

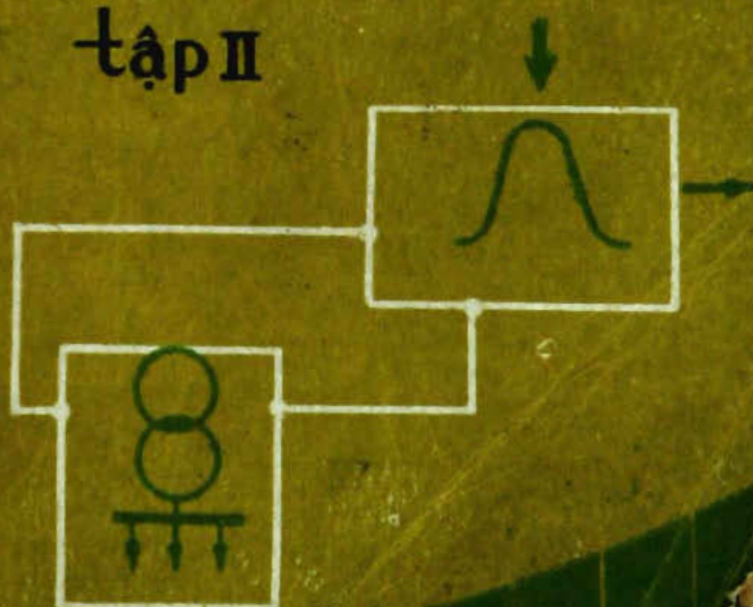
VV
Đ 234

ĐẶNG NGỌC DINH — TRẦN BÁCH
NGÔ HỒNG QUANG — TRỊNH HÙNG THẨM

THƯ VIỆN
TRƯỜNG TRUNG HỌC
KHOA KỸ THUẬT MIỀN BẮC
Số 5295

Hệ thống điện

tập II



NGUYỄN NGHIỆP

NHÀ XUẤT BẢN
ĐẠI HỌC VÀ TRUNG HỌC CƠ BẢN

**ĐẶNG NGỌC DINH — NGÔ HỒNG QUANG
TRẦN BÁCH — TRỊNH HÙNG THẨM**

Chủ biên: **ĐẶNG NGỌC DINH**

HỆ THỐNG ĐIỆN

TẬP II

(GIẢI TÍCH, THIẾT KẾ, ĐỘ TIN CẬY VÀ CHẤT LƯỢNG
ĐIỆN NĂNG CỦA MẠNG ĐIỆN)

52/95

49538

234

NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC VÀ TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP
HÀ NỘI — 1981

Biên tập . TRẦN NHẬT TÂN
Sửa bản in : NGÔ THỊ LỰA
Trình bày bìa : SĨ KHƯƠNG

LỜI NÓI ĐẦU

Đây là tập thứ II của bộ sách « **HỆ THỐNG ĐIỆN** », do một nhóm tác giả là cán bộ giảng dạy thuộc Bộ môn Hệ thống điện (phát dẫn điện) trường Đại học Bách khoa Hà Nội viết.

Tập này nhằm cung cấp cho sinh viên ngành điện (hệ thống điện, cung cấp và điện khí hóa xí nghiệp hoặc nông nghiệp, kinh tế năng lượng...) những kiến thức cơ bản trong lĩnh vực giải tích mạng lưới điện, đánh giá các mặt hành vi của hệ cung cấp điện như độ tin cậy, chất lượng điện năng v.v...

Ngoài những kiến thức trong khuôn khổ giáo trình ngành rộng, đáp ứng cho đòi hỏi kỹ sư về phát-dẫn — cung cấp — sử dụng điện, trong các chương có thể hiện những nội dung mở rộng, nhằm trang bị những kiến thức cần thiết trong lĩnh vực nghiên cứu phát triển.

Nội dung cuốn sách gồm ba phần:

Phần thứ nhất. Giải tích và thiết kế mạng điện

Trong phần này ở các chương 1, 2, 3 trình bày ngắn gọn những nội dung tính toán chế độ làm việc của mạng điện, nhằm xác định các thông số trạng thái của hệ cung cấp điện như: dòng điện trên các nhánh, điện áp tại các nút, tổn thất công suất, điện năng trong mạng điện v.v..., phục vụ công tác thiết kế và vận hành mạng điện. Trong các chương này đã cố gắng nêu lên đặc điểm của chuyên tải điện năng xoay chiều nhằm thấy được bản chất vật lý của các thông số mạng điện như tổng trở, tổng dẫn khi giải tích mạng điện.

Biện pháp giảm tổn thất điện năng nhằm nâng cao tính kinh tế khi vận hành mạng điện khảo sát từ khía cạnh bù công suất phản kháng được đề cập trong chương 7.

Những nội dung cơ bản và một số lưu ý khi thiết kế sơ bộ mạng điện được trình bày ở chương 6 và 8.

Hai chương 4 và 5 của phần này nhằm cung cấp những kiến thức cần thiết để giải tích mạng điện phức tạp nhờ công cụ đại số ma trận và phương pháp lập tạo thuận lợi cho bước chương trình hóa và nhờ sự giúp đỡ của máy tính điện tử số.

Bên cạnh những áp dụng cụ thể trong hai chương 4 và 5 đã cố gắng nêu lên những ưu điểm chung của ngôn ngữ ma trận và chuẩn bị cho tinh thần mở rộng của thuật toán lập theo hướng tìm kiếm lời giải trong môi trường tồn tại bất định.

Phần thứ hai. Độ tin cậy cung cấp điện

Những khái niệm cơ bản trong các chương ở phần này có thể sử dụng cho những hệ có bản chất vật lý khác nhau.

Chương 9 mang tính chất mở đầu, trình bày những định nghĩa và khái niệm chủ yếu trong lý thuyết độ tin cậy.

Chương 10 nhằm cung cấp một số phương pháp xác định độ tin cậy của hệ có cách chấp nối khác nhau giữa các phần tử và áp dụng trong việc tính độ tin cậy cung cấp điện. Do đặc điểm kinh tế của hệ thống điện, việc đánh giá độ tin cậy cung cấp điện thường đưa về việc xác định giá trị trung bình thiệt hại kinh tế hàng năm do thiếu hụt điện năng. Đây cũng là một trong những chỉ tiêu quan trọng khi lựa chọn phương án cung cấp điện.

Do tính chất áp dụng rộng rãi của quá trình ngẫu nhiên Markov trong việc mô tả hệ quả các trạng thái và xác suất chuyển giữa chúng nên đã dành chương 11 cho việc sử dụng quá trình Markov đánh giá độ tin cậy cung cấp điện. Ở đây cũng hi vọng phương pháp quá trình Markov sẽ được áp dụng để nghiên cứu những vấn đề khác trong hệ thống năng lượng.

Một trong những phương hướng chủ yếu để nâng cao độ tin cậy của hệ là thực hiện dự trữ, vì thông thường « muốn tin cậy thì phải thừa ». Chương 12 khảo sát mức độ dự trữ tối ưu về các phần tử trọng sơ đồ mạch điện và dự trữ tối ưu công suất trong hệ thống điện. Chỉ tiêu tối ưu ở đây dựa trên sự hài hòa mâu thuẫn giữa vốn đầu tư và thiệt hại kinh tế do kém tin cậy.

Để nâng cao độ tin cậy của hệ, ngoài cách thực hiện dự trữ còn có thể sử dụng những biện pháp khi vận hành, quản lí, chủ yếu là tiến hành kiểm tra, phát hiện sự cố, tu sửa định kì v.v... Chương 13 xây dựng một số mô hình toán học của sách lược tối ưu trong vận hành hệ cung cấp điện dựa trên những áp dụng về quá trình Markov và nửa Markov.

Chương 14 xây dựng mô hình toán học mối quan hệ giữa độ tin cậy cung cấp điện và chất lượng điện năng, sử dụng một số khái niệm từ lí thuyết thông tin, chuẩn bị nhìn nhận công tác quản lí chất lượng hệ thống điện theo phương hướng tiếp cận hệ thống.

Để tăng cường tính áp dụng, ngoài những ví dụ rải rác trong các chương, ở phần này đã dành phụ chương 1 trình bày một số bài tập về các vấn đề xung quanh độ tin cậy và chủ ý dùng phương pháp xác định độ tin cậy cung cấp điện có xét đến khả năng tái của các phần tử.

Phần thứ ba. Chất lượng điện năng.

Trong hai chương 15, 16 ngoài những khái niệm cơ bản về chất lượng điện áp và tần số trong hệ thống điện cũng mối quan hệ định lượng giữa chúng, đã dành phần quan trọng để trình bày một cách hệ thống những biện pháp điều chỉnh điện áp theo độ lệch so với giá trị định mức.

Ngoài tiêu chuẩn về độ lệch hiệu dụng, chất lượng điện áp còn được đánh giá theo mức độ đối xứng giữa các pha trong hệ ba pha. Chương 17 dành cho nội dung nghiên cứu chế độ không đối xứng và biện pháp đối xứng hóa trong hệ thống điện. Trong chương này ngoài những khái niệm về nguyên nhân, tác hại của hiện tượng không đối xứng, đã khảo sát một cách định lượng những chế độ không đối xứng điển hình và những biện pháp đối xứng hóa, chủ yếu theo hướng tác động (bù) vào các thông số của hệ thống (chẳng hạn điện kháng thứ tự nghịch).

Trong nhiều trường hợp việc đánh giá chất lượng điện năng theo chỉ tiêu cường độ trên dây (độ lệch, độ không đối xứng) tỏ ra phiến diện, chưa phản ánh đầy đủ thông tin để điều khiển điều độ hệ thống và chưa quán triệt khía cạnh kinh tế của vấn đề. Vì vậy chương 18 đã đề cập đến khái niệm xác suất và khái niệm tối ưu trong mô tả và điều khiển chất lượng điện năng nhằm đánh giá chất lượng trong không gian ba chiều: chiều rộng của cường độ (độ lệch), chiều dài của thời gian (chỉ tiêu tích phân) và chiều sâu của hiệu quả kinh tế (điện áp tối ưu). Ở đây cũng hi vọng rằng cách tiếp cận này sẽ được sử dụng khi nghiên cứu những vấn đề khác.

Những áp dụng của phương pháp lí thuyết xác suất ngày càng có vai trò quan trọng khi giải quyết các bài toán kĩ thuật và kinh tế. Phụ chương 2 dành riêng để trình bày một cách thực dụng những khái niệm cơ bản và các phép toán xác suất.

Cũng như các tập trong bộ sách, các phần trong cuốn sách này được viết trong khuôn khổ hệ thống nhưng có thể nghiên cứu độc lập.

Các chương được phân công viết như sau:

— Đặng Ngọc Định: chủ biên, viết lời nói đầu và các chương 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, phụ chương 1 và phụ chương 2.

Trong đó một số mục của chương 5 có sự tham gia của Phạm Văn Hòa, Vương Văn Liên và Nguyễn Ngọc Hải.

— Ngô Hồng Quang: viết các chương 1, 2, 3, 6, 7, 8.

— Trần Bách: viết các chương 15, 16, 18.

— Trịnh Hùng Thám: viết chương 17.

Tập thể tác giả chân thành cảm ơn Ban biên tập Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp đã cố gắng để cuốn sách được hoàn tất sớm.

Những ý kiến phê bình, góp ý xin gửi theo địa chỉ:

Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp Hà Nội hoặc

Bộ môn Hệ thống điện (Phát dân điện) trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.

CÁC TÁC GIẢ

PHẦN THỨ NHẤT

GIẢI TÍCH VÀ THIẾT KẾ MẠNG ĐIỆN

Trong phần này từ đặc điểm của việc chuyển tải điện năng xoay chiều quyết định bản chất vật lý các thông số của mạng điện đã trình bày những phương pháp giải tích mạng điện, nhằm xác định các thông số trạng thái dòng điện trên các nhánh, điện áp các nút, tổn thất trong mạng điện v.v...

Giải tích mạng điện nhờ đại số ma trận và những thuật toán lặp Gauss — Seidel, Neuton, Ma trận tổng trở Z được trình bày theo tinh thần khai thác khía cạnh ưu việt của phương pháp luận như tổng quát, dễ chương trình hóa để dùng máy tính số, tìm kiếm lời giải qua các bước hiệu chỉnh liên tục vì đối tượng phi tuyến hoặc tồn tại bất định.

Nội dung về lựa chọn các phần tử của mạng điện và những chú ý khi thiết kế mạng điện chỉ được đề cập sơ bộ.

CHƯƠNG I

CÁC THÔNG SỐ CỦA MẠNG ĐIỆN

Mọi tính toán về điện sẽ thực hiện trên sơ đồ thay thế mạng điện. Thành lập sơ đồ thay thế bao gồm lựa chọn sơ đồ cho mỗi phần tử mạng điện, tính toán các thông số của chúng và chấp nối chúng lại với nhau.

Các thông số có mặt trên sơ đồ thay thế phản ánh những hiện tượng vật lý xảy ra trên các phần tử mạng điện khi có dòng điện xoay chiều ba pha chạy qua như phát nóng, từ hóa, rò điện, tản từ, vầng quang điện v.v...

Sau đây lần lượt trình bày phương pháp xác định các thông số và sơ đồ thay thế hai phần tử chủ yếu của mạng điện: đường dây và máy biến áp.

1.1. ĐIỆN TRỞ VÀ CẢM KHÁNG CỦA ĐƯỜNG DÂY

Điện trở của đường dây trên không và cáp được xác định theo vật liệu và tiết diện vật dẫn. Trị số của nó có thể tra được theo các bảng cho sẵn. Cần chú ý là số liệu cho trong bảng ứng với nhiệt độ nhất định θ_0 , ví dụ, với các số liệu của Liên Xô thì $\theta_0 = +20^\circ\text{C}$. Khi nhiệt độ môi trường sai khác nhiều cần xác định lại điện trở theo công thức:

$$r_\theta = r_0 [1 + \alpha (\theta - \theta_0)] \quad (1-1)$$

Trong đó r_θ — điện trở 1 km đường dây ở nhiệt độ θ

r_0 — điện trở 1 km đường dây tra theo bảng ứng với θ_0

— hệ số nhiệt độ của điện trở, với đồng, nhôm và nhôm lõi thép $\alpha = 0,004$.

