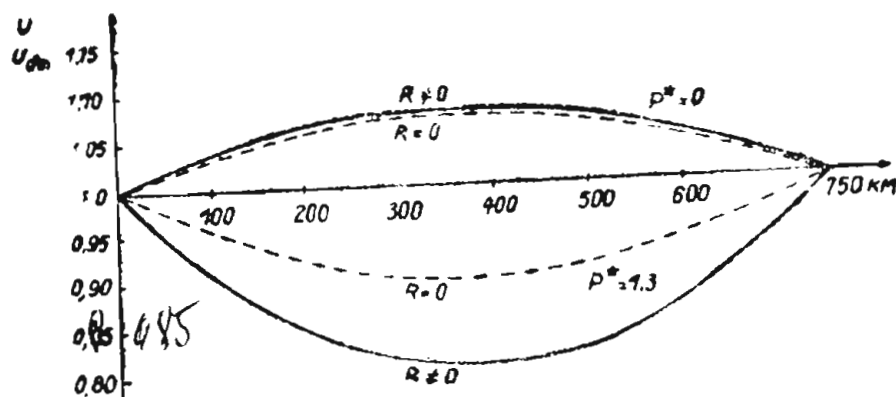
$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_1 - \dot{U}_2 \operatorname{ch} \gamma l}{\sqrt{3} Z_c \operatorname{sh} \gamma l}$$

thay $\dot{I}_2$ và $\dot{I}_1$ theo (12-72) vào (12-71), ta được:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_x &= \dot{U}_1 \frac{\operatorname{sh} \gamma x}{\operatorname{sh} \gamma l} + \dot{U}_2 \frac{\operatorname{sh} \gamma (l-x)}{\operatorname{sh} \gamma l} \\ \dot{I}_x &= \frac{\dot{U}_1}{\sqrt{3} Z_c} \frac{\operatorname{ch} \gamma x}{\operatorname{sh} \gamma l} - \frac{\dot{U}_2}{\sqrt{3} Z_c} \frac{\operatorname{ch} \gamma (l-x)}{\operatorname{sh} \gamma l} \end{aligned} \right\} \quad (12-73)$$

Ta thấy sự phân bố điện áp và dòng điện phụ thuộc vào giá trị tuyệt đối của điện áp ở hai đầu đường dây và góc pha giữa chúng.

Trên hình 12-12 là kết quả tính toán điện áp trên đường dây tải điện 500kV dây dẫn $3 \times \text{ACO} - 500$, điện áp ở hai đầu được giữ bằng nhau, đường đậm là có kể đến điện trở và đường chấm là không kể đến điện trở của đường dây. Ta thấy khi công suất tải nhỏ hơn công suất tự nhiên điện áp ở giữa đường dây cao hơn hai đầu, còn khi công suất tải lớn hơn công suất tự nhiên thì điện áp ở giữa đường dây thấp hơn.



Hình 12-12

Cần chú ý rằng khi đường dây dài $\frac{1}{2}$ bước sóng tức 3000km thì không cần phải điều chỉnh, điện áp hai đầu đường dây cũng bằng nhau.

12-7. TÍNH TOÁN GẦN ĐÚNG CHẾ ĐỘ CỦA ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN ĐI XA BẰNG CÁC SƠ ĐỒ THAY THẾ.

Đối với các đường dây tải điện ngắn, quãng 500 – 600 km trở lại, việc tính toán các chế độ làm việc bằng các sơ đồ thay thế rất nhanh chóng và đảm bảo độ chính xác cho phép. Phương pháp này cho phép thành lập dễ dàng các đặc tính cơ bản của đường dây như công suất giới hạn, tổn thất công suất, hiệu suất... Nhược điểm của phương pháp này là không tính được phân bố điện áp và dòng điện dọc đường dây.

Việc sử dụng các sơ đồ thay thế ghép liên tiếp cho phép tính toán các đường dây không đồng nhất, đường dây có trạm biến áp, đường dây có trạm bù... Trên cơ sở đó có thể lựa chọn tối ưu các thông số của máy biến áp, thiết bị bù... theo mục tiêu đã đề ra.

1. Sơ đồ tổng quát của đường dây dài

Đường dây dài có thể diễn tả bằng sơ đồ mạch hai cửa (hình 12-13a) với các thông số đặc trưng A, B, C, D , các thông số của chế độ là $\dot{U}_1, \dot{I}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_2$. Khi đã biết $\dot{U}_2, \dot{I}_2$ thì $\dot{U}_1, \dot{I}_1$ xác định theo biểu thức:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= A\dot{U}_2 + \sqrt{3} B\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 &= \frac{1}{\sqrt{3}} C\dot{U}_2 + D\dot{I}_2 \end{aligned} \quad (12-74)$$

So sánh với (12-20) ta thấy rằng trong trường hợp đường dây có thông số rải đều và đối xứng

$$\begin{aligned} A &= Ch\gamma l, B = Z_c Sh\gamma l \\ C &= \frac{1}{Z_c} Sh\gamma l, D = Ch\gamma l = A \end{aligned} \quad (12-75)$$

Trường hợp đường dây không tổn thất các thông số trên sẽ là:

$$A = \cos \alpha l = D, B = jZ_c \sin \alpha l, C = j \frac{\sin \alpha l}{Z_c}$$

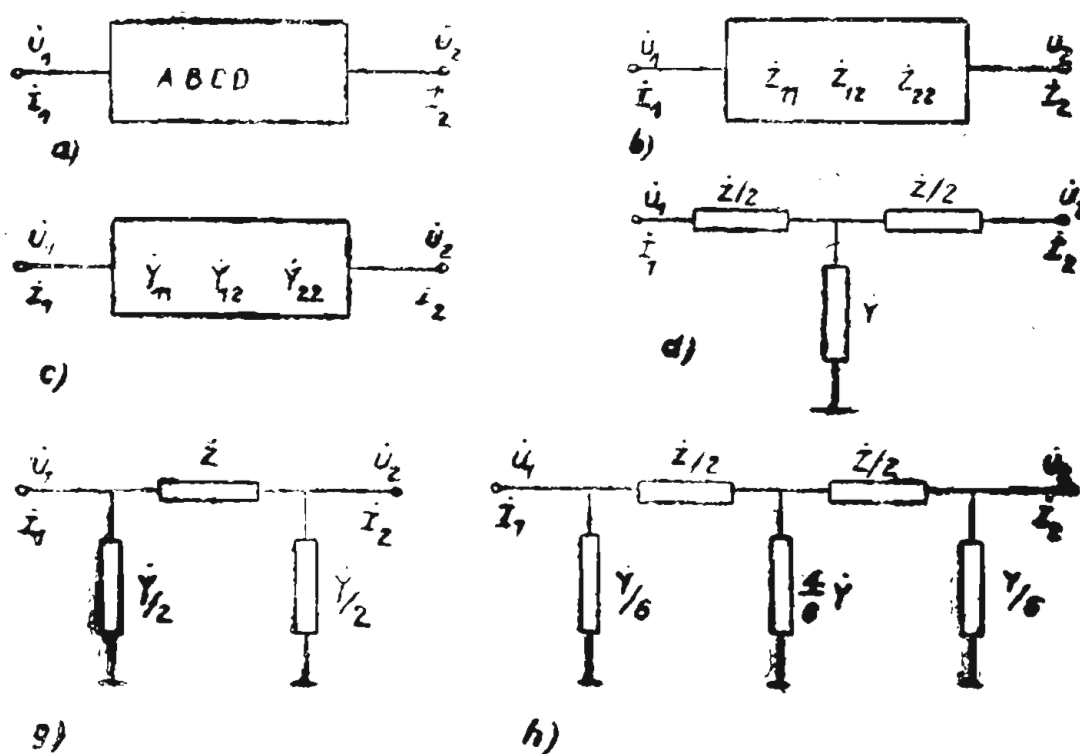
có trường hợp các phương trình của đường dây dài viết dưới dạng tổng trở và tổng dẫn riêng, tổng trở và tổng dẫn tương hỗ (hình 12-13 b, c).

$$\dot{U}_1 = \frac{\dot{Z}_{12}}{\dot{Z}_{22}} \dot{U}_2 + \dot{Z}_{12} \dot{I}_2 \quad (12-76)$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{\dot{Z}_{11}} + \frac{\dot{U}_2}{\dot{Z}_{12}}$$

$$\dot{U}_1 = \frac{\dot{Y}_{22}}{\dot{Y}_{12}} \dot{U}_2 + \frac{1}{\dot{Y}_{12}} \dot{I}_2 \quad (12-77)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{Y}_{11} \dot{U}_1 + \dot{Y}_{12} \dot{U}_2$$



Hình 12-13

trong đó $\dot{Z}_{11}, \dot{Z}_{22}$ là tổng trở riêng
 $\dot{Z}_{12}$ là tổng trở tương hỗ
 $\dot{Y}_{11}, \dot{Y}_{22}$ là tổng dẫn riêng
 $\dot{Y}_{12}$ là tổng dẫn tương hỗ.

Giữa tổng trở và tổng dẫn và giữa tổng trở và các hệ số chung $ABCD$ có các quan hệ sau:

$$\dot{Z}_{11} = \frac{1}{\dot{Y}_{11}} = \frac{B}{D}, \quad \dot{Z}_{22} = \frac{1}{\dot{Y}_{22}} = \frac{B}{A}, \quad \dot{Z}_{12} = \frac{1}{\dot{Y}_{12}} = B \quad (12-78)$$

Các quan hệ giữa các thông số $\dot{U}_2, \dot{I}_2$ theo $\dot{U}_1, \dot{I}_1$ viết theo tổng trở và tổng dẫn và công thức tính $ABCD$ theo tổng trở tổng dẫn trong bảng 12-2.

2. Các sơ đồ thay thế đơn giản.

Để giải các đường dây ngắn, ta thay chúng bằng các sơ đồ thay thế đơn giản như trên hình 12-13 d, g, h.

Sơ đồ thay thế hình T (hình 12-13d)

Các thông số của sơ đồ này là:

$$\dot{Z} = \dot{Z}_0 l, \quad \dot{Y} = \dot{Y}_0 l \quad (12-79)$$

Diễn tả các thông số chế độ ở hai đầu đường dây theo (12-74), bằng các phép tính mạng điện thông thường ta xác định được:

$$\begin{aligned} A &= 1 + \frac{\dot{Z}_0 \dot{Y}_0 l^2}{2} = D \\ B &= \dot{Z}_0 l \left(1 + \frac{\dot{Z}_0 \dot{Y}_0 l^2}{4} \right) \\ C &= \dot{Y}_0 l \end{aligned} \quad (12-80)$$

Với sơ đồ hình π ta có (hình 12-13g)

$$\begin{aligned} A &= 1 + \frac{\dot{Z}_0 \dot{Y}_0 l^2}{2} \\ B &= \dot{Z}_0 l \\ C &= \dot{Y}_0 l \left(1 + \frac{\dot{Z}_0 \dot{Y}_0 l^2}{4} \right) \end{aligned} \quad (12-81)$$

Sơ đồ hình T hoặc π sử dụng tốt cho các đường dây dưới 300 km.

Khi độ dài đường dây tới 600 km thì nên dùng sơ đồ thay thế hình 12-13h (sơ đồ STEINMETZ), khi đó:

$$\begin{aligned} A &= 1 + \frac{\dot{Z}_0 \dot{Y}_0 l^2}{2} + \frac{\dot{Z}_0^2 \dot{Y}_0^2 l^4}{36} \\ B &= \dot{Y}_0 l \left(1 + \frac{5 \dot{Z}_0 \dot{Y}_0 l^2}{36} + \frac{\dot{Z}_0^2 \dot{Y}_0^2 l^4}{216} \right) \end{aligned} \quad (12-82)$$

Ngoài các sơ đồ thay thế trên đây còn có khi dùng đến các sơ đồ không đối xứng hình T , π hoặc Γ (ví dụ: sơ đồ máy biến áp, đường dây ghép với máy biến áp) (hình 12-14a, b, c).

Sơ đồ hình T (hình 12-14a) có

$$\begin{aligned} A &= 1 + \dot{Z}_A \dot{Y} \\ B &= \dot{Z}_A + \dot{Z}_B + \dot{Z}_A \dot{Z}_B \dot{Y} \\ C &= \dot{Y} \\ D &= 1 + \dot{Z}_B \dot{Y} \end{aligned} \quad (12-83)$$

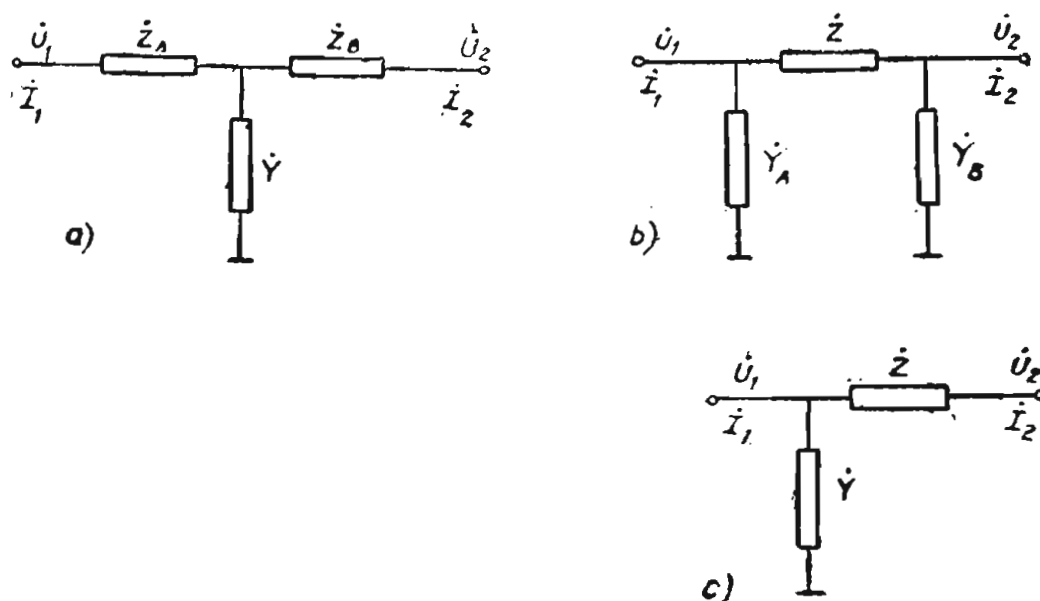
Sơ đồ hình Π (hình 12-14b)

$$\begin{aligned} A &= 1 + \dot{Y}_B \dot{Z} \\ B &= \dot{Z} \\ C &= \dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_A \dot{Y}_B \dot{Z} \\ D &= 1 + \dot{Y}_A \dot{Z} \end{aligned} \quad (12-84)$$

Sơ đồ hình Γ (hình 12-14c)

$$\begin{aligned} A &= 1 \\ B &= \dot{Z} \\ C &= \dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_A \dot{Y}_B \dot{Z} \\ D &= 1 + \dot{Y}_A \dot{Z} \end{aligned} \quad (12-85)$$

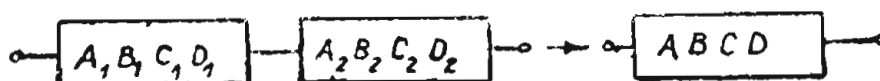
Ta nhận thấy tất cả các thông số A, B, C, D đều là các số phức có modul là $|A|, |B|, |C|, |D|$ và các argumen là $\psi_A, \psi_B, \psi_C, \psi_D$.



Hình 12-14

3. Ghép nối các sơ đồ thay thế.

Khi đường dây tải điện không đồng nhất hoặc có đặt thiết bị bù, hoặc xét đến cả máy biến áp v.v... thì phải sử dụng sơ đồ ghép, trong đó mỗi đoạn đường dây đồng nhất, máy biến áp, thiết bị bù được thay thế bằng một sơ đồ thay thế đơn giản với các thông số A_i, B_i, C_i, D_i riêng. Các sơ đồ này ghép liên tiếp thành sơ đồ chung với các thông số tổng quát A, B, C, D (hình 12-15). Các thông số này là hàm của các thông số sơ đồ thành phần A_i, B_i, C_i, D_i . Có



Hình 12-15

nhiều cách để tính các thông số tổng quát, song phương pháp ma trận là tiện lợi hơn cả. Theo phương pháp này ma trận các thông số chung bằng tích của các ma trận thông số thành phần.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \dots$$

Bảng 12-2 dưới đây cho kết quả tính toán của một số trường hợp lắp ghép các sơ đồ thường gặp.

Bảng 12-2

Cách ghép các sơ đồ thay thế và công thức tính các thông số chung A, B, C, D

Sơ đồ	A	B	C	D
	1	Z	0	1
	1	0	Y	
	$A_1 A_2 + B_1 C_2$	$A_1 B_2 + B_1 D_2$	$C_1 A_2 + D_1 C_2$	$D_1 D_2 + C_1 B_2$
	$\frac{A_1 B_2 + B_1 A_2}{B_1 + B_2}$	$\frac{B_1 B_2}{B_1 + B_2}$	$C_1 C_2 + \frac{(A_1 - A_2) Y (D_1 - D_2)}{B_1 + B_2}$	$\frac{B_1 D_2 + D_1 B_2}{B_1 + B_2}$
	$A_1 + Z C_1$	$B_1 + Z D_1$	C_1	D_1
	A_1	$B_1 + Z A_1$		$D_1 + Z C_1$
	$A_1 + Z_1 C_1$	$B_1 + Z_1 D_1 + Z_2 A_1 + Z_2 Z_1 C_1$	C_1	$D_1 + Z_1 C_1$
	A_1	B_1	$C_1 + Y A_1$	$D_1 + Y B_1$
	$A_1 + Y B_1$	B_1	$C_1 + Y D_1$	D_1
	$A_1 + Y_1 B_1$	B_1	$C_1 + Y_1 A_1 + Y_2 Q + Y_1 Y_2 B$	$D_1 + Y_1 D$
	$A_1 A_2 + B_1 C_2 + A_1 C_2 Z$	$A_1 B_2 + B_1 D_2 + A_1 D_2 Z$	$A_1 C_1 + C_2 D_1 + C_1 C_2 Z$	$B_1 C_2 + D_1 D_2 + C_1 D_2 Z$
	$A_1 A_2 + B_1 C_2 + A_1 B_1 Y$	$A_1 B_2 + B_1 D_2 + B_1 B_1 Y$	$A_1 C_1 + C_2 D_1 + A_1 D_1 Y$	$B_1 C_2 + D_1 D_2 + B_1 D_1 Y$

Mối liên hệ giữa các thông số ABCD và các tổng trở tổng dẫn riêng, tổng trở tổng dẫn tương hỗ như sau

$$\begin{aligned} Q_1 &= AU_1 + BI_1 & U_1 &= \frac{Y_{11}}{Y_{12}} U_2 + \frac{1}{Y_{12}} I_2 & U_2 &= \frac{Z_{12}}{Z_{11}} U_1 - \frac{Z_{22}}{Z_{11}} I_1 & Z_{11} &= \frac{1}{Y_{11}} = \frac{B}{C} & A &= \frac{Y_{12}}{Y_{11}} = \frac{Z_{21}}{Z_{11}} \\ I_1 &= CU_1 + DI_1 & I_1 &= Y_{12} U_2 + Y_{11} U_1 & I_2 &= \frac{U_2}{Z_{22}} - \frac{U_1}{Z_{12}} & Z_{12} &= \frac{1}{Y_{12}} = \frac{B}{C} & B &= \frac{1}{Y_{12}} = \frac{Z_{21}}{Z_{11}} \\ U_2 &= DU_1 + EI_1 & U_2 &= \frac{Y_{21}}{Y_{22}} U_1 - \frac{1}{Y_{22}} I_1 & U_1 &= \frac{Z_{21}}{Y_{22}} U_2 - \frac{Z_{22}}{Y_{22}} I_2 & Z_{22} &= \frac{1}{Y_{22}} = \frac{B}{C} & C &= \frac{Y_{21}}{Y_{22}} = \frac{Z_{12}}{Z_{22}} \\ I_2 &= -EU_1 + AI_2 & I_2 &= Y_{21} U_1 + Y_{22} U_2 & I_1 &= \frac{U_1}{Z_{11}} - \frac{U_2}{Z_{12}} & & & D &= \frac{Y_{22}}{Y_{21}} = \frac{Z_{11}}{Z_{22}} \end{aligned}$$

4. Tính toán chế độ của đường dây tải điện theo sơ đồ thay thế.

Nhờ hệ phương trình cơ bản (12-71) với các thông số lũy theo loại sơ đồ thay thế được xác định bởi các biểu thức từ (12-79) đến (12-85) ta có thể tính toán mọi chế độ của đường dây tải điện đi xa.

Ở đây chỉ dẫn xuất các biểu thức tính toán công suất tác dụng và phản kháng của đường dây dài theo góc δ giữa $\dot{U}_1$ và $\dot{U}_2$ khi giá trị của các điện áp này đã xác định.

Ta viết lại các phương trình (12-74) lấy vector $\dot{U}_2$ làm trục thực. Khi đó có

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= AU_2 + \sqrt{3} B\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 &= \frac{1}{\sqrt{3}} CU_2 + D\dot{I}_2\end{aligned}\quad (12-86)$$

ta rút $\dot{I}_2$ từ phương trình đầu:

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_1 - AU_2}{\sqrt{3} B}$$

rồi thay vào phương trình thứ hai, ta được:

$$\dot{I}_1 = \frac{1}{\sqrt{3}} CU_2 + \frac{D\dot{U}_1 - ADU_2}{\sqrt{3} B}$$

Công suất biểu kiến ở đầu đường dây tải điện là:

$$\begin{aligned}\dot{S}_1 &= \sqrt{3} \dot{U}_1 \hat{I}_1 = \dot{U}_1 (\hat{C}U_2 + \frac{\hat{D} \hat{U}_1 - \hat{A} \hat{D}U_2}{\hat{B}} - \\ &\quad - \frac{\hat{D}}{\hat{B}} U_1^2 + \frac{(\hat{B} \hat{C} - \hat{D} \hat{A})}{\hat{B}} U_1 U_2 / \delta\end{aligned}$$

theo lý thuyết mạch hai vửa có: $BC - DA = 1$ cho nên

$$\dot{S}_1 = \frac{\hat{D}}{\hat{B}} U_1^2 + \frac{1}{\hat{B}} U_1 U_2 / \delta \quad (12-87)$$

Phần thực của $\dot{S}_1$ là công suất tác dụng, phần ảo là công suất phản kháng, nghĩa là:

$$\left. \begin{aligned}P_1 &= R \dot{S}_1 = \frac{D}{B} U_1^2 \sin(\psi_D + \alpha) + \frac{U_1 U_2}{B} \sin(\delta - \alpha) \\ Q_1 &= I_m \dot{S}_1 = \frac{D}{B} U_1^2 \cos(\psi_D + \alpha) - \frac{U_1 U_2}{B} \cos(\delta - \alpha)\end{aligned} \right\} \quad (12-88)$$

Trong biểu thức trên $\alpha = 90^\circ - \psi_B$

Tương tự có thể tính P_2, Q_2 ở cuối đường dây:

$$\left. \begin{aligned}\dot{P}_2 &= -\frac{A}{B} U_2^2 \sin(\psi_A + \alpha) + \frac{U_1 U_2}{B} \sin(\delta + \alpha) \\ Q_2 &= -\frac{A}{B} U_2^2 \cos(\psi_A + \alpha) + \frac{U_1 U_2}{B} \cos(\alpha + \delta)\end{aligned} \right\} \quad (12-89)$$

Các biểu thức (12-88), (12-89) có thể viết dưới dạng tổng trở đầu vào và tổng trở tương hỗ như sau :

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{U_1^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{U_1 U_2}{Z_{12}} \sin (\delta - \alpha_{12}) \\ Q_1 &= \frac{U_1^2}{Z_{12}} \cos \alpha_{11} - \frac{U_1 U_2}{Z_{12}} \cos (\delta - \alpha_{12}) \\ P_2 &= -\frac{U_2^2}{Z_{22}} \sin \alpha_{22} + \frac{U_1 U_2}{Z_{12}} \sin (\delta + \alpha_{12}) \\ Q_2 &= -\frac{U_2^2}{Z_{22}} \cos \alpha_{22} + \frac{U_1 U_2}{Z_{12}} \cos (\delta + \alpha_{12}) \end{aligned} \quad (12-90)$$

Các biểu thức (12-88), (12-89) hay (12-90) sử dụng để tính toán chế độ của đường dây có bù, tính khả năng tải và khả năng ổn định của đường dây tải điện đi xa.

Công suất cực đại có thể truyền tải trên đường dây tải điện là :

$$P_{1\max} = \frac{D}{B} U_1^2 \sin(\varphi_D + \alpha) + \frac{U_1 U_2}{B} = \frac{U_1^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{U_1 U_2}{Z_{12}} \quad (12-91)$$

Ví dụ: Với sơ đồ thay thế đơn giản nhất chỉ gồm điện kháng X , ta có $A = 1$, $B = jX = X \angle 90^\circ$, $C = 0$, $D = 1$ và

$$P_{1\max} = \frac{U_1 U_2}{X}$$

Muốn tìm giá trị tối ưu của thông số một phần tử nào đó theo điều kiện nâng cao khả năng tải, ta lập quan hệ giữa $P_{1\max}$ theo thông số ấy, các thông số này thể hiện trong D, B . Sau đó khảo sát hàm $P_{1\max}$. Thông qua giá trị D hoặc B sẽ tìm được thông số tối ưu.

12-8. TÍNH TOÁN TỒN THẤT CÔNG SUẤT VÀ TỒN THẤT ĐIỆN NĂNG.

TỒN THẤT ĐIỆN ÁP.

1. Tồn thất công suất.

Tồn thất công suất trên đường dây dài là hiệu số giữa công suất đầu vào P_1 và công suất đầu ra ở cuối đường dây P_2 .

Ta có:

$$P_1 = R_e \hat{S}_1 = R_e \sqrt{3} \hat{U}_1 \hat{I}_1 \quad (12-92)$$

Thay $\hat{U}_1$ và $\hat{I}_1$ theo (12-86) vào (12-92):

$$\begin{aligned} P_1 &= \sqrt{3} R_e \left[A \hat{U}_2 + \sqrt{3} B \hat{I}_2 \right] \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \hat{C} \hat{U}_2 + \hat{D} \hat{I}_2 \right) = \\ &= R_e [A \hat{C} \hat{U}_2^2 + \sqrt{3} \sqrt{3} B \hat{D} \hat{I}_2^2 + A \hat{D} \sqrt{3} \hat{U}_2 \hat{I}_2 + \sqrt{3} B \hat{C} \hat{U}_2 \hat{I}_2] \end{aligned} \quad (12-93)$$

$$\sqrt{3} \sqrt{3} \dot{I}_2^2 = \frac{\dot{S}_2^2}{U_2^2}$$

$$\sqrt{3} U_2 \hat{I}_2 = \dot{S}_2 = P_2 - jQ_2; \sqrt{3} U_2 \dot{I}_2 = P_2 + jQ_2$$

Thay vào (12-93):

$$\begin{aligned} P_1 &= R_e \left[A \hat{C} U_2^2 + B \hat{D} \frac{\dot{S}_2^2}{U_2^2} + (A \hat{D} + B \hat{C}) P_2 + j(B \hat{C} - A \hat{D}) Q_2 \right] \\ &= R_e [A \hat{C} U_2^2] + R_e \left[B \hat{D} \frac{P_2^2}{U_2^2} + (A \hat{D} + B \hat{C}) P_2 \right] + \\ &\quad + R_e \left[B \hat{D} \frac{Q_2^2}{U_2^2} + j(B \hat{C} - A \hat{D}) Q_2 \right] \end{aligned}$$

Tồn thất công suất tác dụng:

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_1 - P_2 \\ &= R_e [A \hat{C} U_2^2] + R_e \left[B \hat{D} \frac{P_2^2}{U_2^2} + (A \hat{D} + B \hat{C} - 1) P_2 \right] + \\ &\quad + R_e \left[B \hat{D} \frac{Q_2^2}{U_2^2} + j(B \hat{C} - A \hat{D}) Q_2 \right] \end{aligned} \quad (12-94)$$

Ta nhận thấy ΔP gồm 3 thành phần:

- Thành phần tồn thất không tải chỉ phụ thuộc U_2
- Thành phần tồn thất phụ thuộc công suất tác dụng
- Thành phần tồn thất phụ thuộc công suất phản kháng.

Có thể tính ΔP theo P_1, U_1 :

$$\Delta P = R_e \left[D \hat{C} U_1^2 + B \hat{A} \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} - (D \hat{A} + B \hat{C} - 1) P_1 - j(B \hat{C} - D \hat{A}) Q_1 \right] \quad (12-95)$$

Tương tự ta có tồn thất công suất phản kháng

$$\begin{aligned} \Delta Q &= I_m \dot{S}_1 - Q_2 = \\ &= I_m \left[A \hat{C} U_2^2 + B \hat{D} \frac{\dot{S}_2^2}{U_2^2} + (A \hat{D} + B \hat{C}) P_2 + j(A \hat{D} - B \hat{C} - 1) Q_2 \right] \end{aligned} \quad (12-96)$$

Khi sử dụng sơ đồ thay thế đường dây đơn giản nhất chỉ gồm có tổng trở $Z = R + jX$, các thông số là $A = 1, B = R + jX, C = 0, D = 1$ thì sẽ trở lại các công thức quen thuộc khi tính toán mạng điện:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R, \Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X \quad \text{MW, MVar, kV,}$$

2. Hiệu suất tải điện

Hiệu suất tải điện được định nghĩa bằng biểu thức:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \quad [\%] \quad (12-97)$$

Hiệu suất tải điện có thể tính theo tổn thất công suất tác dụng cho bằng các biểu thức (12-94), (12-95):

$$\eta = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} 100 = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} 100$$

Cũng có thể tính theo các biểu thức xác định P_1 , P_2 (12-88) và (12-89).

Khi đã cho trước điện áp ở hai đầu đường dây tải điện, muốn tìm chế độ công suất có hiệu suất lớn nhất phải giải hệ phương trình sau

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial P} = 0; \quad \frac{\partial \Delta P}{\partial Q} = 0.$$

nghiệm của chúng P_0, Q_0 xác định chế độ có tổn thất công suất bé nhất và do đó hiệu suất tải điện sẽ lớn nhất.

3. Tổn thất điện năng:

Tổn thất điện năng tính theo biểu thức:

$$A = \int_T P(t) dt = \tau \Delta P_1 + t \Delta P_2 \quad (12-98)$$

Trong đó T là thời gian tính tổn thất thường là một năm, τ là thời gian tổn thất công suất lớn nhất, phụ thuộc vào thời gian sử dụng công suất lớn nhất $T_{\max}$, có thể tính theo biểu thức gần đúng sau:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\max}}{10^4} \right)^2 8760 \quad (12-99)$$

t là thời gian đường dây tải điện có điện áp, $t \leq T$

ΔP_1 — tổn thất công suất phụ thuộc dòng công suất tải trên đường dây

ΔP_2 — tổn thất không tải, chỉ phụ thuộc vào điện áp của đường dây.

4. Tổn thất điện áp.

Tổn thất điện áp trên đường dây tải điện là hiệu giữa điện áp ở hai đầu đường dây:

$$\Delta \dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2 \quad (12-100)$$

Cách tính $\dot{U}_1, \dot{U}_2$ chính xác đã trình bày ở các phần trên.

Ở đây chỉ xét trường hợp đơn giản nhất là đường dây được thay thế bằng tổng trở cố định $Z = R + jX$ khi đó:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} + j \frac{PX - QR}{U} \quad [\text{kV, MW, MVar, } \Omega] \quad (12-10)$$

Trong đó P, Q, U lấy giá trị hoặc cùng ở đầu hoặc cùng ở cuối đường dây tải điện

Biết $\Delta \dot{U}$ có thể tính được $\dot{U}_1, \dot{U}_2$.

— Biết U_2, Q_2, P_2 :

$$\dot{U}_1 = U_2 + \Delta U = U_2 | \delta$$

$$U_1 = \sqrt{\left(U_2 + \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2} \right)^2 + \left(\frac{P_2 X - Q_2 R}{U_2} \right)^2}$$

$$\delta = \arctg \frac{\frac{P_2 X - Q_2 R}{U_2}}{U_2 + \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2}}$$

— Biết U_1, Q_1, P_1

$$\dot{U}_2 = U_1 - \Delta U = U_2 | \delta$$

$$U_2 = \sqrt{\left(U_1 - \frac{P_1 R + Q_1 X}{U_1} \right)^2 + \left(\frac{P_1 X - Q_1 R}{U_1} \right)^2}$$

$$\delta = \arctg \frac{\frac{P_1 X - Q_1 R}{U_1}}{U_1 - \frac{P_1 R + Q_1 X}{U_1}}$$

12-9. CÁC CHẾ ĐỘ ĐẶC BIỆT CỦA ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN ĐI XA.

Có những tình trạng làm việc của đường dây tải điện đi xa không thể coi là chế độ làm việc bình thường cũng không phải là chế độ sự cố, do đó người ta gọi chúng là các chế độ đặc biệt. Các chế độ này có thể là xác lập kéo dài, hoặc có thể quá độ rất ngắn, xảy ra trên đường dây ở trạng thái tốt, hậu quả của nó có hại cần phải có các biện pháp ngăn chặn. Đó là các chế độ xảy ra khi đường dây dài làm việc không tải, lúc này đường dây trở thành nguồn công suất phản kháng lớn. Dòng công suất điện dung lớn này làm cho phân bố điện áp trên đường dây rất không đều, làm quá tải các máy phát điện, gây khó khăn cho việc điều chỉnh điện áp ở phụ tải, có thể gây ra tự kích thích máy phát điện, làm mất ổn định các máy phát làm việc song song với đường dây... Ngoài ra khi không tải, hiện tượng hồ quang lặp lại trong máy cắt điện khi thao tác, ngắn mạch không đối xứng sẽ gây quá điện áp lớn.

Ngoài các chế độ đặc biệt gắn liền với tình trạng không tải của đường dây dài như trên, một số chế độ sau đây cũng được xem là chế độ đặc biệt. Đó là chế độ tự dao động tăng dần, chế độ không đồng bộ và hòa đồng bộ, chế độ không đối xứng.

Sau đây sẽ xét kỹ một số chế độ đặc biệt đáng chú ý đến nhất khi thiết kế và vận hành hệ thống điện.

1 Chế độ không tải xác lập

Chế độ này xảy ra khi đóng điện áp để kiểm tra cách điện, trước khi hòa đồng bộ và kiểm tra tự đồng bộ các đường dây tải điện đi xa.

Công suất điện dung do đường dây phát ra rất lớn làm tăng cao điện áp ở cuối đường dây hở mạch, trên cực của phụ tải dẫn đến làm hỏng cách điện, gây khó khăn cho hòa đồng bộ và điều chỉnh điện áp ở phụ tải. Công suất điện dung này còn gây quá tải máy phát điện.

Để khắc phục các hiện tượng trên cần phải đặt kháng điện hoặc máy bù đồng bộ làm việc ở chế độ thiếu kích thích, cũng có thể đặt bù dọc bằng tụ điện tĩnh.

Dưới đây sẽ trình bày cụ thể cách tính toán chế độ không tải.

1) *Chế độ không tải xác lập của đường dây đóng mạch phía nguồn, hở phía phụ tải.* Khi coi điện áp trên toàn bộ đường dây là không đổi và bằng giá trị định mức, công suất phản kháng do đường dây sinh ra có thể xác định gần đúng theo biểu thức sau:

$$Q_c = U_{dm}^2 B_0 l$$

Đối với điện áp 330–750 kV có biểu thức gần đúng:

$$X_0 B_0 = 1,15 \cdot 10^{-6}$$

Do đó

$$B_0 = \frac{1,07 \cdot 10^{-3}}{Z_c} \text{ vì } Z_c = \sqrt{\frac{X_0}{B_0}}$$

và

$$Q_c = 1,07 \cdot 10^{-3} l \cdot \frac{U_{dm}^2}{Z_c} = 1,07 \cdot 10^{-3} l P_{tn} \quad (12-102)$$

Bảng 12-3 dưới đây cho trị số của Q_c [MVar] trên 100km đường dây có cấp điện áp và số dây dẫn trong 1 pha khác nhau,

Bảng 12-3

U_{dm} kV	Số dây dẫn trong một pha			
	1	2	3	4
220	13	17	—	—
330	—	38	—	—
500	—	—	100	—
750	—	—	—	240

Lượng công suất phản kháng trên dây sẽ bù một phần vào tổn thất công suất phản kháng trên đường dây, phần còn thừa là:

$$\begin{aligned} Q &= Q_c - \Delta Q = Q_c - \left(\frac{S^2}{U_{dm}^2} \right)^2 X_0 l = 1,07 \cdot 10^{-3} l \cdot P_{tn} - \\ &- 1,07 \cdot 10^{-3} l \cdot Z_c \frac{S^2}{U_{dm}^2} = 1,07 \cdot 10^{-3} l \cdot P_{tn} - 1,07 \cdot 10^{-3} \left(\frac{S}{P_{tn}} \right)^2 P_{tn} l = \\ &= 1,07 \cdot 10^{-3} l \cdot P_{tn} \left[1 - \left(\frac{S}{P_{tn}} \right)^2 \right] Q_c (1 - P^2) \end{aligned} \quad (12-103)$$

Từ biểu thức trên ta thấy nếu $P^* = 0,4 - 0,5$ thì công suất thừa sẽ là $(0,85 - 0,75) Q_c$, đòi hỏi phải đặt thiết bị để tiêu thụ lượng công suất này trên đường dây. Độ tăng cao điện áp ở đầu hồ mạch được tính như sau: Ở chế độ không tải $I_2 = 0$ do đó:

$$\dot{U}_1 = A\dot{U}_2 = Ch\gamma l \cdot \dot{U}_2$$

Nếu bỏ qua điện trở và điện dẫn tác dụng thì

$$\dot{U}_1 = \cos \alpha l \cdot \dot{U}_2$$

Với điện áp từ 330—750kV thì

$$\alpha = \sqrt{X_0 B_0} \approx 1,07 \cdot 10^{-3} \text{ rad/km} = 0,061^\circ/\text{km}$$

do đó

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 \cos(0,061l) \quad (12-104)$$

Tỷ số điện áp hai đầu đường dây:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{\cos \alpha l} = \frac{1}{\cos(0,061l)} \quad (12-105)$$

Từ biểu thức trên ta thấy điện áp ở cuối đường dây hồ mạch cao hơn điện áp ở đầu đường dây và độ tăng cao này phụ thuộc vào độ dài đường dây.

Độ tăng cao điện áp ở bất kỳ điểm nào trên đường dây tính theo biểu thức:

$$\frac{U_x}{U_1} = \frac{\cos \alpha (l - x)}{\cos \alpha l} \text{ với } x = 0, 1, \dots, l \quad (12-106)$$

Theo (12-102) có thể tính được:

$$l = 500 \text{ km}, U_2 = 1,2U_1$$

$$l = 700 \text{ km}, U_2 = 1,4U_1$$

$$l = 900 \text{ km}, U_2 = 1,8U_1$$

Trong khi đó quy trình chỉ cho phép $U_1, U_2 \leq 1,1U_{dm}$.

Ngoài hiện tượng tăng cao điện áp, các máy phát phải chịu phụ tải điện dung rất lớn. Công suất này có thể tính gần đúng bằng biểu thức:

$$Q_c = - \left(\frac{U_1^2}{Z_c} \right) \lg \alpha l = - \frac{U_2^2}{2Z_c} \sin 2\alpha l \quad (12-107)$$

Trong đó Z_c là tổng trở sóng của đường dây. Công suất điện dung máy phát phải chịu là:

$$Q_{FC} = Q_c - \Delta Q_B$$

ΔQ_B là tổn thất công suất phản kháng trong máy biến áp tăng áp.

Dòng điện chạy trong Stator là:

$$I_F = \frac{Q_{FC}}{\sqrt{3} U_F}$$

trong đó: $U_F = (U_1 - \Delta U_B) K_B$ là điện áp trên cực máy phát, ΔU_B là tổn thất điện áp trong máy biến áp, K_B là hệ số biến áp.