Cũng có thể xác định trị số gần đúng của điện trở theo công thức:

$$r_o = \frac{\rho}{F} = \frac{1000}{\gamma F} \Omega/km \quad (1-2)$$

Trong đó ρ — điện trở suất của vật liệu làm dây dẫn, $\Omega mm^2/km$

γ — điện dẫn suất của vật liệu làm dây dẫn, $m/\Omega mm^2$

F — tiết diện dây dẫn, mm^2

Trị số của ρ , γ tra theo bảng đặc tính của vật liệu dây dẫn

Bảng 1-1

Đặc tính của vật liệu dây dẫn

Đại lượng	Vật liệu dây dẫn	
	đồng	nhôm
Điện dẫn suất, $m/\Omega mm^2$	53	31,7
Điện trở suất $\Omega mm^2/km$	18,8	31,5

Thông số điện trở phản ánh hiện tượng phát nóng dây dẫn khi dòng điện chạy qua.

Khi tải dòng điện xoay chiều ba pha, xung quanh dây dẫn và bên trong dây dẫn xuất hiện một từ trường. Lực điện động xuất hiện trong mỗi dây dẫn do từ trường tất cả các pha gây ra phụ thuộc vào khoảng cách tương hỗ giữa các dây. Trên sơ đồ thay thế mạng điện hiện tượng lẫn từ đó được phản ánh qua thông số cảm kháng. Cảm kháng tỉ lệ với lực điện động, do đó cũng phụ thuộc vào khoảng cách tương hỗ giữa các dây dẫn. Nếu dây dẫn được đặt trên ba đỉnh tam giác đều thì cảm kháng của dây dẫn các pha bằng nhau, còn nếu chúng nằm trên mặt phẳng ngang thì cảm kháng các dây pha sẽ khác nhau, khi đó muốn chúng có trị số bằng nhau cần hoán vị dây dẫn. Cảm kháng trên 1 km của một pha đường dây tương ứng với khoảng cách tương hỗ khác nhau cho sẵn trong các bảng hoặc xác định theo công thức:

$$x_o = 0,1445 \lg \frac{D_{tb}}{R} + 0,0157 [\Omega/km] \quad (1-3)$$

Trong đó R — bán kính dây dẫn

D_{tb} — khoảng cách trung bình hình học giữa các dây

$$D_{tb} = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}}$$

với D_{12} , D_{23} , D_{31} — khoảng cách giữa các pha tương ứng 1, 2, 3. Thấy rằng khi dây dẫn đặt trên ba đỉnh tam giác đều cạnh D thì $D_{12} = D_{23} = D_{31} = D = D_{tb}$, còn khi dây dẫn đặt nằm ngang cách nhau D thì

$$D_{tb} = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2D} = 1,26D.$$

Đối với các đường dây cao áp từ 330kV trở lên, để giảm cảm kháng, kinh tế hơn cả là dùng biện pháp phân nhỏ dây dẫn. Ở các đường dây đó, dây dẫn mỗi một pha được phân ra làm 2, 3, 4 dây nhỏ treo vào cùng một chuỗi sứ và được giữ cách nhau một khoảng cách nhất định bằng thiết bị đặc biệt. Việc phân nhỏ dây dẫn làm tăng đáng kể bán kính của nó, và do đó làm giảm cảm kháng đường dây. Khi đó:

$$x_0 = 0,1445 \lg \cdot \frac{D_{tb}}{R_{dt}} + \frac{0,0157}{n}$$

Trong đó n — số dây dẫn trong một pha

R_{dt} — bán kính đẳng trị của các dây dẫn trong 1 pha

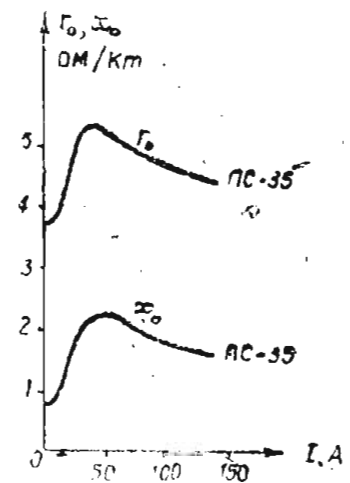
$$R_{dt} = \sqrt[n]{R \cdot a_{tb}^{n-1}}$$

R — bán kính thực của mỗi dây phân nhỏ

a_{tb} — khoảng cách trung bình hình học giữa các dây dẫn trong một pha.

Thực tế cho thấy là khi mỗi pha phân làm hai dây thì cảm kháng đường dây giảm xuống khoảng 15 — 20%, khi phân làm 3 dây thì giảm xuống 25 — 30%.

Các công thức trên thành lập cho dây dẫn bằng đồng, nhôm và nhôm lõi thép là các loại dây hiện được dùng phổ biến trên đường dây tải điện. Trường hợp dùng dây dẫn bằng thép thì cần chú ý là điện trở và cảm kháng của nó không những phụ thuộc vào tiết diện mà còn phụ thuộc vào dòng điện trong dây (hình 1-1); vì thế r_0 và x_0 của dây thép được lấy theo số liệu thực nghiệm của nhà máy trong các bảng cho sẵn. Ngoài ra, với dây cáp, vì khoảng cách giữa các dây pha rất nhỏ, khó xác định cảm kháng của nó theo công thức, cần tra bảng.



Hình 1-1

1-2. ĐIỆN DẪN VÀ DUNG DẪN CỦA ĐƯỜNG DÂY

Điện dẫn là thông số phản ánh hiện tượng tổn thất công suất tác dụng trong sứ và điện môi. Phần công suất tổn thất trong sứ của đường dây trên không ở mọi cấp điện áp đều rất nhỏ thường không cần tính đến.

Ở đường dây 110kV và cao hơn, trong những điều kiện nhất định có thể xuất hiện vầng quang điện. Đó là khi cường độ điện trường trên bề mặt dây dẫn đủ lớn làm ion hóa mạnh lớp không khí bao quanh gây nên hiện tượng phóng điện ion.

Vầng quang điện gây nhiều hậu quả nghiêm trọng: tổn thất đáng kể điện năng, đặc biệt ở những vùng có khí hậu ẩm ướt, và làm oxy hóa mạnh bề mặt dây dẫn. Để hạn chế vầng quang điện người ta quy định tiết diện dây dẫn nhỏ nhất cho mỗi cấp điện áp, ví dụ AC-70 cho 110kV, AC-240 cho 220kV. Đối với điện áp siêu cao 330, 500, 750kV, người ta còn dùng biện pháp phân nhỏ dây dẫn ở mỗi pha. Song những biện pháp trên chỉ hạn chế mà không hoàn toàn loại trừ

hiện tượng vàng quang điện. Vì vậy, mặc dù đã thực hiện chúng, thông số điện dẫn vẫn có mặt trên sơ đồ thay thế đường dây điện áp siêu cao.

Điện dẫn đường dây được xác định theo tổn thất công suất tác dụng $G = \Delta P_{vq}/U^2$ trong đó ΔP_{vq} là tổn thất vàng quang điện có thể xác định theo những công thức kinh nghiệm.

Không cần xét đến điện dẫn của đường dây cáp.

Khi có dòng điện xoay chiều chạy qua, giữa dây dẫn các pha và giữa chúng với đất xuất hiện một trường tĩnh điện. Dưới tác dụng của trường tĩnh điện, trong chất điện môi bao quanh dây dẫn xuất hiện dòng điện chuyển dịch (còn gọi là dòng điện nạp của đường dây) có tính chất điện dung, nó vượt trước 90° so với điện áp pha. Trị số của dòng điện chuyển dịch tùy thuộc vào điện áp và dung dẫn của đường dây

$$I_c = U_p \cdot b_0 l = U_p \cdot B$$

trong đó U_p — điện áp pha của đường dây; l — chiều dài đường dây; b_0 — dung dẫn trên 1 km đường dây.

Với độ chính xác đủ dùng trong tính toán kỹ thuật b_0 được xác định theo công thức:

$$b_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{D_{tb}}{R}} 10^{-6} \quad [1/\Omega km] \quad (1-4)$$

nếu là đường dây có dây dẫn phân nhỏ thì trị số R trong công thức trên được thay bằng R_{dt} .

Công suất phản kháng xuất hiện trên đường dây còn gọi là công suất phản kháng do đường dây sinh ra, bằng:

$$Q_c = 3I_c U_p = 3U_p^2 b_0 l = U^2 b_0 l \quad (1-5)$$

trong đó U — điện áp dây.

Nhận thấy rằng Q_c phụ thuộc chủ yếu vào điện áp của đường dây. Với đường dây 35kV và thấp hơn có Q_c rất nhỏ; với 100km đường dây 110kV có $Q_c \approx 3MVar$ và với 100km đường dây 220kV có $Q_c \approx 13MVar$.

Dòng điện điện dung của đường dây cáp lớn hơn đường dây trên không vì thế khi dùng cáp điện áp từ 20kV trở nên người ta đã phải xét đến thông số dung dẫn trên sơ đồ thay thế.

1-3. SƠ ĐỒ THAY THẾ CỦA ĐƯỜNG DÂY

Các thông số của đường dây — điện trở, cảm kháng, điện dẫn và dung dẫn hầu như phân bố đồng đều dọc theo đường dây. Tuy nhiên, trong các tính toán thực tế với sai số cho phép, với những đường dây có độ dài không lớn lắm — đường dây trên không đến 300km và đường dây cáp đến 50km — có thể dùng các thông số tập trung.

Tiện lợi hơn cả là dùng sơ đồ thay thế hình Π (hình 1-2, a) trong đó tổng trở và tổng dẫn tính theo biểu thức

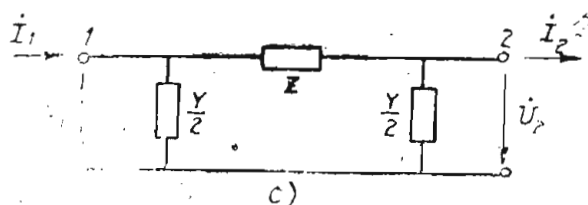
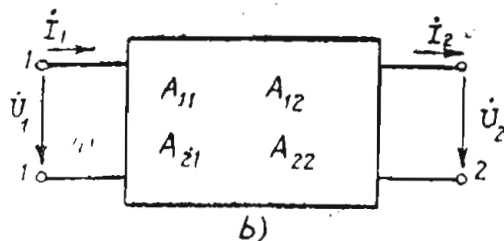
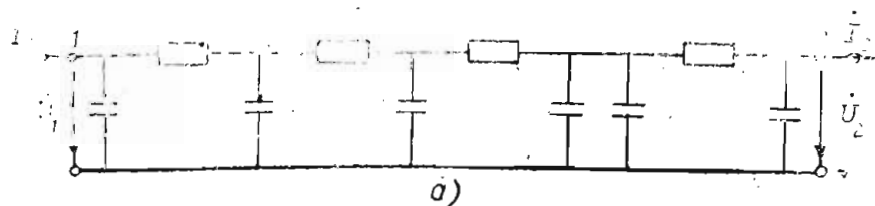
$$\begin{aligned} Z &= R + jX = (r_0 + jx_0)l \\ Y &= G + jB = (g_0 + jb_0)l \end{aligned} \quad (1-6)$$

Như đã nói ở phần trên, đối với đường dây mạng điện khu vực, điện áp 110 — 220kV đã chú ý đến tiết diện lõi thép hạn chế vầng quang điện, trên sơ đồ thay thế thường bỏ qua thông số điện dẫn G (hình 1-2, b). Sơ đồ thay thế đường dây mạng điện địa phương đã bỏ qua tổng dẫn, cho trên hình 1-2, c. Riêng với đường cáp 6 — 10kV và thấp hơn, vì trị số cảm kháng rất nhỏ thường bỏ qua, sơ đồ thay thế rất đơn giản, thuần trở (hình 1-2, d). Đối với đường dây mạng điện một chiều, chú ý là $x_0 = \omega L_0 = 0$ và $b_0 = \omega C_0 = 0$, sơ đồ thay thế cũng thuần trở như đã cho trên hình 1-2, d.

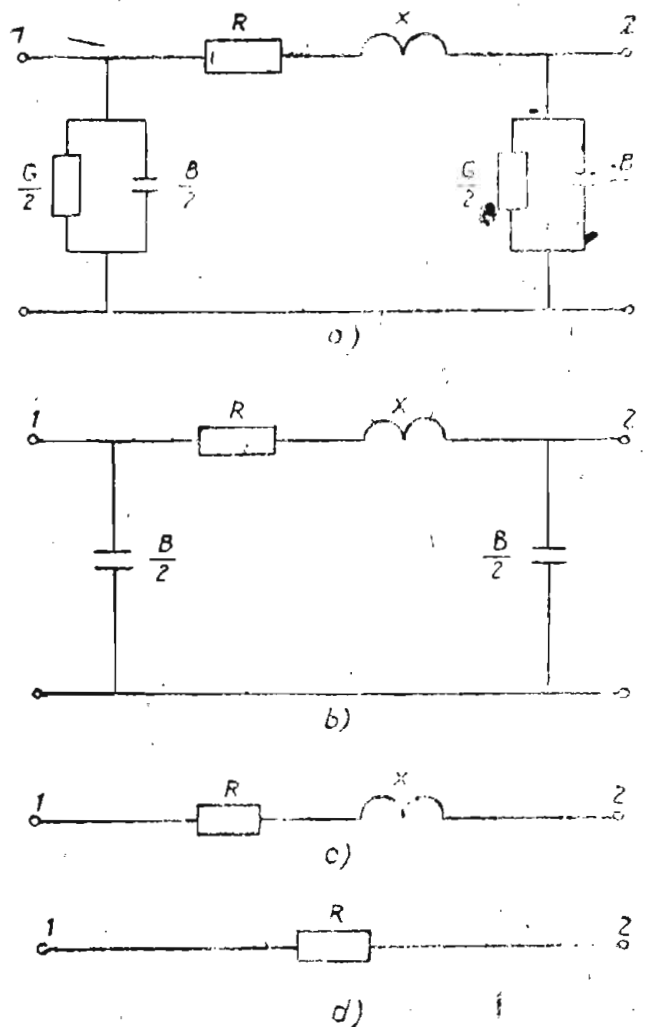
Đường dây mạng điện áp siêu cao thường dài hàng ngàn km, cần được xem là đường dây dài có thông số rải đều (hình 1-3, a). Khi đó có thể xét nó theo mô hình mạng hai cực (hình 1-3, b) với các phương trình truyền đạt quen biết:

$$\dot{U}_1 = A_{11}\dot{U}_2 + A_{12}\sqrt{3}\dot{I}_2$$

$$\dot{I}_1 = A_{21}\frac{\dot{U}_2}{\sqrt{3}} + A_{22}\dot{I}_2$$



Hình 1-3



Hình 1-2

trong đó

$$A_{11} = A_{22} = \text{ch}\gamma l$$

$$A_{12} = Z_c \text{sh}\gamma l$$

$$A_{21} = \frac{1}{Z_c} \text{sh}\gamma l$$

U_1, U_2 — điện áp dây tại cửa 1 và 2. I_1, I_2 — dòng điện pha tại cửa 1 và 2.
Sơ đồ hình Π tương đương với mạng hai cửa đó (hình 1-3, c) có các thông số:

$$Z = Z_c \text{sh}\gamma l$$

$$Y = \frac{2}{Z_c} \text{th} \frac{\gamma l}{2}$$

Cũng có thể phân nhỏ đường dây dài thành nhiều đoạn ngắn hơn, khoảng 200 — 300 km, mỗi đoạn thay thế bằng sơ đồ thông số tập trung hình Π , sau đó ghép nối tiếp chúng lại thành sơ đồ xâu chuỗi. Tại các điểm nối đặt vào một phụ tải bằng công suất tổn thất do vầng quang điện trên mỗi đoạn (hình 1-4). Những chi tiết về đường dây dài (tải điện đi xa) được trình bày ở tập I của bộ sách



Hình 1-4

1-4. CÁC THÔNG SỐ VÀ SƠ ĐỒ THAY THẾ MÁY BIẾN ÁP

Trước hết xét máy biến áp ba pha hai cuộn dây là loại được dùng phổ biến nhất trong hệ thống điện. Khi tính toán nó người ta thường dùng sơ đồ thay thế hình Π (hình 1-5) với bốn thông số đặc trưng cho quá trình tải điện qua nó: điện trở R_B , cảm kháng X_B , điện dẫn G_B và cảm dẫn B_B . trong đó:

$$R_B = R_1 + R_2$$

$$X_B = X_1 + X_2$$

R_2 và X_2 là điện trở và cảm kháng của cuộn dây thứ cấp 2 đã quy đổi về cuộn sơ cấp 1.

Tổng trở máy biến áp $Z_B = R_B + jX_B$ phản ánh hiện tượng tổn thất công suất tác dụng do hiệu ứng Jun và hiện tượng tổn thất công suất phản kháng do tản từ trong hai cuộn dây, còn tổng dẫn $Y_B = G_B + jB_B$ phản ánh hiện tượng tổn thất công

suit trong lõi thép máy biến áp: phát nóng do dòng Foucault và tổn hao gây từ. Những lượng tổn thất trong lõi thép hầu như không phụ thuộc vào tải của

máy biến áp và bằng lúc không tải; vì vậy để tiện lợi hơn, trong tính toán thường dùng sơ đồ hình 1-5b.

Các thông số của máy biến áp có thể tính toán theo bốn số liệu của máy biến áp nhà chế tạo cho: tổn thất ngắn mạch ΔP_N , tổn thất không tải ΔP_o , điện áp ngắn mạch $U_N\%$ và dòng điện không tải $I_o\%$. Bốn số liệu trên là kết quả của việc làm thí nghiệm ngắn mạch (với dòng định mức) và thí nghiệm không tải (với áp định mức).

$$\Delta P_N = 3I_{dm}^2 R_B = \frac{S_{dm}^2}{U_{dm}^2} R_B$$

suy ra

$$R_B = \frac{\Delta P_N U_{dm}^2}{S_{dm}^2}$$

Tính toán với hệ đơn vị thường dùng sẽ có:

$$R_B = \frac{\Delta P_N [kW] \cdot U_{dm}^2 [kV^2] \cdot 10^3}{S_{dm}^2 [kVA^2]} [\Omega] \quad (1-7)$$

Biết rằng đối với máy biến áp $R_B \ll X_B$, nghĩa là có thể bỏ qua điện áp rơi trên R_B , vì thế:

$$U_N\% \approx \frac{I_{dm} X_B}{U_{dm} / \sqrt{3}} \cdot 100$$

Từ đó:

$$X_B = \frac{U_N\% \cdot U_{dm}^2 [kV^2] \cdot 10}{S_{dm} [kVA]} [\Omega] \quad (1-8)$$

Tổng dẫn máy biến áp xác định theo các lượng tổn hao không tải

$$\Delta P_o \approx U_{dm}^2 \cdot G_B$$

$$\Delta Q_o \approx U_{dm}^2 \cdot B_B$$

suy ra:

$$G_B = \frac{\Delta P_o}{U_{dm}^2} \quad (1-9)$$

$$B_B = \frac{\Delta Q_o}{U_{dm}^2} \quad (1-10)$$

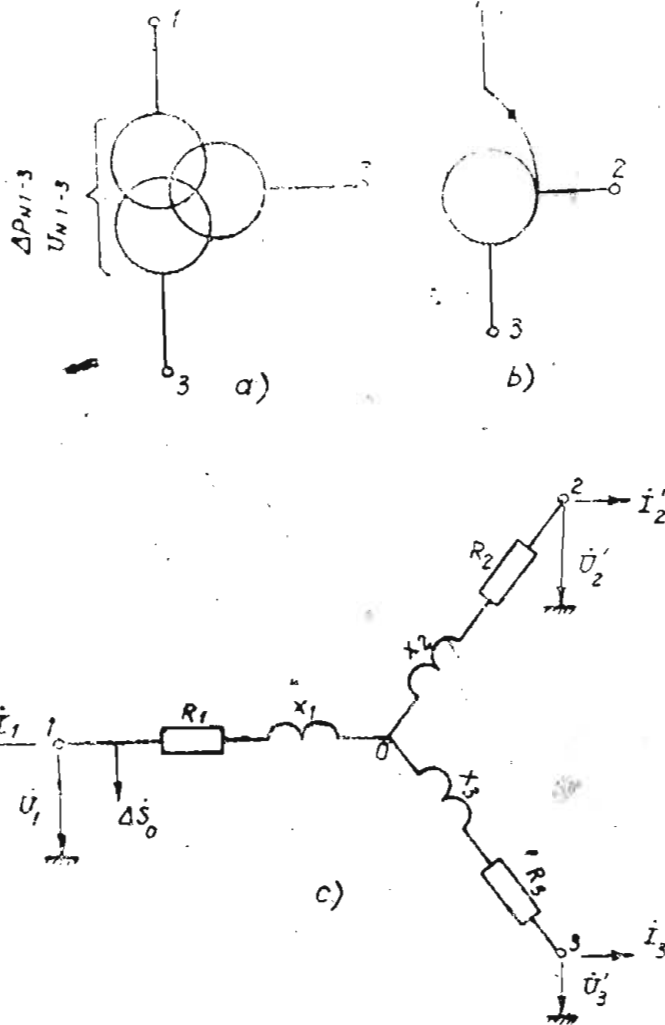
chú ý rằng $\Delta Q_o \gg \Delta P_o$, vì thế

$$\begin{aligned} I_o\% &= \frac{I_o}{I_{dm}} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} I_o U_{dm}}{\sqrt{3} I_{dm} U_{dm}} \cdot 100 = \frac{S_o}{S_{dm}} \cdot 100 \approx \\ &\approx \frac{\Delta Q_o}{S_{dm}} \cdot 100. \end{aligned}$$

từ đó

$$\Delta Q_o \approx \frac{I_o\% S_{dm}}{100} [kVA] \quad (1-11)$$

Đối với máy biến áp ba cuộn dây và máy biến áp tự ngẫu nhà chế tạo cho những số liệu sau:



Hình 1-6

S_{dm} — công suất định mức của máy biến áp

$U_{1dm}, U_{2dm}, U_{3dm}$ — điện áp định mức của các cuộn cao, trung, hạ

ΔP_0 — tổn thất không tải,

$I_0\%$ — dòng điện không tải; $\Delta P_{12}, \Delta P_{13}, \Delta P_{23}$ — tổn thất ngắn mạch tương ứng với ba trạng thái làm thí nghiệm ngắn mạch máy biến áp; $U_{12}\%, U_{13}\%, U_{23}\%$ — điện áp ngắn mạch tương ứng với ba trạng thái thí nghiệm ngắn mạch.

Sơ đồ thay thế máy biến áp ba cuộn dây (hình 1-6,a) và máy biến áp tự ngẫu (hình 1-6,b) có dạng hình sao đặt thêm lượng tổn thất trong thép (hình 1-6,c).

Khi cho cuộn thứ hai ngắn mạch, cuộn 3 hở mạch còn cuộn 1 được đặt vào một điện áp sao cho trong cuộn 1 và 2 có dòng định mức người ta đo được ΔP_{12} và $U_{12}\%$, có:

$$\Delta P_{12} = \Delta P_1 + \Delta P_2$$

$$U_{12}\% = U_1\% + U_2\%.$$

Tiếp tục cho hở mạch cuộn 2, ngắn mạch cuộn 3 và đặt vào cuộn 1 điện áp sao cho trong cuộn 1 và 3 có dòng định mức, thu được ΔP_{13} và $U_{13}\%$, lúc đó:

$$\Delta P_{13} = \Delta P_1 + \Delta P_3$$

$$U_{13}\% = U_1\% + U_3\%.$$

Cuối cùng cho cuộn 1 hở mạch, cuộn 3 ngắn mạch, đặt vào cuộn 2 điện áp sao cho trong 2 và 3 có dòng định mức, thu được ΔP_{23} và $U_{23}\%$

$$\Delta P_{23} = \Delta P_2 + \Delta P_3$$

$$U_{23}\% = U_2\% + U_3\%.$$

Từ ba hệ phương trình trên dễ dàng tính được tổn thất ngắn mạch và điện áp ngắn mạch đối với từng cuộn dây theo số liệu đã cho:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_1 &= \frac{1}{2}(\Delta P_{12} + \Delta P_{13} - \Delta P_{23}) \\ \Delta P_2 &= \Delta P_{12} - \Delta P_1 \\ \Delta P_3 &= \Delta P_{13} - \Delta P_1 \end{aligned} \right\} \quad (1-12)$$

và

$$\left. \begin{aligned} U_1\% &= \frac{1}{2} (U_{12}\% + U_{13}\% - U_{23}\%) \\ U_2\% &= U_{12}\% - U_1\% \\ U_3\% &= U_{13}\% - U_1\% \end{aligned} \right\} \quad (1-13)$$

Từ đây có thể tính được các thông số của máy biến áp ba cuộn dây và biến áp tự ngẫu (Z_1, Z_2, Z_3) theo các công thức (1-7) và (1-8) giống như đối với máy biến áp hai cuộn dây.

Ví dụ 1-1. Xác định các thông số của sơ đồ thay thế máy biến áp tự ngẫu $220/121/11 \text{ kV}$. Công suất định mức 120 MVA có các số liệu sau: tổn thất không tải $\Delta P_0 = 160 \text{ kW}$, dung lượng định mức của các cuộn là $100/100/50\%$, các tổn thất ngắn mạch $\Delta P_{N1-2} = 360 \text{ kW}$, $\Delta P_{N1-3} = 240 \text{ kW}$, $\Delta P_{N2-3} = 240 \text{ kW}$; các điện áp ngắn mạch $U_{N1-2}\% = 10,5\%$, $U_{N1-3}\% = 36,2\%$, $U_{N2-3}\% = 23\%$, dòng không tải $I_0\% = 3\%$.

Giải. Trước hết cần quy đổi các tổn thất ngắn mạch giữa cuộn 1 — 3 và cuộn 2 — 3 về công suất định mức của máy biến áp tự ngẫu theo công thức

$$\Delta P_N = \Delta I_N \cdot \left(\frac{S_{dm}}{S_{tc}} \right)^2$$

trong đó S_{tc} là công suất định mức của cuộn hạ áp

$$\Delta P_{N1-3} = \Delta P_{N2-3} = 240 \cdot \left(\frac{120}{60} \right)^2 = 960 \text{ kW}.$$

Sử dụng các công thức (1-11), (1-12) có:

$$\Delta P_{N1} = 0,5(360 + 960 - 960) = 180 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{N2} = 360 - 180 = 180 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{N3} = 960 - 180 = 780 \text{ kW}$$

$$U_{N1}\% = 0,5(10,5 + 36,2 - 23) = 11,35\%$$

$$U_{N2}\% = 10,5 - 11,35 = -1,35\%$$

$$U_{N3}\% = 36,2 - 11,35 = 24,35\%$$

Từ đây tính được các thông số của máy biến áp tự ngẫu theo công thức (1-7) và (1-8)

$$R_1 = R_2 = \frac{180 \cdot 220^2 \cdot 10^3}{(120.000)^2} = 0,6 \Omega$$

$$R_3 = \frac{780 \cdot 220^2 \cdot 10^3}{(120.000)^2} = 2,6 \Omega$$

$$X_1 = \frac{10 \cdot 11,35 \cdot 220^2}{120.000} = 4,8 \Omega$$

$$X_2 = -\frac{10 \cdot 1,35 \cdot 220^2}{120.000} = -0,6 \Omega$$

$$X_3 = \frac{10 \cdot 24,35 \cdot 220^2}{120.000} = 9,8 \Omega$$

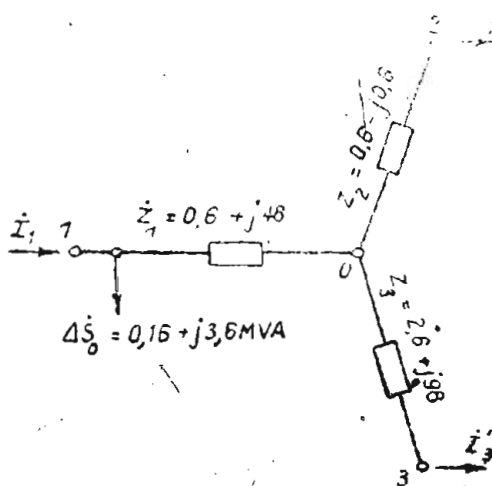
Cuối cùng, theo (1-11)

$$\Delta Q_0 = \frac{3}{100} \cdot 120 = 3,6 \text{ MVA}.$$

Sơ đồ thay thế cùng các thông số của nó cho ở hình 1-7.