Nếu kể đến tổn thất công suất tác dụng thì công suất ở đầu đường dây tính theo biểu thức:

$$S_1 = \frac{U_2^2}{2Z_c} \left[\frac{R_0}{X_0} \alpha l - j \left(1 - \frac{R_0^2}{X_0^2} \alpha^2 l^2 \right) \sin 2\alpha l \right] \quad (12-108)$$

Khi không tải, máy phát cũng có khi phải phát công suất tác dụng rất lớn để bù vào tổn thất trên điện trở đường dây và máy biến áp đo dòng điện dung gây ra và tổn thất vầng quang (do điện áp đường dây tăng cao).

Bằng trị số của dòng điện stator và thời gian tồn tại của nó có thể kiểm tra quá tải máy phát và tìm biện pháp khắc phục.

Để khắc phục hiện tượng điện áp tăng cao cũng như quá tải, máy phát phải đặt các thiết bị bù ngang bằng kháng điện, máy bù đồng bộ hoặc bù dọc bằng tụ điện tĩnh.

2) Tính toán chế độ không tải của đường dây có bù.

Trước hết ta hãy xét trường hợp bù ngang bằng kháng điện đặt ở cuối đường dây (hình 12-16a).

Ta có:

$$\dot{U}_2 = \frac{\dot{U}_1}{A}$$

trong đó A là thông số tổng quát của sơ đồ thay thế ghép giữa sơ đồ đường dây có các thông số A_1, B_1, C_1, D_1 và điện kháng có các thông số A_2, B_2, C_2, D_2 .

Đối với đường dây không tổn thất có $A_1 = \cos \alpha l, B_1 = jZ_c \sin \alpha l$ còn đối với kháng điện đặc trưng bởi tổng dẫn Y thì $A_2 = 1, B_2 = 0, C_2 = Y, D_2 = 1$. Theo bảng 12-2 ta có:

$$A = A_1 + YB_1 = \cos \alpha l + YjZ_c \sin \alpha l,$$

Nếu kháng điện đặt ở chỗ bất kỳ thì ta sẽ có sơ đồ ghép ba gồm hai đoạn đường dây hai bên và kháng điện ở giữa. Thông số chung A tra theo bảng 12-2.

Từ các biểu thức trên dễ dàng tính được công suất phản kháng ở đầu đường dây nếu biết công suất của kháng điện là Q_r :

$$Q_{1c} = \frac{U_2^2}{Z_c} \cdot \frac{\sin 2\alpha l}{2} \left[\left(\frac{Q_r}{Z_{1n}} \right)^2 - 1 + 2 \frac{Q_r}{Z_{1n}} \cotg 2\alpha l \right] \quad (12-109)$$

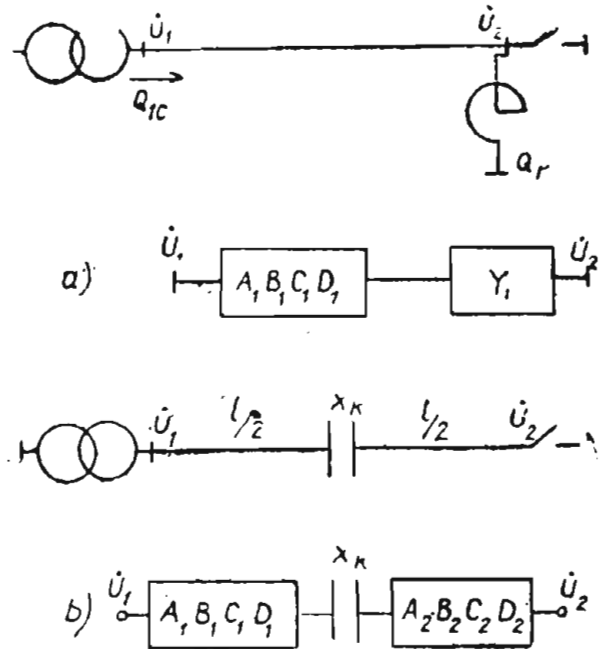
kháng điện lựa chọn theo điều kiện giữ điện áp ở cuối đường dây $U_2 \leq 1,1U_{dm}$.

Trường hợp đường dây đặt bù dọc với dung kháng X_k cách tính toán cũng tương tự như trên, ta có sơ đồ ghép giữa hai phần đường dây và điện kháng X_k ở giữa (hình 12-16b). Theo bảng 12-2 ta tính được thông số chung A , từ đó tính được điện áp U_2 .

Công suất phản kháng ở đầu đường dây là

$$Q_{1c} = -j \frac{U_1^2}{Z_c} \cdot \frac{2Z_c + X_k \tg \frac{\alpha l}{2}}{X_k + 2Z_c \cotg \alpha l} \quad (12-110)$$

X_k cũng được lựa chọn theo điều kiện đảm bảo điện áp U_2 trong giới hạn cho phép. Sau khi có X_k sẽ lựa chọn được các tụ điện.

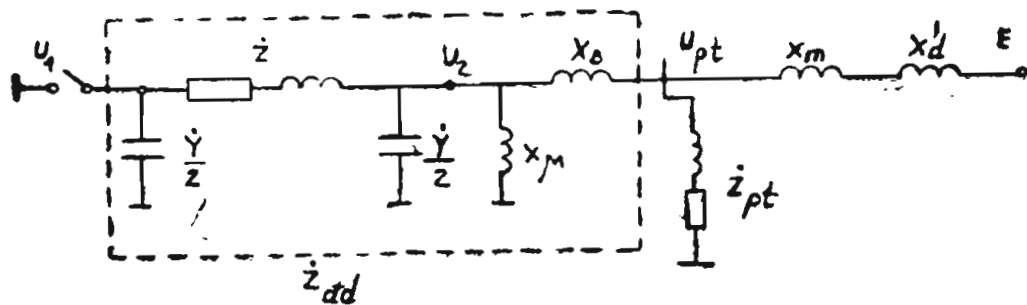


Hình 12-16

3) Chế độ không tải xác lập của đường dây đóng phía phụ tải, hở phía nguồn

Khi đề hở mạch phía nguồn, thì công suất phản kháng do đường dây sinh ra sẽ đi vào phụ tải qua máy biến áp hạ áp làm cho điện áp trên đường dây, trên cực phụ tải tăng cao và máy biến áp có thể quá tải. Trường hợp này xảy ra khi hòa đồng bộ ở phía nguồn hoặc sau khi sự cố phải cắt ở phía nguồn.

Để tính toán điện áp tăng cao và công suất phản kháng ta sử dụng sơ đồ trên hình 12-17. Trong đó phụ tải được thay thế bởi tổng trở cố định $\dot{Z}_{pt}$, các nhà máy điện của hệ thống nhận điện đặc trưng bởi điện kháng của mạng điện X_m , điện kháng máy phát X'_d và sức điện động E' .



Hình 12-17

Máy biến áp hạ áp có sơ đồ thay thế hình $\square$ với X_B và X_μ . Đường dây dùng sơ đồ hình π với $\dot{Z}$ và $\dot{Y}/2$.

Ta cần tính điện áp ở phụ tải U'_{pt} và điện áp ở đầu nguồn U_1 khi đề hở mạch phía nguồn.

Ta có:

$$\dot{U}'_{pt} = \dot{E}' - \dot{I}X'_d$$

Trong đó $\dot{E}'$ là sức điện động quá độ của máy phát đặc trưng cho hệ thống nhận điện, trị số của nó tính ở chế độ trước khi xảy ra hiện tượng không tải, $\dot{I}$ là dòng điện khi không tải.

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}'}{jX'_d \Sigma + \frac{\dot{Z}_{pt}\dot{Z}_{dd}}{\dot{Z}_{pt} + \dot{Z}_{dd}}}$$

trong đó $X'_{d\Sigma} = X'_d + X_m$.

$\dot{Z}_{dd}$ là điện trở đẳng trị của đường dây tải điện và máy biến áp hạ áp.

Cuối cùng ta có:

$$U'_{pt} = E' \left[1 - \frac{jX'_d (\dot{Z}_{pt} + \dot{Z}_{dd})}{jX'_d \Sigma (\dot{Z}_{dd} + \dot{Z}_{pt}) + \dot{Z}_{pt}\dot{Z}_{dd}} \right] \quad (12-111)$$

Điện áp $\dot{U}_1$ ở phía đầu nguồn tính như sau:

Từ giá trị điện áp cuối đường dây

$$\dot{U}_2 = (\dot{U}'_{pt} - \Delta \dot{U}_B) K_B$$

tính được:

$$U_1 = \frac{U_2}{\cos \alpha l} \quad (12-112)$$

Dòng công suất phản kháng đi vào hệ thống nhận điện

$$Q_c = \frac{(U_{tp}')^2}{Z_{dd}} \quad (12-113)$$

Các kết quả tính toán sẽ so sánh với các giá trị cho phép, nếu cao hơn thì phải có các biện pháp để khắc phục. Có thể đặt kháng điện ở phía đầu nguồn điện của đường dây. Hoặc có thể đặt máy bù đồng bộ ở đầu phía nhận điện để tiêu thụ công suất phản kháng của đường dây, đồng thời nâng cao ổn định ở chế độ công suất cực đại. Người ta thường không đặt kháng điện ở phía nhận điện của các đường dây 330—500kV.

4) Chế độ không tải xác lập của đường dây đóng ở cả hai phía

Khi ở cả hai phía đường dây đều có điện áp $U_1 = U_2$ thì có thể xem như có hai đường dây không tải độ dài $\frac{l}{2}$ và:

$$U_x = U_1 \frac{\cos \alpha x}{\cos \alpha \frac{l}{2}} = U_2 \frac{\cos \alpha x}{\cos \alpha \frac{l}{2}}$$

x tính từ điểm giữa đường dây. Điện áp sẽ cao nhất ở giữa đường dây, khi đó $x = 0$

$$U\left(\frac{l}{2}\right) = \frac{U_1}{\cos \alpha \frac{l}{2}} = \frac{U}{\cos \alpha \frac{l}{2}} \quad (12-114)$$

Rõ ràng là điện áp không tăng cao bằng trường hợp hở mạch một phía.

Công suất phản kháng chạy về 2 phía đường dây là:

$$Q_{1c} = Q_{2c} = - \frac{U^2}{2Z_c} \sin \alpha l \quad (12-115)$$

khi điện áp $U_1 \neq U_2$ thì phân bố điện áp tính theo biểu thức sau:

$$U_x = U_2 \frac{\cos \alpha \left(\frac{l}{2} - x\right)}{\cos \alpha \frac{l}{2}} + \Delta U \frac{\sin \alpha x}{\sin \alpha \frac{l}{2}} \quad (12-216)$$

Trong đó $\Delta U = j\sqrt{3} I_2 Z_c \sin \alpha l$.

2. Tự kích thích các máy phát điện mang tải điện dung.

Đó là chế độ của máy phát điện, mà khi đó trên cực máy phát hoặc trên đường dây xác lập một điện áp không tương ứng với dòng điện kích thích của máy phát, độ lớn của chúng ở một số điểm vượt quá trị số cho phép, gây nguy hiểm cho cách điện của đường dây hoặc máy biến áp. Trong quá trình tự kích

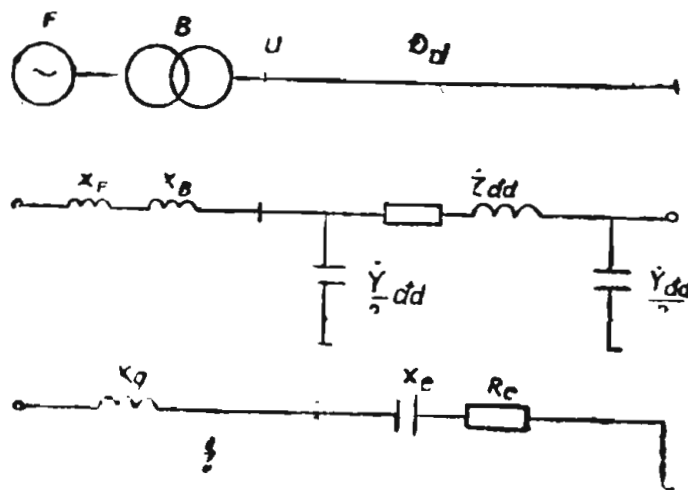
thích điện áp và dòng điện có thể tăng lên không chu kỳ hoặc chu kỳ. Tự kích thích không chu kỳ rất nguy hiểm đối với hệ thống điện vì biên độ dòng và áp tăng lên nhanh đến mức các thiết bị tự động điều chỉnh kích thích không đáp ứng kịp.

Khi đóng máy phát điện vào đường dây không tải có thể xảy ra tự kích thích vì lúc này tổng trở đẳng trị của đường dây mang tính dung, dòng điện chạy trong máy phát vượt trước vectơ sức điện động của máy phát. Trong một số điều kiện nhất định dòng điện này sẽ gây ra kích từ đồng chiều với dòng điện kích từ trong rotor, do đó làm cho điện áp tự động tăng lên gây ra hiện tượng tự kích thích.

Máy bù đồng bộ, động cơ không đồng bộ đều có thể tự kích thích.

Đề hạn chế tự kích thích có thể đặt kháng điện trên đường dây không tải (nhưng phải kiểm tra ổn định giữa chúng với nhau).

Dưới đây xét điều kiện xảy ra tự kích thích của các máy phát đồng bộ. Các điều kiện này được xác định bằng cách thành lập và giải hệ phương trình Park — Gorev của hệ tải điện đi xa.



Hình 12-18

Sơ đồ đẳng trị của hệ tải điện khi không tải được vẽ trên hình 12-18.

Ta chú ý đến sơ đồ cuối cùng, trong đó điện kháng đẳng trị của đường dây là X_e và R_e , đường nhiên là X_q mang tính dung vì đường dây không tải

Đối với máy phát thủy điện có thể có 3 miền tự kích thích.

— Miền I. tự kích thích kiểu không chu kì còn gọi là tự kích thích đồng bộ, xác định bởi bất đẳng thức.

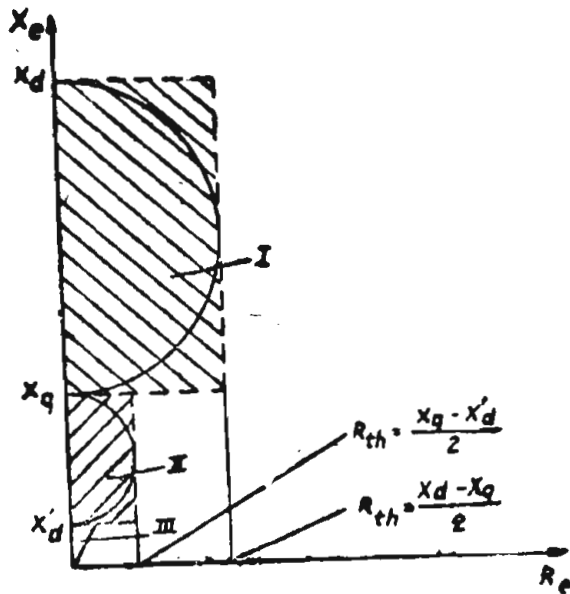
$$\begin{aligned} X_q &< X_e < X_d \\ R_e &< \frac{X_d - X_q}{2} \end{aligned} \quad (12-117)$$

— Miền II. Tự kích thích kiểu chu kì còn gọi là tự kích thích không đồng bộ, xác định bởi bất đẳng thức

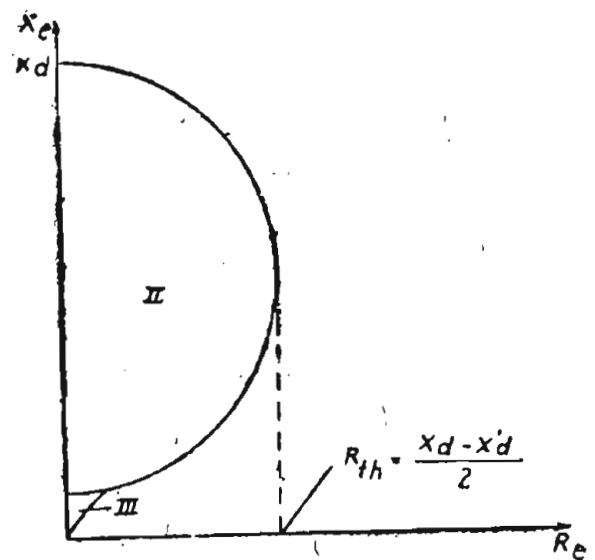
$$\begin{aligned} X'_d &< X_e < X_q \\ R_e &< \frac{X_q - X'_d}{2} \end{aligned} \quad (12-118)$$

— Miền III. Tự kích thích không đồng bộ có thể xảy ra ngay cả khi $x_e < X'_d$ và ở một giá trị nào đó của điện trở R_e và các thông số khác của máy phát. Đây là một miền rất hẹp.

Cả ba miền xác định theo các điều kiện trên được diễn tả trên hình 12-19. Cần lưu ý rằng theo các điều kiện trên đây, các miền có dạng hình vuông, còn giải chính xác theo các phương trình Park — Gorev thì chúng là các nửa hình tròn.



Hình 12-19



Hình 12-20

Đối với máy phát tuốc bin hơi, cực ần, không có miền tự kích thích đồng bộ mà chỉ có miền N tức là miền tự kích thích không đồng bộ, miền này được xác định như sau:

$$X'_d < X_e < X_d; \quad R_e < \frac{X_d - X'_d}{2} \quad (12-119)$$

và miền III cũng là miền tự kích thích không đồng bộ, các miền II và III được diễn tả trên hình 12-20.

Muốn kiểm tra tình trạng tự kích thích, phải tính được R_e và X_e .

R_e và X_e là các thành phần của tổng trở đầu vào của đường dây tải điện Z_{11} . Sau khi lập được sơ đồ thay thế của hệ tải điện, ta tính được các thông số đặc trưng ABCD, sau đó tính được Z_{11} theo 12-78.

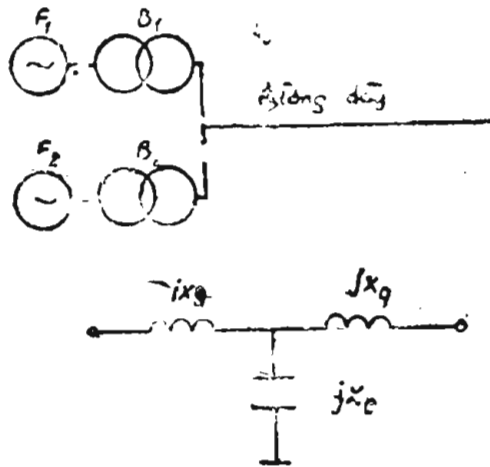
Cuối cùng cần nói vài lời về điều kiện nối song song các máy phát vào đường dây không tải. Ta có sơ đồ hình 12-21, trong đó X_q là thông số thay thế bao gồm điện kháng của máy phát thủy điện và máy biến áp tăng áp, X_c là điện dung đẳng trị của mạng điện, tức là phần ảo của tổng trở đầu vào của đường dây.

Để bảo đảm ổn định giữa hai máy phát, điều kiện là mômen đồng bộ phải dương, nghĩa là

$$\frac{dP}{d\delta} = \frac{E_Q^2}{Z_{12}} \cos(\delta - \alpha_{12}) > 0 \quad (12-120)$$

Một cách gần đúng có thể xem

$$Z_{12} \approx X_{12} = 2X_q - \frac{X_q^2}{X_e} \quad (12-121)$$



Hình 12-21

Khi X_{12} có giá trị âm, tức là $X_e < 0,5 X_q$ thì sẽ dẫn đến mômen đồng bộ âm và sẽ mất ổn định, từ điều kiện này có thể tính được độ dài cho phép của đường dây dài khi đóng các máy phát song song một cách gần đúng:

$$l_{cp} = \frac{2S}{X_q \cdot B_o \cdot U_{dm}^2} \quad (12-122)$$

trong đó S là công suất máy phát, U_{dm} là điện áp định mức của lưới.

Đối với máy phát tuabin hơi

$$l_{cp} = \frac{2S}{X_d \cdot B_o \cdot U_{dm}^2} \quad (12-123)$$

X_d, X_q lấy giá trị tương đối đã cho trong lý lịch máy. Nếu có n máy thì thay số 2 trong (12-122) và (12-123) bằng trị số n .

12-10. KHẢ NĂNG TẢI CỦA ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN VÀ CÁC BIỆN PHÁP NÂNG CAO.

Khả năng tải là công suất lớn nhất có thể tải được trên đường dây tải điện sau khi đã tính đến tất cả các yếu tố giới hạn của nó.

Chế độ vận hành với công suất tự nhiên là chế độ vận hành thuận lợi nhất cho nên trong nhiều trường hợp công suất tự nhiên được xem là khả năng tải của đường dây tải điện đi xa.

Yếu tố chủ yếu giới hạn khả năng tải của đường dây tải điện đi xa là điều kiện ổn định tĩnh. Theo điều kiện này đường dây chỉ có thể tải nhỏ hơn công suất giới hạn, tức là công suất cực đại một lượng bằng độ dự trữ ổn định tĩnh.

Công suất cực đại của đường dây không tổn thất là.

$$P_{max} = \frac{U_1 U_2}{B} = \frac{U_1 U_2}{Z_c \sin \alpha l}$$

nếu lấy $U_2 = U_{dm}, U_1 = KU_2$ thì:

$$P_{max} = \frac{KU_{dm}^2}{Z_c \sin \alpha l} \quad (12-124)$$

Nếu xét đến cả máy phát và máy biến áp ở hai đầu đường dây thì công suất cực đại của hệ tải điện là (hình 12-22)

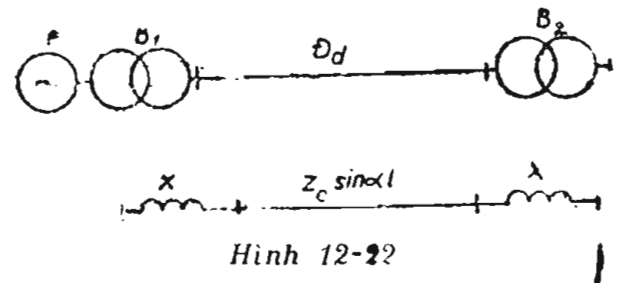
$$P_{\max} = \frac{EU}{\frac{Z_c^2 + X^2}{Z_c} \sin(\alpha l + \psi)}$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{2Z_c X}{Z_c^2 - X^2}$$

trong đó X là điện kháng đẳng trị của các thiết bị ở hai đầu đường dây.

Rõ ràng là công suất cực đại của hệ tải điện nhỏ hơn của đường dây tải điện.

Để công suất cực đại của hệ tải điện đạt đến khả năng chuyển tải lớn nhất có thể sử dụng thiết bị tự động điều chỉnh kích từ tác động mạnh (TĐK).

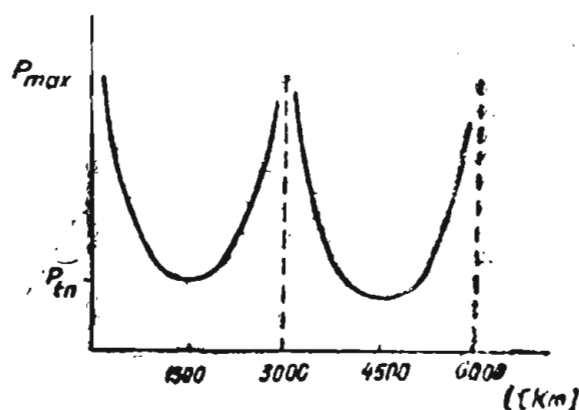


Hình 12-22

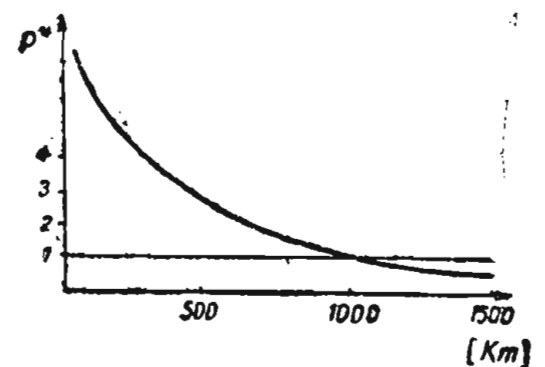
Ta hãy khảo sát (12-124) (hình 12-23), thấy rằng đối với đường dây tải điện đi xa công suất cực đại phụ thuộc vào độ dài l . Khi $l = \frac{\lambda}{4}$ tức là 1500km đối với đường dây trên không thì $\alpha l = 90^\circ$

và $\sin \alpha l = 1$, công suất cực đại đạt giá trị nhỏ nhất, còn khi $l = 3000\text{km}$ thì $\alpha l = 180^\circ$, $\sin \alpha l = 0$, công suất cực đại đạt giá trị vô cùng. Theo điều kiện ổn định hệ tải điện chỉ có thể làm việc ở góc $\delta < 90^\circ$, $\delta = 180^\circ \div 270^\circ$, tức là ứng với $l < 1500\text{km}$ và $l = 3000 \div 4500\text{km}$. Cho nên nếu đường dây tải điện có độ dài $l > 1500\text{km}$ thì phải kéo dài nhân tạo nó bằng cách hiệu chỉnh thành đường dây dài 3000km (đường dây nửa bước sóng).

Trên hình 12-24 là quan hệ giữa công suất giới hạn ổn định tĩnh, tính với góc $\delta = 60^\circ$ và độ dài tải điện l . Ta thấy đường cong $P^* = P_{gh}/P_{1n}$ cắt giá trị công suất tự nhiên $P^* = 1$ ở độ dài khoảng 1000km điều đó có nghĩa là khi $l \leq 1000\text{km}$ thì có thể tải công suất lớn hơn công suất tự nhiên. Còn khi $l > 1000\text{km}$ thì khả năng tải nhỏ hơn công suất tự nhiên, lúc này cần phải thực hiện các biện pháp bù để nâng cao khả năng tải của đường dây lên bằng công suất tự nhiên.



Hình 12-23

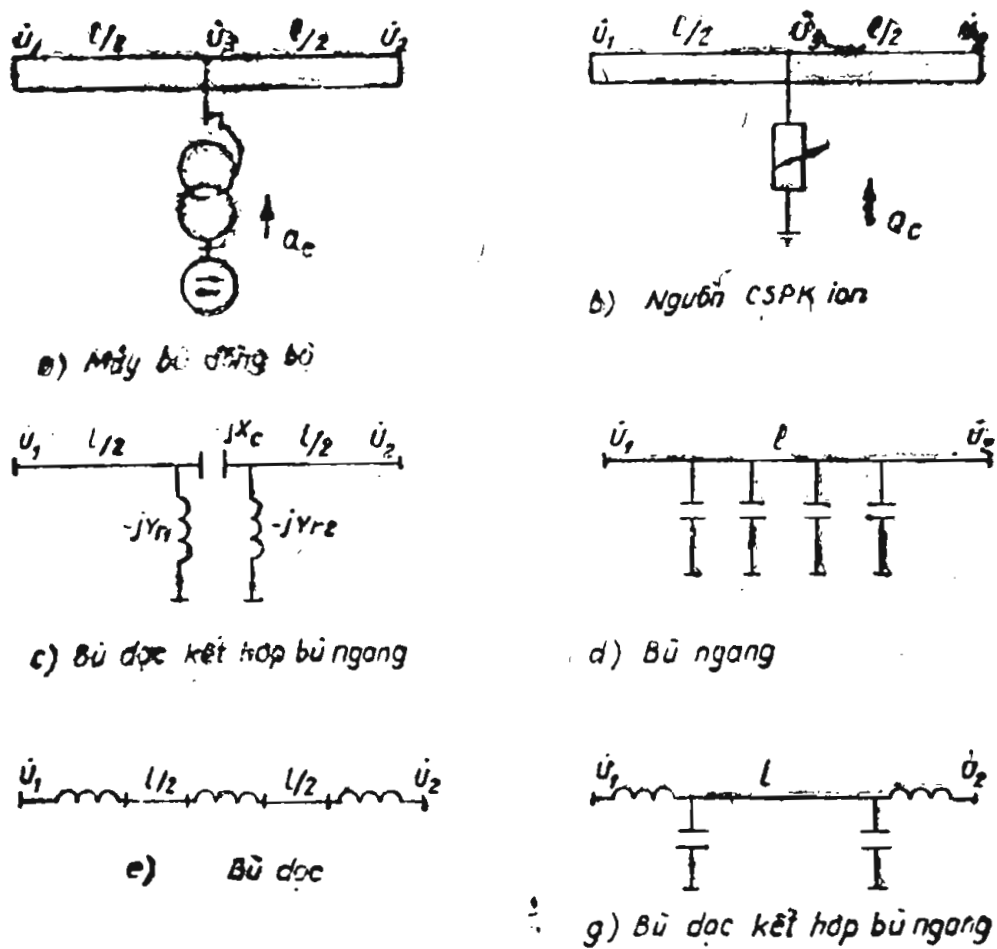


Hình 12-24

Như vậy là khi đường dây dài khoảng 700 — 800km trở lên có thể phải bù để nâng cao ổn định, còn đường dây dài 1500km thì phải hiệu chỉnh để nâng cao khả năng tải.

Bù nhằm mục đích giảm tổng trở sóng hoặc hệ số tuyến sóng đồng thời thay đổi công suất giới hạn và công suất tự nhiên. Có thể bù ngang bằng máy bù đồng bộ hoặc nguồn công suất phản kháng ion, bù dọc bằng tụ điện tĩnh. Vị trí đặt bù thường ở giữa đường dây tải điện. Ví dụ về các sơ đồ bù đường dây tải điện trên hình 12-25a, b, c.

Hiệu chỉnh nhằm mục đích giảm Z_c , tăng α , tăng công suất tự nhiên, và kéo dài nhân tạo đường dây tải điện, có thể hiệu chỉnh bằng kháng điện, tụ điện. Ví dụ về các sơ đồ hiệu chỉnh trên hình 12-25d, e, g.



Hình 12-25

Cuối cùng cần lưu ý rằng, khả năng tải thực tế để tính toán đường dây tải điện đi xa thường dao động quanh công suất tự nhiên. Kinh nghiệm thiết kế và vận hành đường dây tải điện đi xa ở Liên Xô cho thấy rằng đường dây 220kV tính toán với công suất tác dụng $P > P_{tn}$, đường dây 330kV, $P \approx P_{tn}$, đường dây 500kV, $P < P_{tn}$ (nếu $l > 800$ km), đường dây 750kV, $P > P_{tn}$.

Chương mười ba

THIẾT KẾ ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN ĐI XA

13-1. MỞ ĐẦU.

Thiết kế đường dây tải điện đi xa thường gồm các công việc sau đây

1. Lựa chọn cấp điện áp tải điện
2. Lựa chọn số mạch điện và sơ đồ
3. Lựa chọn tiết diện dây dẫn và số dây dẫn trong một pha
4. Lựa chọn các thiết bị bù, thiết bị điều chỉnh, bảo vệ... để đảm bảo: công tác của đường dây trong mọi chế độ làm việc bình thường cũng như sự cố và đề nâng cao khả năng tải của đường dây.

Nguyên tắc chung để lựa chọn cấu trúc và các phần tử của đường dây là đảm bảo về kỹ thuật và hợp lý về kinh tế, có nghĩa là trong các phương án cho phép về mặt kỹ thuật cần chọn phương án hợp lý nhất về kinh tế.

Đường dây tải điện hợp lý về mặt kinh tế là đường dây có giá thành tải điện nhỏ nhất, độ tin cậy cao nhất. Muốn đảm bảo tính kinh tế trong mọi chế độ vận hành thì hệ tải điện phải là một hệ có điều khiển và thích nghi. Khi chế độ thay đổi thì các thông số của các phần tử hoặc cấu trúc của đường dây tải điện phải thay đổi theo, sao cho hiệu suất tải điện luôn luôn cao nhất, đồng thời khả năng tin cậy cao nhất.

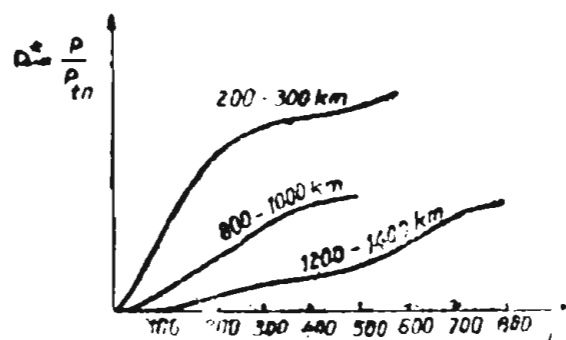
Những cơ sở để tính toán thiết kế đường dây tải điện là công suất tác dụng cần chuyên tải trên đường dây trong chế độ max, tổng lượng điện năng chuyên tải hàng năm, vai trò của đường dây tải điện trong hệ thống điện, độ dài đường dây tải điện, hướng phát triển tương lai...

Việc lựa chọn cấu trúc tối ưu của đường dây tải điện rất phức tạp, vì số thông số phải chọn rất nhiều, có ảnh hưởng lẫn nhau, chế độ vận hành biến đổi rộng, nhiều mục tiêu phải đạt đồng thời... cho nên số phương án có thể rất lớn. Bài toán thiết kế đường dây tải điện là bài toán kinh tế – kỹ thuật tổng hợp rất phức tạp. Việc tách nó ra thành những bài toán riêng rẽ như ở trên mang tính chất tương đối song đó là cách duy nhất hiện nay để thiết kế đường dây tải điện đi xa.

Dưới đây sẽ trình bày tỷ mỉ hơn các công tác cần làm khi thiết kế đường dây tải điện đi xa.

13-2 LỰA CHỌN CẤP ĐIỆN ÁP.

Hai yếu tố có tính chất quyết định khi lựa chọn cấp điện áp tải điện là công suất tải và độ dài đường dây tải điện.



Hình 13-1

Ta đã biết công suất tự nhiên tăng nhanh theo điện áp. Công suất giới hạn tỷ lệ với bình phương điện áp định mức, trong khi đó giá thành đường dây và các trạm biến áp tăng lên tuyến tính với điện áp.

Tuy nhiên độ tăng khả năng tải phụ thuộc nhiều vào độ dài tải điện, hình 13-1 cho quan hệ giữa công suất giới hạn và

điện áp định mức. Khi độ dài tải điện $l < 200 - 300$ km thì khi tăng điện áp đến 200 kV công suất giới hạn sẽ tăng nhanh, sau điện áp đó thì dù có tăng cao điện áp, công suất giới hạn cũng không tăng lên nhiều nữa vì lúc này tổng trở tương đối của đường dây trở nên nhỏ so với tổng trở của máy phát điện và máy biến áp. Khi $l = 800 - 1000$ km thì tăng điện áp đến 500 kV sẽ hiệu quả, còn khi $l = 1200 - 1400$ km thì phải sử dụng điện áp từ 600 kV trở lên.

Khi tăng cao điện áp, suất vốn đầu tư (đ/kW) và giá thành tải điện (đ/kWh) cho đường dây có độ dài như nhau sẽ giảm đi.

Bảng 13-1

Ví dụ về chỉ tiêu kinh tế của đường dây tải điện xoay chiều (Liên Xô).

Chỉ tiêu	Điện áp kV		
	330	500	750
Công suất tự nhiên [MW]	340	890	2 190
Giá 1 km đường dây [10^3 rúp]	20-30	30-35	40-45
Tỷ số chi phí vốn đầu tư cho 1kW và 100km [rúp]	6-9	3,5-4	2-2,5
Giá thành tải 1kWh, cho 100km [10^{-2} rúp]	0,02-0,03	0,015	0,004 - 0,005
Suất hư hỏng trên 100 km năm	1,0 -1,5	0,6	-

Khi điện áp tăng cao thành phần tổn thất công suất phụ thuộc vào dòng điện tải sẽ giảm đi nhưng phần tổn thất công suất phụ thuộc dòng điện điện dung và tổn thất vàng quang tăng lên, do đó khi công suất tải nhỏ sử dụng điện áp thấp sẽ đạt hiệu suất tải điện lớn hơn khi sử dụng điện áp cao.

Cấu trúc của lưới điện sẵn có cũng có ảnh hưởng lớn đến việc lựa chọn điện áp tải điện.

Các cấp điện áp định mức hiện có thường là [kV]: 20, 35, 60, 110, 220, 330, 500, 650, 750, 1000, 1150.

Lựa chọn cấp điện áp tải điện là bài toán phức tạp, cho đến nay vẫn chưa có phương pháp hoàn hảo để giải quyết. Hiện nay người ta sử dụng phương pháp so sánh kinh tế kỹ thuật các chỉ tiêu của các phương án với các cấp điện áp khác nhau. Trong mỗi phương án đều xét đến số mạch điện cấu tạo thiết bị, các loại tiết diện dây dẫn có thể, chi phí cho trạm tăng, hạ áp và nhiều vấn đề khác.

Với phương án thứ i , có chi phí tính toán:

$$Z_i = a_{tc}K_i + Y_i + H_i \quad (13-1)$$

Trong đó:

K_i — vốn đầu tư

Y_i — chi phí vận hành hàng năm

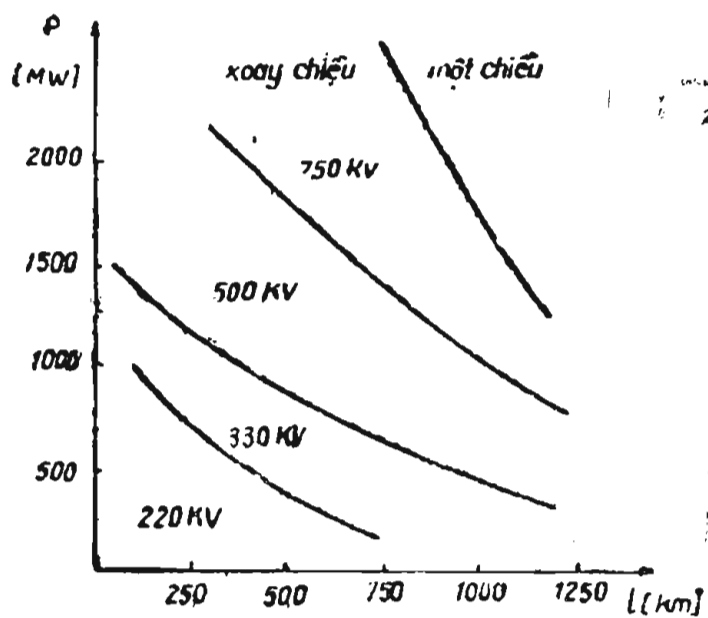
H_i — Tồn thất kinh tế quốc dân do ngừng cung cấp điện.

$a_{tc} = \frac{1}{T_{tc}}$ là hệ số hiệu quả vốn đầu tư, T_{tc} là thời gian tiêu chuẩn thu hồi vốn đầu tư. Từ chi phí tính toán Z_i và phụ tải tính toán P tính được tỷ suất chi phí tính toán [đ/MW]:

$$z_i = \frac{Z_i}{P} \quad (13-2)$$

Cấp điện áp được lựa chọn để thiết kế đường dây tải điện là cấp điện áp ứng với giá trị nhỏ nhất trong các z_i .

Để định hướng sơ bộ ban đầu khi lựa chọn cấp điện áp người ta xây dựng các đồ thị quan hệ giữa cấp điện áp và công suất, độ dài tải điện (hình 13-2).



Hình 13-2

13-3. LỰA CHỌN SỐ MẠCH VÀ SƠ ĐỒ TẢI ĐIỆN.

Số mạch điện nhiều quá sẽ tốn nhiều đất, nhiều vốn đầu tư, kim loại màu và các vật liệu khác, cho nên xu hướng chung là giảm số mạch tải điện song song.

Việc lựa chọn số mạch điện phụ thuộc vào tương quan giữa công suất tải trên đường dây và công suất của hệ thống nhận điện với khả năng dự trữ công suất của nó.

Khi công suất tải nhỏ hơn 10 – 15 % công suất của hệ thống nhận điện thì có thể xây dựng đường dây tải điện một mạch, vì lúc đó dù có sự cố đường dây tải điện, với dự trữ đã có hệ thống vẫn giữ được chế độ vận hành bình thường. Nếu công suất tải lớn hơn thì không nên dùng đường dây một mạch.