Ví dụ 1-2. Thành lập sơ đồ thay thế và tính các thông số của một mạng điện như hình vẽ (hình 1-8, a). Đường dây điện áp 110 kV, dài 100 km, dây dẫn đặt trên mặt phẳng ngang cách nhau 4 m. Máy biến áp dung lượng 31.500 kVA có $\Delta P_o = 86 \text{ kW}$, $\Delta P_N = 200 \text{ kW}$, $I_o\% = 2,7\%$, $U_N\% = 10,5\%$.

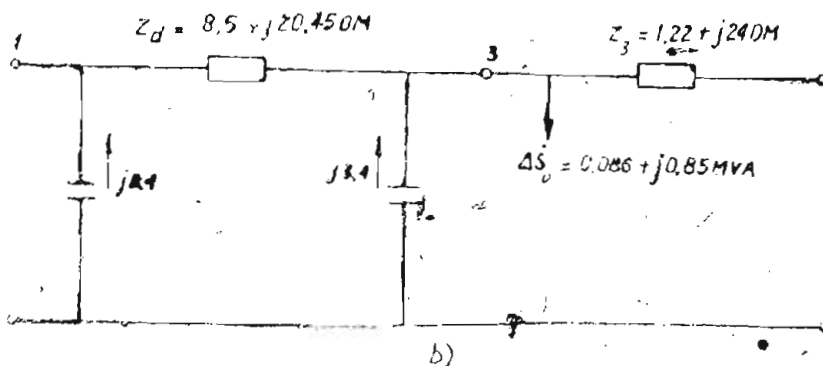
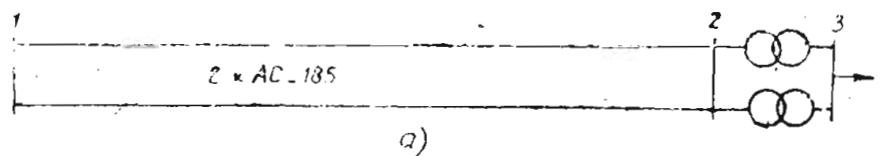
Giải. Sơ đồ thay thế mạng điện cho trên hình 1-8, b. Với dây AC-185 và $D_{tb} = 1,26 \cdot 4 = 5 \text{ m}$ tra bảng được $r_o = 0,17 \Omega/\text{km}$, $x_o = 0,409 \Omega/\text{km}$, $b_o = 2,82 \cdot 10^{-6} 1/\Omega \cdot \text{km}$. Điện trở và cảm kháng của đường dây kép:



Hình 1-7

Điện dẫn phản kháng một nửa đường dây

$$\frac{B}{2} = \frac{b_o \cdot l}{2} = \frac{2,82 \cdot 10^{-6} \cdot 100}{2} \cdot 2 = 2,82 \cdot 10^{-4} 1/\Omega$$



Hình 1-8

Công suất phản kháng do điện dung mỗi nửa đường dây sinh ra

$$Q_{c1} = Q_{c2} = \frac{B}{2} U^2 = 2,82 \cdot 10^{-4} \cdot 110^2 = 3,4 \text{ MVA.}$$

Tổn thất công suất phản kháng trong lõi thép máy biến áp

$$Q_o = \frac{2,7}{100} \cdot 31,5 = 0,85 \text{ MVAR}$$

Tổng trở của hai máy biến áp song song:

$$R_B = \frac{86 \cdot 10^2 \cdot 10^3}{(31.500)^2 \cdot 2} = 1,22 \Omega$$

$$X_B = \frac{10 \cdot 10,5 \cdot 110^2}{31.500 \cdot 2} = 24 \Omega$$

CHƯƠNG 2

ĐẶC TÍNH CHUYỂN TẢI ĐIỆN NĂNG

Khi chuyển tải điện năng từ nguồn đến hộ tiêu thụ, mỗi phần tử của mạng điện, do có tổng trở, đều gây nên tổn thất công suất và điện áp.

Tổn thất công suất gây ra tình trạng thiếu hụt điện năng tại các hộ dùng điện, làm tăng giá thành chuyển tải điện và làm giảm hiệu quả kinh tế của hệ thống điện.

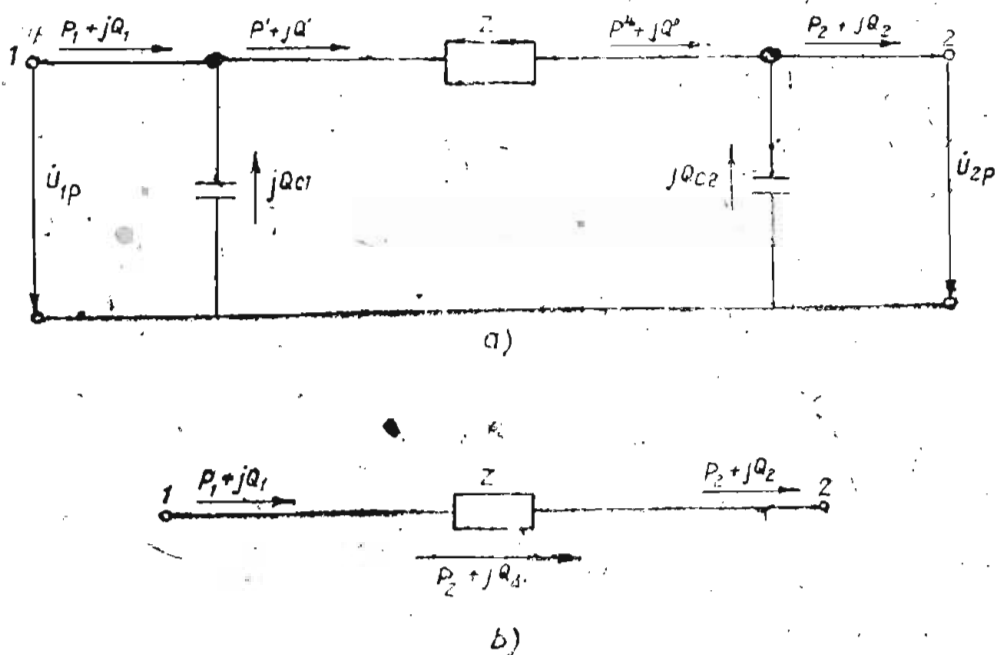
Tổn thất điện áp làm xuất hiện độ lệch điện áp tại các hộ tiêu thụ ảnh hưởng đến chất lượng điện năng dẫn đến làm giảm hiệu suất của các thiết bị dùng điện.

Các biện pháp vận hành kinh tế mạng điện nhằm giảm tổn thất điện năng sẽ đề cập tới ở chương 7, vấn đề điều chỉnh điện áp đảm bảo chất lượng điện năng xem ở phần thứ ba.

Chương này nghiên cứu phương pháp xác định các lượng tổn thất trên từng phần tử của mạng điện.

2-1. TỔN THẤT CÔNG SUẤT TRÊN ĐƯỜNG DÂY.

Trước hết xác định tổn thất công suất trên đường dây của mạng cung cấp có sơ đồ thay thế hình Π (hình 2-1a)



Hình 2-1

Công suất cuối đường dây S'' bằng công suất của tải $P_2 + jQ_2$ trừ đi lượng công suất phản kháng jQ_{c2} do đường dây sinh ra

$$S'' = P'' + jQ'' = P_2 + jQ_2 - jQ_{c2}$$

trong đó

$$Q_{c2} = \sqrt{3} I_{c2} U_2 = U_2^2 \frac{B}{2} \approx U_{dm}^2 \frac{B}{2}$$

Biết rằng khi có dòng xoay chiều ba pha chạy qua đường dây tổng trở $Z = R + jX$, tổn thất công suất tác dụng và phản kháng xác định theo công thức:

$$\Delta P = 3I^2 R = \frac{S^2}{U^2} R$$

$$\Delta Q = 3I^2 X = \frac{S^2}{U^2} X.$$

Từ đây xác định được tổn thất công suất trên đường dây có sơ đồ thay thế hình II

$$\left. \begin{aligned} \Delta P &= \frac{(P'')^2 + (Q'')^2}{U_2^2} R \\ \Delta Q &= \frac{(P'')^2 + (Q'')^2}{U_2^2} X \end{aligned} \right\} \quad (2-1)$$

Công suất đầu đường dây :

$$\dot{S}' = \dot{S}'' + \Delta \dot{S} = (P'' + \Delta P) + j(Q'' + \Delta Q) = P' + jQ'$$

Công suất đầu vào

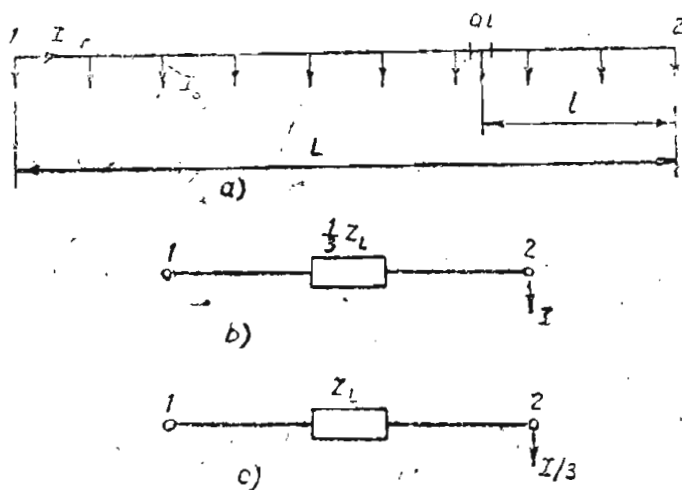
$$\dot{S}_1 = \dot{S}' - jQ_{c1} = P_1 + jQ_{c1}$$

trong đó

$$Q_{c1} = \sqrt{3} I_{c1} U_1 = U_1^2 \frac{B}{2} \approx U_{dm}^2 \frac{B}{2}.$$

Đối với đường dây mạng phân phối (hình 2-1,b) do bỏ qua dung dẫn B , dễ dàng xác định được tổn thất công suất theo công suất tải

$$\left. \begin{aligned} \Delta P &= \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_{dm}^2} R \\ \Delta Q &= \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_{dm}^2} X \end{aligned} \right\} \quad (2-2)$$



Hình 2-2

trong thực tế cũng thường gặp đường dây phân phối có phụ tải phân bố đều (hình 2-2,a), ví dụ đường dây chiếu sáng ngoài trời. Từ hình vẽ thấy rằng nếu đường dây có độ dài L , tải là các dòng bằng nhau $I_0 = \frac{I}{L}$ thì tại tiết diện cách điểm cuối l sẽ có dòng $I_0 l$ chạy qua. Tổn thất công suất trong một vi phân dl , bằng

$$d\Delta P = 3(I_0 l)^2 dr = 3(I_0 l)^2 r_0 dl$$

Lấy tích phân suốt chiều dài đường dây nhận được

$$P = 3 \int_0^L (I_0 l)^2 r_0 dl = 3I_0^2 r_0 \frac{L^3}{3} = (I_0 L)^2 r_0 L = I^2 R$$

Số với trị số $3I^2R$ nhận thấy tổn thất công suất trên đường dây có phụ tải phân bố đều bé hơn 3 lần tổn thất trên đường dây có cùng phụ tải nhưng tập trung ở cuối. Từ đó, có thể dùng 1 trong 2 sơ đồ thay thế tương đương (hình 2-2, b, c) để xác định tổn thất công suất mạng phân bố đều.

Sau khi xác định tổn thất công suất có thể tính được hiệu suất tải điện của đường dây:

$$\eta\% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} \cdot 100 = \left(1 - \frac{\Delta P}{P_1}\right) 100.$$

Ví dụ 2-1. Hãy xác định tổn thất công suất và hiệu suất của đường dây 110kV có tổng trở $Z = 10 + j25\Omega$, dung dẫn $B = 3 \cdot 10^{-4} 1/\Omega$, biết phụ tải cuối đường dây là $S_2 = 40 + j30 MVA$.

Giải. Đường dây 110kV có sơ đồ thay thế hình Π như hình 2-1, a. Trị số điện áp lấy gần đúng bằng trị số định mức.

Công suất phản kháng do mỗi nửa đường dây sinh ra là

$$Q_{c1} = Q_{c2} = \frac{B}{2} U^2 = 3 \cdot 10^{-4} \cdot (110)^2 = 3,5 MVAR.$$

Công suất cuối đường dây:

$$\dot{S}' = \dot{S}_2 - jQ_{c2} = 40 + j30 - j3,5 = 40 + j26,5 MVA.$$

Tổn thất công suất trên đường dây:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{S} &= \frac{(P'')^2 + (Q'')^2}{U_{dm}^2} R + j \frac{(P'')^2 + (Q'')^2}{U_{dm}^2} X = \\ &= \frac{(40)^2 + (26,5)^2}{110^2} 10 + j \frac{(40)^2 + (26,5)^2}{110^2} \cdot 25 = 1,9 + j4,75 MVA \end{aligned}$$

Công suất đầu đường dây

$$\dot{S}' = 40 + j26,5 + 1,9 + j4,75 = 41,9 + j31,25 MVA$$

Công suất đầu vào:

$$\dot{S}_1 = \dot{S}' - jQ_{c1} = 41,9 + j31,25 - j3,5 = 41,9 + j27,75 MVA$$

Hiệu suất đường dây:

$$\eta\% = \left(1 - \frac{1,9}{41,9}\right) 100 = 95,5\%$$

2.2. TỒN THẤT CÔNG SUẤT TRONG MÁY BIẾN ÁP

Tổn thất công suất trong máy biến áp gồm hai thành phần: thành phần tổn thất trong lõi thép và thành phần tổn thất trong dây quấn. Thành phần tổn thất trong lõi thép không thay đổi khi phụ tải thay đổi và bằng tổn thất không tải đã xác định được ở chương 1

$$\Delta \dot{S}_0 = \Delta P_0 + j \left(\frac{I_0\% \cdot S_{dm}}{100} \right)$$

Đối với máy biến áp hai cuộn dây, tổn thất công suất tác dụng trong các cuộn dây khi tải định mức lấy bằng tổn thất ngắn mạch, nghĩa là

$$\Delta P_{\text{cu dm}} = \Delta P_N.$$

Nếu chú ý rằng $R_B \ll X_B$ thì tổn thất công suất phản kháng trong các cuộn dây xác định theo điện áp ngắn mạch $U_N\%$

$$\Delta Q_{\text{cu dm}} = \frac{U_N\% \cdot S_{\text{dm}}}{100}$$

Thực tế máy biến áp thường làm việc với tải khác định mức, vì thế khi xác định tổn thất trong máy biến áp cần căn cứ vào các lượng định mức cần phải xét đến hệ số tải của nó. Khi đó tổn thất trong các cuộn dây là

$$\Delta S_{\text{cu}} = k_1^2 \cdot \Delta P_N + j k_1^2 \frac{U_N\% \cdot S_{\text{dm}}}{100}$$

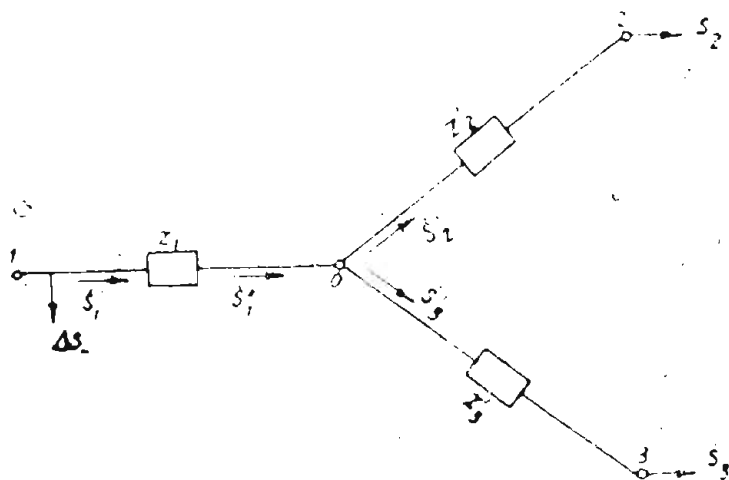
Như vậy, tổn thất thực tế trong máy biến áp khi tải bất kỳ sẽ xác định theo công thức:

$$\Delta S_B = (\Delta P_0 + k_1^2 \Delta P_N) + j(I_0\% + k_1^2 U_N\%) \frac{S_{\text{dm}}}{100} \quad (2-3)$$

trong đó $k_1 = I/I_{\text{dm}} = S/S_{\text{dm}}$ — hệ số tải của máy biến áp.

Cũng có thể xác định tổn thất công suất trong máy biến áp hai cuộn dây theo tổng trở của nó:

$$\Delta S_B = \frac{S^2}{U^2} R_B + j \frac{S^2}{U^2} X_B \quad (2-4)$$



Hình 2-3

Đối với máy biến áp ba cuộn dây và máy biến áp tự ngẫu, sau khi đã xác định được tổng trở của ba cuộn dây theo các công thức (1-11), (1-12) và (1-6), (1-7), tiến hành xác định tổn thất công suất như sau. Trước hết tính tổn thất công suất trong cuộn dây 2 và 3 theo phụ tải trung và hạ (hình 2-3)

$$\Delta S_3 = \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_3^2} R_3' + j \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_3^2} X_3' \quad (2-5, a)$$

$$\Delta S_2 = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} R_2' + j \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} X_2' \quad (2-5, b)$$

trong đó $U_2, U_3, R_2', R_3', X_2', X_3'$ — các điện áp và tổng trở tương ứng đã quy đổi về điện áp cuộn 1.

Công suất ở cuối cuộn 1

$$S_1' = S_2 + S_3 = S_2 + S_3 + \Delta S_2 + \Delta S_3 = P_1' + jQ'$$

Tổn thất công suất trong cuộn 1:

$$\Delta S_1 = \frac{(P_1')^2 + (Q_1')^2}{U_1^2} R_1 + j \frac{(P_1')^2 + (Q_1')^2}{U_1^2} X_1 \quad (2-5c)$$

Tồn thất công suất trong máy biến áp 3 cuộn dây và máy biến áp tự ngẫu cũng có thể tính trực tiếp theo các lượng định mức và hệ số tải :

$$\Delta \dot{S}_B = (\Delta P_0 + \Delta P_{N_1} k_{t_2}^2 + \Delta P_{N_2} k_{t_2}^2 + \Delta P_{N_3} k_{t_3}^2) + j \left(\Delta Q_0 + k_{t_1}^2 U_{N_1} \% \frac{S_{dm1}}{100} + k_{t_2}^2 U_{N_2} \% \frac{S_{dm2}}{100} + k_{t_3}^2 U_{N_3} \% \frac{S_{dm3}}{100} \right) \quad (2-6)$$

trong đó $k_{t_1}, k_{t_2}, k_{t_3}$ — hệ số tải của các cuộn 1, 2, 3.

Ví dụ 2-2. Một trạm biến áp khu vực đặt hai máy biến áp tự ngẫu 220/121/11 kV công suất định mức 120 MVA có các số liệu sau : $\Delta P_0 = 160$ kW, dung lượng định mức của các cuộn là 100/100/50%, các tổn thất ngắn mạch $\Delta P_{N_{1-2}} = 360$ kW, $\Delta P_{N_{1-3}} = 240$ kW, $\Delta P_{N_{2-3}} = 240$ kW, các điện áp ngắn mạch $U_{N_{1-2}} \% = 10,5\%$, $U_{N_{1-3}} \% = 36,2\%$, $U_{N_{2-3}} = 23\%$, dòng không tải $I_0 \% = 3\%$, phụ tải phía trung áp $120 + j50$ MVA, phụ tải phía hạ áp $30 + j20$ MVA. Hãy xác định tồn thất công suất trong hai máy biến áp đó.

Giải. Từ kết quả ví dụ 1-1 đã có

$$R_1 = R_2 = 0,6\Omega, R_3 = 2,6\Omega$$

$$X_1 = 48\Omega, X_2 = -0,6\Omega, X_3 = 98\Omega$$

Ở đây trạm có hai máy biến áp làm việc song song, tổng trở của sơ đồ đẳng trị (hình 2-2) giảm đi một nửa, nghĩa là

$$Z_1 = 0,3 + j24, Z_2 = 0,3 - j0,3, Z_3 = 1,3 + j49\Omega$$

Tồn thất công suất trong cuộn dây trung và hạ

$$\Delta \dot{S}_3 = \frac{30^2 + 20^2}{220^2} (1,3 + j49) = 0 + j1,3 \text{ MVA}$$

$$\Delta \dot{S}_2 = \frac{120^2 + 50^2}{220^2} (0,3 - j0,3) = 0,1 - j0,1 \text{ MVA}$$

Công suất cuối cuộn cao áp

$$\begin{aligned} \dot{S}_1'' &= (120 + j50) + (0,1 - j0,1) + (30 + j20) + (0 + j1,3) = \\ &= 150,1 + j71,2 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Tồn thất công suất cuộn cao

$$\Delta \dot{S}_1 = \frac{(150,1)^2 + (71,2)^2}{220^2} (0,3 + j24) = 0,2 + j13,7 \text{ MVA}$$

Tổng tồn thất công suất trong hai máy :

$$\begin{aligned} \Delta \dot{S}_B &= \Delta \dot{S}_1 + \Delta \dot{S}_2 + \Delta \dot{S}_3 + \Delta \dot{S}_0 = \\ &= 0,2 + j13,7 + 0,1 - j0,1 + j1,3 + 2 \cdot 0,16 + j \frac{3}{100} 120 \cdot 2 \end{aligned}$$

$$\Delta \dot{S}_B = 0,6 + j21,2 \text{ MVA}$$

Bây giờ tính tồn thất theo công thức (2-6). Từ kết quả ví dụ 1-1 đã có :

$$\Delta P_{N_1} = 180 \text{ kW}, \Delta P_{N_2} = 180 \text{ kW}, \Delta P_{N_3} = 780 \text{ kW}$$

$$U_{N_1} \% = 11,85\%, U_{N_2} \% = -1,35\%, U_{N_3} \% = 24,35\%$$

tính được :

$$S_3 = \sqrt{30^2 + 20^2} = 36 \text{ MVA}, S_2 = \sqrt{120^2 + 50^2} = 130 \text{ MVA}$$

$$S_1 = \sqrt{(120 + 30)^2 + (50 + 20)^2} = 165 \text{ MVA}.$$

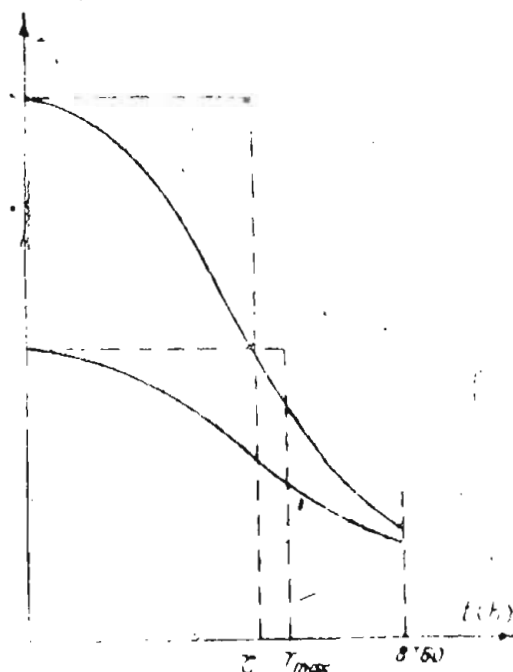
Thay các giá trị trên vào (2-6) và chú ý trạm hai máy, có :

$$\begin{aligned} \Delta \dot{S}_B = & \left[(2 \cdot 0,16 + 2 \cdot 0,18 \cdot \left(\frac{165}{2 \cdot 120} \right)^2 + 2 \cdot 0,18 \cdot \left(\frac{130}{2 \cdot 120} \right)^2 + \right. \\ & \left. + 2 \cdot 0,78 \cdot \left(\frac{36}{2 \cdot 60} \right)^2 \right] + j \left[\left(\frac{3}{100} \cdot 120 \cdot 2 + \right. \right. \\ & \left. \left. + \left(\frac{165}{2 \cdot 120} \right)^2 \cdot 11,85 \cdot \frac{2 \cdot 120}{100} + \left(\frac{130}{2 \cdot 120} \right)^2 \cdot (-1,35\%) \cdot \frac{2 \cdot 120}{100} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \left(\frac{36}{2 \cdot 60} \right)^2 \cdot 24,35 \cdot \frac{2 \cdot 60}{100} \right] \right] \\ \Delta \dot{S}_B \approx & 0,6 + j21 \text{ MVA}. \end{aligned}$$

2.3. TỒN THẤT ĐIỆN NĂNG TRÊN ĐƯỜNG DÂY VÀ MÁY BIẾN ÁP

Trị số tổn thất điện năng trên các phần tử của mạng điện phụ thuộc chủ yếu vào đặc tính phụ tải. Nếu như phụ tải không thay đổi thì trên phần tử có tổn thất công suất ΔP sẽ gây ra tổn thất điện năng trong thời gian t là

$$\Delta A = \Delta P \cdot t$$



Hình 2-4

Song, trong thực tế, phụ tải luôn luôn biến động. Căn cứ vào đồ thị phụ tải năm (hình 2-4) tính được tổn thất điện năng trong một năm theo công thức :

$$\begin{aligned} \Delta A &= 3R \int_0^{8760} I^2(t) dt = R \int_0^{8760} \frac{S^2(t)}{U^2(t)} dt = \\ &= R \left(\int_0^{8760} \frac{P^2(t)}{U^2(t)} dt + \int_0^{8760} \frac{Q^2(t)}{U^2(t)} dt \right) \quad (2-7) \end{aligned}$$

$P(t)$ và $Q(t)$ nhiều khi rất khó biểu diễn dưới dạng công thức giải tích. Khi đó có thể xác định tổn thất điện năng gần đúng bằng cách bậc thang hóa đường cong $P(t)$ và $Q(t)$ và cho trị số điện áp lấy bằng định mức :

$$\Delta A \approx \frac{R}{U_{dm}^2} \sum_{i=1}^n S_i^2 \Delta t_i = \frac{R}{U_{dm}^2} \sum_{i=1}^n (P_i^2 + Q_i^2) \Delta t_i$$

Tuy nhiên, thường không biết trước đồ thị $P(t)$ và $Q(t)$, vì vậy trong tính toán thường dùng phương pháp gần đúng dựa vào hai khái niệm quý trọng: thời gian sử dụng công suất lớn nhất $T_{\max}$ và thời gian tổn thất công suất lớn nhất τ . Nếu trong khoảng thời gian $T_{\max}$ hệ tiêu thụ luôn luôn làm việc với phụ tải lớn nhất thì sẽ nhận được một lượng điện năng đúng bằng lượng điện năng nó nhận được thực tế trong một năm. Vậy $T_{\max}$ được định nghĩa theo biểu thức

$$T_{\max} = \frac{\int_0^{8760} I(t) dt}{I_{\max}} \quad (2-8)$$

Đối với các xí nghiệp làm việc một ca $T_{\max} = 1500 \div 2000h$, làm việc hai ca $T_{\max} = 3000 \div 4500h$, ba ca $T_{\max} = 5000 \div 7000h$; phụ tải sinh hoạt thành phố có $T_{\max} = 2000 - 3000h$.