Khi chọn số mạch điện phải khảo sát ổn định, tính khả năng tải điện và các biện pháp nâng cao, ngoài ra cũng phải tính đến tồn thất kinh tế do mất điện.

Số mạch tải điện thường là một hoặc hai. Khi thấy cần phải xây dựng ba hay bốn mạch thì nên xét đến phương án có cấp điện áp định mức cao hơn.

Sơ đồ đường dây tải điện có thể là khối hoặc liên thông (hình 13-3). Sơ đồ khối (hình 13-3a) là sơ đồ trong đó các mạch của đường dây tải điện kề cả máy phát điện và máy biến áp độc lập với nhau. Còn sơ đồ liên thông (hình 13-3b) trong đó các mạch điện liên lạc với nhau bằng các trạm cắt đặt trên đường dây.

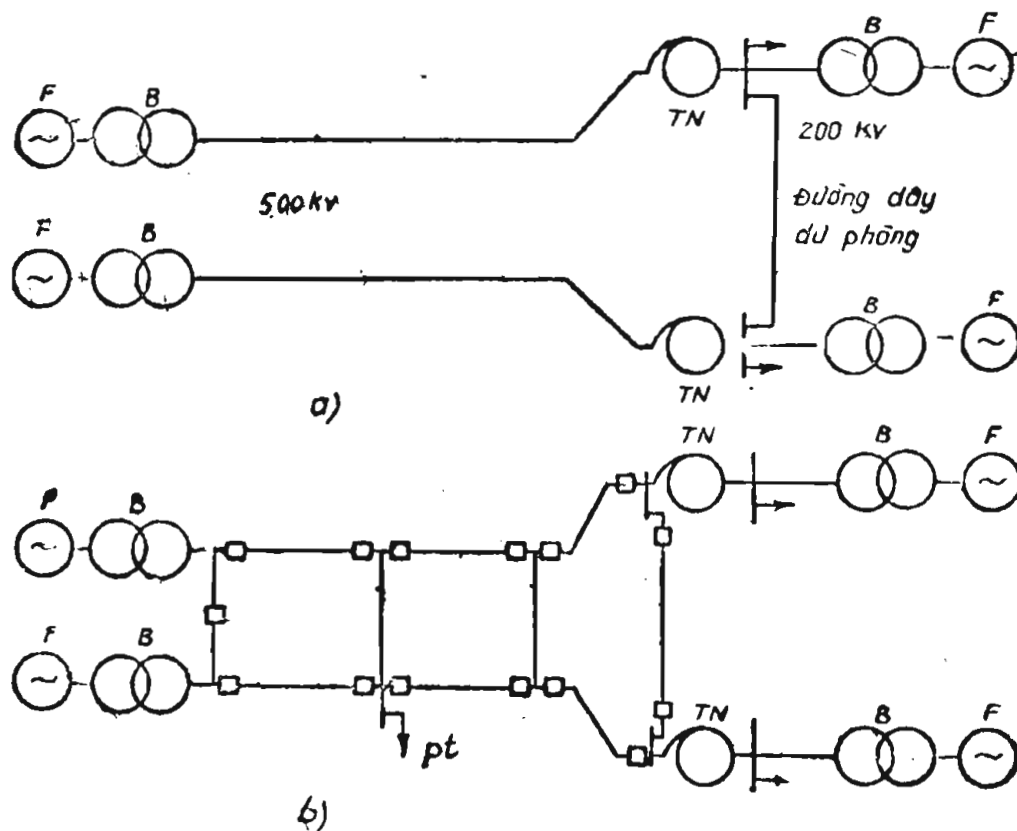
So sánh hai sơ đồ ta thấy mỗi sơ đồ có những ưu điểm sau:

Sơ đồ khối:

a) Cắt một mạch không ảnh hưởng đến công tác của hệ thống nếu hệ thống đủ dự trữ công suất.

b) Không phải xây dựng các trạm nối và thực hiện các biện pháp nâng cao ổn định động, do đó đường dây rẻ hơn.

c) Cần ít thiết bị cao áp.



Hình 13-3

Sơ đồ liên thông:

a) Hạn chế được số mạch điện (không nhiều hơn 2).

b) Giảm được dự trữ nóng công suất trong thời gian phụ tải cực đại. Ưu điểm này rất đáng kể khi công suất tải của một mạch điện so sánh được với công suất của hệ thống nhận điện.

c) Thuận lợi hơn trong việc tổ chức vận hành và tổ chức tu sửa định kỳ. Khi cần sửa chữa một đoạn nào đó của mạch điện không phải giảm công suất tải, tuy độ tin cậy có giảm đi.

d) Dễ dàng đóng phụ tải vào các đoạn trên đường dây tải điện, dễ dàng cho việc phát triển hệ thống điện.

e) Dễ nối đường dây vào hệ thống nhận điện, không phải tăng cường lưới hạ áp để dự trữ công suất như ở sơ đồ khối.

g) Giảm được quá điện áp khi sử dụng các phương tiện bảo vệ và thông tin chất lượng cao.

Đối với các đường dây tải công suất lớn để kinh tế hơn thường dùng sơ đồ liên thông.

13-4. LỰA CHỌN TIẾT DIỆN DÂY DẪN.

Lựa chọn dây dẫn bao gồm lựa chọn số dây dẫn trong mỗi pha và tiết diện của chúng.

Đối với các đường dây điện áp 220 kV trở xuống tiết diện dây dẫn được chọn theo điều kiện mật độ kinh tế tiêu chuẩn của dòng điện vì rằng dây dẫn chọn theo điều kiện này thường có tiết diện lớn hơn tiết diện tối thiểu theo điều kiện giảm tổn thất văng quang. Trường hợp dây dẫn chọn theo mật độ kinh tế nhỏ hơn dây dẫn tối thiểu cho phép thì phải chọn dây dẫn có tiết diện tối thiểu cho phép (110kV – 70 mm²; 220 kV – 400 mm²; 330 kV – 600 mm²; 500 kV – 1330 mm²). Do chọn tiết diện dây dẫn như vậy cho nên ở các đường dây này tổn thất văng quang không đáng kể và có thể bỏ qua khi tính toán.

Ở điện áp 110 kV trở xuống chỉ nên dùng dây dẫn đơn. Ở điện áp 220 kV cần phải so sánh nên dùng dây dẫn đơn hoặc phân pha. Từ điện áp 330 kV trở lên chỉ nên dùng dây dẫn phân pha vì nó cho phép tăng nhân tạo bán kính dây dẫn, giảm được tổn thất văng quang mà vẫn sử dụng hết khả năng kinh tế của tiết diện dây dẫn. Dây dẫn phân pha làm tăng điện dung, giảm điện cảm của đường dây do đó tăng công suất tự nhiên, và khả năng tải của đường dây. Tất nhiên dùng dây dẫn phân pha đắt tiền và vận hành phức tạp hơn dây dẫn đơn.

Tiết diện dây dẫn siêu cao áp (> 220 kV) lựa chọn phức tạp, bởi vì tiết diện dây dẫn không chỉ ảnh hưởng đến chi phí vốn, các hệ số vận hành mà còn ảnh hưởng đến giá tiền tổn thất điện năng. Tiết diện dây dẫn và số dây dẫn trong mỗi pha ảnh hưởng nhiều đến cấu trúc cơ khí của đường dây tải điện.

Vì vậy cách lựa chọn dây dẫn ở đây là so sánh nhiều phương án đường dây tải điện với các tiết diện dây dẫn khác nhau.

Số dây dẫn trong mỗi pha được xác định theo kinh nghiệm. Điện áp 330 kV: 1 đến 2 dây, 450 – 500 kV: 2 – 3 dây, 750 kV: 4 dây dẫn mỗi pha.

Các bước tiến hành chọn tiết diện dây dẫn như sau:

— Tính toán dòng điện theo công suất tải P:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot m \cdot U \cdot \cos\varphi} \quad [A, MW, kV] \quad (13-3)$$

m là số mạch điện của đường dây. Giá trị $\cos\varphi$ thường lấy sơ bộ: điện áp 330 kV: $\cos\varphi = 0,9 - 0,95$, > 400 kV: $\cos\varphi = 0,95 - 1$.

— Tìm tiết diện dây dẫn theo mật độ kinh tế trung bình J_{tb} và số dây dẫn n trong một pha:

$$F = \frac{I}{J_{tb} \cdot n} [\text{mm}^2, \text{A}, \text{A/mm}^2] \quad (13-4)$$

— Sau đó lựa chọn 2 tiết diện tiêu chuẩn gần F nhất, đó là F_1 và F_2

$$F_1 < F < F_2.$$

— Tính toán dòng điện giới hạn kinh tế của tiết diện F_1 là I_{kt1} . So sánh, nếu $I_{kt1} > I$ thì chọn dây dẫn F_1 và mật độ dòng điện kinh tế của đường dây là $J = \frac{I}{F_1}$. Nếu $I_{kt1} < I$ thì chọn F_2 và $J = \frac{I}{F_2}$.

Dưới đây trình bày phương pháp tính mật độ kinh tế và dòng điện giới hạn kinh tế.

1. Tính mật độ kinh tế.

Nếu số dây dẫn trong 1 pha là xác định thì chỉ phí tính toán cho đường dây tải điện được tính theo biểu thức sau:

$$Z = a_{tc}K + a_{vh}K + Y_r + Y_v \quad (13-5)$$

Trong đó: $K = (K_1 + K_2F)l$ — chỉ phí vốn xây dựng đường dây,

K_1 — thành phần chỉ phí không phụ thuộc tiết diện dây dẫn

K_2 — thành phần chỉ phí phụ thuộc dây dẫn $\left[\frac{\text{đ}}{\text{mm}^2 \text{ km}} \right]$

l — độ dài đường dây [km]

a_{vh} — hệ số vận hành

a_{tc} — hệ số tiêu chuẩn thu hồi vốn đầu tư

Y_r — chỉ phí cho tổn thất điện năng làm nóng dây dẫn [đ]

Y_v — chỉ phí cho tổn thất vàng quang [đ].

Lấy đạo hàm của Z theo tiết diện F và cho bằng không ta tìm được mật độ dòng điện kinh tế:

$$J_{kt} = 10 \sqrt{\frac{10K_2(a_{vh} + a_{tc})}{3\rho C(\tau + 8760K_v)}} [\text{A/mm}^2] \quad (13-6)$$

Ở đây ρ là điện trở suất của dây dẫn $[\Omega/\text{km}.\text{mm}^2]$

C là giá tiền tổn thất điện năng $[\text{đ/kWh}]$

τ là thời gian tổn thất công suất lớn nhất, có thể xác định gần đúng theo điều thức

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\max}}{10000} \right)^2 8760 [\text{h}] \quad (13-7)$$

K_v là hệ số tính toán tổn thất do vàng quang.

Ta nhận thấy J_{kt} của đường dây siêu cao áp phụ thuộc vào thành phần vốn đầu tư gắn liền với dây dẫn. Thành phần này lại phụ thuộc vào khu vực đường dây đi qua, cấu trúc của đường dây. Tổn thất vàng quang cũng phụ thuộc vào các điều kiện địa phương. Do đó mật độ kinh tế của đường dây tải điện siêu cao áp là một đại lượng biến đổi.

Ở Liên Xô J_{kt} biến đổi từ 0,7 (vùng châu Âu) đến 0,9 ÷ 1 (Sibêri) cho điện áp 500 kV.

2. Giới hạn kinh tế của dây dẫn được tính như sau.

Nếu đường dây được tính cho dòng điện I thì chi phí tính toán ứng với tiết diện dây dẫn F_i ($i = 1, 2$) là:

$$Z_i = (a_{vh} + a_{lc}) K_i + \frac{3I^2 R_i}{1000} z + \Delta P_{vi} z' \quad (13-8)$$

Trong đó: ΔP_{vi} — tổn thất công suất trung bình hàng năm do vầng quang ứng với tiết diện F_i [kW/km]

z, z' — chi phí sản xuất ra điện năng để bù vào tổn thất đốt nóng dây dẫn và tổn thất vầng quang [đ/kW]

K_i — chi phí vốn cho 1 km đường dây tiết diện F_i .

$R_i, i = 1, 2$ — điện trở của dây dẫn F_i .

Nếu $F_2 > F_1$ thì $K_2 > K_1$; $R_2 < R_1$, $\Delta P_{v2} < \Delta P_{v1}$ và độ chênh lệch của chi phí tính toán phụ thuộc vào dòng điện I . Còn khi:

$$Z_1 = Z_2 \quad (13-9)$$

ta có giá trị giới hạn kinh tế của dòng điện I_{kt} . Với dòng điện này dùng dây dẫn F_1 hay F_2 đều có chi phí như nhau. Dây dẫn tiết diện lớn tuy đắt tiền nhưng do giảm được tổn thất nên kết quả cũng có chi phí như dây dẫn tiết diện bé.

Từ điều kiện (13-9) ta có:

$$I_{kt} = 10 \sqrt{\frac{K(a_{vh} + a_{lc}) + 10\Delta P_{v1} z'}{3(R_1 - R_2) z}} \quad (13-10)$$

trong đó $\Delta K = K_2 - K_1$, $\Delta P_v = \Delta P_{v1} - \Delta P_{v2}$.

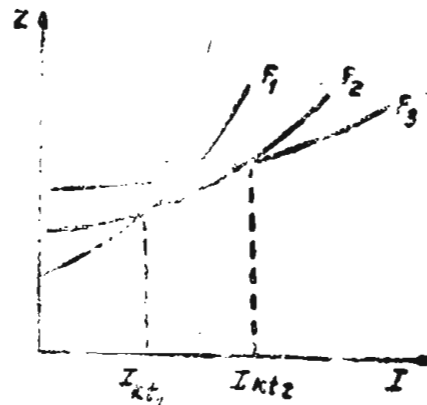
Tương tự có thể tính được giới hạn kinh tế của dòng điện giữa tiết diện F_2 và $F_3, \dots$, với mỗi tiết diện dây dẫn ta xây dựng được miền sử dụng kinh tế mà nếu dòng điện nằm trong miền đó thì tiết diện dây dẫn này cho chi phí tính toán của đường dây tải điện là nhỏ nhất. Miền kinh tế của tiết diện dây dẫn được minh họa trên hình 13-4.

Sau khi lựa chọn tiết diện dây dẫn, nếu chỉ dùng một dây trong một pha thì các thông số của đường dây như R_0, X_0, C_0 có thể tra trực tiếp ở các bảng, còn nếu trong một pha có nhiều dây dẫn thì các thông số trên cần phải tính toán.

Khi có n dây dẫn trong 1 pha, mỗi dây dẫn có điện trở R_0 thì điện trở chung của một pha là R_0/n .

Để tính X_0 và C_0 trước tiên cần tính được bán kính tương đương của dây dẫn r_{td} :

$$r_{td} = r^{1/n} \cdot a^{\frac{n-1}{n}} \quad (13-11)$$



Hình 13-4

trong đó n là số dây dẫn trong một pha,

a là khoảng cách trung bình hình học giữa các dây dẫn trong một pha.
là bán kính của một dây dẫn.

Nếu $n = 1$, thì $r_{td} = r$, $n = 2$ thì $r_{td} = \sqrt{r \cdot a}$, $n = 3$ thì $r_{td} = \sqrt[3]{r \cdot a^2}$ và $n = 4$ thì $r_{td} = \sqrt[4]{\sqrt{2} \cdot r \cdot a^3}$, nếu n tăng đến vô cùng thì $r \rightarrow a$. Như vậy bán kính tương đương phụ thuộc vào khoảng cách trung bình hình học giữa các dây dẫn và thay đổi a ta có thể thay đổi điện cảm L , điện dung C của đường dây.

Ta có các biểu thức xác định C_o và L_o như sau:

$$C_o = \frac{0,0241 \cdot 10^{-9}}{\lg \frac{D}{r_{td}}} \text{ [F/km]} \quad (13-12)$$

$$L_o = \left(4,6 \lg \frac{D}{r_{td}} + \frac{0,5}{n} \right) 10^{-3} \text{ [H/km]} \quad (13-13)$$

Tương ứng có dung dẫn B_o và điện kháng X_o :

$$B_o = \omega C_o = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{D}{r_{td}}} \left[\frac{1}{\Omega \text{ km}} \right] \quad (13-14)$$

$$X_o = \omega L_o = 0,1445 \lg \frac{D}{r_{td}} + \frac{0,016}{n} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right] \quad (13-15)$$

ở đây $\omega = 2\pi f$ và $f = 50 \text{ Hz}$, D là khoảng cách trung bình hình học giữa các pha

Từ các biểu thức trên, thấy rằng:

Tăng r_{td} sẽ làm X_o giảm đi, B_o tăng lên làm cho tổng trở sóng giảm đi và công suất tự nhiên của đường dây tăng lên.

Các thông số của đường dây cũng phụ thuộc đáng kể vào số lượng dây dẫn trong một pha. Bảng 13-2 sau đây cho quan hệ giữa X_o , B_o , Z_c và P_{tn} và số dây dẫn n trong một pha.

Bảng 13-2

Các thông số của đường dây phân pha với $U_{dm} = 500 \text{ kV}$.

Các thông số	Trị số n và mã hiệu dây dẫn				
	1. ACO-1500	2. ACO-700	3. ACO-500	4. ACO-400	5. ACO-300
X_o [Ω/km]	0,408	0,33	0,301	0,279	0,262
$B_o \cdot 10^{-6}$ [$1/\Omega \text{ km}$]	2,79	3,38	3,70	3,98	4,21
Z_c [Ω]	391	312	285	265	265
P_{tn} [MW]	640	803	880	944	1000

Từ bảng 13-2 ta thấy với $U_{dm} = 500 \text{ kV}$ thì $n = 2$ hay 3 là tốt nhất, tăng n lên 4 hoặc 5, giá trị P_{tn} không tăng bao nhiêu. Ngoài ra giá trị của a cũng

không thể tăng tùy ý để tăng r_{12} , vì cường độ điện trường E của bề mặt dây dẫn phụ thuộc vào a , khi $a = 40$ cm thì $E = E_{\min}$, khi a lớn hơn 60 cm thì E tăng lên rất nhiều làm tăng tổn thất vầng quang. Thường lấy a bằng 40 cm, đôi khi đến 60 cm.

13-5. LỰA CHỌN THIẾT BỊ BÙ VÀ CÁC THIẾT BỊ KHÁC.

Sau khi lựa chọn được điện áp, dây dẫn, số mạch điện và sơ đồ, cần tiến hành tính toán các chế độ bình thường và kiểm tra các chế độ đặc biệt của đường dây tải điện đi xa. Trong trường hợp có các thông số vượt quá giới hạn cho phép trong chế độ bình thường cũng như trong chế độ đặc biệt thì cần phải lựa chọn các thiết bị bù (loại, vị trí đặt, công suất) để làm cho các thông số đó giảm đến giá trị cho phép.

Thiết bị bù được chọn và kiểm tra theo các điều kiện sau:

— Đảm bảo giá trị điện áp ở mọi điểm trên đường dây và trong mọi chế độ nằm trong giới hạn cho phép.

— Điều kiện tự kích thích máy phát

— Điều kiện hòa đồng bộ

— Điều kiện ổn định.

Các thiết bị bù có thể là: Bộ tụ và kháng điện có điều khiển, máy bù đồng bộ, nguồn công suất phản kháng ion.

Trong trường hợp khả năng tải của đường dây tải điện đi xa thấp hơn P_{12} thì sử dụng thiết bị bù để nâng cao khả năng tải.

Các thiết bị khác như TĐK, bảo vệ role... cũng lựa chọn trên cơ sở nâng cao khả năng tải điện, đảm bảo ổn định tĩnh, ổn định động và đảm bảo các chỉ tiêu kinh tế của đường dây tải điện đi xa.

Bài toán lựa chọn thiết bị bù rất phức tạp, vì thế khi lựa chọn phải tính toán kinh tế kỹ thuật tỉ mỉ để có thể lựa chọn được phương án hợp lý.

13-6 CÁC CHỈ DẪN TÍNH TOÁN THIẾT KẾ.

Mục đích tính toán thiết kế là để tìm được sự quyết định hợp lý nhất về kỹ thuật và kinh tế trong việc lựa chọn các thiết bị cần thiết cho đường dây tải điện đi xa. Cần phải tính toán các chế độ làm việc khác nhau một cách tỉ mỉ, nhất là các chế độ có các thông số dễ vượt ra khỏi giới hạn cho phép về kỹ thuật và có những đòi hỏi nhiều nhất về thiết bị. Bảo đảm các yêu cầu kỹ thuật cần thiết ở các chế độ này thì cũng đảm bảo được điều kiện làm việc bình thường ở các chế độ còn lại.

Các chế độ cần tính toán là chế độ cực đại, chế độ cực tiểu và các chế độ đặc biệt.

Thực tế cho thấy rằng chỉ có thể tải điện bằng đường dây đồng nhất (không có thêm thiết bị bù) ở độ dài 300 — 400 km trở lại. Với độ dài lớn hơn phải đặt thêm các thiết bị bù mới đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật. Do đó việc

tính toán đường dây phần nhiều phải sử dụng phương pháp tính đường dây không đồng nhất (có bù), đó là phương pháp ghép các sơ đồ thay thế như đã trình bày trong chương 12

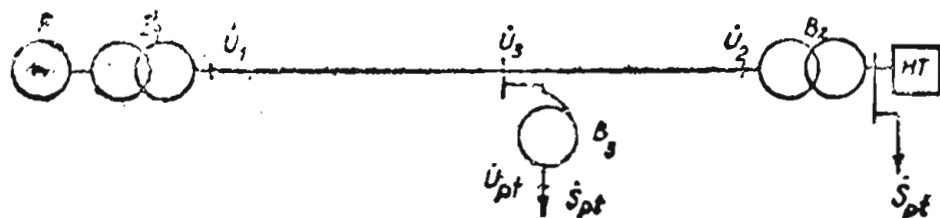
1. Tính toán chế độ cực đại.

Một trong những yêu cầu kỹ thuật quan trọng là đảm bảo điện áp ở mọi nơi trên đường dây tải điện trong giới hạn cho phép. Giới hạn đó là:

Điện áp U_2 ở cuối đường dây phía nhận điện (hình (13-5) phải thỏa mãn điều kiện $U_{2min} \leq U_2 \leq U_{2max}$. Trong đó U_{2max} được xác định theo điều kiện làm việc của cách điện đường dây. $U_{2max} \leq 1,1 U_{dm}$ khi $U_{dm} \leq 500 \text{ kV}$, $U_{2max} \leq 1,05 U_{dm}$ khi $U_{dm} > 500 \text{ kV}$. Giá trị U_{2min} được xác định bởi điện áp ở phụ tải, đây là điện áp tối thiểu phải giữ trên phụ tải theo điều kiện công tác của phụ tải và điều kiện ổn định tĩnh

$$U_{pt} = (U_2 - \Delta U_{B2}) / K_B \quad (13-16)$$

K_B là hệ số biến áp, lấy giá trị tùy theo khả năng điều chỉnh của máy biến áp. Từ 13-16 tính được U_{2min} .



Hình 13-5

Điện áp ở các phụ tải khác cũng phải đảm bảo các yêu cầu tương tự ví dụ U_3 (hình 13-5).

Điện áp U_1 ở đầu đường dây tải điện được chọn với các giá trị như sau:

Với $U_{dm} = 220 \text{ kV}$, $U_{1max} = 1,15 U_{dm} = 252 \text{ kV}$

Với $U_{dm} = 330 \text{ kV}$, $U_{1max} = 1,1 U_{dm} = 363 \text{ kV}$

Với $U_{dm} > 500 \text{ kV}$, $U_{1max} = 1,05 U_{dm}$.

Còn $U_{1min} > 0,95 U_{dm}$.

Từ các hạn chế trên của U_1 , U_2 ta xác định được độ sụt áp cho phép:

$$K_{max} = \frac{U_{1max}}{U_{2min}}$$

Để đảm bảo ổn định tĩnh, $\cos \phi$ của máy phát không được nhỏ hơn $0,97 \div 0,98$ khi dòng điện là dung tính.

Trong chế độ vận hành cực đại, một vấn đề cơ bản phải chú ý đến là cân bằng công suất phản kháng ở phụ tải điện. Có ba cách đảm bảo công suất phản kháng cho phụ tải: đó là lượng công suất của máy phát truyền qua đường dây tải điện, công suất điện dung thừa của đường dây và đặt thêm nguồn công suất phản kháng ở phụ tải (thường dùng máy bù đồng bộ có TĐK tác động mạnh). Khi lựa chọn phương án cung cấp công suất phản kháng cho phụ tải cần phải tính đến các hạn chế về kỹ thuật.

Công suất phản kháng tải trên đường dây bị hạn chế bởi độ sụt áp K , hệ số này lại phụ thuộc vào độ dài tải điện l và công suất tác dụng P_k . Khi

$P > P_{in}$ thì công suất phản kháng bị hạn chế và ở độ dài tải điện nào đó thì hoàn toàn không thể được vì độ sụt áp K lúc này vượt quá giới hạn cho phép. lúc này phải đặt máy bù đồng bộ ở phụ tải. Trong chế độ này có thể phải đặt thêm thiết bị bù để đảm bảo điện áp ở các phụ tải trên dọc đường dây không bị giảm quá giới hạn cho phép.

Khi $P < P_{in}$, công suất phản kháng trên đường dây thừa và đi về hai phía, lúc này để đảm bảo giá trị $\cos\varphi$ cho phép của máy phát phải đặt kháng điện ở đầu đường dây để tiêu thụ công suất phản kháng. Kháng điện này thường không có máy cắt và nó được sử dụng trong các chế độ còn lại.

Tóm lại trong chế độ cực đại cần phải chọn điện áp ở đầu đường dây đảm bảo hệ số sụt áp K tối ưu sao cho hiệu suất tải điện cao nhất, lựa chọn điểm đặt và công suất thiết bị bù ở trên đường dây và kháng điện ở đầu đường dây.

2. Tính toán chế độ cực tiểu.

Ở chế độ này công suất thường vào khoảng $(0,2 \div 0,4)P_{in}$. Công suất phản kháng do đường dây sinh ra rất lớn, với $U_{dm} = 330kV$ có $Q_c = 350 - 400kVar/km$; $U_{dm} = 500kV$ có $Q_c = 1MVar/km$; $U_{dm} = 750kV$ có $Q_c = 2,3 \div 2,4 MVar/km$. Cần phải thực hiện các biện pháp để giảm lượng công suất thừa này. Có thể giảm thấp điện áp đầu đường dây U_1 xuống đến giá trị min cho phép, nhưng phải kiểm tra ổn định. Phải nối tắt các bộ tụ bù dọc, vì đây cũng là nguồn sinh ra công suất phản kháng. Máy phát điện và máy bù đồng bộ đặt ở phụ tải cũng tiêu thụ một phần công suất phản kháng. Số công suất thừa còn lại cần được tiêu thụ bằng các điện kháng. Các kháng điện này được phân bố đều trên đường dây trong các trạm bù đặt cách nhau chừng $200 - 300km$. Các thiết bị bù ở chế độ max cũng được tính đến cho chế độ min. Nếu các thiết bị bù dùng ở chế độ cực tiểu thì phải đặt máy cắt để cắt ra khi chế độ cực đại. Giữa các đoạn đường dây đặt kháng điện điện áp có thể tăng cao, cần kiểm tra và xử lý.

Tóm lại trong chế độ cực tiểu cần tính toán giảm điện áp ở hai đầu đường dây hợp lý; xác định khả năng tiêu thụ công suất phản kháng của phụ tải, của máy bù đồng bộ đặt ở phụ tải, của máy phát điện; xác định nơi đặt và công suất kháng điện; kiểm tra điện áp trên các đoạn đường dài nhất của đường dây.

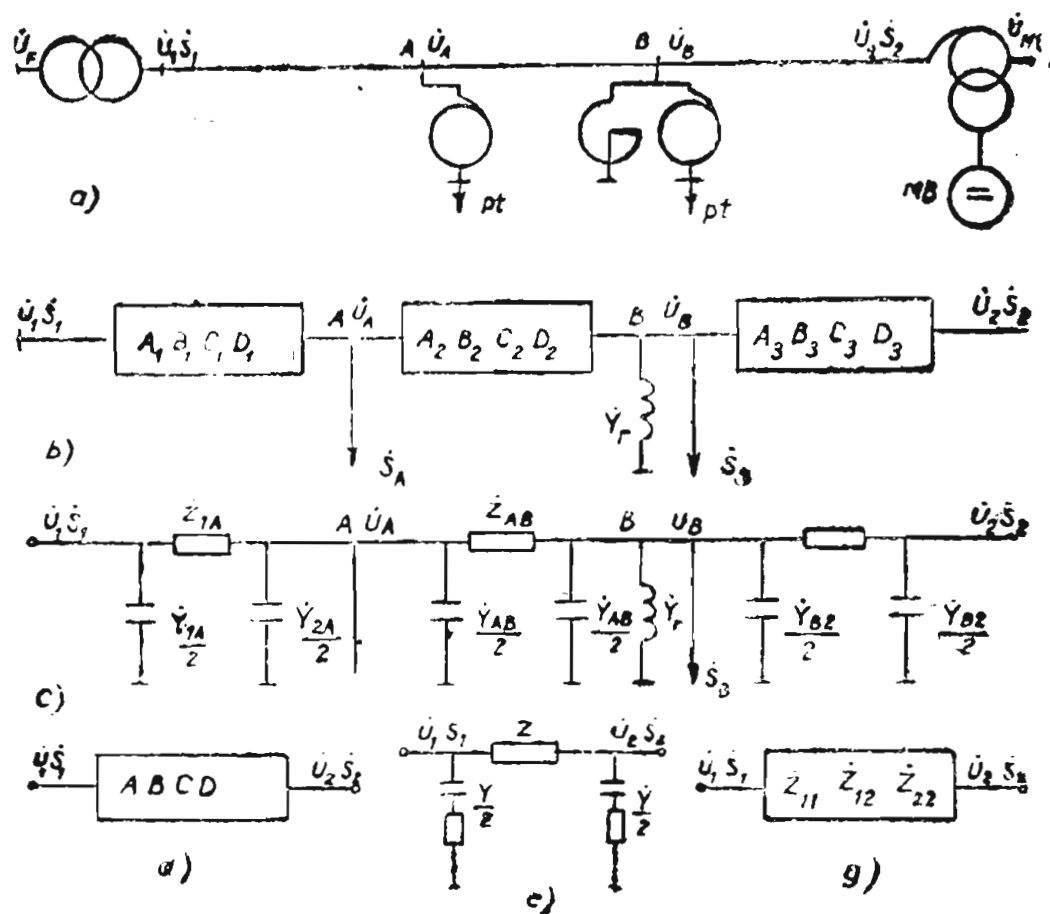
3. Đặc điểm tính toán các đường dây tải điện đi xa.

Thông tin ban đầu thường cho theo hai cách: 1—cho công suất tác dụng ở đầu (hoặc cuối) đường dây, điện áp ở cuối đường dây và ở các trạm trung gian. Cần phải kiểm tra cân bằng công suất phản kháng phụ tải, trên cơ sở đó chọn thiết bị bù và địa điểm đặt chúng. 2—Cho công suất tác dụng, phản kháng và điện áp ở đầu hoặc cuối đường dây, cần tìm điện áp ở các điểm khác, chọn thiết bị bù và địa điểm đặt chúng. Khi tính toán chế độ phải tính cả tổn thất công suất, có thể bỏ qua tổn thất trong tụ điện và kháng điện vì chúng khá nhỏ.

Đường dây tải điện thực tế thường có các trạm tiêu thụ ở giữa, các thiết bị bù (bù ngang hoặc dọc lắp tụ điện, kháng điện hoặc máy bù đồng bộ) và

các thiết bị khác. Ví dụ vẽ sơ đồ thực tế của đường dây tải điện trên hình (13-6a). Để có thể tính toán đường dây tải điện này cần phải lập sơ đồ thay thế, thường có thể sử dụng 5 loại sơ đồ thay thế như trên hình 13-6 b, c, d, e, g. Căn cứ vào thông số ban đầu sẽ lựa chọn sơ đồ thay thế thích hợp, sau đó sử dụng các công thức đã trình bày trong chương 12 để tính toán.

Ví dụ, nếu cho biết điện áp ở hai đầu đường dây, công suất tác dụng ở đầu đường dây thì nên dùng sơ đồ thay thế 13-6d hoặc 13-6g, theo các biểu thức (12-88), (12-89) hoặc (12-90) ta tính được Q_1 , Q_2 và góc δ , kiểm tra điều kiện cân bằng công suất phản kháng, nếu không đáp ứng yêu cầu thì phải thay đổi công suất bù hoặc đặt thêm thiết bị bù, điều đó sẽ dẫn đến thay đổi các thông số $ABCD$ hoặc $\dot{Z}_{11}$, $\dot{Z}_{12}$, $\dot{Z}_{22}$, sau đó làm lại phép tính cho đến khi kết quả đạt yêu cầu.



Hình 13-6

Nếu cho biết điện áp $\dot{U}_2$ và điện áp ở các phụ tải trung gian $\dot{U}_A$, $\dot{U}_B$ và P_2 thì nên dùng sơ đồ 13-6b. Nếu cho biết các thông số ở cuối hoặc đầu đường dây thì nên dùng sơ đồ 13-6c hoặc 13-6e, phép tính sẽ thực hiện dần từ đầu nọ sang đầu kia của đường dây, sau khi tính nếu có thông số nào không thỏa mãn điều kiện kỹ thuật thì phải tìm biện pháp khắc phục.

Việc tính toán đường dây tải điện đi xa, có thể thực hiện trên máy tính điện tử. Sử dụng máy tính cho phép tính toán nhanh chóng nhiều phương án khác nhau và chọn được phương án tốt nhất cho các phần tử cũng như toàn bộ đường dây tải điện đi xa.

Chương mười bốn

ỔN ĐỊNH TÍNH CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

14-1. MỞ ĐẦU. ĐỘ DƯ TRƯ ỔN ĐỊNH TÍNH

Hiện nay ngày càng xuất hiện nhiều nhà máy thủy điện, nhiệt điện, công suất lớn ở xa trung tâm tiêu thụ điện và được nối lại với nhau nhờ những đường dây tải điện đi xa cao áp (hoặc siêu cao áp) thành những hệ thống điện lớn. Trong trường hợp này một trong những vấn đề quan trọng về chất lượng của hệ thống điện là tính làm việc ổn định.

Trong những hệ thống điện lớn, những sự cố làm ngừng cung cấp điện một cách nghiêm trọng, phân chia hệ thống thành những phần riêng rẽ thường do mất ổn định gây nên.

Hệ thống điện có tính ổn định cao, nghĩa là lúc bình thường nhu cầu điện năng của phụ tải được cung cấp một cách chắc chắn, chất lượng điện (giá trị tần số và điện áp) luôn duy trì trong phạm vi cho phép. Ngoài ra khi xảy ra những đột biến về chế độ làm việc (đóng cắt đường dây, máy biến áp mang tải...) hoặc khi xảy ra sự cố (ngắn mạch các loại), những dao động phải tắt dần và hệ thống đến được trạng thái xác lập với những thông số ổn định. Như vậy tính làm việc ổn định của hệ thống điện được đặc trưng bởi mức độ đồng bộ về tốc độ quay của các rôto máy phát điện và động cơ trong hệ thống. Từ đây việc nghiên cứu ổn định nhằm xét quá trình quá độ xảy ra trong hệ thống điện khi tồn tại những dao động có nguy cơ làm mất đồng bộ và tìm những biện pháp loại trừ những dao động đó. Tính ổn định của hệ thống điện có liên quan cơ học với tốc độ quay của máy phát điện và liên quan điện học với những đại lượng đặc trưng chế độ làm việc của hệ thống điện (công suất, điện áp...), vì vậy nghiên cứu ổn định chính là xét hành vi của hệ thống điện về quá trình cơ - điện khi xảy ra những đột biến.

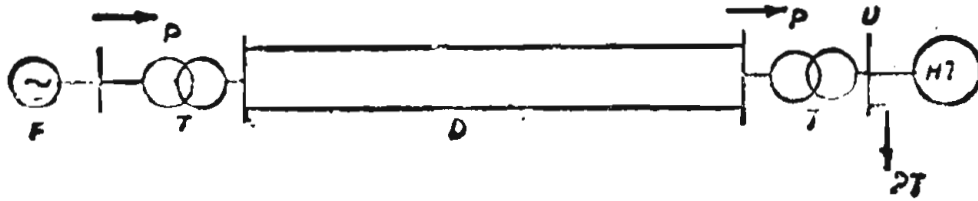
Đề tiện lợi cho nghiên cứu người ta phân biệt: Ổn định tĩnh được khảo sát khi hệ thống điện làm việc bình thường (mang công suất cực đại và chỉ tồn tại những dao động nhỏ). Ổn định động được khảo sát khi trong hệ thống điện xảy ra những dao động lớn (ngắn mạch các loại).

Trong chương này đề cập đến những vấn đề về ổn định tĩnh của hệ thống điện.

Ổn định tĩnh của hệ thống điện thường được nghiên cứu về phương diện xét khả năng chuyển tải công suất tác dụng P từ nhà máy điện lớn F qua đường

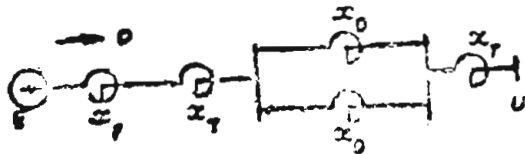
dây tải điện D đến trung tâm tiêu thụ hoặc còn gọi là hệ thống nhận điện (viết tắt là HT) như diễn tả trên sơ đồ hình 14-1.

Để nghiên cứu khả năng chuyển tải công suất vào hệ thống ta cần thành lập biểu thức quan hệ giữa đại lượng công suất truyền đi P và các tham số của hệ thống. Để đơn giản trước hết giả thiết rằng công suất của hệ thống nhận điện HT lớn gấp nhiều lần (trên 7—10 lần) công suất của nhà máy F truyền đi, khi đó những dao động bé ở phụ tải PT của hệ thống hầu như không ảnh hưởng và có thể coi điện áp U ở thanh cái hệ thống là hằng số. Ngoài ra

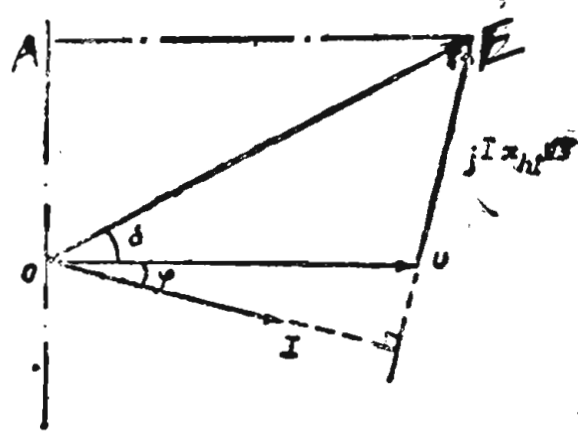


Hình 14-1

chỉ xét đến tham số điện kháng x của các phần tử. Như vậy sơ đồ thay thế tối giản và đồ thị vector của hệ thống điện trong trường hợp này được vẽ như trên hình 14-2 và 14-3.



Hình 14-2



Hình 14-3

Từ hình 14-2 ta có:

Điện kháng tổng cộng của hệ thống có giá trị:

$$x_{bt} = x_F + x_T + \frac{x_D}{2} + x_T$$

Khi coi $U = \text{const}$, từ đồ thị vector hình 14-3 ta có:

$$\vec{E} = \vec{U} + j\vec{I}x_{bt}$$

trong đó $\vec{E}$ là vector sức điện động của nhà máy truyền đi, $\vec{U}$ là vector điện áp thanh cái hệ thống nhận điện. Thường lấy $\vec{U}$ làm gốc, nghĩa là $\vec{U} = U \angle 0^\circ$, khi đó có $\vec{E} = E \angle \delta$

Trong đó δ là góc giữa vector $\vec{E}$ và $\vec{U}$. Góc δ đóng vai trò đặc biệt quan trọng khi nghiên cứu ổn định của hệ thống điện, sẽ được đề cập chi tiết sau.