Thời gian tổn thất công suất lớn nhất τ là thời gian nếu trong đó mạng điện luôn luôn mang tải lớn nhất sẽ gây một tổn thất điện năng đúng bằng tổn thất điện năng thực tế trên mạng điện trong một năm, nghĩa là

$$\begin{aligned} \Delta A &= \frac{R}{U^2} \left(\sum_{i=0}^{8760} P_i^2 \Delta t_i + \sum_{i=0}^{8760} Q_i^2 \Delta t_i \right) = \\ &= \frac{R}{U^2} (P_{\max}^2 \tau_a + Q_{\max}^2 \tau_r). \end{aligned}$$

Trị số τ_a và τ_r phụ thuộc vào hình dạng đồ thị công suất tác dụng và phản kháng, nói chung là khác nhau. Trong thực tế thường dùng một trị số τ chung

$$\Delta A = 3R \int_0^{8760} I^2(t) dt = 3I_{\max}^2 R \tau = \frac{R}{U^2} S_{\max}^2 \tau \quad (2-9)$$

Từ đó có:

$$\tau = \frac{\int_0^{8760} I^2(t) dt}{I_{\max}^2} \quad (2-10)$$

giả thiết rằng đồ thị công suất tác dụng và phản kháng có hình dạng giống nhau và do đó hệ số công suất của phụ tải coi là không thay đổi trong năm. Trị số τ xác định theo đồ thị quan hệ $\tau = f(T_{\max}, \cos \varphi)$ (hình 2-5). Cũng có thể xác định theo công thức kinh nghiệm của Kezevits:

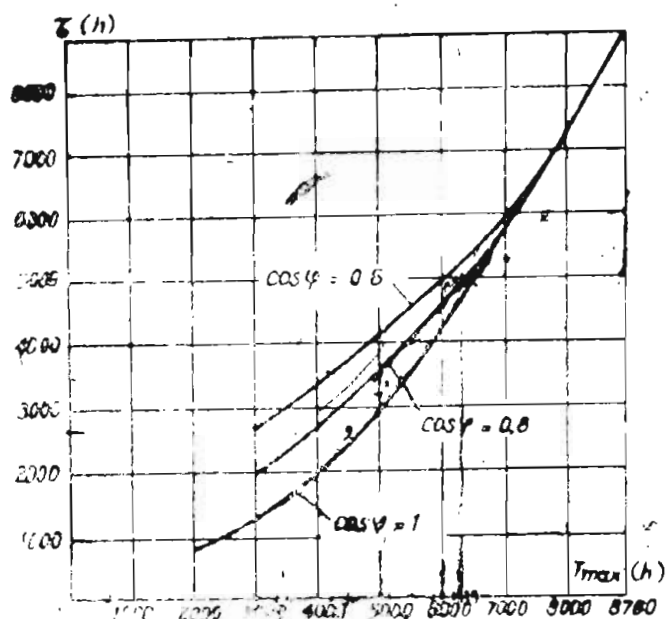
$$\tau = (0,124 + T_{\max} \cdot 10^{-4})^2 8760 \quad (2-11)$$

Theo phương pháp trên, tổn thất điện năng trong máy biến áp làm việc suốt năm xác định theo công thức

$$\Delta A_B = 8760 \Delta P_o + \Delta P_N \left(\frac{S_{\max}}{S_{dm}} \right)^2 \quad (2-12)$$

Tổng quát, với trạm có n máy làm việc song song

$$\Delta A_B = 8760 [n \Delta P_o + \frac{1}{n} \Delta P_N \left(\frac{S_{max}}{S_{dm}} \right)^2] \quad (2-13)$$

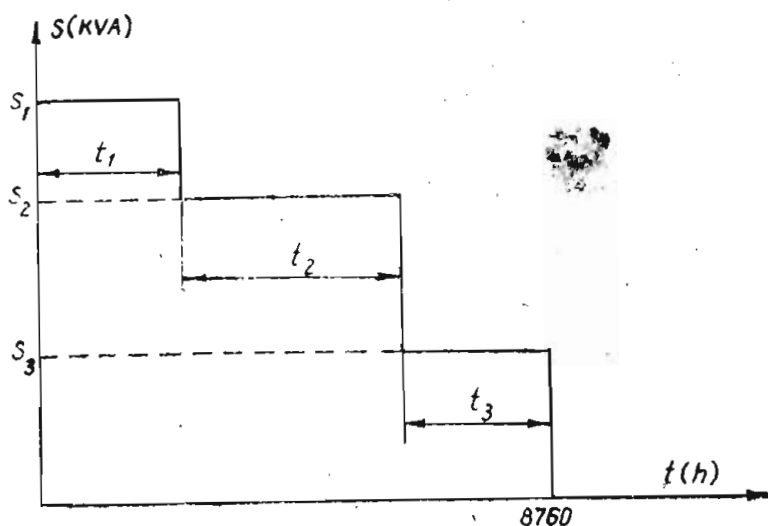


Hình 2-5

Nếu biết đồ thị phụ tải, để giảm tổn thất điện năng, người ta thường thay đổi số lượng máy biến áp tùy theo mức tải (hình 2-6), khi đó tổn thất điện năng của trạm trong một năm

$$\Delta A_B = \Delta P_o \sum_{i=1}^m n_i t_i + \Delta P_N \sum_{i=1}^m \frac{1}{n_i} \left(\frac{S_i}{S_{dm}} \right)^2 t_i \quad (2-14)$$

trong đó n_i — số máy biến áp làm việc trong thời gian t_i .



Hình 2-6

Trong nhiều trường hợp cần xác định giá tiền tổn thất điện năng. Giá tiền tổn thất điện năng phụ thuộc vào giá tiền sản xuất điện năng kể cả khấu hao hao mòn, sửa chữa và phục vụ, giá tiền nhiên liệu. Khi xác định giá tiền tổn thất

điện năng cũng cần chú ý đến chi phí cho việc mở rộng nhà máy điều độ bù tổn thất công suất trong mạng và chi phí cho việc mở rộng cơ sở nhiên liệu. Giá tiền tổn thất điện năng có thể xác định theo công thức tổng quát sau:

$$C = \delta(\alpha K_M \Delta P_{\max} + b \Delta A) \quad (2-15)$$

trong đó δ — hệ số tính đến việc tăng giá tiền điện phụ thuộc vào mức tổn thất của mạng điện so với nguồn cung cấp.

α — suất chi phí cho việc mở rộng nhà máy điện

K_M — hệ số đồng thời xét đến khả năng xảy ra cực đại đồng thời giữa phụ tải của hệ thống và của mạng điện đang xét, nếu đồng thời thì $K_M = 1$

$\Delta P_{\max}$ — tổn thất công suất khi phụ tải lớn nhất

b — giá tiền đơn vị điện năng tổn thất trong mạng và suất chi phí cho việc mở rộng cơ sở nhiệt tương ứng. Công thức (2-15) còn được viết cách khác

$$C_M = C_0 \Delta A \quad (2-16)$$

với

$$C_0 = \delta \left(\frac{\alpha K_M}{\tau} + b \right) \text{ đ/kWh}$$

Rõ ràng, giá tiền đơn vị điện năng tổn thất có các trị số khác nhau, tùy thuộc vào các khu vực mà mạng điện đi qua.

Ví dụ 2-3. Một đường dây mang điện thành phố 6 kV dài 2 km có phụ tải phân bố đều $I_0 = 0,30 \text{ A/m}$. Dây dẫn nhôm tiết diện 95 mm^2 . Xác định giá tiền tổn thất điện năng trên đường dây trong một năm nếu $C_0 = 0,1 \text{ đ/kWh}$.

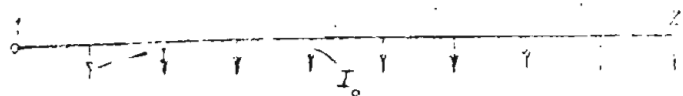
Giải: Đường dây có phụ tải phân bố đều và sơ đồ thay thế của nó trên hình vẽ (hình 2-7), trong đó phụ tải tập trung cuối đường dây bằng trị có trị số bằng $\frac{1}{3}$ phụ tải tổng

$$I = \frac{1}{3} I_0 L = \frac{1}{3} 0,30 \cdot 2 \cdot 10^3 = 200 \text{ A}$$

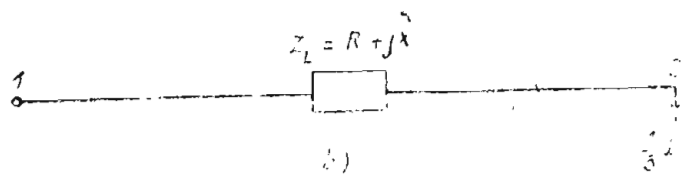
Tổn thất công suất tác dụng trên đường dây

$$P = I^2 R = 200^2 \cdot 2 \cdot 0,33 \cdot 10^{-3} = 26,4 \text{ kW}$$

Trong đó điện trở suất của dây A-95 là $r_0 = 0,33 \text{ } \Omega/\text{km}$, tra bảng. Lấy số giờ sử dụng công suất lớn nhất $T_{\max} = 3000 \text{ h}$, xác định được số giờ tổn thất công suất lớn nhất



a)



b)

Hình 2-7

$$X = (0,124 + 10^{-4} \cdot 3000)^2 \cdot 8760 \approx 1600 \text{ h}$$

Tổn thất điện năng trên đường dây một năm

$$\Delta A = 26,4 \cdot 1600 = 42200 \text{ kWh}$$

Giá tiền tổn thất điện năng một năm

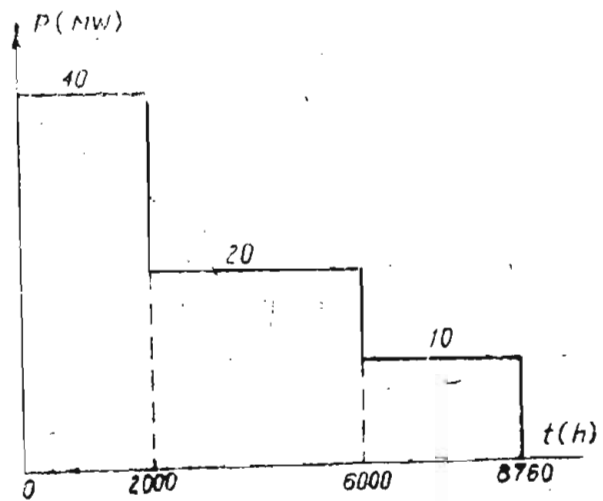
$$C_{\Delta A} = 0,1 \cdot 42200 = 4220 \text{ đ}$$

Ví dụ 2-4. Một trạm hạ áp đặt hai máy biến áp 110/11 kV dung lượng 31.500 kVA cung cấp cho phụ tải có đồ thị như hình vẽ (hình 2-8). Khi phụ tải có giá trị từ 0,5 trị số lớn nhất trở xuống chỉ cho một máy làm việc. Biết hệ số công suất $\cos\varphi = 0,8$ không thay đổi suốt năm, hãy xác định tổn thất điện năng một năm của trạm.

Giải. Máy biến áp 110/11 kV, $S_{dm} = 31.500 \text{ kVA}$ có các số liệu sau:

$$\Delta P_N = 200 \text{ kW}, \Delta P_o = 86 \text{ kW},$$

$$U_N\% = 10,5\%, I_o\% = 2,7\%.$$



Hình 2-8

Căn cứ vào chế độ vận hành đã cho thì:

Với tải $P_1 = 40 \text{ MW}$ sẽ vận hành 2 máy trong $t_1 = 2000 \text{ h}$

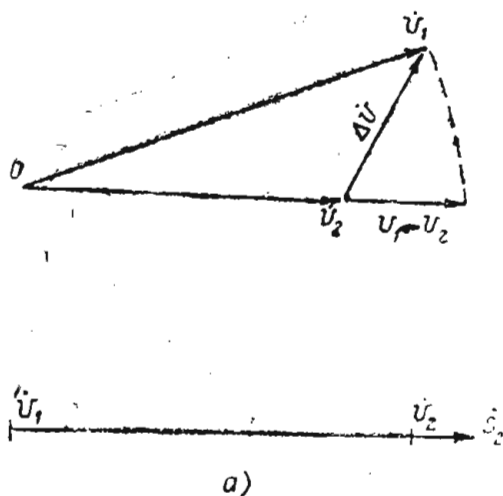
Với tải $P_2 = 20 \text{ MW}$ sẽ vận hành 1 máy trong $t_2 = 4000 \text{ h}$

Với tải $P_3 = 10 \text{ MW}$ sẽ vận hành 1 máy trong $t_3 = 2760 \text{ h}$.

Tổng tổn thất điện năng trong trạm một năm là

$$\begin{aligned} \Delta A &= \Delta P_o \sum_{i=1}^m n_i t_i + \Delta P_N \sum_{i=1}^m \frac{1}{n_i} \left(\frac{S_i}{S_{dm}} \right)^2 t_i = 86 [(2 \cdot 2000) + (1 \cdot 6760)] + \\ &+ 200 \left[\frac{1}{2} \left(\frac{40}{0,8 \cdot 31,5} \right)^2 2000 + \frac{1}{1} \left(\frac{20}{0,8 \cdot 31,5} \right)^2 4000 + \frac{1}{1} \left(\frac{10}{0,8 \cdot 31,5} \right)^2 2760 \right] \\ \Delta A &= 2.021000 \text{ kWh.} \end{aligned}$$

2-4. TỒN THẤT ĐIỆN ÁP TRÊN ĐƯỜNG DÂY VÀ MÁY BIẾN ÁP.