Trong trường hợp này công suất P ở đầu đường dây và cung cấp cho phụ tải là như nhau (chỉ xét x). Giá trị P xác định theo biểu thức:

$$P = \sqrt{3} UI \cos\varphi \quad (14-1)$$

Để biểu diễn P thông qua giá trị E và góc δ , từ đồ thị vectơ hình 14-3 có:

$$OA = E \sin\delta = \sqrt{3} I x_{ht} \cos\varphi \quad (14-2)$$

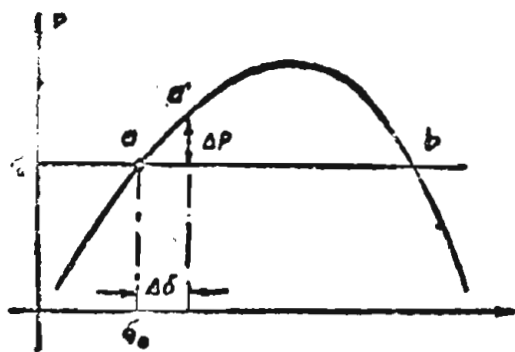
Vậy
$$\sqrt{3} I \cos\varphi = \frac{E \sin\delta}{x_{ht}}$$

và
$$P = \frac{EU}{x_{ht}} \sin\delta \quad (14-3)$$

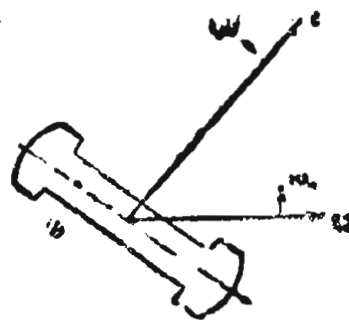
Đây là một công thức quan trọng bậc nhất khi nghiên cứu ổn định tĩnh của hệ thống điện, nó mô tả khả năng tải công suất P từ điểm có điện áp E đến điểm có điện áp U .

Khả năng tải P tỉ lệ ngược với điện kháng tổng tương hỗ giữa hai điểm đó, tỉ lệ thuận với tích số của giá trị điện áp E và U , nghĩa là gần như tỉ lệ thuận với bình phương điện áp U của đường dây tải điện. Đặc biệt, biểu thức (14-3) xác minh một nguyên lý về tải điện, đó là: muốn tải công suất tác dụng P từ nguồn E đến nơi tiêu thụ có điện áp U phải tồn tại góc lệch pha δ giữa vectơ điện áp $\vec{E}$ và $\vec{U}$ ($\vec{E}$ vượt trước $\vec{U}$).

Khi coi sức điện động $E = \text{const}$, biểu thức (14-3) diễn tả *đường đặc tính công suất* phụ thuộc góc δ , được trình bày trên hình 14-4.



Hình 14-4



Hình 14-5

Từ hình 14-4 thấy rằng ở trạng thái vận hành bình thường, công suất cơ P_0 của tuốc bin hơi hoặc nước phải cân bằng với công suất điện P phát ra và hệ thống điện làm việc với tần số ổn định, ứng với tốc độ quay đồng bộ của máy phát $\omega_0 = 2\pi f$ và góc δ_0 .

Về ý nghĩa của góc δ được mô tả trên hình 14-5. Trong đó vectơ $\vec{U}$ giả thiết luôn quay với tốc độ đồng bộ ω_0 (tốc độ từ trường quay của máy phát điện) còn vectơ $\vec{E}$ luôn gắn chặt với rôto (có phương thẳng góc với trục dọc của rôto), nghĩa là quay với tốc độ của tuốcbin ω và ở thời điểm làm việc ban đầu $\vec{E}$ nằm lệch pha với $\vec{U}$ một góc δ_0 . Khi hệ thống làm việc ổn định, nghĩa là máy phát quay đồng bộ với từ trường quay $\omega = \omega_0$, giá trị δ_0 không đổi. Khi suất hiện dao động trong hệ thống $\omega \neq \omega_0$ dẫn đến thay đổi giá trị δ theo thời gian và sự thay đổi đó phản ánh phẩm chất ổn định của hệ thống.

Để hiểu rõ hơn bản chất và có định nghĩa chính xác về ổn định tĩnh của hệ thống điện ta nghiên cứu đường đặc tính công suất $P = P(\delta)$ trên hình 4-14.

Khi công suất truyền đi là P_0 (cũng là công suất cơ của tuốc bin) ta có hai điểm cân bằng a và b ứng với giá trị góc δ_0 và δ_b . Cần xét với giá trị nào hệ thống làm việc ổn định.

Giả thiết hệ thống làm việc với δ_0 . Khi trong hệ thống có một dao động nhỏ nào đó dẫn đến góc δ tăng lên một giá trị nhỏ $\Delta\delta$. Khi đó công suất điện P phát ra bởi máy phát điện tăng lên một lượng ΔP , nhưng công suất cơ P_0 của tuốc bin coi như không đổi (bộ phận điều chỉnh chưa tác động) nên $P > P_0$ và trên trục rôto phát sinh mômen hãm, làm rôto quay chậm lại, trở về vị trí δ_0 (điểm a). Nếu dao động nhỏ làm δ_0 giảm đi, trên trục rôto sẽ phát sinh mômen tăng tốc đưa rôto về trạng thái ở điểm a . Như vậy ở điểm a (góc δ_0) hệ thống có ổn định khi làm việc bình thường.

Tại điểm b , ứng với góc δ_b hiện tượng xảy ra hoàn toàn khác. Nếu có dao động nhỏ giảm góc δ_b thì do $P > P_0$ nên góc δ tiếp tục giảm và hệ thống trở về trạng thái ở điểm a , còn nếu dao động làm tăng δ_b thì do $P_0 > P$ nên góc δ tiếp tục tăng, hệ thống mất ổn định.

Từ thảo luận trên đây có thể nêu lên định nghĩa về ổn định tĩnh của hệ thống điện là *khả năng tự trở về trạng thái ban đầu của hệ thống khi xảy ra những dao động nhỏ*.

Ở đây xuất hiện khái niệm về dao động nhỏ. Dao động nhỏ thường xuyên xảy ra, hình dung như « hơi thở » của hệ thống, ta không quan tâm đến nguyên nhân xảy ra mà chỉ tìm điều kiện để sao cho những « hơi thở » đó không trở thành *tự dao động tăng dần* dẫn đến mất đồng bộ giữa các máy phát điện trong hệ thống. Như vậy ổn định tĩnh là điều kiện cần khi làm việc bình thường của hệ thống điện.

Về góc độ mô hình toán học, dao động được coi là nhỏ khi phương trình chuyển động của rôto có thể tuyến tính hóa, nghĩa là đoạn aa' trên hình 14-4 coi là thẳng. Giả thiết này sẽ được đề cập chi tiết sau.

Từ những thảo luận trên đây và hình 14-4 sơ bộ thấy rằng hệ thống muốn có ổn định tĩnh phải làm việc ở những điểm về phía nửa tăng của đường đặc tính công suất $P = P(\delta)$. Từ đây có thể rút ra tiêu chuẩn đầu tiên để phán đoán ổn định tĩnh của hệ thống điện đơn giản là

$$\frac{dP}{d\delta} > 0 \quad \text{hoặc} \quad \delta > 90^\circ$$

đẳng thức $\frac{dP}{d\delta} = 0$ hoặc $\delta = 90^\circ$ là giới hạn về ổn định tĩnh của hệ thống điện đơn giản. Khi đó công suất truyền đi theo biểu thức (14-3) đạt giá trị cực đại $P_{\max}$ bằng

$$P_{\max} = \frac{EU}{x_{bt}} \quad (14-4)$$

Độ dự trữ ổn định tĩnh $K_1\%$ của hệ thống điện được xác định theo biểu thức

$$K_1\% = \frac{P_{\max} - P_0}{P_0} 100 \quad (14-5)$$

Trong thực tế hệ thống làm việc ổn định thường $K_1\%$ có giá trị khoảng 20 — 30 %.

Đối với hệ thống điện đơn giản, nghiên cứu ổn định tĩnh ở bước sơ bộ được qui về việc xây dựng đường đặc tính công suất của nhà máy truyền đi $P = P(\delta)$ và xác định giá trị $P_{\max}$. Sau đó căn cứ vào giá trị công suất truyền đi trong trạng thái làm việc cực đại P_0 để xác định độ dự trữ ổn định tĩnh của hệ thống $K_1\%$. Như vậy việc xây dựng đường đặc tính công suất là một bước quan trọng. Vì vậy tiếp theo sẽ xét trong những trường hợp khác nhau.

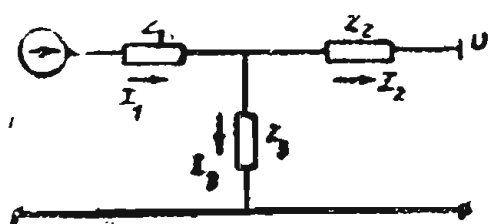
14.2. XÂY DỰNG ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH CÔNG SUẤT

Từ mục trên đã thấy rằng đường đặc tính công suất $P = P(\delta)$ từ nhà máy điện truyền vào hệ thống nhận điện phụ thuộc nhiều yếu tố như điện áp của thanh cái của hệ thống U , tham số các phần tử của hệ thống x_{ki} , các yếu tố ảnh hưởng đến sức điện động của nhà máy truyền đi E v.v... Trong trường hợp đơn giản, chẳng hạn coi hệ thống nhận điện có công suất vô cùng lớn (gấp 8 — 10 lần trở lên so với công suất nhà máy truyền đi), khi đó $U = \text{const}$, các tham số của mạng điện chỉ xét đến điện kháng x , ở máy phát điện coi sức điện động $E = \text{const}$, nghĩa là không xét đến tác động của bộ phận tự động điều chỉnh kích từ (TĐK) thì công suất truyền từ nhà máy vào hệ thống được xác định theo biểu thức đơn giản (14-3). Bây giờ ta khảo sát đường đặc tính công suất khi loại bỏ những giả thiết trên để gần với thực tế hơn.

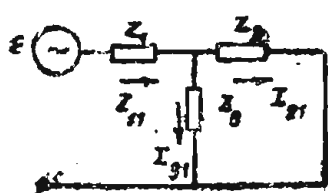
1. Khi xét cả tổng trở Z của các phần tử.

Ở đây vẫn giả thiết $U = \text{const}$, $E = \text{const}$, chỉ xét thêm các tham số điện trở R , điện dẫn tác dụng G , dung kháng B của mạng điện, nghĩa là đối với các phần tử ta dùng tham số tổng trở Z để tính toán.

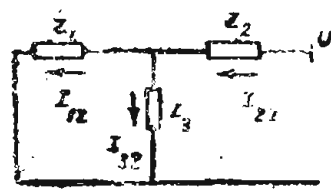
Sau khi biến đổi mạng điện nối giữa sức điện động E và điện áp U , ta đưa về sơ đồ thay thế như trên hình vẽ 14-6.



Hình 14-6



Hình 14-7



Công suất tác dụng truyền từ nhà máy vào hệ thống nhận điện có giá trị phụ thuộc vào tích số giữa E và I . Tính toán mạch điện hình 14-6 có thể tiến hành nhờ nguyên lý xếp chồng, mạng điện hình 14-6 tương đương với hai mạng điện trên hình 14-7.

Trên hình 14-7 dòng điện I_{31} trên nhánh Z_3 do sức điện động E (phía 1) gây nên, I_{32} là dòng trên nhánh Z_3 do điện áp U (phía 2) gây nên.

Theo các biểu thức về cơ sở lý thuyết mạch điện, dòng điện phát ra từ nhà máy điện có biểu thức

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{11} - \dot{I}_{12} \quad (14-6)$$

trong đó

$$I_{11} = \frac{E}{Z_{11}}$$

với Z_{11} là tổng trở đầu vào của mạng điện khi nhìn từ phía E .

$$I_{12} = \frac{U}{Z_{12}}$$

với $Z_{12} = Z_{21}$ là tổng trở tương hỗ giữa điểm E và điểm U .

Dòng điện đi vào hệ thống nhận điện

$$I_2 = I_{21} - I_{22} \quad (14-7)$$

trong đó:

$$I_{21} = \frac{E}{Z_{21}}$$

$I_{22} = \frac{U}{Z_{22}}$, với Z_{22} là tổng trở đầu vào của mạng điện khi nhìn từ phía U .

Trong trường hợp đang khảo sát ở đây, ta có:

$$Z_{11} = Z_1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3}; \quad Z_{12} = Z_{21} = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3};$$

$$Z_{22} = Z_2 + \frac{Z_1 Z_3}{Z_1 + Z_3}$$

Để xác định công suất tác dụng P truyền từ nhà máy ta viết công thức công suất biểu kiến $\tilde{S}$

$$\tilde{S} = \vec{E} \cdot \vec{I}_1 \quad (14-8)$$

trong đó $\vec{E}$ vector liên hợp của E

Kết hợp với (14-6) có:

$$\tilde{S} = \vec{E} (I_{11} - I_{12}) = \frac{E^2}{Z_{11}} - \frac{\vec{E} U}{Z_{12}}$$

Lấy vector $\vec{U}$ làm gốc, khi đó có $\vec{E} = E \underline{\delta}$. Các tổng trở được viết trong dạng:

$$Z_{11} = z_{11} \underline{\psi_{11}}; \quad Z_{12} = z_{12} \underline{\psi_{12}}$$

trong đó z_{11} , z_{12} là giá trị môđun tổng trở và ψ_{11} , ψ_{12} là các góc của tổng trở. Đặt góc phụ $\alpha_{11} = 90^\circ - \psi_{11}$ và $\alpha_{12} = 90^\circ - \psi_{12}$. Viết được

$$\tilde{S} = \frac{E^2 \underline{-\psi_{11}}}{z_{11}} - \frac{EU \underline{-\delta - \psi_{12}}}{z_{12}}$$

Công suất tác dụng của nhà máy truyền đi được xác định theo biểu thức phần thực của $\tilde{S}$:

$$P = R_e \{ \tilde{S} \} = \frac{E^2}{z_{11}} \cos \psi_{11} - \frac{EU}{z_{12}} \cos(\delta + \psi_{12})$$

Thay $\alpha = 90^\circ - \psi$ ta được

$$P = \frac{E^2}{z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{EU}{z_{12}} \sin(\delta - \alpha_{12}) \quad (14-9)$$

Tương tự có thể lập biểu thức cho công suất phản kháng

$$Q = \frac{E^2}{z_{11}} \cos \alpha_{11} - \frac{EU}{z_{12}} \cos(\delta - \alpha_{12}) \quad (14-10)$$

Từ đây thấy rằng biểu thức (14-9) tổng quát hơn biểu thức (14-3), nói chung vì xét đến tính tổn thất của mạng điện (r, g) đường đặc tính $P(\delta)$ không qua gốc tọa độ. Khi $\delta = 0$ công suất P có giá trị phụ thuộc α_{11} và α_{12} :

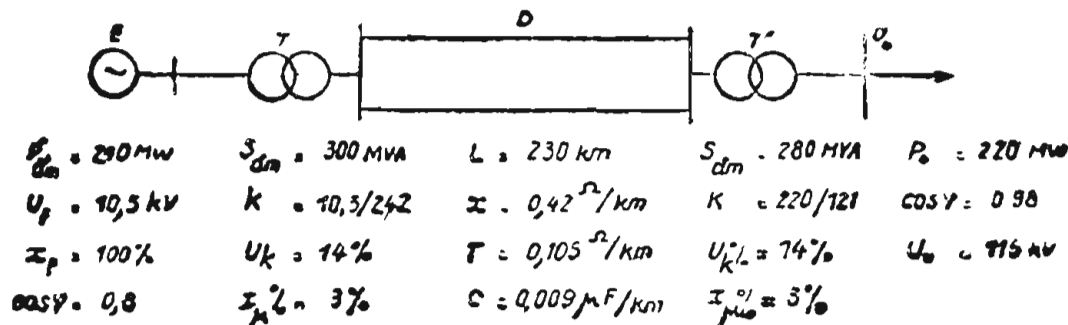
$$P = \frac{E^2}{z_{11}} \sin \alpha_{11} - \frac{EU}{z_{12}} \sin \alpha_{12}$$

Trong trường hợp chỉ xét đến điện kháng của các phần tử trong hệ thống, nghĩa là $\psi_{11} = \psi_{12} = 90^\circ$ và $\alpha_{11} = \alpha_{12} = 0$, biểu thức công suất P theo (14-9) trở về trường hợp của biểu thức (14-3).

2. Thí dụ về tính ổn định tĩnh.

Xác định độ dự trữ ổn định tĩnh của hệ thống điện. Tham số của các phần tử được ghi trên hình 14-8. Công suất truyền vào hệ thống nhận điện (công suất vô cùng lớn) là $P_0 = 200\text{MW}$, $\cos \varphi = 0,98$.

Tính toán được tiến hành trong hệ đơn vị tương đối, lấy các giá trị cơ bản là $S_{cb} = 220\text{MVA}$; $U_{cb} = 209\text{kV}$. Lấy đoạn đường dây tải điện 220kV làm cơ sở quy đổi.



Hình 14-8

Trước hết cần xác định các tham số trong hệ đơn vị tương đối, quy về đoạn 220kV. Ta có:

$$x_f = \frac{x_f \%}{100} \cdot \frac{S_{cb}}{S_{dm}} \cdot \frac{U_{dm}^2}{U_{cb}^2} K^2 = \frac{100}{100} \cdot \frac{220}{300} \cdot \left(\frac{10,5}{209} \right)^2 \cdot \left(\frac{242}{10,5} \right)^2 = 0,982$$

$$x_T = \frac{U_k \%}{100} \cdot \frac{S_{cb}}{S_{dm}} \cdot \frac{U_{dm}^2}{U_{cb}^2} = \frac{14}{100} \cdot \frac{220}{300} \cdot \left(\frac{242}{209} \right)^2 = 0,138$$

$$x_{T'} = \frac{14}{100} \cdot \frac{220}{280} \cdot \left(\frac{220}{209} \right)^2 = 0,122$$

$$x_D = \frac{1}{2} x L \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2} = \frac{1}{2} 0,42 \cdot 230 \cdot \frac{220}{(209)^2} = 0,244$$

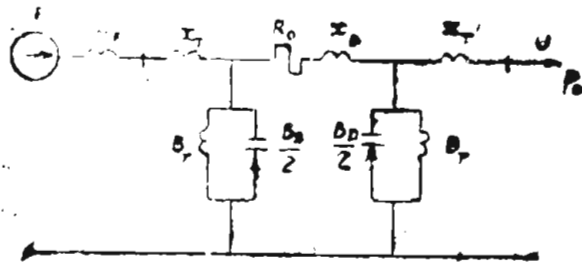
$$R_D = \frac{1}{2} r L \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2} = \frac{1}{2} 0,105 \cdot \frac{220}{(209)^2} = 0,061$$

$$B_D = 2\omega CL \cdot 10^{-6} (2 \text{ mạch}) = 2,314 \cdot 0,009 \cdot 10^{-6} \cdot 230 = 0,0013 \left[\frac{1}{\Omega} \right]$$

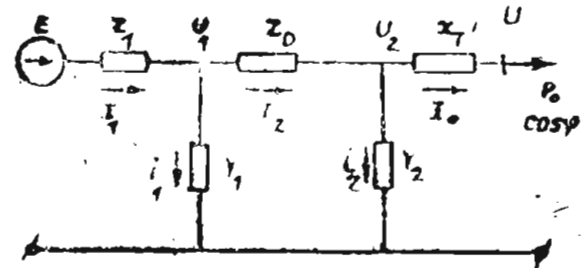
$$B_T = \frac{l\mu\%}{100} \frac{S_{dm}}{U_{dm}^2} = \frac{3}{100} \cdot \frac{300}{(242)^2} = 1,535 \cdot 10^{-4} \left[\frac{1}{\Omega} \right]$$

$$\text{Tương tự } B_T = 1,735 \cdot 10^{-4} \left[\frac{1}{\Omega} \right]$$

Sơ đồ thay thế của hệ thống điện khi có xét đến điện trở đường dây R_D , dung kháng đường dây B_D và dung kháng máy biến áp (tổn hao từ hóa) B_T , B_T và cảm kháng x của các phần tử được trình bày trên hình 14-9 và thu gọn thành sơ đồ hình 14-10.



Hình 14-9



Hình 14-10

Từ sơ đồ hình 14-9, nhận được giá trị các tham số trên hình 14-10 như sau:

$$Z_1 = j(x_T + x_T) = j 1,12$$

$$Z_D = R_D + jx_D = 0,061 + j 0,244$$

$$Y_1 = j \left(\frac{B_D}{2} - B_T \right) = j 4,965 \cdot 10^{-4} \left[\frac{1}{\Omega} \right]$$

$$Y_2 = j \left(\frac{B_D}{2} - B_T \right) = j 4,765 \cdot 10^{-4} \left[\frac{1}{\Omega} \right]$$

Viết trong đơn vị tương đối

$$Y_1 = j 4,965 \cdot 10^{-4} \frac{U_{cb}^2}{S_{cb}} = j 0,0985$$

$$Y_2 = j 0,0945$$

Để chuẩn bị xây dựng đường đặc tính công suất, xác định giới hạn công suất truyền đi P_{max} cần xác định các giá trị U , P_o trong hệ tương đối:

$$U = \frac{U_o}{U_{cb}} k = \frac{115}{209} \cdot \frac{220}{121} = 1,0 \text{ (chính vì muốn có } U=1,0 \text{ nên đã chọn } U_{cb}=209\text{kV}).$$

$$P_o = \frac{P_o}{S_{cb}} = \frac{220}{220} = 1,0$$

$$Q_o = P_o \tan \varphi = 0,2.$$

Để xác định độ dự trữ ổn định tĩnh của hệ thống cần tìm giá trị cực đại của đường đặc tính công suất

$$P = \frac{E^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{EU}{Z_{12}} \sin(\delta - \alpha_{12})$$

nghĩa là phải xác định các tổng trở phức Z_{11} , Z_{12} và giá trị sức điện động E của nhà máy truyền đi.

Xác định giá trị E dựa vào tình trạng làm việc đã cho, căn cứ vào sơ đồ hình 14-10, xuất phát từ điểm cuối cùng với

$$\dot{U} = 1,0 \angle 0^\circ; \quad P_o = 1,0; \quad Q_o = 0,2$$

đi dần lên đến $\dot{E}$.

Ta có:

$$\dot{I}_o = \frac{\widetilde{S}_o}{U} = \frac{1 - j0,2}{1} = 1,02 \angle -11^\circ 20'$$

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_o + j\dot{I}_o x_T = 1,032 \angle 6^\circ 46'$$

$$i_2 = \dot{U}_2 Y_2 = 0,0976 \angle 96^\circ 46'$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_o + i_2 = 0,993 \angle -6^\circ$$

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \dot{I}_2 Z_D = 1,165 \angle 17^\circ 50'$$

$$i_1 = \dot{U}_1 Y_1 = -0,0352 + j0,1098$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + i_1 = 0,953 \angle 0^\circ 15'$$

Điện áp trên cực máy phát U_F có giá trị

$$\dot{U}_F = \dot{U}_1 + j\dot{I}_1 x_T = 1,215 \angle 23^\circ 15'$$

Từ đây xác định được giá trị công suất truyền đi ban đầu từ nhà máy điện $S_{o(F)}$

$$S_{o(F)} = \dot{U}_F \dot{I}_1 = 1,062 + j0,454$$

nghĩa là $P_{o(F)} = 1,062$ (đến cuối cùng đường dây còn $P_o = 1,0$).

Tiếp tục xác định

$$\dot{E} = \dot{U}_F + j\dot{I}_1 x_F = 1,8 \angle 52^\circ 15'$$

Như vậy có trạng thái ban đầu:

$$E = 1,8$$

$$\delta_o = 52^\circ 15'$$

$$P_o = 1,062$$

Tiếp theo cần xác định Z_{11} , Z_{12} , α_{11} , α_{12} .

Từ hình 14-10 đặt $x_1 = \frac{1}{Y_1} = -j10,15$; $x_2 = \frac{1}{Y_2} = -j10,58$ biến đổi tam giác x_1 , Z_D , x_2 thành hình sao như trên hình 14-11.

Trong đó

$$= \frac{Z_D \cdot x_1}{Z_D + x_1 + x_2} = 0,0304 + j 0,12$$

$$Z_b = \frac{Z_D \cdot x_2}{Z_D + x_1 + x_2} = 0,0318 + j 0,1255$$

$$Z_c = \frac{x_1 x_2}{Z_D + x_1 + x_2} = - 0,0152 - j 5,248$$

Đặt

$$Z_1 = j(x_F + x_T) + Z_c = 0,0304 + j 1,24$$

$$Z_2 = jx_{T'} + Z_b = 0,0318 + j 0,248$$

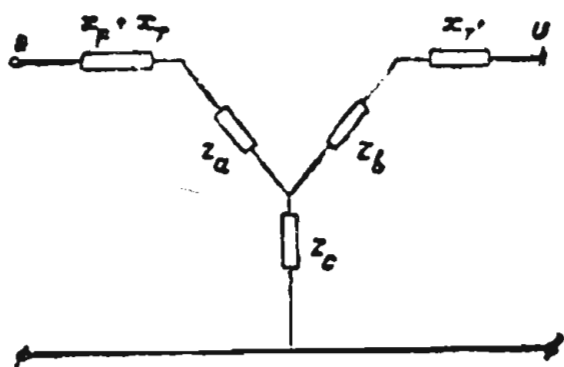
$$Z_3 = Z_c = - 0,0152 - j 5,248$$

Tổng trở đầu vào

$$Z_{11} = Z_1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3} = 1,5 \angle 87^\circ 30'$$

Tổng trở tương hỗ

$$Z_{12} = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3} = 1,431 \angle 87^\circ 50'$$



Hlaih 14-11

Như vậy ta có các giá trị tuyệt đối $z_{11} = 1,5$; $z_{12} = 1,131$ và các góc $\alpha_{11} = 2^\circ 30'$ $\alpha_{12} = 2^\circ 10'$

Công suất truyền đi từ nhà máy điện được xác định theo biểu thức

$$P = \frac{E^2}{z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{EU}{z_{12}} \sin(\delta - \alpha_{12}). \text{ Thay các trị số, ta có:}$$

$$P = 2,16 \sin(2^\circ 30') + 1,27 \sin(\delta - 2^\circ 10')$$

Trước khi xác định $P_{\max}$, ta có thể thử lại, với $\delta_0 = 52^\circ 15'$ có $P_{o(F)} = 2,16 \sin(2^\circ 30') + 1,27 \sin(50^\circ 5') = 1,062$ như đã thấy trên kia. Vậy quá trình tính toán đúng.

Giới hạn công suất truyền đi:

$$P_{\max} = 2,16 \sin(2^\circ 30') + 1,27 = 1,35$$

Hệ số dự trữ ổn định tĩnh $K_1\%$ của hệ thống

$$K_1\% = \frac{P_{\max} - P_o}{P_o} 100 = \frac{1,35 - 1,062}{1,062} 100 = 27,1\%$$

Nếu chỉ xét đến cáo tham số x của các phần tử, ta có

$$x_{ht} = x_F + x_T + x_D + x_{T'} = 1,486$$

và

$$P = \frac{EU}{x_{ht}} \sin \delta$$

Trong trường hợp này E được tính đơn giản hơn

$$E = \sqrt{\left(U + \frac{P_o x_{ht}}{U}\right)^2 + \left(\frac{P_o x_{ht}}{U}\right)^2} = 1,972.$$

Vậy

$$P_{\max} = \frac{1,972 \cdot 1}{1,486} = 1,33$$

$$K, \% = \frac{1,33 - 1,0}{1,0} 100 = 33 \%$$

Từ đây thấy rằng khi xét đến những tham số đặc trưng tổn thất trong mạng điện độ ổn định tĩnh của hệ thống giảm xuống.

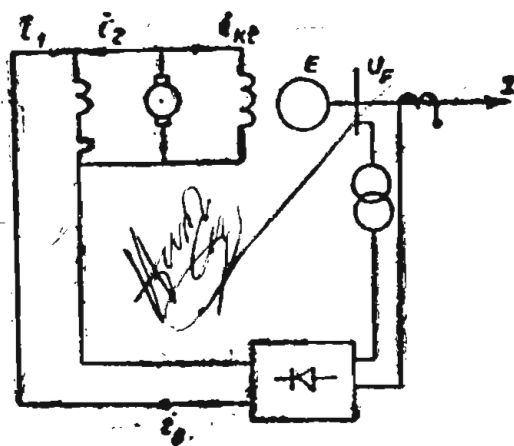
3. Ảnh hưởng của tự động điều chỉnh kích từ đến ổn định tĩnh.

Trong các mục trên kia khi xây dựng đường đặc tính công suất để xét ổn định tĩnh của hệ thống điện, máy phát điện ở nhà máy truyền đi được thay bằng giá trị sức điện động E đặt đằng sau điện kháng x_F . Độ dự trữ ổn định tĩnh của hệ thống điện phụ thuộc trực tiếp vào giá trị của E và x_F , mà hai tham số này phụ thuộc vào tình trạng ở máy phát điện có trang bị thiết bị tự động điều chỉnh kích từ (TĐK) hay không, và nếu có thì là loại nào.

Trong trường hợp ở máy phát điện (loại nhỏ) không có trang bị TĐK khi tính toán ổn định tĩnh, máy phát điện được thay thế bằng sức điện động E đặt sau điện kháng đồng bộ x_d của máy phát. Giá trị E đó giữ không đổi trong suốt thời gian khảo sát. Vì giá trị x_d lớn nên độ dự trữ ổn định tĩnh trong trường hợp này nhỏ.

Hiện nay ở máy phát điện hầu hết được trang bị TĐK nhằm thay đổi giá trị sức điện động E của máy phát theo phương hướng giữ điện áp U_F ở cực máy phát điện ít thay đổi hoặc không đổi khi trong hệ thống có những dao động nhỏ. Nguyên lý làm việc cơ bản của thiết bị TĐK được trình bày trên hình 14-12.

Khi trong hệ thống xuất hiện những dao động nhỏ, chẳng hạn làm tăng dòng điện phụ tải I và giảm điện áp U_F , những dao động này gây nên tín hiệu i_1 ở đầu ra của bộ phận điều chỉnh, tín hiệu i_1 cùng dòng điện i_2 làm tăng dòng điện kích từ i_{kt} , do đó sức điện động E của máy phát điện tăng lên làm cho U_F đỡ giảm hoặc không giảm. Như vậy nhờ tác động của TĐK, khi xuất hiện dao động nhỏ, sức điện động E luôn thay đổi nhằm nâng cao khả năng tải điện của hệ thống.



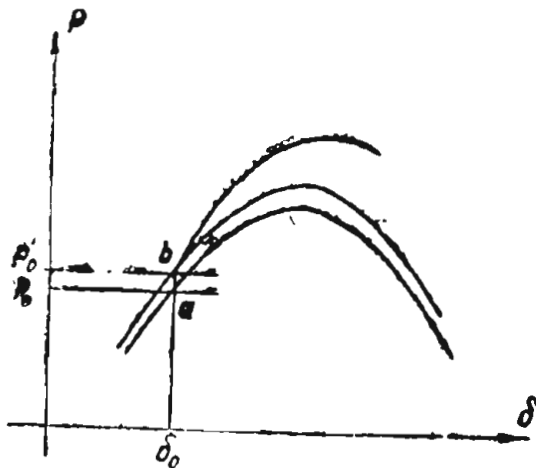
Hình 14-12

Đường đặc tính công suất của hệ thống điện khi có TĐK có thể xây dựng như trên hình 14-13. Trong trạng thái bình thường hệ thống làm việc ở điểm a ứng với công suất truyền đi P_0 . Chẳng hạn P_0 tăng lên đến giá trị P'_0 , sức điện động của máy phát do tác động của TĐK sẽ tăng lên, do đó đường đặc tính công suất được nâng lên, ứng với giá trị E mới, cắt đường P'_0 tại điểm b , đó là điểm làm việc mới của hệ thống. Tập hợp các điểm $a, b, \dots$ tạo nên đường đặc tính công suất của hệ thống khi có TĐK.

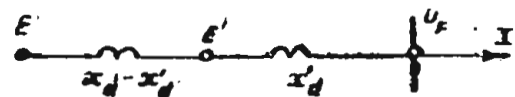
Trong tính toán sơ bộ thường không xác định khả năng chuyển tải của hệ thống theo hình 14-13 mà vẫn sử dụng biểu thức

$$P = \frac{EU}{x_{ht}} \sin \delta, \text{ hoặc } P = \frac{E^2}{z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{EU}{z_{12}} \sin(\delta - \alpha_{12})$$

trong đó giá trị E và x_{ht} có xét đến ảnh hưởng của TĐK.



Hình 14-13



Hình 14-14

Qua thảo luận trên đây thấy rằng TĐK giữ cho điện áp U_F trên cực máy phát ít thay đổi hoặc không đổi khi xuất hiện dao động nhỏ trong hệ thống, điều đó có nghĩa là làm giảm ảnh hưởng của điện kháng x_F (hoặc là điện kháng đồng bộ x_d) của máy phát khi tính toán ổn định tĩnh. Như vậy trong sơ đồ thay thế tính toán ổn định tĩnh, TĐK đã bù một phần hoặc toàn phần giá trị x_d . Trên hình 14-14 mô tả sơ đồ thay thế của máy phát điện khi có TĐK các loại.

Khi không có TĐK máy phát được thay bằng E và x_d . Khi có TĐK loại tỉ lệ, máy phát được thay bằng E' đặt sau x_d' . Khi có TĐK loại tác động mạnh máy phát được thay bằng U_F và $x_F = 0$.

TĐK loại tỉ lệ điều chỉnh theo độ lệch của điện áp hoặc dòng điện so với giá trị định mức. Vì tín hiệu chỉ xuất hiện khi có độ lệch nên tồn tại vùng không nhạy, do đó TĐK loại này không giữ được $U_F = \text{const}$ mà chỉ giữ được $E' = \text{const}$ đặt sau x_d' .

TĐK loại tác động mạnh, ngoài giá trị độ lệch, còn điều chỉnh theo đạo hàm bậc nhất và bậc hai của tham số, nghĩa là theo tốc độ và gia tốc của sự biến đổi các tham số (điện áp, dòng điện). Nhờ vậy TĐK tác động mạnh giữ được $U_F = \text{const}$, nghĩa là đã bù hoàn toàn ($x_F = 0$) điện kháng của máy phát trong sơ đồ thay thế tính toán ổn định tĩnh.

Như vậy khi máy phát điện có trang bị TĐK, để xác định độ dự trữ ổn định tĩnh, giá trị cực đại của công suất truyền đi được xác định theo công thức:

— Khi có TĐK tác động tỉ lệ

$$P_{\max} = \frac{E'^2}{z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{E'U}{z_{12}}$$

trong đó E' là sức điện động của máy phát điện đặt sau điện kháng quá độ x'_d của máy phát điện

z'_{11}, z'_{12} là tổng trở đầu vào và tổng trở tương hỗ của hệ thống khi máy phát điện được thay bằng điện kháng quá độ x'_d ($x'_d < x_d$)

— Khi có TĐK tác động mạnh

$$P_{\max} = \frac{U_F^2}{z''_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{U_F U}{z''_{12}}$$

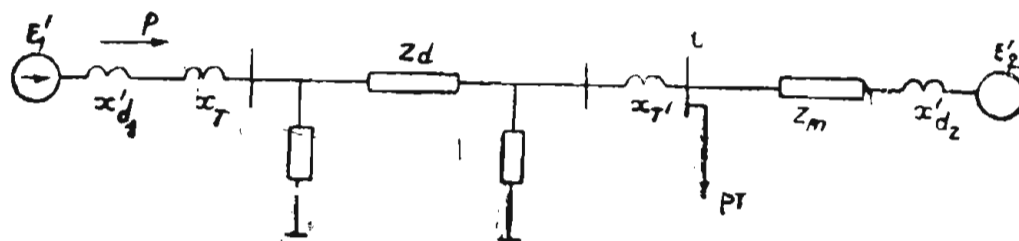
trong đó U_F là điện áp trên cực máy phát điện

z''_{11}, z''_{12} tương tự như trường hợp trên, chỉ khác là ở đây không có điện kháng của máy phát.

TĐK có tác động bù điện kháng của máy phát x_F , mà giá trị x_F chiếm phần quan trọng trong toàn bộ điện kháng x_{ht} của hệ thống. Vì vậy TĐK làm tăng khả năng chuyển tải của hệ thống điện và đó là một biện pháp chủ yếu để nâng cao ổn định tĩnh của hệ thống điện.

4. Ổn định tĩnh khi hệ thống nhận điện có công suất hữu hạn

Trong những mục trên, để đơn giản ta đã giả thiết công suất của hệ thống nhận điện là vô cùng lớn, nghĩa là lớn gấp nhiều lần so với công suất của nhà máy truyền đi, khi đó coi điện áp ở thanh cái nhận điện $U = \text{const}$ và những dao động nhỏ không có ảnh hưởng gì. Như vậy với giả thiết đó ta đã coi điện kháng của hệ thống nhận điện bằng không.

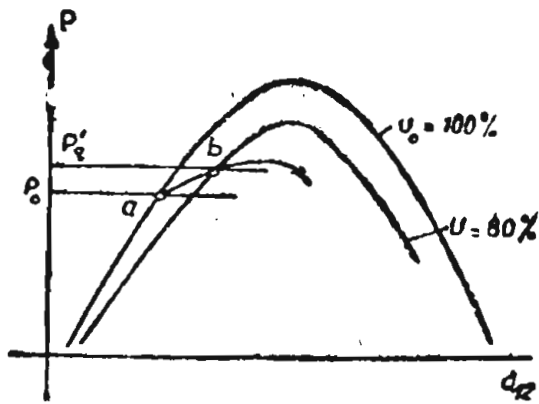


Hình 14-15

Trong thực tế có nhiều trường hợp hệ thống nhận điện có công suất không gấp nhiều lần so với nhà máy truyền đi (đặc biệt khi xét ổn định tĩnh giữa hai nhà máy điện). Khi đó cần thay hệ thống nhận điện bởi một sức điện động đẳng trị E_2 nào đó, đặt sau tổng trở Z_H bao gồm tổng trở mạng điện và điện kháng đẳng trị của các máy phát điện (hình 14-15). Trên hình 14-15 giả thiết ở nhà máy truyền đi và ở hệ thống nhận điện các máy phát điện đều trang bị TĐK loại tỉ lệ.

Từ sơ đồ thay thế của hệ thống điện trên hình 14-15 thấy rằng công suất chuyển tải từ nhà máy 1 vào hệ thống có giá trị P phụ thuộc vào giá trị E'_1, E'_2 , góc lệch pha δ_{12} giữa E'_1, E'_2 và tổng trở giữa hai điểm E'_1, E'_2 .

Khi giá trị P tăng lên, vì E'_1 , E'_2 không đổi nên giá trị U là điện áp của điểm nằm giữa E'_1 và E'_2 sẽ giảm xuống và như vậy đường đặc tính công suất $P = P(\delta_{12})$ sẽ thấp hơn khi giả thiết $U = const$. Điều đó có thể giải thích trên hình 14-16.



Hình 14-16

Ở trạng thái bình thường hệ thống làm việc ở điểm a , ứng với P_0 và $U_0 = 100\%$. Khi P_0 tăng đến P'_0 , vì công suất hệ thống nhận điện là hữu hạn nên U giảm xuống còn 80% U_0 . Hệ thống làm việc ở tình trạng mới: điểm b . Giá trị P_0 tiếp tục tăng, U tiếp tục giảm, tập hợp các điểm $a, b, \dots$ tạo thành đường đặc tính công suất khi $U \neq const$ và có giá

trị cực đại thấp hơn trong trường hợp coi $U = const$.

Hiện tượng giảm độ dự trữ ổn định tĩnh của hệ thống điện khi xét đến tính hữu hạn về công suất nơi nhận điện cũng có thể giải thích nhờ sơ đồ thay thế hình 14-15. Vì tổng trở của hệ nhận điện tham gia vào sơ đồ tính toán nên đã làm « xa » khoảng cách giữa hai điểm E'_1 , E'_2 (so với E'_1 và U trước kia) do đó làm giảm khả năng chuyển tải giữa E'_1 và E'_2 .

Từ sơ đồ thay thế hình 14-15, khả năng chuyển tải công suất P từ nhà máy điện E_1 được xác định theo biểu thức tương tự như trước, nhưng ở đây coi $E'_2 = const$, vậy có:

$$P = \frac{E'_1}{z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{E'_1 E'_2}{z_{12}} \sin (\delta_{12} - \alpha_{12}) \quad (14-11)$$

trong đó z_{11} là tổng trở đầu vào của hệ thống nhìn từ E'_1 , bao gồm cả tổng trở phụ tải Z_{pt} và tổng trở của hệ nhận điện.

z_{12} là tổng trở tương hỗ của hệ thống giữa điểm E'_1 và E'_2 .

Vì các giá trị z_{11} , z_{12} đều lớn hơn so với trường hợp coi $U = const$, nên cực đại của biểu thức (14-11) thấp hơn so với trường hợp coi $U = const$.

Khi giả thiết công suất hệ nhận điện là hữu hạn, phụ tải tổng đặt ở thanh cái U có ảnh hưởng đến tính ổn định tĩnh của hệ thống. Ảnh hưởng đó có thể xét đến một cách chính xác hoặc gần đúng.

Khi công suất truyền đi P thay đổi làm cho giá trị U thay đổi. Khi U thay đổi công suất tác dụng P_{ft} và phản kháng Q_{ft} nhận bởi phụ tải cũng thay đổi (tỉ lệ với bình phương U) theo đường đặc tính tĩnh của nó. Do công suất phụ tải thay đổi lại làm thay đổi công suất truyền trên đường dây tải điện... Quá trình ảnh hưởng liên tiếp đó, nếu xét đến một cách chính xác khi nghiên cứu ổn định tĩnh của hệ thống điện cần tính sự thay đổi của công suất phụ tải theo các đường đặc tính tĩnh. Ngoài ra bản thân phụ tải cũng đòi hỏi khảo sát theo

chỉ tiêu ổn định tĩnh vì nếu phụ tải mất ổn định (chẳng hạn động cơ điện ngừng quay) có thể dẫn đến mất ổn định toàn hệ thống.

Những chi tiết về việc nghiên cứu ổn định tĩnh của hệ thống điện khi xét đến đường đặc tính của phụ tải và tính ổn định của bản thân phụ tải được trình bày ở [TK 5, 8, 9].

Thường trong thực tế, ảnh hưởng của phụ tải đến ổn định tĩnh của hệ thống được xét đến thông qua giá trị tổng trở của phụ tải. Với phụ tải có công suất $P_n + jQ_n$ đặt ở thanh cái có giá trị điện áp U , khi tính ổn định tĩnh của hệ thống, phụ tải đó được thay thế bởi tổng trở Z_n có giá trị

$$Z_n = \frac{U^2}{\sqrt{P_n^2 + Q_n^2}} (\cos\varphi + j\sin\varphi) \quad (14-12)$$

trong đó φ là góc lệch pha của phụ tải, với

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q_n}{P_n}$$

Sau khi thay phụ tải bằng $Z_n = R_n + jX_n$, mọi tính toán biến đổi sơ đồ được tiến hành để xác định các tổng trở Z_{11}, Z_{12} , từ đó xác định được giới hạn công suất truyền đi theo biểu thức (14-11) và độ dự trữ ổn định tĩnh $K_1\%$.

Tóm lại việc xác định độ dự trữ ổn định tĩnh của hệ thống điện thu về việc xác định giá trị cực đại của biểu thức công suất truyền đi

$$P = \frac{E_1^2}{z_{11}} \sin\alpha_{11} + \frac{E_1 E_2}{z_{12}} \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}) \quad (14-13)$$

trong đó các giá trị E_1, E_2, z_{11}, z_{12} tùy thuộc trường hợp ở máy phát điện có TĐK loại nào, với giả thiết công suất hệ nhận điện hữu hạn hoặc vô cùng lớn.

Qua những mục trên đây, tuy không đề cập chi tiết đến những biện pháp nâng cao ổn định tĩnh của hệ thống điện, nhưng qua biểu thức cơ bản xác định khả năng chuyển tải công suất ta đã thấy những phương hướng chủ yếu tăng cường ổn định tĩnh của hệ thống bao gồm:

- Trang bị TĐK các loại ở máy phát điện
- Bù tụ điện dọc trên đường dây tải điện cao áp nhằm giảm điện kháng chung của hệ thống
- Đặt thiết bị bù ở thanh cái hệ nhận điện nhằm nâng cao điện áp U và giữ nó ít thay đổi khi có dao động nhỏ trong hệ thống.

14-3. PHƯƠNG PHÁP DAO ĐỘNG NHỎ NGHIÊN CỨU ỔN ĐỊNH TĨNH CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

Trên đây khi nghiên cứu ổn định tĩnh của hệ thống điện ta đã đưa về sơ đồ gồm nhà máy điện truyền đi — đường dây tải điện — hệ thống nhận điện có công suất hữu hạn (hoặc vô hạn). Khi khảo sát độ dự trữ ổn định tĩnh ta đã chấp nhận những giả thiết đơn giản hóa như: chưa xét đến tác động điều chỉnh của tuốc bin (coi công suất P_0 luôn là hằng số), ảnh hưởng của TĐK các

loại chỉ thể hiện qua các giá trị điện kháng máy phát x_F và sức điện động E ; những nhà máy ở hệ thống nhận điện có thể ghép đẳng trị. Với những giả thiết đơn giản đó, ta xây dựng đường đặc tính công suất P và chỉ tiêu ổn định tĩnh của hệ thống là

$$\frac{dP}{d\delta_{12}} > 0,$$

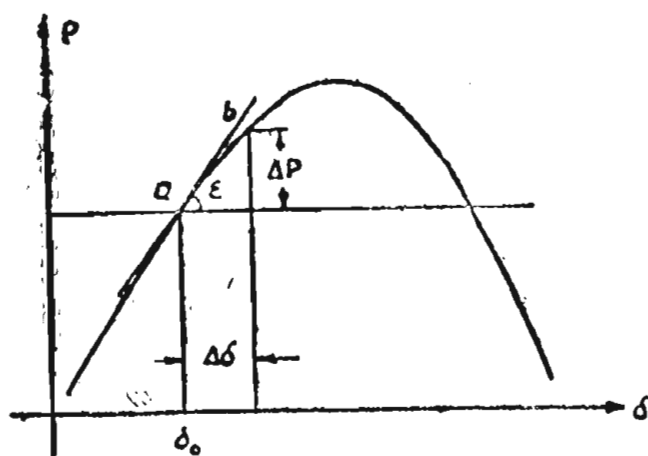
trong đó δ_{12} là góc lệch pha giữa sức điện động của nhà máy truyền đi và nhà máy đẳng trị của hệ nhận điện.

Việc tính toán như vậy đơn giản và chấp nhận được khi khảo sát sơ bộ về ổn định tĩnh của hệ thống điện.

Trong thực tế có nhiều trường hợp không cho phép chấp nhận những giả thiết trên. Chẳng hạn đối với hệ thống điện phức tạp gồm n nhà máy mà khoảng cách giữa chúng xấp xỉ nhau, nếu ghép $(n-1)$ nhà máy thành hệ nhận điện sẽ không chính xác. Khi đó ổn định tĩnh của hệ thống phụ thuộc vào dao động của các góc tương đối $\delta_{12}, \delta_{13}, \dots, \delta_{1n}; \delta_{23}, \delta_{24}, \dots, \delta_{2n}, \dots$. Vì công suất truyền đi $P_1, P_2, \dots, P_n$ từ n nhà máy phụ thuộc vào các góc trên. Việc xây dựng các đường đặc tính công suất trở nên rất phức tạp. Ngoài ra trong nhiều trường hợp cần khảo sát ảnh hưởng của thiết bị tự động điều chỉnh (tuốc bin, kích từ...) một cách tỉ mỉ, chẳng hạn cần xác định các hệ số điều chỉnh tối ưu nhằm giảm nhanh các dao động. Khi đó phải coi các thiết bị điều chỉnh là những phần tử của hệ thống mà hành vi của chúng ảnh hưởng đến tính ổn định chung.

Để giải quyết khó khăn đó người ta dùng phương pháp dao động nhỏ nghiên cứu ổn định tĩnh của hệ thống điện phức tạp, nghĩa là đánh giá và đề xuất phương hướng điều khiển hành vi hệ thống điện khi xuất hiện những dao động nhỏ. Những dao động đó phải tắt dần trong quá trình hệ thống làm việc.

Nội dung chủ yếu của phương pháp dao động nhỏ là xây dựng một hệ phương trình vi phân tuyến tính hóa mô tả chuyển động của các rôto trong hệ thống điện khi xuất hiện dao động nhỏ. Trong hệ phương trình vi phân đó đã bao gồm những ảnh hưởng của các yếu tố cần xét. Tiếp đó do đặc tính của hệ phương trình đó ta chỉ cần xét phương trình đặc tính và trong nhiều trường hợp không cần giải hệ phương trình vi phân mà chỉ khảo sát dạng điệu các nghiệm của phương trình đặc tính từ đó phân xét về phẩm chất ổn định tĩnh của hệ thống điện và đề xuất những phương hướng điều khiển các tham số nhằm nâng cao ổn định tĩnh của hệ thống.



Hình 14-17

Sau đây để chuẩn bị khái quát hóa, ta áp dụng phương pháp dao động nhỏ nghiên cứu ổn định tĩnh cho trường hợp đơn giản nhất với giả thiết hệ nhận điện có công suất vô cùng lớn, $U = \text{const}$. Khi đó đường đặc tính công suất được xác định theo $P = \frac{EU}{x_{ht}} \sin \delta$ và biểu diễn trên hình 14-17.

Giả thiết hệ thống làm việc ở điểm a sau đó do xuất hiện một dao

động nhỏ tăng góc δ , một giá trị $\Delta\delta$, hệ thống chuyển đến điểm b . Ở đây giả thiết dao động nhỏ cho phép xem đoạn ab là thẳng.

Tại điểm b ta có công suất điện P phát ra lớn hơn công suất cơ P_0 và lượng công suất thừa

$$-\Delta P = P_0 - P$$

đặc tính chất hãm tốc (nên ΔP mang dấu trừ), tác động lên rôto làm rôto quay chậm lại, trở về điểm a .

Trong trường hợp này phương trình chuyển động của rôto có thể viết theo hệ thức sau:

$$T_J \gamma = -\Delta P \quad (14-14)$$

trong đó T_J là hằng số quán tính của rôto đặc trưng cho khối lượng của máy phát điện.

γ là gia tốc của rôto khi chuyển động tương đối so với tốc độ đồng bộ ω_0 .

Biểu thức (14-14) có dạng định luật Newton II về chuyển động của một vật thể có khối lượng m chịu tác động của lực F sẽ chuyển động với gia tốc γ : $F = m\gamma$.

Phẩm chất ổn định tĩnh của hệ thống điện ở đây được đặc trưng bởi tính tắt dần của dao động $\Delta\delta$ quanh trị số xác lập $\delta_0 = \text{const}$. Vì vậy ta khảo sát phương trình vi phân dạng (14-14) thông qua trị số $\Delta\delta$.

Gia tốc γ có thể viết

$$\gamma = \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d^2(\delta_0 + \Delta\delta)}{dt^2} = \frac{d^2\Delta\delta}{dt^2} \quad (14-15)$$

Vì $\Delta\delta$ là dao động nhỏ nên coi ab là đoạn thẳng, do đó:

$$P = \Delta\delta \text{tg}\epsilon = \Delta\delta \frac{dP}{d\delta} \quad (14-16)$$

Kết hợp (14-15), (14-16) thay vào (14-14), đặt giá trị đạo hàm của đường đặc tính công suất $\frac{dP}{d\delta} = S$, đặt toán tử đạo hàm theo thời gian $\frac{d}{dt} = p$, ta có

$$T_J p^2 \Delta\delta + S \Delta\delta = 0 \quad (14-17)$$

Đây là phương trình chuyển động tương đối của rôto, hoặc còn gọi là phương trình vi phân cơ bản mô tả quá trình quá độ cơ điện của hệ thống điện khi có dao động nhỏ.

Từ (14-17) rút ra nghiệm

$$\Delta\delta = \frac{0}{T_J p^2 + S} = \frac{0}{D(p)} \quad (14-18)$$

Vì phương trình vi phân (14-17) có vế phải bằng 0, hoặc từ (14-18) thấy rằng ta chỉ cần khảo sát $\Delta\delta$ khi phương trình đặc tính $D(p) = 0$ vì khi đó $\Delta\delta \neq 0$. Trong trường hợp $D(p) \neq 0$ thì $\Delta\delta = 0$, tất nhiên hệ thống có ổn định tĩnh.

Như vậy xét ổn định tĩnh của hệ thống dẫn đến việc xét phương trình đặc tính $D(p) = 0$, là một biểu thức phụ thuộc bậc của đạo hàm theo thời gian của phương trình chuyển động rôto.

Ta có:

$$D(P) = T_J p^2 + S = 0 \quad (14-19)$$

Giải phương trình (14-19) nhận được hai nghiệm p_1, p_2 . Khi đó giá trị $\Delta\delta$ có dạng

$$\Delta\delta = C_1 e^{p_1 t} + C_2 e^{p_2 t} \quad (14-20)$$

trong đó C_1, C_2 là những hằng số tích phân phụ thuộc điều kiện ban đầu.

Ở trường hợp đang khảo sát, ta có:

$$p^2 = -\frac{S}{T_J} \text{ hoặc } p_{1,2} = \pm \sqrt{-\frac{S}{T_J}}$$

Giá trị p_1, p_2 là ảo hoặc thực là tùy thuộc ở dấu của S (vì T_J luôn luôn dương). Ta có hai trường hợp sau:

a) $S > 0$ tức là $\frac{dP}{d\delta} > 0$, khi đó có $-\frac{S}{T_J} < 0$ và có thể thay $-\frac{S}{T_J} = j^2 \alpha^2$

trong đó $\alpha = \sqrt{\frac{S}{T_J}}$.

Trong trường hợp này $p_{1,2} = \pm j\alpha$ và

$$\Delta\delta = C_1 e^{j\alpha t} + C_2 e^{-j\alpha t}$$

khi đó biến đổi thành

$$\Delta\delta = C \sin(\alpha t + \psi) \quad (14-21)$$

trong đó C là hằng số, ψ là góc pha ban đầu, với

$$C = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}; \quad \psi = \arctg \frac{C_2}{C_1}$$

Biểu thức (14-21) thể hiện giá trị $\Delta\delta$ dao động quanh điểm δ_0 một cách chu kỳ với biên độ không đổi (không tắt). Nhưng ở đây ta chưa kể đến tính tổn thất của hệ thực, chẳng hạn tác dụng của cuộn cảm trong rôto, ma sát v.v... Vì vậy dao động này tắt dần và hệ thống điện có ổn định tĩnh. Kết luận này hoàn toàn phù hợp với điều đã xét ở những mục trước, trong trường hợp hệ thống điện đơn giản, chỉ tiêu phán đoán ổn định tĩnh là $\frac{dP}{d\delta} > 0$, ở đây chính là $S > 0$.

b) Với $S < 0$ ta có $-\frac{S}{T_J} > 0$ nên $p_{1,2} = \pm \alpha$

$$\text{và} \quad \Delta\delta = C_1 e^{\alpha t} + C_2 e^{-\alpha t} \quad (14-22)$$

Như vậy tuy có bộ phận $C_2 e^{-\alpha t}$ tắt dần theo thời gian, nhưng bộ phận $C_1 e^{\alpha t}$ tăng dần theo thời gian, nên giá trị tổng $\Delta\delta$ theo biểu thức (14-22) sẽ tăng dần theo thời gian và hệ thống mất ổn định.

Qua trường hợp đơn giản trên đây ta thấy rằng do tính chất về phải bằng không của phương trình vi phân chuyển động tương đối của rôto trong dao động nhỏ nên ta chỉ cần khảo sát phương trình đặc tính $D(p) = 0$ và qua dấu hiệu của các nghiệm p_i ta phán xét tính chất của nghiệm $\Delta\delta$ phản ánh dao động và tính ổn định của hệ thống.

Trong trường hợp hệ thống điện phức tạp thường ta khảo sát nhà máy truyền đi còn những nhà máy khác được ghép đẳng trị, nhưng ảnh hưởng của TĐK các loại được xét đến thông qua phương trình vi phân cơ bản chuyển động tương đối của rôto. Khi đó có thể viết tổng quát trình tự của phương pháp dao động nhỏ như sau:

Đối với nhà máy truyền đi có:

$$T_{J_1} p^2 \Delta \delta_1 + \Delta P_1 = 0 \quad (14-23)$$

Đối với hệ thống nhận điện (nhà máy đẳng trị) có:

$$T_{J_2} p^2 \Delta \delta_2 + \Delta P_2 = 0 \quad (14-24)$$

Kết hợp (14-23) và (14-24) ta viết được phương trình vi phân, mô tả quá trình quá độ cơ điện trong hệ thống với nghiệm cần khảo sát là dao động của góc tương đối giữa nhà máy truyền đi và hệ nhận điện $\Delta \delta_{12}$, ở đây

$$\Delta \delta_{12} = \Delta \delta_1 - \Delta \delta_2 \quad \text{và} \quad \Delta P_{12} = \Delta P_1 - \Delta P_2.$$

ta có

$$(T_{J_1} - T_{J_2}) p^2 \Delta \delta_{12} + \Delta P_{12} = 0 \quad (14-25)$$

trong đó giá trị độ dư công suất ΔP_{12} có thể biểu diễn không những theo sự thay đổi của góc $\Delta \delta_{12}$ mà còn theo sự thay đổi của các tham số khác, phản ánh những ảnh hưởng của TĐK các loại, chẳng hạn theo E_1, I v.v... nghĩa là

$$\Delta P_{12} = \frac{\partial P_{12}}{\partial \delta_{12}} \Delta \delta_{12} + \frac{\partial P_{12}}{\partial E} \Delta E_1 + \frac{\partial P_{12}}{\partial I} \Delta I + \dots \quad (14-26)$$

Thay giá trị ΔP_{12} vào (14-25), xác định phương trình đặc tính dạng

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0 \quad (14-27)$$

Nghiệm tổng quát của phương trình (14-25) có dạng:

$$\Delta \delta_{12} = C_1 e^{p_1 t} + C_2 e^{p_2 t} + \dots + C_n e^{p_n t} \quad (14-28)$$

như vậy dáng điệu của $\Delta \delta_{12}$ phụ thuộc vào tính chất của các nghiệm $p_1, p_2, \dots, p_n$.

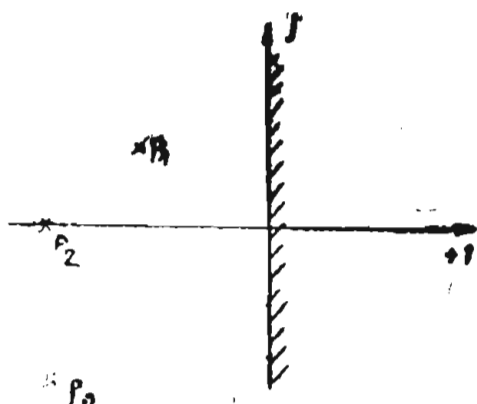
Điều kiện ổn định tĩnh của hệ thống điện là tất cả các nghiệm $p_1, p_2, \dots, p_n$ đều có phần thực là âm, nghĩa là đều nằm bên trái trục ảo trong mặt phẳng nghiệm số (hình 14-18). Điều kiện đó được viết

$$\forall p_i \rightarrow \operatorname{Re}\{p_i\} < 0; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

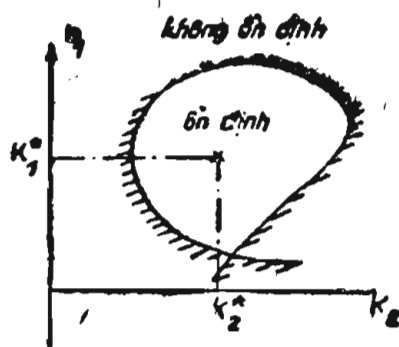
Chỉ cần có một trong n nghiệm p_i có phần thực dương thì dao động tăng dần và hệ thống mất ổn định. Khi phần thực của một nghiệm nào đó bằng không, nghĩa là hệ thống ở ranh giới của ổn định, khi đó cần xét thêm tính chất cụ thể của hệ thống.

Từ đây thấy rằng phương pháp dao động nhỏ giúp ta nghiên cứu ổn định hệ thống điện một cách tổng quát, không những thế nó cho ta tìm được những biện pháp nhằm điều khiển hành vi hệ thống điện để trở nên ổn định. Từ điều kiện ổn định tĩnh của hệ thống theo vị trí các nghiệm p_i , ta thấy cần có biện pháp sao cho mọi p_i nằm bên trái trục ảo. Vị trí các nghiệm p_i phụ thuộc vào cấu trúc của phương trình đặc tính $D(p) = 0$, nghĩa là phụ thuộc

vào các hệ số $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$. Vì vậy có thể tác động vào các hệ số đó để điều khiển vị trí p_i .



Hình 14-18



Hình 14-19

Một trong những biện pháp tác động vào các hệ số $a_0, a_1, \dots, a_n$ là thay đổi các thông số của TĐK. Từ đây xác định được các thông số tối ưu của TĐK, nhằm nâng cao ổn định tĩnh của hệ thống. Chẳng hạn với loại TĐK tác động mạnh, ứng với mỗi cặp giá trị của thông số điều chỉnh theo đạo hàm bậc một K_1 và theo đạo hàm bậc hai K_2 ta xác định được điểm ổn định của hệ thống. Tập hợp các cặp giá trị đó tạo thành vùng ổn định (xem hình 14-19). Nếu lấy K_1, K_2 khác, hệ thống sẽ mất ổn định.

Từ hình 14-19 xác định được phạm vi cho phép thay đổi các giá trị K_1 và K_2 . Phương pháp xác định các hệ số điều chỉnh này gọi là phương pháp phân vùng hình D , rất tiện lợi để nghiên cứu tác động của thiết bị điều chỉnh trong việc nâng cao ổn định tĩnh của hệ thống điện.

Theo tinh thần của phương pháp dao động nhỏ, ổn định tĩnh của hệ thống điện có thể được nghiên cứu như đối với một chuyển động cơ học, tuân theo những chỉ tiêu phán xét về ổn định (chỉ tiêu Routh, Lyapunov, Hurwitz...) mà độc giả có thể tìm thấy ở những tài liệu chuyên đề, chẳng hạn [TK 6, 8, 9].

Chương mười lăm

ỔN ĐỊNH ĐỘNG CỦA HỆ THÔNG ĐIỆN

15-1. MỞ ĐẦU. NHỮNG GIẢ THIẾT CƠ BẢN

Trong chương mười bốn khi nghiên cứu ổn định tĩnh ta đã xét tính làm việc ổn định của hệ thống điện trong điều kiện bình thường, nghĩa là chỉ tồn tại những dao động nhỏ.

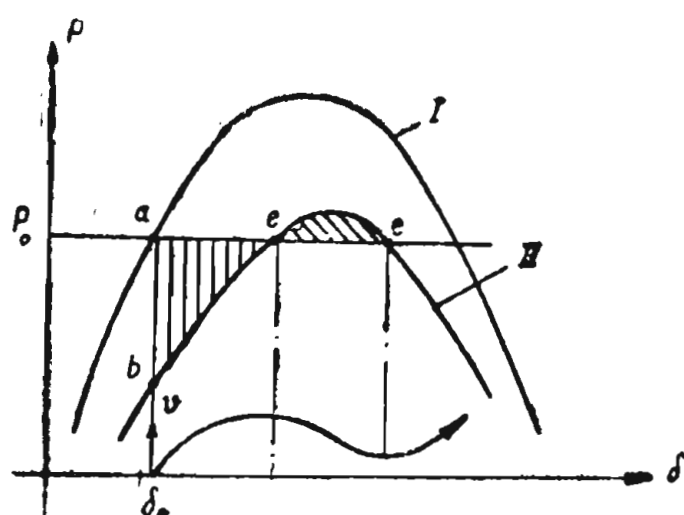
Một hệ thống điện có ổn định tĩnh chưa khẳng định được nó có ổn định động, nghĩa là có thể làm việc khi trong hệ thống xảy ra những dao động lớn.

Những dao động lớn (còn gọi là những đột biến) thường bao gồm các loại: cắt phụ tải đột ngột, cắt đường dây, máy phát hoặc máy biến áp đang mang tải. Đặc biệt nguy hiểm là sự cố ngắn mạch các loại, trong đó ngắn mạch 3 pha tuy ít xảy ra nhưng do tính nguy hiểm đối với ổn định nên phải xét đến khi thiết kế hệ thống điện.

Những đột biến nêu trên đây thường dẫn đến thay đổi cấu trúc của hệ thống ở tình trạng sự cố và nói chung làm giảm thấp đường đặc tính công suất truyền đi. Chẳng hạn cắt đột ngột một lộ của đường dây kép làm tăng gấp đôi tổng trở của đường dây do đó hạ thấp giới hạn công suất $P_{\max}$ truyền đi, hoặc ngắn mạch các loại trên đường dây tải điện đều làm điện áp nơi ngắn mạch giảm thấp và giá trị $P_{\max}$ cũng giảm đi. Khi này coi như ngắn mạch đã làm khó khăn việc tải điện từ nguồn vào hệ thống. Đặc biệt trong trường hợp ngắn mạch 3 pha, do điện áp nơi ngắn mạch tụt xuống gần bằng không nên toàn bộ công suất điện không truyền đi được ($P \approx 0$) mà công suất cơ P_0 không kịp giảm nên làm rôto lồng lên, nếu không cắt nhanh, loại trừ ngắn mạch, hệ thống sẽ mất ổn định. Điều này sẽ khảo sát chi tiết ở mục sau.

Khái niệm về ổn định động được trình bày trên hình 15-1. Lúc bình thường hệ thống làm việc ở điểm a , ứng với đường đặc tính công suất I . Khi trong hệ thống xảy ra đột biến, khả năng chuyển tải giảm xuống và hệ thống làm việc theo đường II, là đường đặc tính công suất khi sự cố. Vì rôto máy phát điện là một khối cơ học, có quán tính, nên giá trị góc ban đầu δ_0 không thể đột biến, do đó hệ thống chuyển trạng thái đến điểm b . Ở điểm b công suất điện P nhỏ hơn công suất cơ P_0 (giả thiết $P_0 = \text{const}$ suốt thời gian khảo sát), vì vậy trên trục rôto xuất hiện công suất thừa ΔP làm tăng tốc, nghĩa là bắt đầu

xuất hiện vận tốc tương đối giữa tốc độ của rôto ω và tốc độ đồng bộ. Ở đây $v = \omega - \omega_0$.



Hình 15-1

Sau điểm b hệ thống tiếp tục diễn biến theo đường II, vì công suất thừa $\Delta P = P_0 - P$ vẫn dương nên v tiếp tục tăng. Đến điểm c vận tốc v đạt giá trị cực đại vì sau điểm c , công suất cơ P_0 bé hơn công suất điện, rôto bắt đầu hãm, nghĩa là tốc độ v bắt đầu giảm xuống (tuy ω vẫn lớn hơn ω_0). Trong trường hợp ở hình 15-1, hệ thống diễn biến đến điểm e nhưng tốc độ tương đối khi đó chưa bằng không. Sau điểm e , lại có $P_0 > P$ nên rôto tiếp tục tăng tốc, v tiếp tục tăng và hệ thống mất ổn định.

Từ hình 15-1 thấy rằng điều kiện để hệ thống có ổn định động phụ thuộc vào giá trị vận tốc tương đối v của rôto ứng với đoạn ce trên đường II.

Nếu trước khi đến điểm e giá trị v đã triệt tiêu thì tại đó góc δ đạt giá trị cực đại, rôto tiếp tục giảm tốc, hệ thống trở lại điểm c và có ổn định động. Trạng thái làm việc mới của hệ thống là điểm c ứng với góc δ_c .

Trường hợp giới hạn ổn định động của hệ thống là tới điểm e mới có $v = 0$.

Cũng từ hình 15-1 thấy rằng vận tốc tương đối của rôto v phụ thuộc nhiều vào diện tích F_{abc} và F_{ce} . Trong quá trình diễn biến từ điểm b đến c , đó là quá trình tăng tốc và động năng tích lại trong rôto tương đương với diện tích F_{abc} , vì vậy F_{abc} gọi là *diện tích tăng tốc* F_{ttoc} .

Quá trình từ điểm c đến e , rôto trả lại động năng (quay chậm lại, tuy vẫn còn lớn hơn tốc độ đồng bộ), vì vậy F_{ce} gọi là *diện tích hãm tốc lớn nhất* có thể F_{htmax} . Nếu diện tích $F_{htmax} < F_{ttoc}$ thì đến điểm e giá trị v chưa triệt tiêu và hệ thống mất ổn định động.

Từ thảo luận trên đây có thể sơ bộ nhận xét tổng quát là: Muốn hệ thống điện có tính ổn định cao cần làm tăng diện tích F_{htmax} hoặc làm giảm F_{ttoc} khi xảy ra đột biến. Muốn đạt được điều này có thể thực hiện bằng hai cách sau đây:

1) Nâng cao đường đặc tính công suất khi sự cố II, nghĩa là phải chống lại việc giảm đột ngột điện áp nơi sự cố. Biện pháp đó đòi hỏi vốn đầu tư nhiều và thường chỉ áp dụng đối với sự cố ngắn mạch 3 pha, đó là ghim rôto khi sự cố, sẽ trình bày sau trong phần sử dụng các biện pháp nâng cao ổn định động.

2) Cắt ngắn mạch, để hệ thống không làm việc ở đường II mà chuyển sang làm việc ở đường đặc tính công suất cao hơn đường II (thường thấp hơn đường I), ứng với trạng thái sau sự cố. Chẳng hạn cắt 1 lộ ngắn mạch, còn 1 lộ làm việc trong hệ có đường dây hai lộ. Khi đó F_{htmax} được nâng cao rõ rệt.

Biện pháp cắt nhanh sự cố này được sử dụng rất rộng rãi, là biện pháp chủ yếu để đảm bảo và nâng cao ổn định động của hệ thống điện.

Trong chương này sẽ đề cập đến những phương pháp nhằm xác định giá trị giới hạn của thời gian cắt sự cố để đảm bảo ổn định động và trình bày sơ lược những phương pháp nâng cao ổn định động. Ngoài ra để tham khảo có đề cập đến việc áp dụng phương pháp hàm Ljapunov nghiên cứu ổn định động của hệ thống điện ở chương tiếp theo.

Ổn định động của hệ thống điện được tính toán dựa trên những giả thiết cơ bản sau đây:

1. Về sơ đồ thay thế khi ngắn mạch.

Việc xét ổn định động của hệ thống điện được đưa về bài toán xác định thời gian cho phép cắt ngắn mạch các loại.

Để tiện lợi ta sử dụng sơ đồ mạng phức hợp để thay thế cho các trường hợp ngắn mạch khác nhau, nghĩa là trong trạng thái ngắn mạch tại điểm N ta chỉ việc nối song song thêm vào điểm N một tổng trở $Z_{\Delta}^{(n)}$ có giá trị phụ thuộc vào dạng ngắn mạch (hình 15-2) như sau:

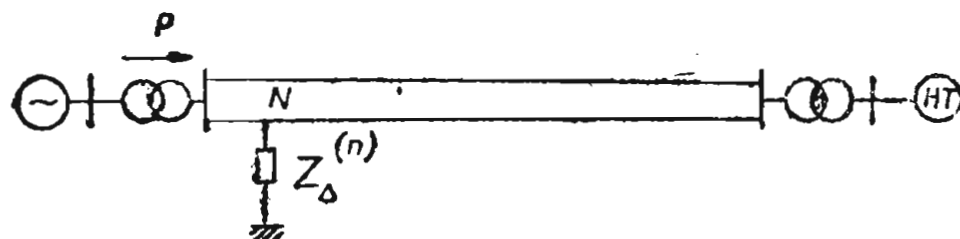
Ngắn mạch 3 pha (đối xứng) $Z_{\Delta}^{(3)} = 0$

Ngắn mạch 2 pha nối đất $Z_{\Delta}^{(1,1)} = (Z_{0\Sigma} // Z_{2\Sigma})$

Ngắn mạch 2 pha $Z_{\Delta}^{(2)} = Z_{2\Sigma}$

Ngắn mạch 1 pha (chạm đất) $Z_{\Delta}^{(1)} = Z_{0\Sigma} + Z_{2\Sigma}$

Trong đó $Z_{2\Sigma}$ và $Z_{0\Sigma}$ là tổng trở thứ tự nghịch và thứ tự không của hệ thống điện tương ứng với điểm ngắn mạch N .



Hình 15-2

Căn cứ vào giá trị của $Z_{\Delta}^{(n)}$ ta cũng phân biệt được mức độ nguy hiểm của các loại ngắn mạch. Giá trị $Z_{\Delta}^{(n)}$ càng nhỏ, điện áp tại điểm N càng sụt thấp, càng ngăn cách hai điểm nguồn và hệ thống nhận điện về khả năng chuyển tải công suất giữa chúng.

Với sơ đồ thay thế trên hình 15-2 ta chỉ có thể xác định được dòng điện thứ tự thuận I_1 khi xảy ra ngắn mạch tại điểm N . Dòng điện toàn phần là tổng vectơ của dòng thứ tự thuận, nghịch và không, nghĩa là:

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0$$

Tuy nhiên dưới đây sẽ chứng minh được rằng dòng điện $\dot{I}_2$ và $\dot{I}_0$ không ảnh hưởng đến ổn định động của hệ thống, do đó trong trường hợp ngắn mạch ta chỉ cần xét dòng $\dot{I}_1$ với sơ đồ thay thế hình 15-2.

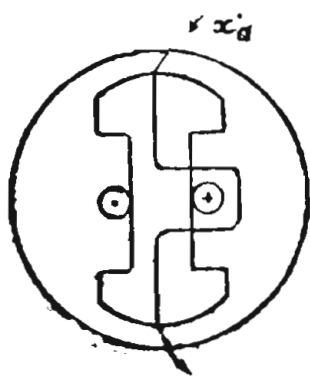
Dòng I_2 và I_0 chỉ xuất hiện khi xảy ra ngắn mạch không đối xứng. Các máy biến áp thường nối theo sơ đồ Y/Δ mà cuộn tam giác về phía máy phát điện, vì vậy khi ngắn mạch không đối xứng ở đầu đường dây, dòng điện thứ tự không sẽ không vào máy phát do đó không ảnh hưởng đến sự biến đổi công suất P của máy phát. Dòng điện thứ tự nghịch I_2 đi qua máy biến áp vào máy phát điện, tạo thành ổ khe hở giữa stato và rôto một từ thông quay ngược chiều rôto với vận tốc $\omega \approx \omega_0$. Như vậy từ thông này có vận tốc tương đối với rôto là 2ω và sẽ sinh ra dòng điện có tần số $2f = \frac{\omega}{\pi}$. Vì rôto có quán tính lớn nên không kịp dao động theo tần số đó. Ngoài ra dòng điện này sinh ra mô men có giá trị trung bình rất nhỏ nên hầu như không ảnh hưởng đến sóng điều hòa cơ bản của máy phát điện. Vì vậy cũng không cần xét đến dòng điện I_2 khi tính ổn định động.

2. Về vị trí điểm ngắn mạch và tham số máy phát điện.

Khi xét ổn định động của hệ thống điện mức độ nguy hiểm của ngắn mạch không những phụ thuộc vào dạng ngắn mạch, mà còn phụ thuộc vào vị trí xảy ra ngắn mạch trong hệ thống. Vì vậy cần tính toán khi ngắn mạch xảy ra ở vị trí trầm trọng nhất, nghĩa là tổng trở tương hỗ trong hệ thống là nhỏ nhất.

Đối với các tổng trở thứ tự không $Z_{0\Sigma}$ và thứ tự nghịch $Z_{2\Sigma}$ vì được tính tương ứng với điểm ngắn mạch nên sẽ có giá trị nhỏ khi điểm ngắn mạch ở đầu đường dây (điểm N trên hình 15-2). Còn đối với tổng trở thứ tự thuận tất nhiên điểm ngắn mạch càng gần nguồn phát công suất càng nguy hiểm. Vì vậy trong tính toán ổn định động của hệ thống điện thường chọn điểm ngắn mạch ở đầu đường dây tải điện, phía nguồn điện cần khảo sát ổn định.

Vì nghiên cứu ổn định động của hệ thống điện tức là khảo sát quá trình quá độ khi trong hệ thống xảy ra những đột biến, vì vậy những tham số của máy phát điện ở sơ đồ thay thế để tính ngắn mạch phải phản ánh trạng thái quá độ.



Hình 15-3

Khi trong hệ thống xảy ra đột biến, chẳng hạn ngắn mạch, dòng điện ở cuộn dây stato của máy phát điện tăng lên đột ngột, do đó phản ứng phản ứng đối với rôto cũng tăng lên đột ngột. Nhưng cuộn dây kích từ ở rôto có tính chất chủ yếu điện cảm ($r \approx 0$), còn gọi là tính siêu dẫn, nên để đảm bảo dòng điện kích từ không đột biến khi xảy ra ngắn mạch, trong cuộn kích từ khi đó xuất hiện dòng điện tự do chống lại phản ứng phản ứng. Vì vậy trong quá trình quá độ từ thông không đi qua cuộn kích từ mà khép mạch qua không khí (hình 15-3), có từ trở lớn. Vì vậy đặc trưng cho tham số của máy phát ở thời

điểm này là x_d' có giá trị nhỏ hơn điện kháng của máy phát x_d ở trạng thái duy trì. Tham số x_d' gọi là điện kháng quá độ của máy phát.

Điện kháng quá độ x_d' không những được thay thế cho tham số máy phát ở thời điểm ngắn mạch, mà còn được dùng trong suốt quá trình nghiên cứu. Điều đó được giải thích là: dòng điện tự do trong cuộn kích từ ở rôto

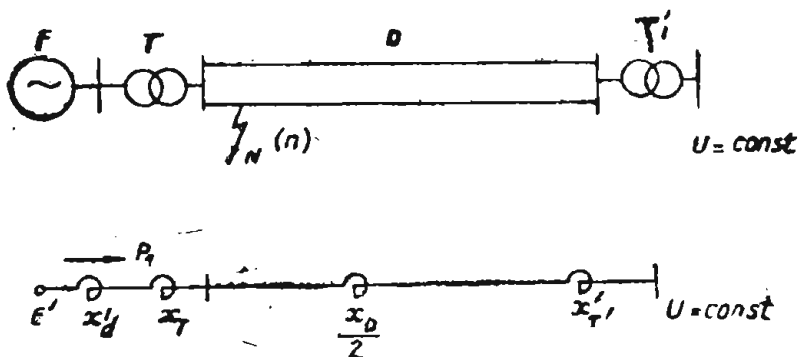
tuy tắt dần, nhưng với hằng số thời gian lớn 3 – 5 sec mà ngắn mạch sẽ được cắt nhờ bảo vệ role chỉ sau khoảng 0,1 – 0,3 sec, nghĩa là suốt thời gian nghiên cứu, quá trình quá độ trong máy phát điện vẫn chưa kết thúc.

Tham số sức điện động của máy phát điện khi nghiên cứu ổn định động được thay bởi giá trị E' đặt sau x_d' . Giá trị E' giữ không đổi trong suốt thời gian tính toán.