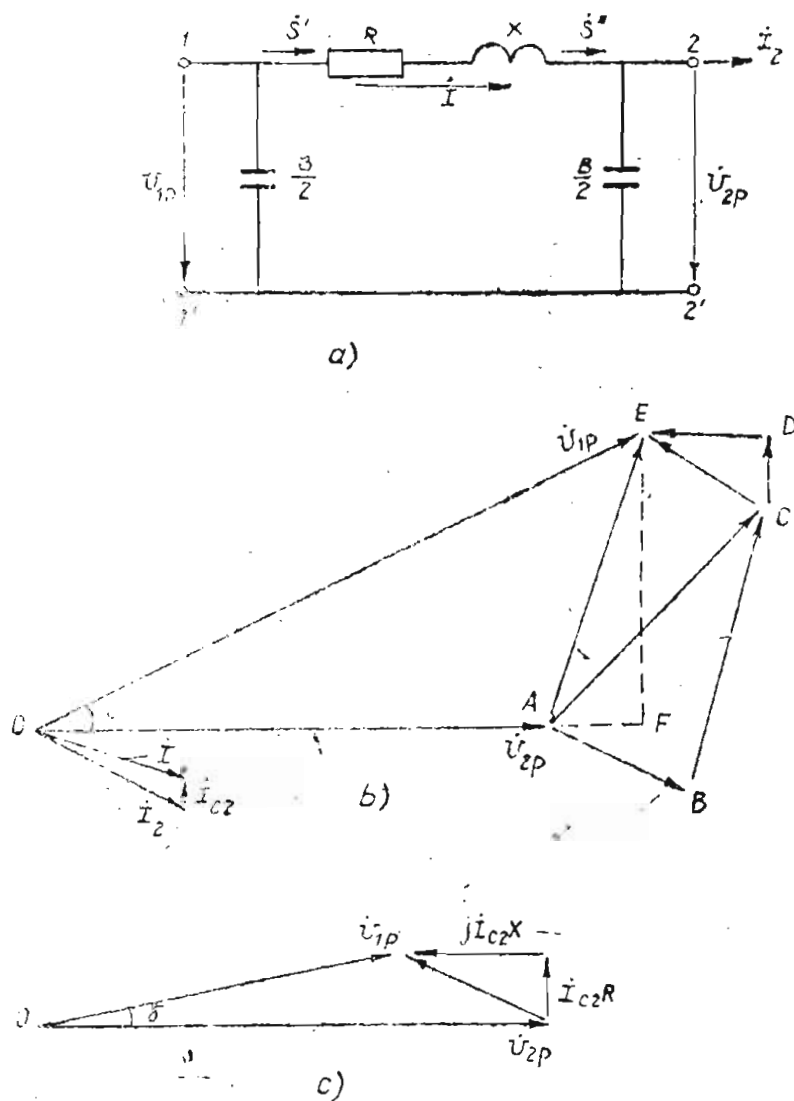
Hình 2-9

Trước hết cần phân biệt khái niệm độ sụt áp và tổn thất điện áp. Khi chuyển tải công suất trên đoạn đường dây 1 — 2, giữa điện áp đầu đường dây U_1 và cuối đường dây U_2 (hình 2-9, a) sẽ sai khác nhau cả về trị số và góc pha (hình 2-9, b). Độ sụt áp ΔU là hiệu hình học giữa hai vector U_1 và U_2 còn tổn thất điện áp là hiệu đại số giữa hai trị số điện áp U_1 và U_2 .

Giả thiết mạng điện làm việc ở chế độ đối xứng, vì vậy chỉ cần nghiên cứu tính toán trên một pha của nó. Đối với đường dây

mạng điện cung cấp 110, 220 kV có sơ đồ thay thế hình Π (hình 2-10, a). Nếu biết dòng $\dot{I}_2$ điện áp pha $\dot{U}_{2p}$ và góc lệch pha giữa chúng φ_2 có thể xác định được điện áp đầu đường dây $\dot{U}_{1p}$ và góc δ giữa $\dot{U}_{1p}$, $\dot{U}_{2p}$ thông qua điện áp rơi $\Delta \dot{U}_p$ trên đường dây. Theo $\dot{U}_{2p}$ dòng điện dung cuối đường dây bằng

$$\dot{I}_{c2} = j \dot{U}_{2p} \frac{B}{2}$$



Hình 2-10

Khi đó dòng cuối đường dây, cũng chính là dòng chạy qua tổng trở

$$\dot{I} = \dot{I}_2 + \dot{I}_{c2} = \dot{I}_2 + j \dot{U}_{2p} \frac{B}{2}$$

Điện áp rơi trên tổng trở Z

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U}_p &= \dot{I}Z = (\dot{I}_2 + \dot{I}_{c2})(R + jX) = (\dot{I}_2 + \dot{I}_{c2})R + j(\dot{I}_2 + \dot{I}_{c2})X = \\ &= \Delta \dot{U}_p + j\delta \dot{U}_p \end{aligned} \quad (2-17)$$

Từ đồ thị vector (hình 2-10, b) có thể xác định được các trị số của thành phần sụt áp dọc (vector AF) và thành phần sụt áp ngang (vector FE) tính với điện áp dây

$$\left. \begin{aligned} \Delta U &= \sqrt{3} (I_2 R \cos \varphi_2 + I_2 X \sin \varphi_2 - I_{c2} X) \\ U &= \sqrt{3} (I_2 X \cos \varphi_2 - I_2 R \sin \varphi_2 + I_{c2} B) \end{aligned} \right\} \quad (2-18)$$

Điện áp đầu đường dây :

$$U_1 = U_2 + \Delta U$$

Dòng điện đầu đường dây :

$$I_1 = I_2 + I_{c2} + I_{c1} = I_2 + j \frac{U_{1p} + U_{2p}}{2} B$$

Trị số gần đúng của điện áp đầu đường dây :

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + U)^2 + \delta U^2} \approx U_2 + \Delta U + (\delta U)^2 / 2U_2 \quad (2-19a)$$

suy ra tổn thất điện áp

$$U_1 - U_2 \approx \Delta U + (\delta U)^2 / 2U_2 \quad (2-20)$$

Cần chú ý tới trường hợp đặc biệt là chế độ làm việc không tải của đường dây $I_2 = 0$. Khi đó dòng chạy trên đường dây chỉ là dòng điện dung

$$I = I_{c2} = jU_{2p} \frac{B}{2}$$

điện áp pha đầu đường dây

$$U_{1p} = U_{2p} + I(R + jX)$$

điện áp dây đầu đường dây

$$U_1 = U_2 + U_2 \left(-\frac{XB}{2} + j \frac{RB}{2} \right).$$

Lúc đó

$$\Delta U = -U_2 \frac{XB}{2}$$

Nhận thấy ΔU là một trị số âm, có nghĩa là ở chế độ không tải điện áp cuối đường dây cao hơn đầu đường dây. Điều đó thể hiện rõ trên hình vẽ (hình 2-10, c). Mức độ nâng cao điện áp cuối đường dây phụ thuộc vào chiều dài đường dây, đối với đường dây 220 kV nó bằng khoảng 0,5; 5 và 14% khi chiều dài dây là 100; 300 và 500 km.

Trong tính toán thường biết phụ tải dưới dạng công suất, vì vậy cần thành lập công thức tính tổn thất điện áp theo công suất tải. Sau khi tính được công suất cuối đường dây $\hat{S}'' = P'' + jQ''$,

$$\begin{aligned} \Delta U_p = I'' Z &= \frac{\hat{S}''}{3U_{2p}} (R + jX) = \frac{1}{3U_{2p}} (P'' - jQ'') (R + jX) = \\ &= \frac{1}{3U_{2p}} [P''R + Q''X + j(P''X - Q''R)]. \end{aligned}$$

Nếu đặt vectơ $\dot{U}_{2p}$ trùng với trục thực thì $\dot{U}_{2p} = U_{2p}$, có

$$\Delta \dot{U}_p = \frac{1}{3} \left(\frac{P''R + Q''X}{U_{2p}} + j \frac{P''X - Q''R}{U_{2p}} \right)$$

Cuối cùng, chuyển về điện áp dây

$$\Delta U = \frac{P''R + Q''X}{U_2} + j \frac{P''X - Q''R}{U_2} = \Delta U' + j\delta U \quad (2-21)$$

Khi biết công suất và điện áp đầu nguồn

$$\Delta U_1 = \frac{P'R + Q'X}{U_1} + j \frac{P'X - Q'R}{U_1} = \Delta U_1' + j\delta U_1 \quad (2-22)$$

Điện áp cuối đường dây tính theo $\dot{U}_1$.

$$\dot{U}_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U_1')^2 + (\delta U_1)^2} \quad (2-23a)$$

Cũng xác định được góc lệch pha giữa $\dot{U}_1$ và $\dot{U}_2$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\delta U'}{U_2 - \Delta U'} = \frac{\delta U_1'}{U_1 - \Delta U_1'} \quad (2-24)$$

Khi tính toán đường dây 110 kV có thể cho phép bỏ qua thành phần sụt áp ngang khi đó coi gần đúng tổn thất điện áp bằng thành phần dọc

$$U_1 \approx U_2 + \frac{P''R + Q''X}{U_2} \quad (2-19, b)$$

$$U_2 \approx U_1 - \frac{P'R + Q'X}{U_1} \quad (2-23, b)$$

Đối với đường dây mạng điện địa phương, do bỏ qua tổng dẫn (hình 2-11, a), đồ thị vectơ điện áp đơn giản hơn nhiều (hình 2-11, b).

Ngoài ra, khi tính toán tổn thất điện áp mạng điện địa phương có thể coi $U_1 = U_2 = U_{dm}$ và có thể bỏ qua thành phần sụt áp ngang δU vì rất nhỏ

$$\left. \begin{aligned} \Delta U &= \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_{dm}} \\ \text{hoặc} \quad \Delta U' &= \frac{P_1 R + Q_1 X}{U_{dm}} \end{aligned} \right\} \quad (2-24)$$

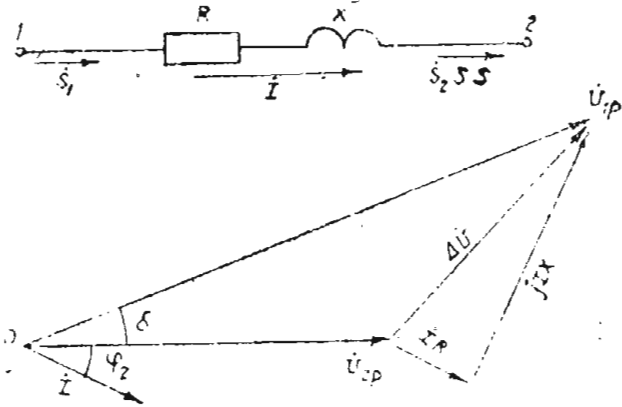
Trong thực tế có thể gặp một số đường dây có phụ tải phân bố đều (hình 2-12, a) trên đó p_0 là công suất một đơn vị chiều dài. Tại tiết diện nào đó cách cuối đường dây đoạn l sẽ có dòng công suất $P_0 l$ đi qua. Giả thiết đường dây có điện trở suất r_0 , vì phân chiều dài dl có điện trở $r_0 dl$.

Tổn thất điện áp trên, vi phân chiều dài dl

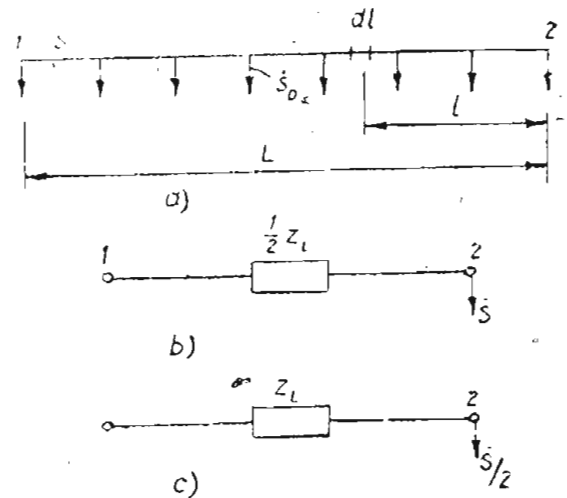
$$d(\Delta U) = \frac{p_0 / r_0 dl}{U_{dm}}$$

Tổn thất điện áp trên toàn đường dây

$$\Delta U = \int_0^L d(\Delta U) = \int_0^L \frac{r_0 p_0}{U_{dm}} dl = \frac{p_0 L \cdot \frac{r_0 L}{2}}{U_{dm}} = \frac{PR}{2U_{dm}}$$



Hình 2-11



Hình 2-12

Tương tự có công thức tính ΔU khi phụ tải là q_0 . Như vậy, với phụ tải phân bố đều $s_0 = S/L$, công thức tính tổn thất điện áp là:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{2U_{dm}} \quad (2-25)$$

Nhận thấy tổn thất điện áp trên đường dây có phụ tải phân bố đều bằng một nửa tổn thất điện áp trên đường dây có phụ tải đặt tập trung ở cuối đường dây. Vì thế có thể dùng 1 trong 2 sơ đồ thay thế tương đương trong tính toán (hình 2-12, b, c).

Tổn thất điện áp trong máy biến áp hai cuộn dây giống hệt như đường dây, nghĩa là theo công thức (2-24). Đối với máy biến áp ba cuộn dây cần xác định tổn thất điện áp trên từng cuộn dây. Cần nhớ máy biến áp là phần tử liên lạc giữa các cấp điện áp khác nhau, vì thế khi tính toán chúng phải quy đổi điện áp về cùng một cấp.

Ví dụ 2-5. Đường dây kép 110 kV dây AC-150 dài 100 km đặt trên ba đỉnh tam giác đều cạnh $D = 5m$ (hình 2-13a) cung cấp điện cho phụ tải cực đại $S_2 = 50 + j30 MVA$. Xác định tổn thất điện áp trên đường dây, biết điện áp đầu đường dây $U_1 = 120 kV$.