15-2. ỔN ĐỊNH ĐỘNG KHI CÔNG SUẤT HỆ NHẬN ĐIỆN LÀ VÔ CÙNG LỚN

Trong mục này ta bắt đầu khảo sát trường hợp đơn giản, giả thiết điện áp thanh cái nhận điện $U = \text{const}$, ngắn mạch loại $N^{(n)}$ xảy ra tại đầu một lộ của đường dây tải điện kép (hình 15-4). Đề đơn giản nhưng không mất tính tổng

quát, ta chỉ xét đến điện kháng của các phần tử. Từ đây thành lập được sơ đồ thay thế của hệ thống trong tình trạng trước khi xảy ra ngắn mạch (hình 15-4) và xác định được đường đặc tính công suất P_1 từ nhà máy truyền đi, số 1 kí hiệu tình trạng trước khi ngắn mạch. Ta có:



Hình 15-4

$$P_1 = \frac{E'U}{x_{h11}} \sin \delta \quad (15-1)$$

trong đó δ là góc lệch pha giữa điện áp U và vector sức điện động E' .

x_{h11} là điện kháng tương hỗ tổng cộng từ E' đến U trong tình trạng trước khi ngắn mạch. Ở đây có:

$$x_{h11} = x_d' + x_T + \frac{1}{2} x_D + x_{T'}$$

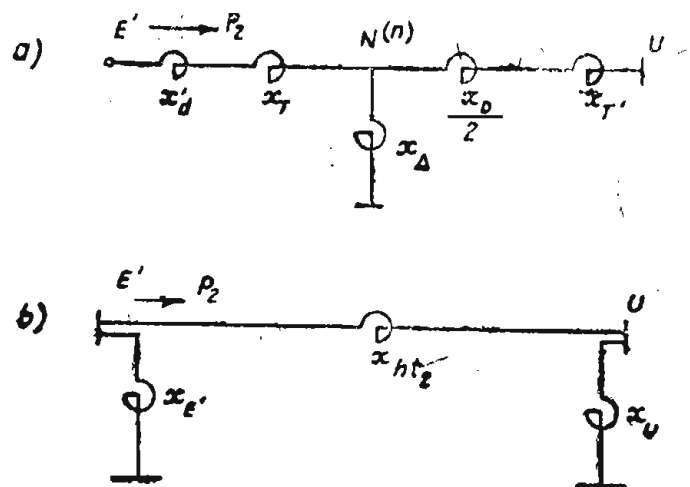
Đường biểu diễn công suất của hệ thống trước lúc ngắn mạch được vẽ trên hình 15-6, đường 1. Hệ thống làm việc tại điểm a.

Trong tình trạng ngắn mạch, ở sơ đồ thay thế của hệ thống được mắc thêm một điện kháng x_Δ tại điểm $N^{(n)}$. Giá trị của x_Δ tùy thuộc dạng ngắn mạch (hình 15-5a).

Từ hình 15-5a, ta đặt

$$x_d' + x_T = x_a$$

$$\frac{x_D}{2} + x_{T'} = x_b$$



Hình 15-5

và biến đổi về sơ đồ dạng tám giác (hình 15-5b), có:

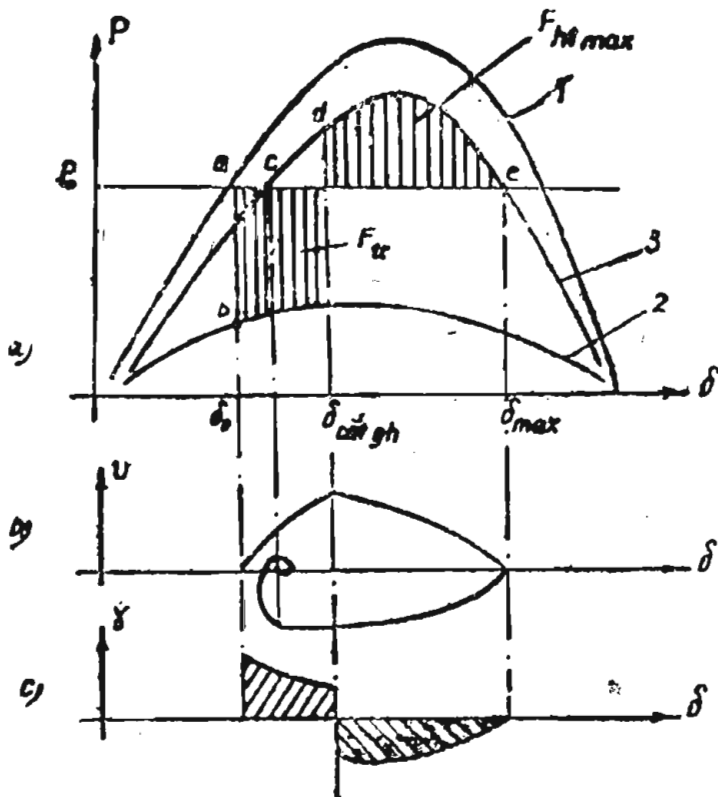
$$x_{ht2} = x_a + x_b + \frac{x_a x_b}{x_\Delta}$$

Vì các điện kháng x_E và x_U mắc trực tiếp ở những nút có điện áp không đổi trong quá trình tính toán nên chúng không ảnh hưởng đến công suất P_2 truyền từ E' trong tình trạng ngắn mạch của hệ thống. Do đó giá trị P_2 được xác định theo biểu thức

$$P_2 = \frac{E'U}{x_{ht2}} \sin \delta \quad (15-2)$$

Vì $x_{ht2} > x_{ht1}$ nên giới hạn của P_1 cao hơn P_2 (đường 2 trên hình 15-6a). Ngắn mạch càng trầm trọng x_Δ càng nhỏ, x_{ht2} càng lớn và giới hạn của P_2 càng thấp.

Trong trường hợp ngắn mạch 3 pha, vì $x_\Delta = 0$ nên $x_{ht2} = \infty$ do đó $P_2 = 0$ (không xét đến điện trở của mạng điện) và toàn bộ công suất cơ P_o làm rôto tăng tốc dữ dội dẫn đến mất đồng bộ nếu không kịp thời cắt ngắn mạch.



Hình 15-6

Từ đường đặc tính 2 trên hình 15-6a thấy rằng sau điểm b luôn luôn tồn tại mômen thừa có tính tăng tốc đặt trên trục tuốc bin, nghĩa là chỉ có diện tích tăng tốc F_{ht} nếu không có biện pháp loại trừ ngắn mạch.

Thời gian loại trừ ngắn mạch phải đủ nhỏ để đảm bảo cho diện tích hãm tốc lớn nhất có thể F_{htmax} phải cân bằng với diện tích tăng tốc F_{ht} . Tất nhiên loại trừ ngắn mạch càng sớm càng tốt cho ổn định động của hệ thống, nhưng lại xuất hiện yêu cầu khe hở đối với máy cắt điện và thiết bị bảo vệ rôle. Từ đây thấy rằng có thể xác định được giá trị giới hạn $\delta_{cắt gh}$ nhằm thỏa mãn điều kiện

$$F_{ht} = F_{htmax} \quad (15-3)$$

Ở đây F_{htmax} được xác định theo đường đặc tính công suất P_3 của hệ

thống điện sau khi cắt một lộ của đường dây tải điện. Sau khi cắt ngắn mạch điện kháng của đường dây tải điện trở thành x_D và làm tăng giá trị điện kháng của hệ thống so với trạng thái bình thường, vì vậy giới hạn của đường đặc tính P_3 tuy lớn hơn P_2 nhưng thấp hơn P_1 (đường 3 trên hình 15-6a).

Từ hình 15-6a thấy rằng, sau khi cắt ngắn mạch ở góc cắt giới hạn $\delta_{cắt gh}$ hệ thống chuyển trạng thái làm việc lên điểm d . Vì ở đây xét trường hợp cắt giới hạn, nghĩa là $F_{ht} = F_{htmax}$, nên rôto dao động tới điểm e , nghĩa là góc δ tăng đến δ_{max} , khi đó động năng do tăng tốc đã trả hết, rôto bắt đầu quay chậm hơn tốc độ đồng bộ ω_0 và sau một số chu kỳ dao động, hệ thống trở lại làm việc ở điểm cân bằng mới: điểm c .

Trên hình 15-6b trình bày quan hệ vận tốc tương đối của rôto theo góc δ trong quá trình quá độ, trên hình 15-6c trình bày quan hệ gia tốc γ của rôto, chú ý rằng giá trị của γ luôn luôn tỉ lệ với giá trị công suất thừa $P_0 - P_1$, $i = 2, 3$. Ngoài ra thấy rằng đường cong γ là đạo hàm của đường cong v , cũng như diện tích giới hạn bởi đường γ với trục hoành độ cũng phản ánh diện tích lạng tốc (khi $\gamma > 0$) và diện tích hãm tốc (khi $\gamma < 0$).

Như vậy ở bước này căn cứ vào những đường đặc tính khi chưa xảy ra ngắn mạch (để xác định δ_0) và các đường đặc tính công suất khi ngắn mạch và sau khi cắt ngắn mạch, ta xác định được giá trị giới hạn của góc δ phải cắt ngắn mạch nhằm đảm bảo ổn định động, kí hiệu là $\delta_{cắtgh}$. Nghĩa là nếu cắt ngắn mạch với $\delta_{cắt} > \delta_{cắtgh}$ hệ thống mất ổn định.

Giá trị góc $\delta_{cắtgh}$ được xác định trực tiếp trên giấy kẻ milimét vuông, trong một số trường hợp đơn giản, khi các đường đặc tính P_1, P_2, P_3 là hình sin, giá trị $\delta_{cắtgh}$ có thể xác định bằng giải tích, vẫn dựa trên biểu thức $F_{tt} = F_{h\max}$.

Phương pháp xác định $\delta_{cắtgh}$ gọi là *phương pháp diện tích*.

Phương pháp này đơn giản, nhưng chưa cho ta biết thời gian cần cắt ngắn mạch để thiết kế bảo vệ bằng rôle và máy cắt điện. Từ đây thấy rằng, một cách tự nhiên, cần xác định thời gian giới hạn cắt ngắn mạch $t_{cắtgh}$, đó là thời gian để rôto chuyển động từ góc δ_0 đến $\delta_{cắtgh}$.

Nói cách khác $t_{cắtgh}$ là thời gian tính từ thời điểm bắt đầu ngắn mạch đến thời điểm phải cắt ngắn mạch để đảm bảo ổn định động cho hệ thống điện, như vậy $t_{cắtgh}$ là giá trị giới hạn lớn nhất cho phép tồn tại ngắn mạch trong hệ thống, vì vậy còn gọi là *thời gian cắt cho phép*.

Rõ ràng là cũng như $\delta_{cắtgh}$, giá trị $t_{cắtgh}$ càng lớn càng dễ dàng cho thiết kế bảo vệ bằng rôle và máy cắt điện, nghĩa là càng dễ dàng cắt ngắn mạch với thời gian $t_{cắt} < t_{cắtgh}$. Tuy nhiên để có $t_{cắtgh}$ lớn lại phải có những yêu cầu hoàn thiện cấu trúc hệ thống điện nhằm giảm F_{tt} , tăng $F_{h\max}$, chẳng hạn phải nâng cao đường P_2 và P_3 , nghĩa là liên quan đến những biện pháp kinh tế.

Sau đây sẽ trình bày phương pháp phân đoạn liên tiếp để xác định giá trị $t_{cắtgh}$.

Phương pháp phân đoạn liên tiếp. Nội dung cơ bản của phương pháp này là xây dựng gần đúng quan hệ góc δ theo thời gian $\delta = f(t)$ trong quá trình quá độ, sau đó dựa vào giá trị $\delta_{cắtgh}$ xác định $t_{cắtgh}$.

Phương pháp phân đoạn liên tiếp thực chất là giải gần đúng liên tiếp phương trình vi phân phi tuyến mô tả chuyển động tương đối của rôto khi hệ thống có những dao động lớn (độ lệch hữu hạn).

Như đã biết khi xuất hiện dao động lớn, chẳng hạn ngắn mạch, công suất thừa $\Delta P = P_0 - P$ làm cho rôto chuyển động với gia tốc γ . Phương trình chuyển động tương đối của rôto có dạng

$$T_J \gamma = \Delta P \quad (15-4)$$

Khác với ổn định tĩnh nghiên cứu dao động nhỏ, coi ΔP đủ nhỏ để đường đặc tính P là tuyến tính và có thể thay thế

$$P = \frac{dP}{d\delta} \cdot \Delta\delta$$

Trong trường hợp này ΔP giả thiết có độ lớn hữu hạn và có giá trị:

$$\Delta P = P_0 - P_1(\delta) \quad (15-5)$$

Trong đó $P_1(\delta)$ là đường đặc tính công suất của hệ thống trong tình trạng ngắn mạch $P_1(\delta)$ và sau khi cắt ngắn mạch $P_2(\delta)$, dạng đường cong $P_1(\delta)$ là phi tuyến với góc δ

Thay gia tốc γ bằng đạo hàm bậc 2 theo thời gian của góc δ , nhận được phương trình vi phân chuyển động tương đối của rôto khi xảy ra dao động lớn trong hệ thống

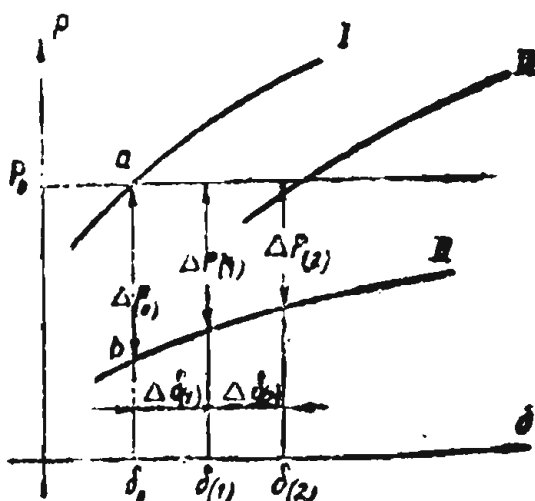
$$T_J \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_0 - P_1(\delta) \quad (15-6)$$

Đây là phương trình vi phân bậc hai, phi tuyến có vẻ phải khác không, nói chung lời giải chỉ nhận được nhờ phương pháp gần đúng. Ở đây ta sử dụng phương pháp «phân đoạn liên tiếp». Tinh thần của phương pháp đó như sau: Chia quá trình dao động của hệ thống thành những phân đoạn nhỏ Δt theo thời gian. Trong mỗi phân đoạn Δt , giả thiết công suất thừa $\Delta P = \text{const}$. Lượng ΔP tác động làm rôto chuyển động tương đối so với tốc độ đồng bộ, nhờ đó vẽ được quan hệ $\delta = f(t)$. Như vậy mức độ chính xác của lời giải càng tăng khi chọn giá trị Δt càng nhỏ.

Sau đây trình bày các bước để xác định $t_{\text{cắt}}$ theo phương pháp phân đoạn liên tiếp.

Ở thời điểm ngắn mạch đường đặc tính công suất tụt xuống mạnh (đường II trên hình 15-7), công suất thừa có tính tăng tốc là $\Delta P(0) = P_0 - P_1$, tác động lên đầu đoạn (1) do đó rôto có gia tốc là $\gamma(0)$, xác định theo quan hệ

$$\Delta P(0) = T_J \gamma(0) \quad (15-7)$$



Hình 15-7

Trong suốt phân đoạn (1) rôto quay nhanh hơn tốc độ đồng bộ ω_0 nên góc δ tăng thêm một giá trị $\Delta \delta(1)$ và tốc độ tương đối của rôto v cũng tăng thêm một giá trị $\Delta v(1)$.

Theo định luật về chuyển động, viết được:

$$\Delta v(1) = \gamma(0) \cdot \Delta t \quad (15-8)$$

$$\Delta \delta(1) = \gamma(0) \frac{\Delta t^2}{2} \quad (15-9)$$

Ở đây chú ý rằng $\Delta v(1) = v(1) - v(0)$, trong đó $v(1)$ là tốc độ tương đối của rôto ở cuối phân đoạn (1), $v(0)$ là tốc độ tương đối của rôto ở đầu phân đoạn (1).

Vì rôto có quán tính nên ở thời điểm ngắn mạch giá trị v chưa xuất hiện nghĩa là $v(0) = 0$, do đó $\Delta v(1) = v(1)$.

Từ biểu thức (15-9) thay giá trị $\gamma(0)$ ở (15-7) có

$$\Delta \delta(1) = \frac{\Delta P(0)}{T_J} \cdot \frac{\Delta t^2}{2} \quad (15-10)$$

Trong biểu thức trên các giá trị góc δ , Δt và T_J tính bằng radian, để thuận tiện, thường đổi sang đơn vị séc với các quan hệ:

$$\Delta\delta(^{\circ}) = \frac{360f}{\omega_0} \cdot \Delta\delta(\text{rad})$$

$$t(s) = \frac{t(\text{rad})}{\omega_0} \text{ và } T_J(s) = \frac{T_J(\text{rad})}{\omega_0}$$

Khi đó biểu thức (15-10) trở thành:

$$\Delta\delta(1) = \frac{360 \cdot \Delta t^2}{T_J} \cdot \frac{\Delta P(0)}{2} \quad (15-11)$$

Đặt
$$\frac{360 \cdot \Delta t^2}{T_J} = K = \text{const}$$

ta có:

$$\Delta\delta(1) = K \frac{\Delta P(0)}{2} \quad (15-12)$$

Từ đây thấy rằng nếu biết công suất thừa $\Delta P(0)$ tác động lên phân đoạn (1) ta xác định được độ tăng về góc $\Delta\delta(1)$ ở trong phân đoạn (1). Trong đó

$$\Delta P(0) = P_0 - P_{II}(\sin\delta_0) \text{ (xem hình 15-5).}$$

Biết $\Delta\delta(1)$ ta xác định được góc δ ở cuối phân đoạn (1):

$$\delta(1) = \delta_0 + \Delta\delta(1). \quad (15-13)$$

Với giá trị $\delta(1)$ ta xác định công suất thừa $\Delta P(1)$ tác động lên phân đoạn (2), ở đây

$$\Delta P(1) = P_0 - P_{II}(\sin\delta(1))$$

Vì ở cuối phân đoạn (1) vận tốc tương đối của rôto $v(1)$ đã có, nên độ tăng về góc $\Delta\delta(2)$ ở phân đoạn (2) do hai yếu tố là $v(1)$ và $\Delta P(1)$ gây nên, theo biểu thức:

$$\Delta\delta(2) = v(1) \cdot \Delta t + \frac{\gamma(1)}{2} \Delta t^2 \quad (15-14)$$

Ở đây cần biểu diễn $v(1)$ qua gia tốc γ . Vì $v(1)$ là vận tốc tương đối của rôto ở cuối phân đoạn (1) được tạo nên bởi gia tốc của rôto trong suốt phân đoạn (1), mà trong thời kì đó gia tốc biến đổi từ $\gamma(0)$ đến $\gamma(1)$ nên có thể coi gần đúng

$$v(1) = \frac{1}{2} [\gamma(0) + \gamma(1)] \Delta t$$

Như vậy (15-14) trở thành

$$\Delta\delta(2) = \frac{1}{2} [\gamma(0) + \gamma(1)] \Delta t^2 + \frac{1}{2} \gamma(1) \Delta t^2 = \frac{\gamma(0)}{2} \Delta t^2 + \gamma(1) \cdot \Delta t^2$$

Vì $\gamma(0) = \frac{\Delta P(0)}{T_J}$ và dựa vào kết quả (15-12) ở phân đoạn (1) ta viết được biểu thức độ tăng về góc ở phân đoạn (2):

$$\Delta\delta(2) = \Delta\delta(1) + K \cdot \Delta P(1) \quad (15-15)$$

Tiếp theo, xác định $\delta(2) = \delta(1) + \Delta\delta(2)$ và

$$\Delta P(2) = P_o - P_{11}(\sin\delta(2))$$

Đối với phân đoạn (3) tiến hành tương tự như phân đoạn (2).

Tóm lại, chỉ đối với phân đoạn (1) ta có:

$$\Delta\delta(1) = K \frac{\Delta P(0)}{2}$$

con từ phân đoạn (2) trở đi có:

$$\Delta\delta(n) = \Delta\delta(n-1) + K \cdot \Delta P(n-1); n = 2, 3, \dots$$

Nhờ các bước trên đây ta xây dựng được quan hệ $\delta(t)$, thường với $\Delta t = 0,05s$. Từ quan hệ $\delta(t)$ với giá trị $\delta_{\text{cắt gh}}$ xác định được $t_{\text{cắt gh}}$.

Vi dụ 15-1. Xác định thời gian cắt giới hạn nhằm đảm bảo ổn định động của hệ thống điện khi có ngắn mạch hai pha nối đất $N^{(1, 1)}$ tại đầu một lộ của đường dây tải điện (xem hình 15-8a). Giả thiết chỉ xét đến điện kháng của các phần tử. Các tham số cho như ở ví dụ của chương 14, ngoài ra có

$$x_d' \% = 30 \% ; x_{2F} \% = 45 \% ; T_J = 6s$$

Sử dụng những tính toán ở ví dụ của chương mười bốn với $S_{cb} = 220MVA$, $U_{cb} = 209kV$. Ta tính được:

$$x_d' = 0,295; x_{2F} = 0,432 \text{ và } T_J = 6 \frac{S_{dm}}{S_{cb}} = 8,18s$$

Điện kháng thứ tự không của đường dây tải điện coi gần đúng bằng 4 lần điện kháng thứ tự thuận. Vậy có

$$x_{0L} = 4 \frac{x_L}{2} = 0,976.$$

Đối với các máy biến áp ở đây có

$$x_{0T} = x_{2T} = x_{1T} = x_T.$$

Trước hết cần lập sơ đồ thay thế của hệ thống trước khi ngắn mạch (hình 15-8b). Với $P_o = 1$; $Q_o = 0,2$; $U = 1$ ta xác định E' và x_{ht} . Trong đó

$$x_{ht} = 0,295 + 0,138 + 0,244 + 0,122 = 0,799$$

$$E' = \sqrt{\left(U + \frac{Q_o x_{ht}}{U}\right)^2 + \left(\frac{P_o x_{ht}}{U}\right)^2} = \sqrt{1,16^2 + (0,799)^2} = 1,41$$

$$\operatorname{tg} \delta_o = \frac{0,799}{1,16} = 0,688 \text{ vậy } \delta_o = 34,53^\circ$$

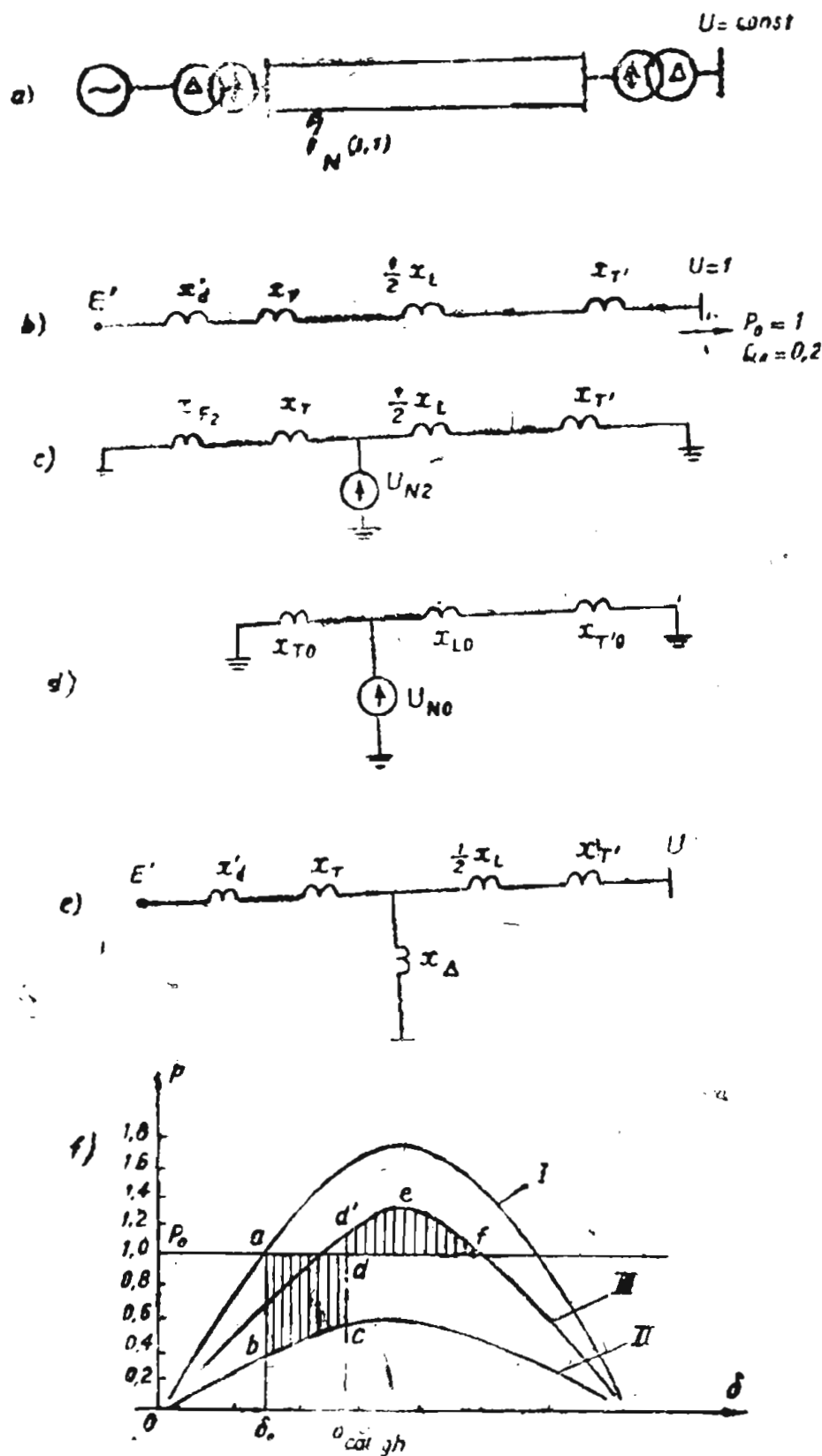
Đường đặc tính công suất lúc bình thường có dạng

$$P_1 = \frac{E'U}{x_{ht1}} \sin \delta = 1,765 \sin \delta.$$

được vẽ thành đường I trên hình 15-8f. Ở đây có thể thử lại với $\delta_o = 34,53^\circ$ phải có $P = P_o = 1,0$.

Để xác định đường đặc tính công suất khi ngắn mạch ta cần xây dựng sơ đồ thay thế thứ tự nghịch (hình 15-8c) và thứ tự không (hình 15-8d) và nhận được các giá trị:

$$x_{2\Sigma} = 0,222; x_{0\Sigma} = 0,123.$$



Hình 15-8

Tiếp theo xác định giá trị x_Δ khi ngắn mạch hai pha nối đất

$$x_\Delta = \frac{x_{0\Sigma} \cdot x_{2\Sigma}}{x_{0\Sigma} + x_{2\Sigma}} = 0,079$$

Sơ đồ thay thế khi ngắn mạch để tính ổn định động có dạng trên hình 15-8e. Khi đó

$$x_{ht2} = (x'_d + x_T) + \left(\frac{1}{2} x_L + x_{T'} \right) + \frac{(x'_d + x_T) \left(x_{T'} + \frac{1}{2} x_L \right)}{x_\Delta} = 2,814$$

và đường đặc tính II có dạng

$$P_2 = \frac{E'U}{x_{ht2}} \sin \delta = 0,502 \sin \delta.$$

Vì đường II luôn luôn thấp hơn giá trị P_0 nên để đảm bảo ổn định động phải cắt ngắn mạch. Sau khi cắt ngắn mạch, đường dây tải điện còn một lộ, $x_L = 0,488$, khi đó $x_{ht3} = 1,043$ và

$$P_3 = \frac{EU}{x_{ht3}} = 1,35 \sin \delta \quad (\text{đường III trên hình 15-8f})$$

Cân bằng diện tích tăng tốc (F_{abcd}) và diện tích hãm tốc lớn nhất có thể (F_{cdef}) ta có $\delta_{critical} = 62^\circ$.

Tiếp theo, dùng phương pháp phân đoạn liên tiếp để xác định $t_{critical}$.

Ở mỗi phân đoạn lấy $\Delta t = 0,05$ s. Khi đó ta có;

$$K = \frac{360f}{T_J} \Delta t^2 = 5,5.$$

Đối với phân đoạn (1) có:

$$\Delta P(0) = P_0 - P_b$$

Vì chỉ xét đến điện kháng x của các phần tử nên P_b xác định theo:

$$P_b = P_{2m} \sin \delta_0 = 0,502 \sin 34,53^\circ = 0,285.$$

$$\Delta P(0) = 1,0 - 0,285 = 0,715.$$

Từ đây có:

$$\Delta \delta(1) = K \frac{\Delta P(0)}{2} = 1,97^\circ$$

$$\delta(1) = \delta(0) + \Delta \delta(1) = 36,5^\circ$$

Đối với phân đoạn (2) có:

$$\Delta P(1) = P_0 - P(1)$$

trong đó $P(1) = P_{2m} \sin \delta(1) = 0,502 \cdot \sin 36,5^\circ = 0,3$

$$\Delta P(1) = 0,7$$

$$\Delta P(2) = \Delta \delta(1) + K \Delta P(1) = 5,82^\circ$$

$$\delta(2) = 42,32.$$

Tính toán tiếp cho những phạm đoạn sau, kết quả ghi trong bảng 15-1.

Bảng 15-1

t(s)	$\delta(0)$	$\sin \delta$	P	ΔP	$\Delta \delta$
0	34,53	0,566	0,285	0,715	1,97
0,05	36,5	0,659	0,300	0,700	5,82
0,10	42,32	0,673	0,339	0,661	9,46
0,15	51,78	0,786	0,396	0,604	12,78
0,20	64,56	0,903	0,455	0,545	15,78
0,25	80,34	0,986	0,497	0,503	18,55
0,30	98,89	—	—	—	—

Dựa vào kết quả tính toán trên đây ta lập được quan hệ $\delta = f(t)$. Ứng với giá trị $\delta_{\text{cắt}} = 62,7^\circ$, xác định được $t_{\text{cắt}} = 0,19\text{s}$, nghĩa là ngắn mạch phải được loại trừ không chậm hơn 0,19s kể từ thời điểm xảy ra. Với yêu cầu này những máy cắt điện loại khí ép có thể thực hiện được.

15-3. ỔN ĐỊNH ĐỘNG KHI HỆ THỐNG NHẬN ĐIỆN CÓ CÔNG SUẤT HỮU HẠN

Trong nhiều trường hợp công suất của hệ thống nhận điện không lớn hơn nhiều lần ($7 \div 10$) so với công suất nhà máy truyền đi, nên không thể coi điện áp thanh cái U là hằng số. Khi $U \neq \text{const}$, phụ tải của hệ thống sẽ có ảnh hưởng đối với ổn định động. Khi xảy ra đột biến, muốn chính xác, phải xét đến quá trình quá độ cơ điện trong các động cơ, nghĩa là phải đề cập đến đặc tính động của phụ tải. Tuy nhiên, để đơn giản, trong tính toán kiểm tra ổn định động của hệ thống điện, ở trường hợp này ($U \neq \text{const}$) phụ tải được thay bằng tổng trở cố định Z_{pt} .

Đối với mạng thứ tự thuận Z_{pt} có giá trị:

$$Z_{1pt} = \frac{U^2}{\hat{S}_{pt}} = \frac{U^2}{S_{pt}} (\cos \varphi + j \sin \varphi) \quad (15-16)$$

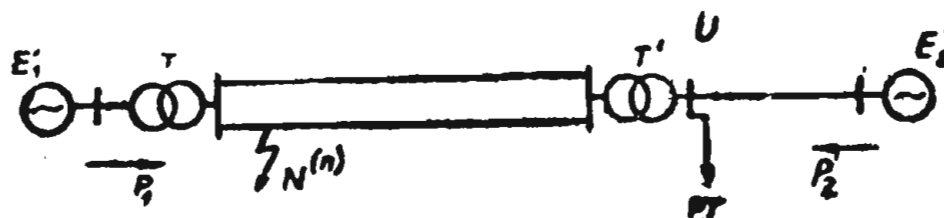
trong đó $\hat{S}_{pt}$ là đại lượng phức liên hợp công suất biểu kiến của phụ tải.

Ở mạng thứ tự nghịch thường coi $Z_{2pt} \approx (0,35 - 0,4)Z_{1pt}$.

Vì thường phụ tải mắc đằng sau máy biến áp có tổ nối dây tam giác nên Z_{opt} không xuất hiện ở sơ đồ thay thế thứ tự không.

Ngoài ra khi tính ổn định động, hệ thống nhận điện được thay bằng nhà máy điện tương đương có sức điện động $E'_2 = \text{const}$ đặt sau điện kháng x'_d và nối với phụ tải bằng tổng trở của mạng điện.

Sơ đồ hệ thống điện trong trường hợp này được vẽ trên hình 15-9.



Hình 15-9

Trong trường hợp này công suất P_1 truyền từ nhà máy E_1' hoặc từ E_2' (tức P_2) đều phụ thuộc vào góc tương đối δ_{12} giữa E_1' và E_2' . Biểu thức của P_1 và P_2 khi xét đến các tham số x, r, g, b có dạng sau:

$$P_1 = \frac{E_1'^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{E_1' E_2'}{Z_{12}} \sin (\delta_{12} - \alpha_{12})$$

$$P_2 = \frac{E_2'^2}{Z_{22}} \sin \alpha_{22} - \frac{E_1' E_2'}{Z_{12}} \sin (\delta_{12} + \alpha_{12})$$

trong đó chú ý là $\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$, mà δ_1 là góc giữa E_1' và U , còn δ_2 là góc giữa E_2' và U .

Ở đây sẽ nghiên cứu ổn định động của hệ thống điện thông qua hành vi của góc δ_{12} theo thời gian, như vậy ta phải xét đến gia tốc tương đối γ_{12} giữa nhà máy E_1' và nhà máy đẳng trị E_2' . Nguy hiểm nhất cho điều kiện ổn định động là trường hợp khi xảy ra ngắn mạch ở đầu đường dây tải tiện (hình 15-9) nhà máy E_1' tăng tốc, còn nhà máy E_2' , ở xa điểm ngắn mạch và gần phụ tải lớn, thì bị hãm tốc. Khi đó gia tốc tương đối γ_{12} càng lớn và hai nhà máy càng mất đồng bộ. Trường hợp cả hai nhà máy đều tăng tốc, nghĩa là δ_1, δ_2 đều tăng theo thời gian, thì tình đồng bộ trong hệ thống có thể vẫn đảm bảo, nhưng tần số chung trong hệ thống tăng lên và vẫn cần cắt ngắn mạch.

Gia tốc tương đối γ_{12} được biểu diễn trong dạng:

$$\gamma_{12} = \gamma_1 - \gamma_2 \quad (15-17)$$

trong đó γ_1, γ_2 là gia tốc tuyệt đối của nhà máy E_1' và E_2' . Ta có

$$\gamma_1 = \frac{360f}{T_{J1}} \Delta P_1$$

$$\gamma_2 = \frac{360f}{T_{J2}} \Delta P_2$$

ở đây T_{J1}, T_{J2} là hằng số quán tính của nhà máy E_1' và E_2' . $\Delta P_1, \Delta P_2$ là công suất thừa ở nhà máy E_1', E_2' trong các trạng thái khác nhau, nghĩa là

$$\Delta P_1 = P_{10} - P_1 \text{ và } \Delta P_2 = P_{20} - P_2.$$

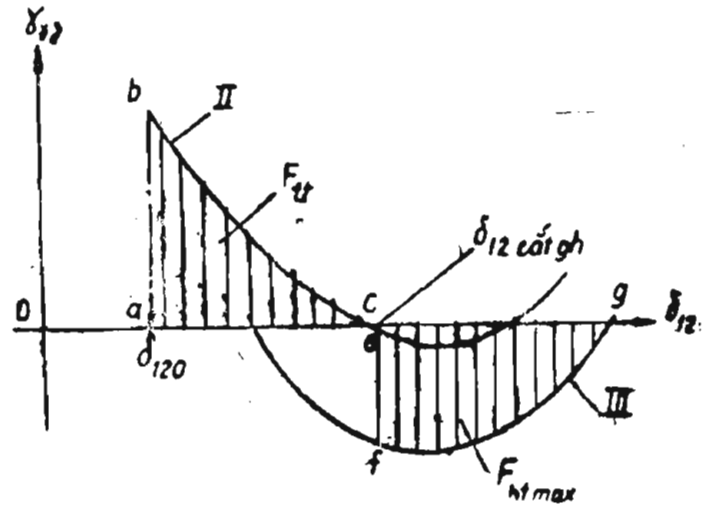
Từ đây ta có

$$\gamma_{12} = 360f \left(\frac{\Delta P_1}{T_{J1}} - \frac{\Delta P_2}{T_{J2}} \right) \quad (15-18)$$

Vì $\Delta P_1, \Delta P_2$ phụ thuộc góc δ_{12} , nên ta có thể biểu diễn quan hệ giữa γ_{12} theo δ_{12} trong tình trạng ngắn mạch bằng đường II trên hình 15-10, ứng với góc ban đầu δ_{120} .

Từ đường II trên hình 15-10 thấy rằng: khi xảy ra ngắn mạch, gia tốc tương đối γ_{12} phần lớn là dương, nghĩa là tạo nên diện tích tăng tốc F_{abc} , làm rôto của máy phát E_1 quay nhanh hơn so với rôto của máy phát E_2 .

Đoạn đường cong γ_{12} mang giá trị âm quá nhỏ, tạo nên diện tích hãm tốc không đủ cân bằng về diện tích tăng tốc nên hệ thống sẽ mất ổn định động nếu không cắt ngắn mạch. Sau khi cắt ngắn mạch, giá trị ΔP_1 , ΔP_2 thay đổi (do các tổng trở P_{11} , P_{12} , P_{22} thay đổi) đường $\gamma_{12} = f(\delta_{12})$ trở nên có giá trị âm ở hầu hết mọi nơi, thể hiện trên đường III ở hình 15-10.



Hình 15-10

Cân bằng diện tích tăng tốc F_{abc} với diện tích hãm tốc lớn nhất có thể F_{cefg} ta xác định được góc cắt giới hạn $\delta_{12\text{cắt gh}}$.

Sau đây trình bày việc sử dụng phương pháp phân đoạn liên tiếp để xác định $t_{\text{cắt gh}}$ trong trường hợp này.

Cũng tương tự như ở mục trước, quá trình ngắn mạch được chia thành nhiều phân đoạn Δt .

Ở phân đoạn (1) đối với nhà máy E_1 có:

$$\Delta \delta_1(1) = K_1 \frac{\Delta P_1(0)}{2} = 360f \frac{\Delta t^2}{T_{J1}} \cdot \frac{\Delta P_1(0)}{2}$$

Đối với nhà máy đẳng trị E_2 có:

$$\Delta \delta_2(1) = K_2 \frac{\Delta P_2(0)}{2} = 360f \frac{\Delta t^2}{T_{J2}} \cdot \frac{\Delta P_2(0)}{2}$$

Từ đây xác định được độ tăng về góc tương đối δ_{12} trong phân đoạn (1)

$$\Delta \delta_{12}(1) = \Delta \delta_1(1) - \Delta \delta_2(1) = 360f \frac{\Delta t^2}{2} \left[\frac{\Delta P_1(0)}{T_{J1}} - \frac{\Delta P_2(0)}{T_{J2}} \right]$$

Theo biểu thức (15-18) có thể viết

$$\gamma_{12}(0) = 360f \left[\frac{\Delta P_1(0)}{T_{J1}} - \frac{\Delta P_2(0)}{T_{J2}} \right]$$

trong đó $\gamma_{12}(0)$ là gia tốc tương đối tác động lên đầu phân đoạn (1) gây nên độ tăng $\Delta \delta_{12}(1)$ trong phân đoạn (1). Như vậy có:

$$\Delta \delta_{12}(1) = \gamma_{12}(0) \cdot \frac{\Delta t^2}{2} \quad (15-19)$$

Đã biết giá trị xuất phát δ_{120} , xác định được giá trị góc tương đối δ_{12} ở cuối phân đoạn (1)

$$\delta_{12}(1) = \delta_{120} + \Delta \delta_{12}(1)$$

Từ phân đoạn (2) trở đi, vì ở đầu phân đoạn vận tốc tương đối $v_{12} \neq 0$ nên biểu thức xác định $\Delta\delta_{12}(n)$ với $n \geq 2$ có thể nhận được trong dạng

$$\Delta\delta_{12}(n) = \Delta\delta_{12}(n-1) + \gamma_{12}(n-1) \cdot \Delta t^2 \quad (15-20)$$

trong đó giá trị $\gamma_{12}(n-1)$ tra từ đường cong II hình 15-10 ứng với giá trị $\delta_{12}(n-1)$.

Sau đó xác định góc δ_{12} ở cuối phân đoạn (n):

$$\delta_{12}(n) = \delta_{12}(n-1) + \Delta\delta_{12}(n).$$

Tóm lại đối với trường hợp hệ thống nhận điện có công suất hữu hạn, các biểu thức xác định quan hệ $\delta_{12} = f(t)$ theo phương pháp phân đoạn liên tiếp cũng tương tự như trong trường hợp coi $U = \text{const}$. Những biểu thức (15-12) và (15-15) trùng với (15-19) và (15-20) khi thay hệ số K bằng Δt^2 và thay $\Delta P(n-1)$ bằng $\gamma_{12}(n-1)$.

Để dễ nhớ ta nêu bảng tương tự sau đây

Khi xét $U = \text{const}$

$$\Delta\delta(1) = K \cdot \frac{\Delta P(0)}{2}$$

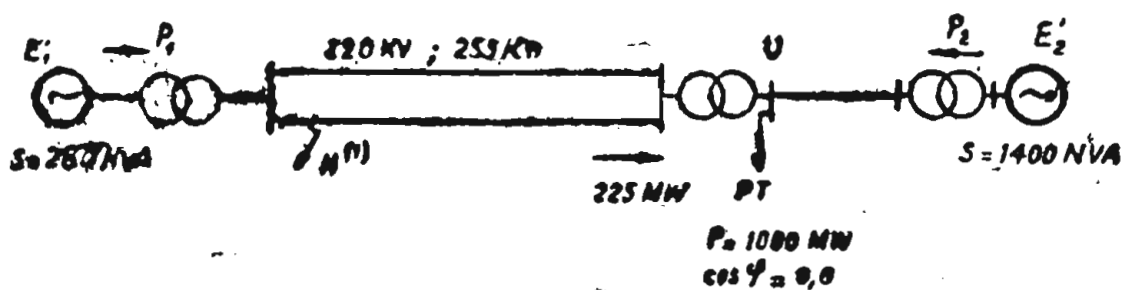
$$\Delta\delta(n) = \Delta\delta(n-1) + K\Delta P(n-1) \quad n > 2$$

Khi $U \neq \text{const}$

$$\Delta\delta_{12}(1) = \Delta t^2 \frac{\gamma_{12}(0)}{2}$$

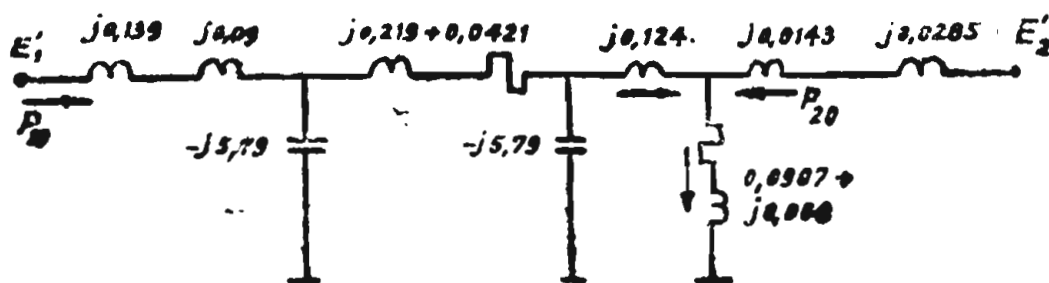
$$\Delta\delta_{12}(n) = \Delta\delta_{12}(n-1) + \Delta t^2 \gamma_{12}(n-1) \quad n > 2$$

Ví dụ : 15-2. Xác định thời gian cắt giới hạn $t_{\text{cắt gh}}$ để đảm bảo ổn định động của hệ thống điện (hình 15-11) khi xảy ra ngắn mạch một pha $N^{(1)}$ tại đầu một lộ của đường dây tải điện



Hình 15-11

Có xét đến các tham số r, b của đường dây tải điện. Vẫn lấy $S_{cb} = 200 \text{ MVA}$, giá trị tương đối của các phần tử tính theo phương pháp gần đúng U_{cb} là giá trị điện áp trung bình tại mỗi đoạn. Kết quả tính toán ghi ở sơ đồ thay thế của hệ thống trên hình 15-12.



Hình 15-12

Trạng thái vận hành bình thường của hệ thống trước khi ngắn mạch được xác định theo điều kiện sau:

— Nhà máy điện phát hết công suất cung cấp cho phụ tải, phần còn lại do nhà máy đẳng trị E'_2 cung cấp.

— Đi từ nhà máy E'_1 biết P_{10} lấy điện áp đầu đường dây tải điện bằng $110\% U_{dm} = 242 \text{ kV}$. Từ đó xác định được giá trị U . Lấy vector $\underline{\dot{U}} = U \angle 0^\circ$ làm gốc tính lên E'_1 và E'_2 kết quả tính toán nhận được:

$$\underline{\dot{U}} = 0,842 \angle 0^\circ$$

$$E'_1 = E'_1 \angle \delta_{10} = 1,215 \angle 39,2^\circ$$

$$E'_2 = E'_2 \angle \delta_{20} = 1,037 \angle 11^\circ$$

Từ đây có: $\delta_{120} = 39,2 - 11 = 28,2^\circ$.

Công suất tác dụng từ nhà máy E'_1 và E'_2 ($S_{ch} = 200 \text{ MVA}$)

$$P_{10} = \frac{225 + \Delta P}{200} = 1,197$$

$$P_{20} = \frac{1000 - 225}{200} = 3,875$$

Tiếp theo xác định các tham số trong tình trạng ngắn một pha $N^{(1)}$. Khi đó $Z_\Delta = Z_{\Sigma} + Z_{2\Sigma}$. Đã tính được:

$$Z_{2\Sigma} = 0,0121 + j0,184$$

$$Z_{\Sigma} = 0,0002 + j0,089.$$

Đặt Z_Δ vào đầu đường dây tải điện, biến đổi sơ đồ, ta nhận được các giá trị tổng trở sau đây:

$$Z_{11} = 0,436 \angle 88,2^\circ \quad \text{vậy } \alpha_{11} = 90^\circ - 88,2^\circ = 1,8^\circ$$

$$Z_{12} = 1,238 \angle 99,3^\circ \quad \text{vậy } \alpha_{12} = -9,3^\circ$$

$$Z_{22} = 0,3311 \angle 58,7^\circ \quad \text{vậy } \alpha_{22} = 31,3^\circ$$

Từ đây xác định được đường đặc tính công suất P_1, P_2 khi ngắn mạch

$$P_1 = \frac{E_1'^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{E'_1 E'_2}{Z_{12}} \sin (\delta_{12} - \alpha_{12}) = 0,1085 + 1,017 \sin (\delta_{12} + 9,3^\circ)$$

$$P_2 = \frac{E_2'^2}{Z_{22}} \sin \alpha_{22} - \frac{E'_1 E'_2}{Z_{12}} \sin (\delta_{12} + \alpha_{12}) = 4,265 - 1,017 \sin (\delta_{12} - 9,3^\circ)$$

Tiếp theo xác định gia tốc tuyệt đối của hai nhà máy điện

$$\gamma_1 = \frac{360f}{T_{J1}} \Delta P_1; \quad \gamma_2 = \frac{360f}{T_{J2}} \Delta P_2$$

trong đó T_{J1} qui về cơ bản có $T_{J1} = 8,25s$; $T_{J2} = 112s$.

Công suất thừa xác định theo:

$$\Delta P_1 = P_{10} - P_1 = 1,089 - 1,017 \sin(\delta_{12} + 9,3^\circ)$$

$$\Delta P_2 = P_{20} - P_2 = -0,390 + 1,017 \sin(\delta_{12} - 9,3^\circ)$$

Lần lượt tính γ_1 , γ_2 và γ_{12} theo các giá trị góc khác nhau, kết quả ghi trong bảng 15.2

Bảng 15-2

	20	40	50	60	80	90	100	120
$\gamma_1 \cdot 10^{-3}$	1,290	0,039	0,467	0,300	0,155	0,185	0,280	0,658
$\gamma_2 \cdot 10^{-3}$	-0,032	-0,021	0,044	0,064	0,091	0,098	0,101	0,009
$\gamma_{12} \cdot 10^{-3}$	1,322	0,672	0,423	0,236	0,065	0,086	0,179	0,568

Quan hệ $\gamma_{12} = f(\delta_{12})$ trong tình trạng ngắn mạch biểu diễn bằng đường II trên hình 15-13. Từ đây thấy rằng mọi giá trị γ_{12} đều dương, như vậy muốn đảm bảo ổn định động của hệ thống điện, phải cắt ngắn mạch.

Tiếp theo ta xây dựng quan hệ $\gamma_{12} = f(\delta_{12})$ trong tình trạng sau khi cắt ngắn mạch (còn một lộ của đường dây tải điện). Biến đổi sơ đồ, kết quả tính toán có:

$$Z_{11} = 0,899 \mid 83,4^\circ \quad \text{vậy } \alpha_{11} = 6,6^\circ$$

$$Z_{12} = 1,065 \mid 97,8^\circ \quad \text{vậy } \alpha_{12} = -7,8^\circ$$

$$Z_{22} = 0,1361 \mid 55,5^\circ \quad \text{vậy } \alpha_{22} = 34,5^\circ$$

Từ đây xác định đường đặc tính công suất sau khi cắt ngắn mạch:

$$P_1 = 1,089 + 1,182 \sin(\delta_{12} + 7,8^\circ)$$

$$P_2 = 4,48 - 1,182 \sin(\delta_{12} - 7,8^\circ)$$

Tiếp theo xác định được công suất thừa:

$$\Delta P_1 = P_{10} - P_1 = 1,008 - 1,182 \sin(\delta_{12} + 7,8^\circ)$$

$$\Delta P_2 = P_{20} - P_2 = -0,605 + 1,182 \sin(\delta_{12} - 7,8^\circ)$$

$$\gamma_1 = 360f \frac{\Delta P_1}{T_{J1}} = [2,195 - 2,580 \sin(\delta_{12} + 7,8^\circ)] 10^{-3}$$

$$\gamma_2 = 360f \frac{\Delta P_2}{T_{J2}} = [-0,0972 + 0,1902 \sin(\delta_{12} - 7,8^\circ)] 10^{-3}$$

Quan hệ giữa $\gamma_{12} = \gamma_1 - \gamma_2$ và các giá trị góc δ_{12} ghi trong bảng sau, ứng với đường III trên hình 15-13.

$\delta_{12} [^\circ]$	40	50	70	80	90	100	120
$\gamma_1 \cdot 10^{-3}$	0,284	0,012	-0,325	-0,383	-0,360	-0,260	0,158
$\gamma_2 \cdot 10^{-3}$	0,004	0,0305	0,071	0,0838	0,09111	0,0928	0,0188
$\gamma_{12} \cdot 10^{-3}$	0,280	-0,0185	-0,396	-0,467	-0,451	-0,353	0,079

Ở đây cần lưu ý là phải tính đến khi γ_{12} có giá trị trở nên dương, để có diện tích hãm tốc lớn nhất có thể.

Tiếp theo căn cứ $F_{11} = F_{h\max}$ xác định $\delta_{12\text{cátgh}} = 61^\circ$. Sau đây sử dụng phương pháp phân đoạn liên tiếp để xác định $t_{\text{cátgh}}$.

Lấy $\Delta t = 0,05\text{s}$. Đã có $\delta_{120} = 28,2^\circ$. Tra từ đường II trên hình 15-13 được $\gamma_{12}(0) = 1,040 \cdot 10^3$.

Ở phân đoạn (1) có:

$$\Delta\delta_{12}(1) = \gamma_{12}(0) \frac{\Delta t^2}{2} = 1,3^\circ$$

Vậy ở góc cuối phân đoạn (1) là

$$\delta_{12}(1) = \delta_{120} + \Delta\delta_{12}(1) = 28,2 + 1,3 = 29,5^\circ$$

Ở phân đoạn (2), từ $\delta_{12}(1) = 29,5^\circ$ tra theo đường II có $\gamma_{12}(1) = 998$ vậy

$$\Delta\delta_{12}(2) = \Delta\delta_{12}(1) + \gamma_{12}(1)\Delta t^2 = 1,3 + 998 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} = 3,79^\circ$$

Vậy $\delta_{12}(2) = \delta_{12}(1) + \Delta\delta_{12}(1) = 29,5 + 3,79 = 33,29^\circ$.

Tiếp tục tính toán cho tới giá trị $\delta_{12} > \delta_{12\text{cátgh}}$, kết quả được ghi trong bảng 15-3.

Bảng 15-3

$t[\text{s}]$	$\delta_{12} [^\circ]$	$\gamma_{12} [^\circ/\text{s}^2]$	$\gamma_{12} \cdot \Delta t^2 [^\circ]$	$\Delta\delta_{12} [^\circ]$
0	28,2	1040	2,6	1,3
0,05	29,5	998	2,49	3,79
0,10	33,29	877	2,19	5,98
0,15	39,27	700	1,75	7,73
0,20	47,0	488	1,22	8,95
0,25	55,95	305	0,76	9,71
0,30	65,66	—	—	—

* Hình 15-13 ở trục γ_{12} các giá trị được nhân thêm với 10^3

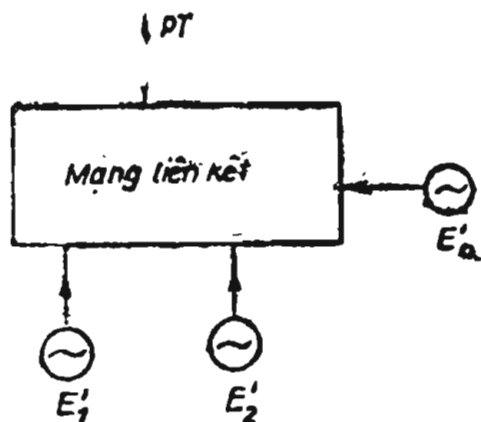
Từ những kết quả trên đây ta xây dựng được quan hệ $\delta_{12} = f(t)$ và với $\delta_{\text{cắt}} = 61^\circ$ ta có $t_{\text{cắt}} = 0,277\text{s}$.

15-4. ỔN ĐỊNH ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN PHỨC TẠP

Ở mục trên ta đã xét ổn định động của hệ thống điện theo sơ đồ « nhà máy điện – đường dây tải điện – hệ thống điện có công suất hữu hạn »: Sơ đồ này phù hợp với những trường hợp cần khảo sát hành vi ổn định động của nhà máy điện công suất lớn (thủy điện hoặc nhiệt điện lớn ở bề nhiên liệu) ở xa trung tâm phụ tải. Khi đó những nhà máy điện còn lại được ghép đẳng trị trong hệ thống nhận điện.

Trong trường hợp các nhà máy điện có công suất tương đương và khoảng cách đến trung tâm phụ tải không khác nhau nhiều thì sử dụng sơ đồ trên sẽ phạm sai số lớn. Trong trường hợp này xét ổn định của hệ thống phải quan tâm đến sự biến đổi theo thời gian của tất cả các góc tương đối δ_{ij} giữa các nhà máy điện. Vì số lượng các góc δ_{ij} nhiều nên không thể xác định được góc $\delta_{\text{cắt}}$ giới hạn, mà phải dùng chỉ tiêu $t_{\text{cắt}}$ giới hạn nhờ phương pháp phân đoạn liên tiếp.

Nội dung chủ yếu phương pháp xét ổn định động của hệ thống điện phức tạp bao gồm những điểm sau:



Hình 15-14

Giả thiết hệ thống gồm n nhà máy điện nối với nhau bởi một mạng liên kết nhằm cung cấp điện cho phụ tải như trên hình 15-14,

Để xác định đặc tính công suất P_i truyền đi từ nhà máy i trong các tình trạng: trước, trong và sau ngắn mạch ta sử dụng biểu thức sau:

$$P_i = R_i \{ \vec{E}_i^* \vec{I}_i \}; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (15-21)$$

trong đó $\vec{I}_i$ là dòng điện đi từ nhà máy i . Giá trị $\vec{I}_i$ được xác định theo nguyên lý xếp chồng, nghĩa là $\vec{I}_i$ bao gồm thành phần $\vec{E}_i^*$ tác động khi mọi $\vec{E}_k^*$;

$k \neq i$ bằng không và thành phần tổng các tác động của $\vec{E}_k^*$; $k = 1, 2, \dots, n$ với $k \neq i$, khi $\vec{E}_i^* = 0$. Điều đó được diễn tả như sau:

$$\vec{I}_i = \left\{ \left(\text{do } \vec{E}_i^* \text{ tác động} \right) \forall \vec{E}_k^* = 0; \quad k \neq i + \left(\sum_{k=1}^n \vec{E}_k^* \text{ tác động} \right) \vec{E}_i^* = 0 \right\}$$

Từ đây các giá trị $\vec{I}_i$; $i = 1, 2, \dots, n$ được viết trong biểu thức:

$$\left. \begin{aligned} \vec{I}_1 &= \vec{I}_{11} + \vec{I}_{12} + \dots + \vec{I}_{1n} \\ \vec{I}_2 &= \vec{I}_{22} + \vec{I}_{21} + \dots + \vec{I}_{2n} \\ \vec{I}_n &= \vec{I}_{nn} + \vec{I}_{n2} + \dots + \vec{I}_{n, n-1} \end{aligned} \right\} \quad (15-22)$$

trong đó

$$I_{ii} = \frac{E_i'}{Z_{ii}}; \quad I_{ij} = \frac{E_j'}{Z_{ij}}$$

và

$$E_i' = E_i' \angle \delta_i; \quad Z_{ii} = Z_{ii} \angle 90 - \alpha_{ii}$$

Từ biểu thức (15-21) kết hợp với (15-22) ta viết được các đường đặc tính tính công suất của nhà máy điện P_i ; $i = 1, 2, \dots, n$

$$P_i = \frac{E_i'^2}{Z_{ii}} \sin \alpha_{ii} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \frac{E_i' E_k'}{Z_{ik}} \sin (\delta_{ik} - \alpha_{ik}) \quad (15-23)$$

trong đó chú ý $\delta_{ik} = -\delta_{ki}; \quad Z_{ik} = Z_{ki}$

Chẳng hạn hệ thống gồm 3 nhà máy điện, ta có:

$$P_1 = \frac{E_1'^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{E_1' E_2'}{Z_{12}} \sin (\delta_{12} - \alpha_{12}) + \frac{E_1' E_3'}{Z_{13}} \sin (\delta_{13} - \alpha_{13})$$

$$P_2 = \frac{E_2'^2}{Z_{22}} \sin \alpha_{22} - \frac{E_1' E_2'}{Z_{12}} \sin (\delta_{12} + \alpha_{12}) + \frac{E_2' E_3'}{Z_{23}} \sin (\delta_{23} - \alpha_{23})$$

$$P_3 = \frac{E_3'^2}{Z_{33}} \sin \alpha_{33} - \frac{E_1' E_3'}{Z_{13}} \sin (\delta_{13} + \alpha_{13}) - \frac{E_2' E_3'}{Z_{23}} \sin (\delta_{23} + \alpha_{23})$$

Sau khi xác định trạng thái làm việc ban đầu của hệ thống điện (trước khi ngắn mạch) nghĩa là biết δ_{iko} , thủ tục tính ổn định động tiến hành theo các bước sau:

1) Theo đường đặc tính công suất ở trạng thái ngắn mạch, xác định lượng $P_i(0)$ ở thời điểm ngắn mạch.

$$P_i(0) = \frac{E_i'^2}{Z_{ii}} \sin \alpha_{ii} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \frac{E_i' E_k'}{Z_{ik}} \sin (\delta_{iko} - \alpha_{ik}) \text{ với } Z_{ii}, Z_{ik}$$

là giá trị ở tình trạng ngắn mạch.

2) Xác định công suất thừa tác động lên phân đoạn (1), đó là $\Delta P_i(0)$; $i = 1, 2, \dots, n$

$$\Delta P_i(0) = P_{io} - P_i(0)$$

3) Xác định độ tăng của các góc tuyệt đối $\Delta \delta_i$ trong phân đoạn (1):

$$\Delta \delta_i(1) = K_i \frac{\Delta P_i(0)}{2}; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

4) Xác định góc δ_i ở cuối phân đoạn (1)

$$\delta_i(1) = \delta_{io} + \Delta \delta_i(1)$$

5) Xác định các góc tương đối δ_{ik} ở cuối phân đoạn (1)

$$\delta_{ik}(1) = \delta_i(1) - \delta_k(1) \text{ với } i = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, n \text{ và } i \neq k$$

6) Với các giá trị $\delta_{ik}(1)$ ta xác định được các lượng công suất của các nhà máy l ở cuối phân đoạn (1), dựa vào đường đặc tính công suất P_i ở trạng thái ngắn mạch, nghĩa là xác định được $P_i(1); i = 1, 2, \dots, n$

7) Từ đây xác định được lượng công suất thừa tác động lên phân đoạn (2):

$$\Delta P_i(1) = P_{i0} - P_i(1); \quad i = 1, 2, \dots, n$$

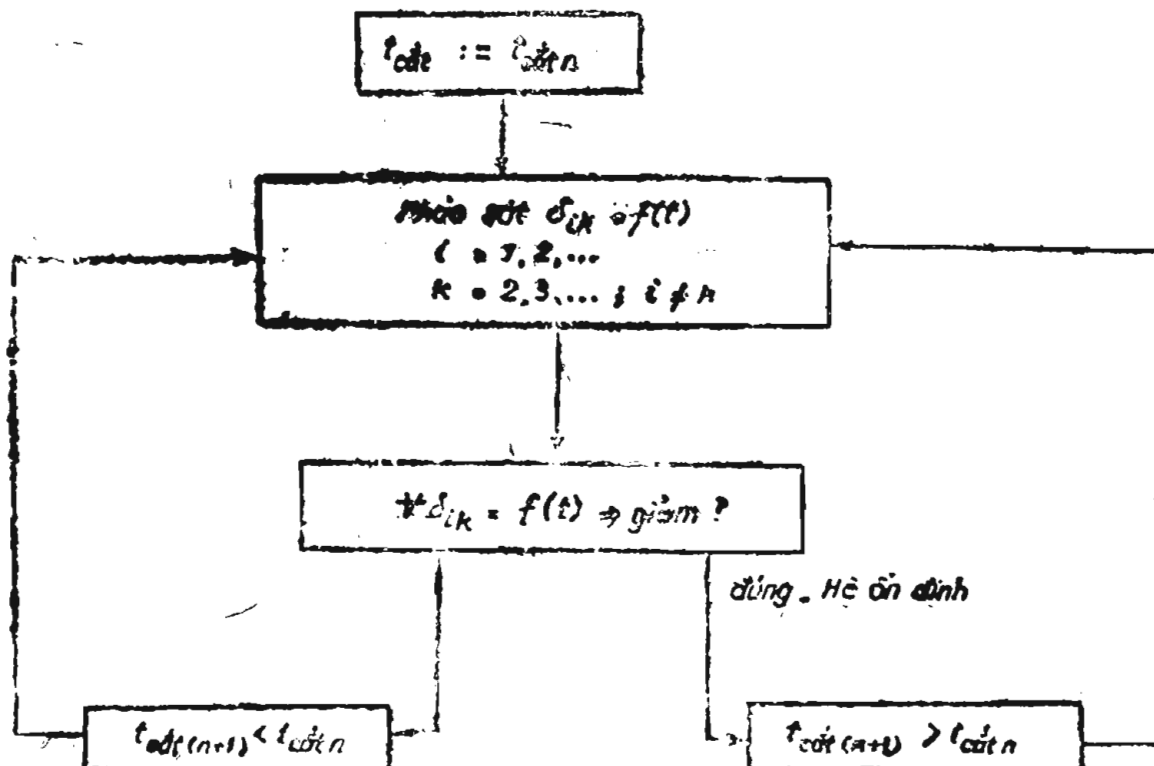
8) Xác định độ tăng về góc $\Delta\delta_i$ ở phân đoạn (2) và về sau có khác so với phân đoạn (1). Như đã biết $\Delta\delta_i$ (2) có dạng

$$\Delta\delta_i(2) = \Delta\delta_i(1) + K_i \cdot \Delta P_i(1)$$

9) Cho trước giá trị thời gian cắt ngắn mạch $t_{cắt 1}$. Tính toán với các phân đoạn tiếp theo. Với giá trị các phân đoạn $\Delta t \approx 0,05 - 0,1$. Chú ý là khi đến phân đoạn vượt quá giá trị $t_{cắt 1}$ thì các lượng công suất thừa phải xác định theo các đường đặc tính công suất ở trạng thái sau khi cắt ngắn mạch (các giá trị Z_{ii}, Z_{ik} mới).

10) Nếu các góc tương đối δ_{ik} qua các phân đoạn tiếp tục tăng lên mãi, nghĩa là hệ thống mất ổn định, thì cần lấy giá trị $t_{cắt 2} < t_{cắt 1}$ để tính toán lại các bước trên đây.

11) Nếu các góc tương đối δ_{ik} bắt đầu giảm dần theo thời gian, đến giá trị duy trì nghĩa là hệ thống có ổn định động, tuy nhiên có thể có giá trị $t_{cắt 1}$ đó chưa hợp lý, có thể cắt ngắn mạch chậm hơn, hệ thống vẫn có ổn định. Vì vậy cần lấy giá trị $t_{cắt 2} > t_{cắt 1}$ và tính lại các bước trên đây.



Hình 15-15

Từ đây xác định được giá trị giới hạn của thời gian cắt ngắn mạch $t_{cắt gh}$ và thủ tục đó được mô tả trên hình 15-15.

Việc tính toán ổn định động của hệ thống điện phức tạp theo phương pháp phân đoạn liên tiếp trên đây tỏ ra thuận tiện khi được chương trình hóa và giải trên máy tính điện tử.

Trong trường hợp kiểm tra sơ bộ về ổn định động của hệ thống điện khi dùng thước tính, đề đơn giản, thường sử dụng sơ đồ « nhà máy truyền đi — đường dây tải điện — hệ thống nhận điện có công suất hữu hạn » và sử dụng phương pháp diện tích và phân đoạn liên tiếp để xác định $I_{cắt}$.

15-5. NHỮNG BIỆN PHÁP CHỦ YẾU NÂNG CAO ỔN ĐỊNH ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

Như đã biết sự kiện mất ổn định động của hệ thống điện có thể do nhiều nguyên nhân khác nhau, chẳng hạn do sét đánh gây nên ngắn mạch các dạng, do đứt dây, do cắt đường dây, máy biến áp mang tải nặng v.v...

Mất ổn định động thường dẫn đến những hậu quả nặng nề, làm tan rã hệ thống, vì vậy tìm những biện pháp nâng cao tính ổn định động là một trong những nhiệm vụ quan trọng khi thiết kế và điều khiển hệ thống điện.

Những biện pháp chủ yếu nhằm nâng cao ổn định động là:

1) *Cắt nhanh sự cố nhờ hiện đại hóa thiết bị bảo vệ rơle và máy cắt điện.* Khi cắt nhanh sẽ giới hạn không cho sự cố lan tràn. Ngoài ra khi cắt nhanh được sự cố cho phép ta truyền đi lượng công suất P_0 lớn vẫn đảm bảo điều kiện ổn định động.

2) *Tự động đóng lại đường dây (TDL) sau khi cắt sự cố.* Vì phần lớn ngắn mạch trên đường dây mang tính chất tạm thời (sét đánh), nên sau khi cắt đường dây, sự cố hết, ta có thể tự động đóng lại đường dây đó sau một khoảng thời gian (0,1 — 0,15 s) để ion của hồ quang ở điểm ngắn mạch được khử hết. Thời gian để thực hiện TDL tuy lớn hơn thời gian để ion, nhưng phải nhỏ để diện tích hãm tốc tăng lên, đảm bảo ổn định cho hệ thống. Trong thực tế TDL rất có hiệu quả đối với những dây nối tới phụ tải. Khi sự liên lạc giữa hai hệ thống điện là đường dây tải điện một lộ, việc TDL đường dây đó cần phối hợp với bộ phận kiểm tra tính đồng bộ giữa hai hệ thống.

Giá trị giới hạn của tổng thời gian cắt và thời gian TDL cũng được xác định theo điều kiện cân bằng giữa diện tích tăng tốc và diện tích hãm tốc lớn nhất có thể.

Ở đây cần lưu ý là hằng số quán tính T_J của máy phát điện có ảnh hưởng đến quá trình TDL. Giá trị tương đối của T_J càng lớn thì TDL càng dễ dàng vì rôto tăng chậm. Giá trị tương đối T_J của nhà máy truyền đi so với công suất toàn hệ thống càng lớn, nghĩa là hệ thống nhận điện lớn gấp nhiều lần công suất nhà máy truyền đi, khi đó thường TDL không gặp khó khăn gì.

Ngược lại đối với nhà máy điện lớn, ở xa và hầu như toàn bộ công suất được truyền đến hệ thống nhận điện có công suất hữu hạn, bằng đường dây một lộ, thì về nguyên tắc là không thực hiện TDL để đảm bảo ổn định động.

3) *Bù dọc và đặt các trạm cắt trên đường dây tải điện.* Đặt các bộ tụ điện trên đường dây nhằm giảm điện kháng x_D của đường dây, do đó nâng cao đường đặc tính công suất khi sự cố và sau khi cắt sự cố, dẫn đến giảm điện tích tăng tốc và tăng điện tích hãm tốc lớn nhất có thể, nâng cao độ dự trữ ổn định động.

Ngoài ra trên những đường dây tải điện đi xa thường xây dựng những trạm cắt để khi xảy ra sự cố chỉ cắt phân đoạn có sự cố, làm cho điện kháng toàn mạch không tăng lên nhiều trong trạng thái sau khi cắt ngắn mạch.

4) *Một số biện pháp phụ.* Những biện pháp nêu trên thường đảm bảo ổn định động nhờ cải thiện đặc tính các phần tử chính (máy phát điện, máy cắt, đường dây tải điện...) của hệ thống. Ngoài ra còn dùng một số biện pháp phụ thêm nhằm nâng cao ổn định động. Chẳng hạn nối đất trung tính một số máy biến áp điện lực qua điện trở hoặc điện kháng. Biện pháp này làm tăng $Z_{0\Sigma}$ của mạng thứ tự không, khi ngắn mạch không đối xứng chạm đất. Khi tổng trở $Z_{0\Sigma}$ tăng, giá trị Z_Δ tăng, làm cho tổng trở tương hỗ Z_{12} giảm, do đó giá trị công suất truyền đi ở trạng thái ngắn mạch (không đối xứng) tăng lên và điện tích tăng tốc giảm đi.

Biện pháp này không hiệu nghiệm đối với loại ngắn mạch đối xứng (3 pha). Vì vậy khi đó thường dùng biện pháp ghim điện hoặc ghim cơ học.

Ghim điện là đóng phụ tải điện trở vào phần tĩnh máy phát điện trong trường hợp ngắn mạch 3 pha, nhằm tiêu thụ lượng công suất thừa do tuốc bin sinh ra, làm cho rôto đỡ quay lồng lên và có thể đem lại ổn định cho hệ thống. Nhờ phụ tải điện trở đó tiêu thụ công suất P khi ngắn mạch nên điện tích tăng tốc không lớn lắm, và thời gian cắt giới hạn có thể lớn hơn.

Ghim cơ học là thiết bị hãm rôto máy phát khi xảy ra ngắn mạch trầm trọng trong hệ thống, nhằm tăng hằng số quán tính T_J của máy phát, làm quá trình tăng của góc δ không xảy ra mạnh mẽ, do đó có thể kéo dài thời gian cắt cho phép.

Ở đây cần chú ý là mọi biện pháp nâng cao ổn định đều kèm theo sự tăng vốn đầu tư, hoặc ảnh hưởng tới các chỉ tiêu chất lượng khác của hệ thống, vì vậy khi lựa chọn cần phải dựa trên những so sánh toàn diện về kinh tế kỹ thuật. Chẳng hạn để nâng cao ổn định tĩnh của hệ thống ta muốn máy phát điện làm việc với hệ số $\cos\varphi$ thấp, vì khi đó khả năng phát ra công suất phản kháng Q lớn, sức điện động E của máy phát có giá trị cao và giới hạn đường đặc tính công suất P cao. Nhưng máy phát làm việc với $\cos\varphi$ thấp không kinh tế, vì tận dụng thấp khả năng công suất thiết kế S , không những thế lượng Q phát đi lớn sẽ làm tăng tổn thất điện năng trên đường dây.

Hoặc cũng vì điều kiện nâng cao ổn định ta muốn thiết kế máy phát điện có tham số x_d nhỏ, nhưng khi đó không những máy phát phải có kích thước

lớn, để có khe hở không khí lớn (để giảm x_{ad} và x_d) đắt tiền, mà những máy phát đó còn có giá trị dòng điện ngắn mạch đầu cực lớn (tỉ lệ với $\frac{1}{x_d}$), gây khó khăn cho việc chọn thiết bị điện.

Ngoài ra cũng lưu ý rằng bộ tự động điều chỉnh kích từ (TĐK) các loại có tác dụng rõ rệt để nâng cao, ổn định tĩnh, nhưng đối với ổn định động, tác động đó bị hạn chế vì cuộn dây kích từ có hằng số thời gian, nên điện áp kích từ không thể tăng rất nhanh đến giá trị giới hạn (kích từ cưỡng bức), mà ngắn mạch lại phải cắt với thời gian nhanh. Vì lẽ đó trong thời gian ngắn mạch, quá trình tăng của sức điện động E' có ảnh hưởng không lớn lắm đến việc làm giảm điện tích tăng tốc và tăng điện tích hãm tốc.

Cuối cùng cần nói thêm là có nhiều trường hợp sau khi cắt sự cố, hệ thống điện còn chịu dao động duy trì và làm việc trong tình trạng không đồng bộ, sau đó cần thực hiện tái đồng bộ. Những quá trình quá độ của hệ thống điện ở trạng thái không đồng bộ và điều kiện để tái đồng bộ độc giả có thể tham khảo ở tài liệu khác, chẳng hạn [TK—8].

Chương mười sáu

SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP HÀM LJAPUNOV NGHIÊN CỨU ỔN ĐỊNH ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

16-1. MỞ ĐẦU

Như ở chương trước đã trình bày việc khảo sát ổn định động của hệ thống điện thường tiến hành nhờ những phương pháp tích phân hệ phương trình vi phân phi tuyến nhằm phân xét tính ổn định của hệ thống qua tính ổn định về nghiệm của hệ phương trình vi phân này. Vì tính phi tuyến, phức tạp của hệ nên đã sử dụng những phương pháp giải gần đúng (phân đoạn). Ưu điểm của những phương pháp này là cho phép thấy sự thay đổi của các thông số chế độ theo thời gian, cũng như thấy được những yếu tố ảnh hưởng đến quá trình quá độ. Tuy nhiên khi sử dụng phương pháp tích phân số trên đây không đưa ra được những chỉ tiêu chặt chẽ để đánh giá ổn định nhất là trong trường hợp hệ phức tạp, gồm nhiều tổ máy.

Phương hướng thứ hai nghiên cứu ổn định động của hệ thống điện là đưa bài toán về việc khảo sát tính ổn định của chuyển động theo khía cạnh định tính, nghĩa là không cần xác định nghiệm của hệ phương trình vi phân, mà chỉ tìm điều kiện, tiêu chuẩn nhằm đảm bảo nghiệm là ổn định. Phương pháp này do Ljapunov [TK-7] đặt cơ sở đầu tiên vì vậy còn gọi là phương pháp trực tiếp Ljapunov. Phương pháp này mang tính tổng quát, hiện nay được quan tâm nhiều. Tuy nhiên cũng còn những mặt cần khắc phục, chẳng hạn chưa thấy được sự ảnh hưởng của các yếu tố khác nhau vào quá trình quá độ, việc xây dựng hàm Ljapunov chưa có thủ tục tổng quát v.v...

Sau đây sẽ trình bày những nét chủ yếu về nội dung phương pháp hàm Ljapunov khảo sát ổn định động của hệ thống điện.

16-2 HÀM LJAPUNOV—CHỈ TIÊU ỔN ĐỊNH ĐỘNG

Như đã biết bài toán ổn định động của hệ thống điện dẫn tới việc nghiên cứu tính ổn định nghiệm của hệ phương trình vi phân phi tuyến sau:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = F(\delta) \quad (16-1)$$

Trong đó δ là vector n chiều, thể hiện các góc δ , tuyệt đối của các nhà máy điện.

$F(\delta)$ vector hàm của những biến δ_i .

Ở chế độ làm việc ban đầu, hệ thống điện được đặc trưng bởi vector không đổi $\delta = \delta_0$ là nghiệm của phương trình $F(\delta) = 0$.

Ở chế độ ổn định sau khi cắt ngắn mạch, hệ thống điện cũng được đặc trưng bởi vector không đổi $\delta = \delta_*$ là nghiệm của phương trình $F_*(\delta) = 0$.

Dựa theo tinh thần phương pháp thứ hai (trực tiếp) của Ljapunov ta xét ổn định của hệ thống điện ở tình trạng sau sự cố, ứng với δ_* .

Gọi quan hệ của δ_* theo thời gian là *chuyển động không nhiễu* $\delta_*(t)$, đây chính là chuyển động cần xét ổn định.

Nhưng góc δ bị kích động (cắt ngắn mạch) nên có giá trị khác δ_* , vì vậy gọi $\delta(t)$ là *chuyển động bị nhiễu*.

Ở thời điểm ban đầu t_0 , giá trị $\delta(t_0)$ khác δ_* nhưng nếu hệ thống ổn định khi $t \rightarrow \infty$ ta có $\delta(t) \rightarrow \delta_*$. Từ đây có định nghĩa ổn định theo Ljapunov như sau (hình 16-1):

Chuyển động không nhiễu $\delta_*(t)$ là ổn định nếu với mọi số $\epsilon > 0$, bé tùy ý, cho trước, luôn luôn tồn tại số $\eta(\epsilon) > 0$ sao cho mọi chuyển động bị nhiễu $\delta(t)$ khi thỏa mãn điều kiện đầu

$$|\delta_*(t_0) - \delta(t_0)| < \eta \text{ thì với mọi } t > t_0 \text{ có:}$$

$$|\delta_*(t) - \delta(t)| < \epsilon$$

Đề tiện lợi, ta thực hiện biến đổi tọa độ, bằng cách đặt biến

$$\Delta\delta = \delta - \delta_* \quad (16-2)$$

Như vậy việc xét ổn định của chuyển động không nhiễu $\delta_*(t)$ được chuyển về xét ổn định của quá trình $\Delta\delta(t) = 0$, nghĩa là xét ổn định của điểm cân bằng khi tồn tại nhiễu. Khi $t \rightarrow \infty$

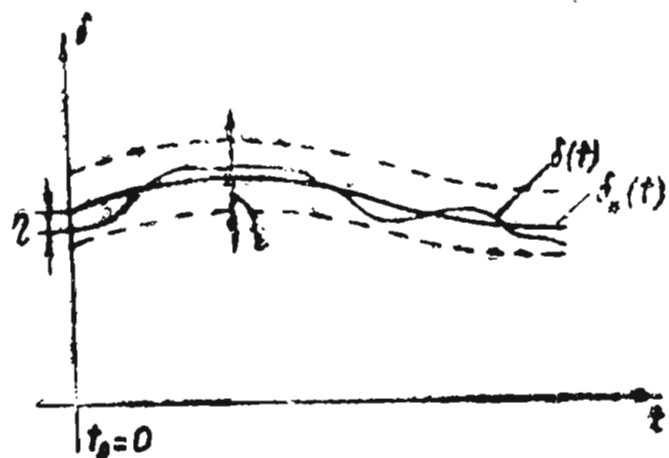
$\Delta\delta(t) \rightarrow 0$ ta có ổn định tiệm cận, nghĩa là

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta\delta(t) = 0$$

Ở thời điểm cắt ngắn mạch góc δ_0 lệch so với δ_* là $\Delta\delta_0$. Với thời gian cắt ngắn mạch khác nhau có các giá trị nhiễu $\Delta\delta_0$ khác nhau và ảnh hưởng tới tính ổn định của nghiệm $\Delta\delta(t)$, nghĩa là có quan hệ

$$\Delta\delta = \Delta\delta(t, \Delta\delta_0) \quad (16-3)$$

Từ đây thấy rằng phân tích quan hệ (16-3) cho ta trả lời về tính ổn định của nghiệm $\Delta\delta = 0$, nghĩa là của chế độ duy trì sau khi cắt ngắn mạch (đặc trưng bởi góc δ_*). Ngoài ra có thể tìm được giới hạn của nhiễu ban đầu $\Delta\delta_0$ để đảm bảo $\Delta\delta(t) \rightarrow 0$, nghĩa là tìm thời gian cắt ngắn mạch cho phép. Đó chính là tinh thần của tiêu chuẩn ổn định theo Ljapunov.



Hình 16-1

Khái niệm trung tâm của phương pháp thứ hai (trực tiếp) Ljapunov là nghiên cứu trực tiếp sự ổn định của vị trí cân bằng của hệ phương trình (16-1) bằng cách xây dựng hàm Ljapunov V mà không cần tìm nghiệm của hệ phương trình đó.

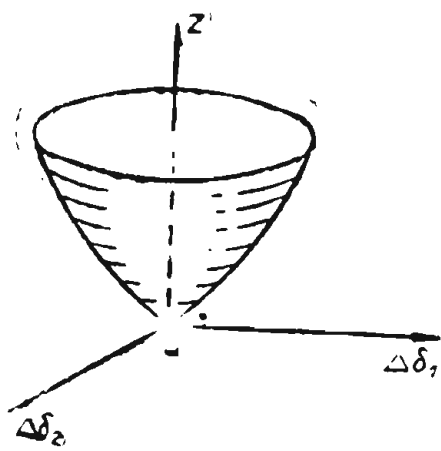
V là một hàm vô hướng, ở đây V phụ thuộc vectơ biến $\Delta\delta$ nên kí hiệu $V(\Delta\delta)$.

Điều kiện đủ của ổn định được phát biểu dưới dạng định lí sau đây:

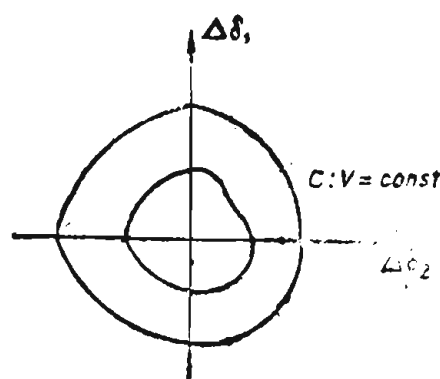
1. Định lí Ljapunov về ổn định. Nếu trong miền Ω lân cận gốc tọa độ ta xây dựng được hàm $V(\Delta\delta) > 0$ sao cho $\frac{dV}{dt} \leq 0$ thì vị trí điểm cân bằng $\Delta\delta = 0$ là ổn định.

Hàm Ljapunov $V(\Delta\delta)$ ở đây có những tính chất sau: liên tục cùng với đạo hàm riêng của nó trong miền Ω lân cận gốc tọa độ, xác định dấu trong miền Ω (ở đây giả thiết là xác định dương), và $V(\Delta\delta) = 0$ khi $\Delta\delta = 0$.

Biểu diễn hình học của hàm $V(\Delta\delta)$ theo hai biến $\Delta\delta_1, \Delta\delta_2$ trên hình 16-2a. Ngoài ra vì $V(\Delta\delta)$ là đơn trị nên những đường mức khi $V = C = \text{const}$ trên mặt phẳng $\Delta\delta_1, \Delta\delta_2$ như trên hình 16-2b có tính chất là: ứng với giá trị V lớn, đường mức hoàn toàn bao ngoài mức ứng với giá trị V bé.



Hình 16-2a



Hình 16-2b

Định lí về ổn định trên đây có thể nhận thức được một cách trực giác như sau: Vì hàm $V(\Delta\delta)$ liên tục mà luôn luôn dương, ngược lại $\frac{dV}{dt} \leq 0$, nên nếu có điểm ở lân cận gốc tọa độ, quỹ đạo chuyển động của điểm đó sẽ hướng về chiều giảm giá trị V , nghĩa là đi xuống gốc tọa độ và quá trình là ổn định. Chứng minh chi tiết độc giả có thể tìm thấy ở [TK-7]. Khi $\frac{dV}{dt} < 0$ thì gốc tọa độ có ổn định tiệm cận.

Chú ý là định lí trên đây nêu điều kiện đủ của ổn định, nghĩa là khi có những điều kiện trên thì hệ đủ là ổn định, nhưng khi những điều kiện trên

không có thì chưa hẳn hệ không ổn định. Vì vậy còn nói định lý Ljapunov về ổn định là quá chặt.

Vì khảo sát ổn định động, nghĩa là khả năng ổn định của hệ khi có những nhiễu lớn, nên điều quan trọng là phải xác định miền ổn định Ω mà khi đó tồn tại hàm $V(\Delta\delta)$, hoặc cần xác định giá trị nhiễu $\Delta\delta_0$ lớn nhất mà khi đó hệ còn ổn định. Điều này được thực hiện như sau: Cần xác định đường mức lớn nhất $l(\Delta\delta)$ trên mặt phẳng $\Delta\delta$ còn nằm trong miền ổn định Ω , từ đây xác định được giá trị cực đại $\Delta\delta_0$ của nhiễu mà chế độ sau sự cố vẫn ổn định. Như vậy có thể nêu lên chỉ tiêu ổn định theo phương pháp hàm Ljapunov là tìm một khối nhiễu chiều (biến $\Delta\delta$ là nhiễu chiều) có cạnh $2\epsilon_{\max}$ nằm hoàn toàn trong vùng tồn tại hàm $V(\Delta\delta)$ ở lân cận gốc tọa độ. Khi đó ứng với những nhiễu ban đầu $\Delta\delta_0$ khác nhau ta có các giá trị hàm $V(\Delta\delta_0)$ khác nhau, vậy tiêu chuẩn ổn định là

$$V(\Delta\delta_0) < l(\epsilon_{\max}) \quad (16-4)$$

trong đó giá trị góc $\delta_{\text{cắt}}$ hoặc $t_{\text{cắt}}$ đã phản ánh vào nhiễu $\Delta\delta_0$.

$l(\epsilon_{\max})$ là giá trị cực đại của hàm $l(\epsilon)$, nghĩa là hàm $V(\Delta\delta)$ khi thay $\Delta\delta = \epsilon$ và cho $\frac{dl(\epsilon)}{d\epsilon} = 0$.

Từ bất đẳng thức (16-4) với các giá trị $t_{\text{cắt}}$ khác nhau, ta xác định được giá trị giới hạn của nhiễu ban đầu $\Delta\delta_0$ và suy ra $t_{\text{cắtgh}}$ nhằm đảm bảo ổn định động của hệ thống, như vậy đã có lời phán đoán chặt chẽ.

2. Xây dựng hàm Ljapunov.

Hiện nay chưa có lý thuyết tổng quát để xây dựng hàm Ljapunov V cho mọi trường hợp, tuy nhiên đã tìm được phương pháp xây dựng hàm V cho một số dạng phương trình khác nhau. Về ý nghĩa vật lý, có thể hiểu là hàm V đặc trưng cho năng lượng của hệ, vì tính ổn định của vị trí hệ có liên quan đến năng lượng của hệ trong trạng thái đó. Rõ ràng vị trí là ổn định khi năng lượng của hệ ở trạng thái đó là cực tiểu. Tiêu chuẩn ổn định theo Ljapunov là sự mở rộng của ý nghĩa này.

Sau đây ta xét một vài ví dụ đơn giản về cách xây dựng hàm Ljapunov và khảo sát ổn định của điểm cân bằng.

VÍ DỤ 16-1. Xét phương trình vi phân bậc 2:

$$\ddot{x} + g(x) = 0 \quad (a)$$

trong đó $g(x)$ là hàm khả vi với mọi x .

Phương trình này có thể hiểu như định lý chuyển động của chất điểm dưới tác dụng của lực $g(x)$.

Đưa về dạng hai phương trình vi phân bậc 1, bằng cách thay biến

$$x = x_1$$

$$\dot{x} = x_2$$

Khi đó có hệ phương trình vi phân sau đây:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= -g(x_1) \end{aligned} \right\} \quad (b)$$

hệ (b) tương đương với (a).

Giả thiết đặt $G(x_1) = \int_0^{x_1} g(x_1) dx_1$. Nếu $g(x_1) > 0$ và chỉ bằng 0 tại $x_1 = 0$ thì:

$G(x_1) > 0$ nghĩa là hàm xác định dương và là thế năng của hệ. Còn động năng của hệ ở đây chính là $\frac{x_2^2}{2}$. Vì vậy hàm $V(x_1, x_2)$ được chọn trong dạng năng lượng toàn phần

$$V = \frac{x_2^2}{2} + \int_0^{x_1} g(x_1) dx_1.$$

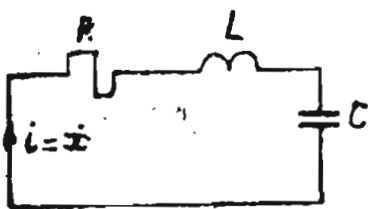
Khi đó $V(x_1, x_2)$ xác định dương, nghĩa là $V(x_1, x_2) > 0$ và $V(0, 0) = 0$.

Tiếp theo ta kiểm tra tính ổn định nghiệm của hệ (a) theo định lý Ljapunov.

Lấy đạo hàm $\frac{dV(x_1, x_2)}{dt}$ dựa vào (b) có:

$$\dot{V} = x_2 x_2 + g(x_1) \dot{x}_1 \text{ mà } \dot{x}_2 = -g(x_1) \text{ và } \dot{x}_1 = x_2 \text{ nên}$$

$\dot{V}(x_1, x_2) = 0$, nghĩa là thỏa mãn định lý Ljapunov và nghiệm $x = 0$ là ổn định.



Hình 16-3

VÍ DỤ 16-2. Khảo sát tính ổn định của mạch dao động R, L, C không nguồn như trên hình 16-3, nghĩa là khảo sát sự ổn định của trạng thái cân bằng hiện tại ($i \equiv 0$) khi xuất hiện nhiễu.

Ta viết hệ phương trình vi phân mô tả dao động của mạch:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int_0^t i dt = 0 \quad (a)$$

Ở đây có thể coi $\int_0^t i dt$ là giá trị điện lượng q và kí hiệu là biến x .

Khi đó $\ddot{x}$ là dòng điện i và phương trình (a) có dạng tổng quát như sau :

$$L\ddot{x} + R\dot{x} + \frac{1}{c}x + g(x, \dot{x}) = 0 \quad (c)$$

trong đó $g(x, \dot{x})$ là hàm phi tuyến bậc 2 trở lên, mô tả lực nhiễu nào đó.

Xét ổn định nghiệm 0 khi $x = 0, \dot{x} = 0$.

Đặt

$$x = x_1$$

$$\dot{x} = x_2$$

Hệ (c) trở thành :

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= -\frac{R}{L}x_2 - \frac{1}{cL}x_1 - \frac{g(x_1, x_2)}{L} \end{aligned} \right\} \quad (d)$$

chọn hàm

$$V = \frac{x_2^2}{2} + \int_0^{x_1} \left[\frac{1}{cL}x_1 + \frac{1}{L}g(x_1, x_2) \right] dx_1$$

$$V = \frac{x_2^2}{2} + \frac{1}{2cL}x_1^2 + \int_0^{x_1} \frac{1}{L}g(x_1, x_2)dx_1$$

Thành phần $\frac{x_2^2}{2} + \frac{1}{2cL}x_1^2$ là hàm xác định dương, còn thành phần

$\int_0^{x_1} \frac{1}{L}g(x_1, x_2)dx_1$ là hàm phi tuyến vô cùng nhỏ bé bậc 3 trở lên. Vì vậy dấu của V xác định theo thành phần đầu.

Tiếp theo xét $\dot{V}$ theo (d) ta có :

$$\begin{aligned} \dot{V} &= x_2\dot{x}_2 + \left[\frac{1}{cL}x_1 + \frac{1}{L}g(x_1, x_2) \right] \dot{x}_1 \\ &= x_2 \left[-\frac{R}{L}x_2 - \frac{1}{cL}x_1 - \frac{1}{L}g(x_1, x_2) \right] + \\ &\quad + \left[\frac{1}{cL}x_1 + \frac{1}{L}g(x_1, x_2) \right] x_2 \\ &= -\frac{R}{L}x_2^2 < 0. \end{aligned}$$

Vậy điểm $x = 0; \dot{x} = 0$ là ổn định tiệm cận, phản ánh bản chất vật lý của bài toán.

16-3. TIÊU CHUẨN ỔN ĐỊNH ĐỘNG THEO LJAPUNOV CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN.

Trong mục này trình bày ứng dụng phương pháp hàm Ljapunov xác định điều kiện ổn định động của hệ thống điện với giả thiết là hệ bảo toàn (không xét lực cản), chẳng hạn coi máy phát điện có sức điện động là hằng số và bỏ qua quá trình quá độ điện từ, bỏ qua điện trở của các phần tử, hệ thống nhận điện có công suất vô cùng lớn.

Trạng thái chuyển động tương đối của hệ thống điện gồm n máy phát được mô tả bởi hệ phương trình vi phân bậc 2 sau đây:

$$T_{ji} \frac{d^2 \delta_i}{dt^2} = P_{oi} - P_i(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n) = \Delta P_i \quad (16-5)$$
$$i = 1, 2, \dots, n$$

trong đó δ_i là góc của máy i so với vector đồng bộ

P_{oi} là công suất ban đầu của máy i

P_i là công suất điện của máy i trong các trạng thái khác nhau (khi sự cố và sau sự cố)

T_{ji} là hằng số quán tính của máy i .

Khi xảy ra ngắn mạch sự cân bằng công suất bị phá vỡ, vector góc $\delta = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n)$ biến thiên theo qui luật là nghiệm $\delta(t)$ của hệ (16-5) với vế phải $\Delta P \neq 0$

Khi sự cố được loại trừ sau thời gian $t_{cắt}$ nào đó hệ thống nếu được ổn định thì cân bằng công suất được khôi phục ở chế độ xác lập sau sự cố đặc trưng bởi vector góc $\delta_* = \text{const}$. Khi đó có

$$\Delta P_i = P_{io} - P_i(\delta_*) = 0 \quad (16-6)$$
$$i = 1, 2, \dots, n$$

Như vậy bài toán ổn định động của hệ thống điện được đưa về xét ổn định của trạng thái xác lập sau sự cố δ_* và gọi $\delta_*(t)$ là chuyển động không nhiễu ứng với nhiễu ban đầu nào đó: $\Delta \delta_o = \delta_{cắt} - \delta_*$, trong đó $\delta_{cắt}$ là góc ứng với thời điểm cắt sự cố.

Tóm lại là tìm giá trị giới hạn của nhiễu $\Delta \delta_o$ để $\delta_*(t)$ là ổn định.

Đề áp dụng phương pháp hàm Ljapunov ta chuyển hệ phương trình (16-5) về dạng viết theo biến nhiễu $\Delta \delta$.

Trong trường hợp đơn giản, hệ (16-5) viết được [xem chương 15]:

$$P_i = \frac{E_i U}{x_{iu}} \sin \delta_i + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \frac{E_i E_k}{x_{ik}} \sin \delta_{ik} \quad (16-7)$$

Thực hiện phép đổi biến để nghiên cứu tính ổn định của chuyển động bị nhiễu $\delta_i(t) = \delta_{i*} + \Delta\delta_i(t)$ và tương tự có:

$\delta_{ik}(t) = \delta_{ik*} + \Delta\delta_{ik}(t)$. Từ đây, hệ (16-5) viết trong dạng:

$$T_{Ji} \frac{d^2\delta_{*i}}{dt^2} + T_{Ji} \frac{d^2\Delta\delta_i}{dt^2} = P_{oi} - \left[\frac{E_i U}{x_{iu}} \sin(\delta_{*i} + \Delta\delta_i) + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \frac{E_i E_k}{x_{ik}} \sin(\delta_{*ik} + \Delta\delta_{ik}) \right]$$

do đó:

$$T_{Ji} \frac{d^2\Delta\delta_i}{dt^2} = P_{oi} - \left[\frac{E_i U}{x_{iu}} (\sin \delta_{*i} \cos \Delta\delta_i + \sin \Delta\delta_i \cos \delta_{*i}) \right] + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \frac{E_i E_k}{x_{ik}} (\sin \delta_{*ik} \cos \Delta\delta_{ik} + \sin \Delta\delta_{ik} \cos \delta_{*ik})$$

Theo biểu thức (16-6) ở chế độ xác lập sau sự cố ta có:

$$P_{oi} = P_i(\delta_{*}) = \frac{E_i U}{x_{iu}} \sin \delta_{*i} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \frac{E_i E_k}{x_{ik}} \sin \delta_{*ik}$$

thay giá trị P_{oi} vào phương trình trên, ta được:

$$T_{Ji} \frac{d^2\Delta\delta_i}{dt^2} = - \left[\frac{E_i U}{x_{iu}} \cos \delta_{*i} \sin \Delta\delta_i - \frac{E_i U}{x_{iu}} \sin \delta_{*i} (1 - \cos \Delta\delta_i) \right] - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \left[\frac{E_i E_k}{x_{ik}} \cos \delta_{*ik} \sin \Delta\delta_{ik} - \frac{E_i E_k}{x_{ik}} \sin \delta_{*ik} (1 - \cos \Delta\delta_{ik}) \right] \quad (16-8)$$

Trong trường hợp chỉ xét đến tính đồng bộ giữa n máy phát với thanh cái điện áp $U = \text{const}$, mà bỏ qua sự liên hệ ngang giữa các máy phát, nghĩa là ghép đẳng trị các máy phát do đó: $\Delta\delta_{ik} = 0$, khi đó phương trình chuyển động bị nhiễu (16-8) có dạng đơn giản:

$$T_{Ji} \frac{d^2\Delta\delta_i}{dt^2} = - \left[\frac{E_i U}{x_{iu}} \cos \delta_{*i} \sin \Delta\delta_i - \frac{E_i U}{x_{iu}} \sin \delta_{*i} (1 - \cos \Delta\delta_i) \right] \quad (16-9)$$

với $i = 1, 2, \dots, n$.

Ở đây lưu ý là các điện kháng x_{iu} ở (16-8) được xác định theo sơ đồ sau khi cắt sự cố.

Đặt biến mới $\frac{d\Delta\delta_i}{dt} = \frac{d\delta_i}{dt} = S_i$ là hệ số trượt hoặc tốc độ tương đối của rôto máy i so với tốc độ đồng bộ ω_0 . Khi đó hệ phương trình vi phân bậc 2 dạng (16-8) chuyển thành hai hệ phương trình vi phân bậc 1 sau đây:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Delta\delta}{dt} &= S \\ T_J \frac{dS}{dt} &= -g(\Delta\delta) - HI \end{aligned} \right\} \quad (16-10)$$

trong đó $\Delta\delta$ là vector n biến gia số góc $\Delta\delta_i$,

S là vector n biến hệ số trượt.

T_J là ma trận đường chéo cấp n các hằng số quán tính.

$g(\Delta\delta)$ là vector hàm n phân tử phụ thuộc $\Delta\delta_i$

H là ma trận vuông cấp n có các phần tử trên đường chéo chính bằng 0, còn các phần tử khác là hàm của $\Delta\delta_{ik}$, trong đó $\Delta\delta_{ik} = \Delta\delta_i - \Delta\delta_k$ và

$$\delta_{0,ik} = \delta_{0,i} - \delta_{0,k}$$

I là vector đơn vị hạng n .

Bài toán bây giờ là xét ổn định động của gốc tọa độ, nghĩa là ổn định của hệ nghiệm $S = 0$ và $\Delta\delta = 0$ của (16-10) gồm $2n$ phương trình vi phân bậc 1 với $2n$ ẩn S_i và $\Delta\delta_i$, $i = 1, 2, \dots, n$

Để đưa ra chỉ tiêu ổn định động theo Ljapunov ta lập hàm $V(S, \Delta\delta)$ trong dạng năng lượng toàn phần như ở ví dụ trong mục trước

$$V(S, \Delta\delta) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n T_{Ji} S_i^2 + \sum_{i=1}^n \int_0^{\Delta\delta_i} g_i(\Delta\delta_i) d\Delta\delta_i + \sum_{i < k} \int_0^{\Delta\delta_{ik}} H(\Delta\delta_{ik}) d\Delta\delta_{ik} \quad (16-11)$$

Vì giả thiết hệ thống bảo toàn, nên $\dot{V} = \frac{dV}{dt} = 0$. Tuy nhiên trong các trường hợp cụ thể cần xác định miền ứng với giá trị nhiều ban đầu $\Delta\delta_0$ mà hệ ổn định, nghĩa là thỏa mãn định lý về ổn định Ljapunov: $V > 0$ và $\dot{V} \leq 0$.

Sau đây ta xét cho trường hợp đơn giản: hệ thống gồm một máy làm việc với thanh $U = \text{const}$ và có xét đến điện trở trong mạng điện. Khi đó hệ phương trình (16-10), do các $\Delta\delta_{ik} = 0$, nên trở thành:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Delta\delta}{dt} &= S \\ T_J \frac{dS}{dt} &= -g(\Delta\delta) \end{aligned} \right\} \quad (16-12)$$

trong đó

$$g(\Delta\delta) = \frac{EU}{Z} \cos(\delta_{\bullet} - \alpha) \sin \Delta\delta - \frac{EU}{Z} \sin(\delta_{\bullet} - \alpha) (1 - \cos \Delta\delta)$$

Z là tổng trở tương hồ giữa E và U

α là góc phụ của tổng trở Z

$\delta_{\bullet}$ là góc xác lập ở trạng thái sau sự cố

Hàm Ljapunov $V(S, \Delta\delta)$ xây dựng theo (16-11) có dạng:

$$V(S, \Delta\delta) = \frac{1}{2} T_J S^2 + \frac{EU}{Z} \cos(\delta_{\bullet} - \alpha) \cos \Delta\delta - \frac{EU}{Z} \sin(\delta_{\bullet} - \alpha) (\Delta\delta - \sin \Delta\delta) \quad (16-13)$$

Tiếp theo cần xác định chỉ tiêu ổn định động dựa theo bất đẳng thức (16-4), nghĩa là phải xác định hình vuông trên mặt phẳng $(S, \Delta\delta)$ với cạnh $\epsilon_{\max}$ sao cho có đường mức $l(\epsilon)$ là cực đại mà vẫn còn tồn tại hàm $V(S, \Delta\delta)$. Vì thành phần $T_J S^2$ luôn dương và triệt tiêu ở $S = 0$ nên ta không cần quan tâm khi xác định $l(\epsilon)$. Ở đây khi thay $\Delta\delta = \epsilon$ vào $V(\Delta\delta)$ có:

$$l(\epsilon) = \frac{EU}{Z} \cos(\delta_{\bullet} - \alpha) \cos \alpha - \frac{EU}{Z} \sin(\delta_{\bullet} - \alpha) (\epsilon - \sin \epsilon) \quad (16-14)$$

Tìm $\epsilon_{\max}$ sao cho $l(\epsilon)$ đạt max, nghĩa là $\frac{dl(\epsilon)}{d\epsilon} = 0$, ta có:

$$\epsilon_{\max} = 2 \arctg [\cotg(\delta_{\bullet} - \alpha)] = \pi - 2(\delta_{\bullet} - \alpha) \quad (16-15)$$

Thay giá trị $\epsilon_{\max}$ vào (16-14), áp dụng bất đẳng thức về chỉ tiêu ổn định động theo Ljapunov (16-4) ta có:

$$\begin{aligned} & \frac{T_J S_0^2}{2 \frac{EU}{Z} \cos(\delta_{\bullet} - \alpha)} - \tg(\delta_{\bullet} - \alpha) (\Delta\delta_0 - \sin \Delta\delta_0) - \cos \Delta\delta_0 < \\ & < 1 - \tg(\delta_{\bullet} - \alpha) \{ [\pi - 2(\delta_{\bullet} - \alpha)] - \sin[\pi - 2(\delta_{\bullet} - \alpha)] \} \end{aligned} \quad (16-16)$$

trong đó $\Delta\delta_{\bullet} = \delta_{\bullet} - \delta_{\text{cắt}}$

Như vậy thay đổi $t_{\text{cắt}}$ với các giá trị khác nhau, có $\delta_{\text{cắt}}$ và $\Delta\delta_0$ khác nhau và đạt đến giá trị giới hạn khi biểu thức (16-16) trở thành đẳng thức.

Đối với hệ gồm nhiều máy ta có phương pháp giải tương tự, cần lưu ý khi đó $l(\epsilon)$ phụ thuộc không những vào các $\Delta\delta_i$ của từng máy đối với thanh cái U mà còn phụ thuộc vào những $\Delta\delta_{ik}$ giữa máy i và k .

Từ những thảo luận trên đây thấy rằng phương pháp khảo sát ổn định động của hệ thống điện có thể tiến hành theo các bước sau đây:

1) Thành lập hệ phương trình vi phân mô tả trạng thái hệ thống điện sau khi cắt sự cố. Chuyển hệ n phương trình vi phân bậc 2 thành $2n$ phương trình vi phân bậc nhất với nghiệm là S và $\Delta\delta$.

2) Thành lập hàm Ljapunov $V(S, \Delta\delta)$ của hệ thống điện ở trạng thái sau khi cắt sự cố.

3) Xác định $l(\epsilon)$ bằng cách thay $\epsilon = \Delta\delta$ vào hàm $V(S, \Delta\delta)$. Tìm $\max l(\epsilon)$ từ đó xác định $\epsilon_{\max}$.

4) Với $t_{\text{cắt}} = t_{\text{cắt } 1}$ tính giá trị hàm $V_0(S_0, \Delta\delta_0)$, trong đó $\Delta\delta_0 = \delta_{\text{cắt } 1} - \delta_0$:

$$S_0 = \left. \frac{d\Delta\delta}{dt} \right|_{t=0} = 0$$

Để xác định $\Delta\delta_0$ cần giải hệ phương trình vi phân của hệ thống ở trạng thái sự cố:

$$\frac{d\delta}{dt} = S$$

$$\frac{dS}{dt} = -g(\delta)$$

từ đây ứng với $t_{\text{cắt } 1}$ xác định được $\delta_{\text{cắt } 1}$ và $\Delta\delta_0$.

5) So sánh giá trị V_0 với $l(\epsilon_{\max})$.

Nếu $V_0 = l(\epsilon_{\max})$ thì chính $t_{\text{cắt } 1}$ là giá trị giới hạn của thời gian cắt sự cố.

Nếu $V_0 < l(\epsilon_{\max})$ thì lấy $t_{\text{cắt } 2} > t_{\text{cắt } 1}$ và tính lại từ bước 4. Thường bắt đầu bằng $t_{\text{cắt } 1}$ nhỏ để có $V_0 < l(\epsilon_{\max})$, sau đó tiếp tục tăng $t_{\text{cắt}}$ đến $t_{\text{cắt gh}}$.

16-4. ÁP DỤNG.

Sử dụng phương pháp hàm Ljapunov nghiên cứu ổn định động của hệ thống điện đơn giản có sơ đồ như trên hình 16-4, trong đó tổng trở tương hỗ Z giữa E_1 và U ở tình trạng sau khi cắt sự cố. Ở đây

$$Z = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3}$$

và đã tính được:

$$Z = 0,575 \text{ và } \alpha = -15^\circ 40'$$

Giá trị góc δ_0 ở trạng thái xác lập sau sự cố, (vận hành một lộ của đường dây tải điện) đã xác định $\delta_0 = 31^\circ$.

Tiếp theo xác định $V(S, (\Delta\delta))$ và $l(\epsilon_{\max})$:

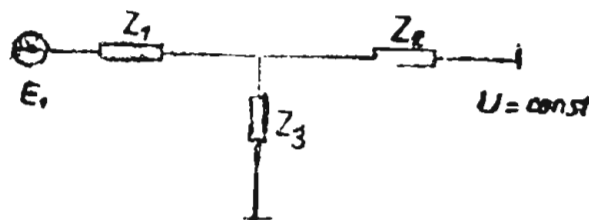
$$l(\epsilon_{\max}) = 1 - \operatorname{tg}(\delta_* - \alpha) \{ [\pi - 2(\delta_* - \alpha)] - \sin[\pi - 2(\delta_* - \alpha)] \} = 0,455$$

Tiếp theo xác định V_0 . Cần tính $\Delta\delta_0 = \delta_{\text{cắt}} - \delta_*$ với các $t_{\text{cắt}}$ khác nhau. Cần giải hệ trong tình trạng sự cố:

$$\frac{d\delta}{dt} = S$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{1}{T_1} [P_0 - P_2] = \frac{1}{T_1} \left\{ P_0 - \left[\frac{E_1^2}{Z_{11}} \sin\alpha_{11} + \frac{EI}{Z_{1U}} \sin(\delta - \alpha) \right] \right\}$$

trong đó $Z_{11}, Z_{1U}, \alpha_{11}, \alpha$ ứng với trạng thái sự cố, với sơ kiện $\delta_0 = 16^\circ 30'$; $S_0 = 0$.



Hình 16-4

Thay các giá trị $t_{\text{cắt}}$ khác nhau, so sánh V_0 và $l(\epsilon_{\max})$ cuối cùng nhận được

Khi ngắn mạch 3 pha: $t_{\text{cắt gh}} = 0,145\text{s}$

Khi ngắn mạch hai pha nối đất: $t_{\text{cắt gh}} = 0,165\text{s}$.

16.5. KẾT LUẬN:

Phương pháp thứ hai của Ljapunov một cách trực tiếp đã khảo sát tính ổn định động của hệ thống điện như một hành vi của chuyển động nói chung và như vậy cho ta một cách nhìn tổng quát, một chỉ tiêu chặt chẽ về ổn định động dựa trên bất đẳng thức

$$V_0 < l(\epsilon_{\max})$$

trong đó giá trị V_0 được tính với những giá trị $t_{\text{cắt}}$ khác nhau. Vì vậy một cách có ý thức đã xác định được $t_{\text{cắt h}}$ khi đó V_0 đạt đến mức $l(\epsilon_{\max})$. Trong trường hợp này không cần giải các hệ phương trình vi phân nhằm xác định các đường cong chuyển động $\delta_{ik} = f(t)$ ứng với các giá trị $t_{\text{cắt}}$ khác nhau như ở phương pháp phân đoạn liên tiếp.

Tuy nhiên phương pháp hàm Ljapunov cho điều kiện đủ của ổn định, nghĩa là hệ thống tồn tại hàm $V(x)$ thì ổn định nhưng nếu chưa tìm được hàm $V(x)$ thì chưa nói được là hệ không ổn định. Ngoài ra việc tìm hàm $V(x)$ chưa có thủ tục tổng quát nên việc áp dụng phương pháp hàm Ljapunov để xét ổn định động của hệ thống điện còn hạn chế so với các phương pháp giải gần đúng hệ phương trình vi phân mô tả hành vi của hệ thống điện trong dao động lớn và hiệp thực trên máy tính điện tử.

- [1] ВЕНИКОВ В.А. Электрические системы, том III, высшая школа, Москва, 1972
 - [2] REISS L., Teoreticka elektrotenergetika I. Bratislava, 1967
 - [3] BREBELIJ L., Prenos elektrickej energie, ALFA, Bratislava, 1956
 - [4] ВЕНИКОВ В.А., Расчеты режимов дальних электропередач, энергия, Москва, 1966
 - [5] ЖДАНОВ И.М., Устойчивость электрических систем, энергия, Москва, 1949
 - [6] ВЕНИКОВ В.А. Электромеханические переходные процессы в электрических системах, госэнергоиздат, Москва, 1961
 - [7] ЛАСАЛЬ-ЛЕФЩИП, Исследование устойчивости прямым методом ляпунова, мир, Москва, 1961.
 - [8] ĐẶNG NGỌC DINH Ổn định của hệ thống điện, Giáo trình ĐHBK Hà Nội, 1969
Giáo trình ĐHBK Thành phố Hồ Chí Minh, 1977.
 - [9] TRẦN BÁCH, Ổn định của hệ thống điện, Giáo trình ĐHBK Hà Nội, 1976.
-

MỤC LỤC

	Trang
Lời nói đầu	3
Phần thứ nhất.	7
XÁC ĐỊNH NHU CẦU ĐIỆN NĂNG (DỰ BÁO PHỤ TẢI)	
Chương một. Các phương pháp dự báo điện năng	
1-1. Khái niệm chung	7
1-2. Các phương pháp dự báo nhu cầu điện năng	9
1-3. Đánh giá tương quan giữa các đại lượng trong mô hình dự báo.	12
1-4. Phương pháp bình phương cực tiểu	15
Chương hai. Phương pháp san bằng hàm mũ dự báo năng lượng.	
2-1. Đặt vấn đề	24
2-2. Dự báo theo phương pháp san bằng hàm mũ	24
2-3. Đánh giá sai số dự báo trung bình.	33
Chương ba. Xác định toán tử dự báo tối ưu trong năng lượng.	
3-1. Cơ sở toán học	27
3-2. Áp dụng.	41
Chương bốn. Sử dụng mô hình lý thuyết thông tin đánh giá tương quan trong dự báo nhu cầu điện năng	
4-1. Định nghĩa Entropi – đặc trưng độ bất định	49
4-2. Đặc tính của Entropi	51
4-3. Entropi đồng thời và Entropi có điều kiện	53
4-4. Khái niệm về lượng thông tin	54
4-5. Đánh giá tương quan trong dự báo nhu cầu điện năng	55
	353

Chương năm Dự báo nhu cầu điện năng có xét đến yếu tố mùa và sóng mùa

5-1. Đặt vấn đề	62
5-2. Dự báo nhu cầu điện năng khi xét đến yếu tố mùa	63
5-3. Dự báo nhu cầu điện năng theo mô hình sóng mùa	77

Tài liệu tham khảo	83
--------------------	----

Phần thứ hai.

LÍ THUYẾT TỐI ƯU TRONG QUI HOẠCH HỆ THỐNG ĐIỆN

Chương sáu. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN KINH TẾ—KỸ THUẬT TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

6-1. Mở đầu	84
6-2. Xây dựng hàm mục tiêu tính toán kinh tế—kỹ thuật	85
6-3. Lựa chọn tiết diện dây dẫn điện	89
6-4. Tính chất đa chỉ tiêu của bài toán	90
6-5. Vai trò mô hình toán học và bài toán qui hoạch	93

Chương bảy. PHƯƠNG PHÁP LAGRANGE — PHÂN PHỐI TỐI ƯU CÔNG SUẤT TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

7-1. Mở đầu	97
7-2. Thành lập bài toán Lagrange	98
7-3. Phân phối tối ưu công suất giữa các nhà máy nhiệt điện	102
7-4. Đặc điểm và thủ tục phân phối	105
7-5. Phân phối tối ưu công suất giữa nhiệt điện và thủy điện	111
7-6. Đặc điểm và thủ tục phân phối	115
7-7. Sơ lược về phương pháp Lagrange mở rộng	119

Chương tám. ỨNG DỤNG BÀI TOÁN QUI HOẠCH TUYẾN TÍNH TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

8-1. Mở đầu	123
8-2. Những khái niệm cơ bản của bài toán qui hoạch tuyến tính	125
8-3. Thuật toán đơn hình	129
8-4. Mô tả tổng quát thuật toán đơn hình	137
8-5. Ứng dụng	143
8-6. Bài toán vận tải trong qui hoạch tuyến tính	148
8-7. Bài toán qui hoạch số nguyên	157

Chương chín. XÁC ĐỊNH CẤU TRÚC TỐI ƯU CỦA MẠNG ĐIỆN

9-1. Mở đầu - Xây dựng hàm mục tiêu	163
9-2. Thuật toán tìm cây bao trùm nhỏ nhất	167
9-3. Thuật toán đơn hình giải bài toán $\min Z_2$	169
9-4. Bài toán vận tải mở rộng - Xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện	172
9-5. Bài toán qui hoạch số nguyên - Xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện	176
9-6. Phương pháp cận và nhánh - Xác định cấu trúc tối ưu của mạng điện	179
9-7. Kết luận	188

Chương mười. QUY HOẠCH PHI TUYẾN ÁP DỤNG TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

10-1. Mở đầu	190
10-2. Phương pháp Lagrange và định lý Kuhn - Tucker	192
10-3. Bài toán qui hoạch bình phương	195
10-4. Phương pháp gradient	200

Chương mười một. ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP QUI HOẠCH ĐỘNG TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

11-1. Mở đầu - Tinh thần qui hoạch động	205
11-2. Thành lập phương trình phiếm hàm Bellman	208
11-3. Áp dụng	211
11-4. Phương pháp qui hoạch động khi hàm mục tiêu có dạng tổng	216
11-5. Phương pháp qui hoạch động xác định cơ cấu tối ưu các tổ máy làm việc	219
11-6. Áp dụng	224
11-7. Phương pháp qui hoạch động xác định cơ cấu tối ưu các tổ máy làm việc khi xét đến tổn hao ở máy	229
11-8. Nối thêm và áp dụng phương pháp qui hoạch động	233
Tài liệu tham khảo	237

Phần thứ ba

TẢI ĐIỆN ĐI XA VÀ ỔN ĐỊNH CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

V₁

Chương mười hai. HỆ THỐNG TẢI ĐIỆN ĐI XA VÀ CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC

12-1. Hệ thống điện	239
12-2. Tải điện đi xa	242
12-3. Các phương trình cơ bản của đường dây tải điện đi xa	246
12-4. Công suất tự nhiên	252
12-5. Tính toán các chế độ làm việc của đường dây không tổn thất ($R = 0$; $G = 0$)	254
12-6. Tính toán chế độ của đường dây có tổn thất và đường dây có điện hai đầu không đổi	259

12-7. Tính toán gần đúng chế độ của đường dây tải điện đi xa bằng các số đồ thay thế	263
12-8. Tính toán tổn thất công suất và tổn thất điện năng	269
12-9. Các chế độ đặc biệt của đường dây tải điện đi xa	272
12-10. Khả năng tải của đường dây tải điện và các biện pháp nâng cao	280

Chương mười ba. THIẾT KẾ ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN ĐI XA

13-1. Mở đầu	283
13-2. Lựa chọn cấp điện áp	284
13-3. Lựa chọn số mạch và sơ đồ tải điện	285
13-4. Lựa chọn tiết diện dây dẫn	287
13-5. Lựa chọn các thiết bị bù và các thiết bị khác	291
13-6. Các chỉ dẫn tính toán thiết kế	291

Chương mười bốn. ỔN ĐỊNH TĨNH CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

14-1. Mở đầu - Độ dự trữ ổn định tĩnh	295
14-2. Xây dựng đường đặc tính công suất	299
14-3. Phương pháp đạo động nhỏ nghiên cứu ổn định tĩnh của hệ thống điện	309

Chương mười lăm. ỔN ĐỊNH ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

15-1. Mở đầu - Những giả thiết cơ bản	315
15-2. Ổn định động khi công suất hệ nhận điện là vô cùng lớn	319
15-3. Ổn định động khi hệ thống nhận điện có công suất hữu hạn	327
15-4. Ổn định của hệ thống điện phức tạp	334
15-5. Những biện pháp chủ yếu nâng cao ổn định động của hệ thống điện	337

Chương mười sáu. SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP HÀM LJAPUNOV NGHIÊN CỨU ỔN ĐỊNH ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

16-1. Mở đầu	340
16-2. Hàm Ljapunov - Tiêu chuẩn ổn định động	341
16-3. Tiêu chuẩn ổn định động theo Ljapunov của hệ thống điện	345
16-4. Áp dụng	349
16-5. Kết luận	

Tài liệu tham khảo

Mục lục

HỆ THỐNG ĐIỆN

TẬP I

19 × 26,5. In tại Nhà máy in Diên Hồng - Hà Nội. Số in 508/T4
In xong và nộp lưu chiểu tháng 10 năm 1981



Gla : 27 d 50