Giải. Sơ đồ thay thế đường dây vẽ trên hình 2-13b. Dây AC-150 có $r_0 = 0,21 \Omega/km$, $x_0 = 0,41 \Omega/km$, $b_0 = 2,74 \cdot 10^{-6} 1/\Omega km$. Tính được:

$$Z = \frac{1}{2} (0,21 \cdot 100 + j 0,416 \cdot 100) = 10,5 + j 20,8 \Omega/km$$

$$B = 2 \cdot 2,74 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 5,48 \cdot 10^{-4} 1/\Omega$$

Vì chưa biết điện áp cuối đường dây cần tính gần đúng tổn thất công suất để xác định công suất đầu đường dây, sau đó căn cứ vào điện áp U_1 xác định được tổn thất điện áp trên đường dây.

Công suất cuối đường dây

$$\begin{aligned} \dot{S}'' &= 50 + j30 - j110^2 \frac{5,48}{2} 10^{-4} = \\ &= 50 + j26,7 MVA. \end{aligned}$$

Tổn thất công suất trên đường dây tính gần đúng theo điện áp định mức

$$\Delta \dot{S} = \frac{50^2 + 26,7^2}{110^2} 10,5 + j \frac{50^2 + 26,7^2}{110^2} 20,8 = 2,8 + j5,6 MVA$$

Công suất đầu đường dây:

$$\dot{S}' = 50 + j26,7 + 2,8 + j5,6 = 52,8 + j32,2 MVA$$

Thành phần sụt áp dọc:

$$\Delta U = \frac{52,8 \cdot 10,5 + 32,2 \cdot 20,8}{120} = 10 kV$$

Thành phần sụt áp ngang:

$$\delta U = \frac{52,8 \cdot 20,8 - 32,2 \cdot 10,5}{120} = 7 kV.$$

Trị số điện áp cuối đường dây:

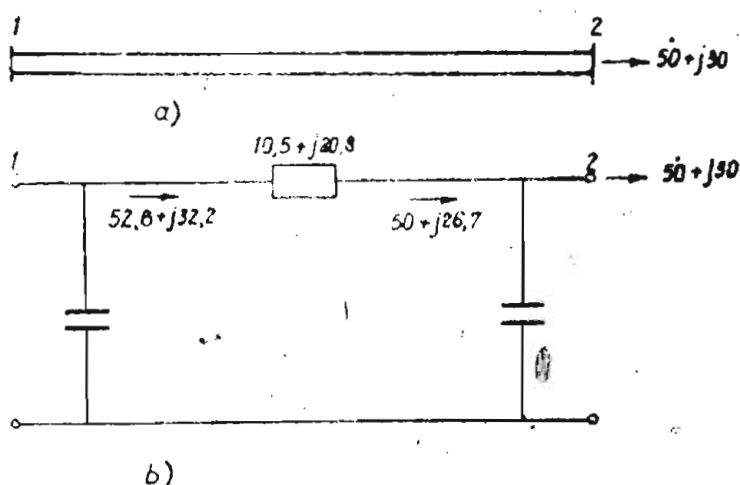
$$U_2 = \sqrt{(120 - 10)^2 + 7^2} \approx 110 kV.$$

Từ kết quả tính toán nhận thấy ảnh hưởng của thành phần sụt áp ngang đến kết quả tính toán không đáng kể, nghĩa là có thể coi tổn thất điện áp bằng thành phần sụt áp dọc $\Delta U = 10 kV$ và

$$U_2 = U_1 - \Delta U = 120 - 10 = 110 kV.$$

Góc lệch pha giữa $\dot{U}_1$ và $\dot{U}_2$:

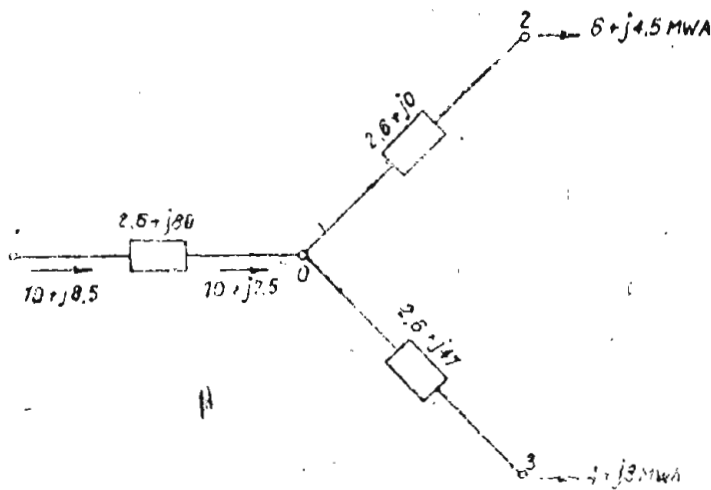
$$\operatorname{tg} \delta = \frac{7}{120 - 10}, \delta \approx 3^\circ 30'.$$



Hình 2-13

Ví dụ 2-6. Xác định điện áp tại thanh cái trung và hệ áp máy biến áp ba cuộn dây 115/38,5/11 kV công suất 16 MVA, biết điện áp tại thanh cái cao áp là 110kV. Phụ tải cho trên hình vẽ (hình 2-14,a).

Giải. Tra được các số liệu sau đây của máy biến áp 16 MVA : $\Delta P_0 = 32 \text{ kW}$
 $\Delta P_N = 105 \text{ kW}$, $I_0\% = 1,05\%$, $U_N\% = 10,5/17/6\%$. Từ công thức (1-11) thấy rằng với máy biến áp ba cuộn dây có tỉ số công suất 100/100/100% và có $\Delta P_{12} = \Delta P_{13} = \Delta P_{23} = \Delta P_N$ thì tổn thất trên mỗi cuộn $\Delta P_1 = \Delta P_2 = \Delta P_3 = 0,5\Delta P_N = 52,5 \text{ kW}$.



Hình 2-14

Theo (1-13) tính được điện áp ngắn mạch trên mỗi cuộn

$$U_1\% = 10,75\%; U_2\% = 0;$$

$$U_3 = 6,25\%$$

Tổn thất công suất trên cuộn trung và hạ

$$\Delta S_2 = \Delta P_2 \cdot k_{12}^2 + jk_{12}^2 \cdot U_2\% \cdot \frac{S_{dm2}}{100} =$$

$$= 52,5 \cdot \left(\frac{7,5}{16}\right)^2 + j\left(\frac{7,5}{16}\right)^2 \cdot 0 \cdot \frac{16}{100} = 11,5 + j0 \text{ kVA}$$

$$\Delta S_3 = 52,5 \left(\frac{5}{16}\right)^2 + j\left(\frac{5}{16}\right)^2 \cdot 6,25 \cdot \frac{16000}{100} = 5,2 + j100 \text{ kVA}$$

Công suất cuối cuộn cao

$$\begin{aligned} S_1'' &= S_2 + S_3 + \Delta S_2 + \Delta S_3 \approx S_2 + S_3 + j\Delta Q_3 = \\ &= 6 + j4,5 + 4 + j3 + j0,3 = 10 + j7,6 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Tổn thất công suất trên cuộn cao :

$$\begin{aligned} \Delta S_1 &= 52,5 \left(\frac{7,5 + 5}{16}\right)^2 + j\left(\frac{7,5 + 5}{16}\right)^2 \cdot 10,75 \cdot \frac{16000}{100} = \\ &= 31,5 + j1000 \text{ kVA} \end{aligned}$$

Công suất đầu cuộn cao

$$S_1' = S_1'' + \Delta S_1 = 10 + j8,5 \text{ MVA}$$

Theo (1-7) và (1-8) tính được tổng trở các cuộn dây :

$$Z_1 = 2,6 + j80 \Omega$$

$$Z_2 = 2,6 + j0 \Omega$$

$$Z_3 = 2,6 + j47 \Omega$$

Tổn thất điện áp trên cuộn cao

$$\Delta U_1 = \frac{10 \cdot 2,6 + 8,5 \cdot 80}{110} = 10,9 \text{ kV.}$$

Điện áp tại điểm 0.

$$U_0 = 110 - 10,9 = 99,1 \text{ kV.}$$

Tổn thất điện áp trên hai cuộn trung và hạ

$$\Delta U_2 = \frac{6 \cdot 2,6}{99,1} = 0,16 \text{ kV}$$

$$\Delta U_3 = \frac{4 \cdot 2,6 + 3 \cdot 47}{99,1} = 1,5 \text{ kV.}$$

Điện áp tại thanh cái trung, hạ quy về phía cao áp:

$$U'_2 = U_0 - \Delta U_2 = 99,1 - 0,16 = 98,94 \text{ kV}$$

$$U'_3 = U_0 - \Delta U_3 = 99,1 - 1,5 = 97,6 \text{ kV.}$$

Điện áp thực tại thanh cái trung, hạ áp

$$U_2 = U'_2 \cdot k_{21} = 98,94 \cdot \frac{38,5}{115} = 33,3 \text{ kV}$$

$$U_3 = U'_3 \cdot k_{31} = 97,6 \cdot \frac{11}{115} = 9,35 \text{ kV.}$$

k_{21}, k_{31} — tỉ số biến áp giữa cuộn 2 và 1, 3 và 1.

CHƯƠNG 3.

GIẢI TÍCH MẠNG ĐIỆN ĐƠN GIẢN

Nhiệm vụ của giải tích mạng điện là xác định các thông số chế độ làm việc chủ yếu là dòng và áp, tại mọi điểm nút của mạng điện. Đôi khi nhiệm vụ này còn được gọi một cách khác là tính toán điện của mạng điện. Việc xác định các thông số chế độ mạng điện rất cần thiết khi thiết kế, vận hành và điều khiển hệ thống điện.

Mạng điện là một đối tượng khá phức tạp, đặc biệt đối với những hệ thống điện hiện đại bao gồm nhiều phần tử, nhiều cấp biến áp; vì thế khó áp dụng trực tiếp các định luật Kirchhoff để giải tích nó. Hãy lấy một ví dụ. Giả thiết biết công suất tại một nút phụ tải nào đó $S_i = P_i + jQ_i$, khi đó dòng tại nút đó xác định theo công thức

$$I_i = \frac{S_i}{\sqrt{3}} U_i$$

$$\frac{12,5}{1,5} \cdot \frac{2}{13,75}$$

Dòng I_1 đó chưa thể tính được vì chính điện áp U_1 cũng là một đại lượng chưa biết cần tìm.

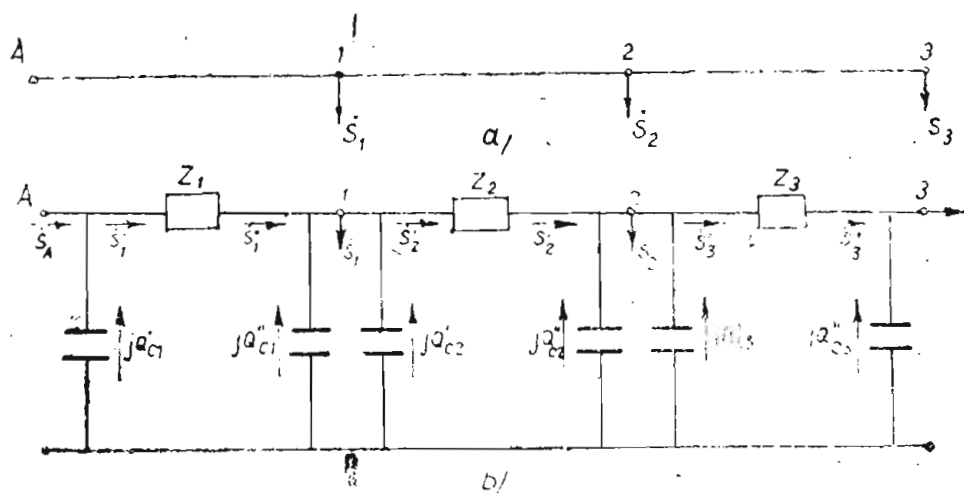
Trong tính toán người ta thường dùng hai phương pháp dò và lắp, nhưng lắp được dùng phổ biến hơn. Nội dung chủ yếu của phương pháp lắp là chuyển dần lời giải sơ bộ nào đó đến lời giải chính xác hơn, vì vậy còn gọi là phương pháp dần đúng liên tiếp. Lời giải sơ bộ có thể lấy bằng cách dự đoán. Trong mạng điện có những thông số tuy không biết chính xác trị số nhưng biết được khá chắc chắn miền dao động của chúng. Ví dụ điện áp dao động xung quanh trị số định mức, cảm kháng trên một km đường dây thường nằm trong khoảng $0,33 - 0,43\Omega$.

Thực tế chỉ ra rằng đối với mạng điện địa phương chỉ cần qua bước lắp thứ nhất và với mạng khu vực qua bước lắp thứ hai là đã được lời giải có độ chính xác cho phép.

Chương này nghiên cứu áp dụng phương pháp dần đúng liên tiếp để giải tích mạng điện đơn giản — mạng điện hở và mạng điện kín đơn giản nhất. Chi tiết về các phương pháp lắp giải tích mạng điện được trình bày ở chương 5.

3-1. TÍNH TOÁN CHẾ ĐỘ MẠNG ĐIỆN HỞ KHU VỰC

Xét mạng điện hở có một số phụ tải (hình 3-1,a). Phụ tải có thể là đường dây rẽ nhánh hoặc trạm biến áp khu vực. Sơ đồ thay thế của mạng điện có được bằng cách ghép nối tiếp sơ đồ thay thế từng đoạn đường dây và tại chỗ ghép đặt các phụ tải (hình 3-1,b).



Hình 3-1

Cần tính toán hai trường hợp: xác định các thông số chế độ mạng điện khi biết điện áp điểm cuối và khi biết điện áp tại điểm đầu.

Trước hết, xét trường hợp đơn giản hơn là biết điện áp điểm cuối. Trường hợp này chỉ việc căn cứ vào điện áp và công suất điểm cuối tính ngược về nguồn sẽ xác định được thông số cần thiết tại mọi điểm nút của mạng điện. Cụ thể với mạng điện đã cho, công suất cuối đường dây 3

$$\dot{S}_3'' = \dot{S}_3 - jQ_{c3}'' = P_3'' + jQ_3''$$

Tồn thất công suất trên đường dây 3

$$\Delta \dot{S}_3 = \frac{(P_3'')^2 + (Q_3'')^2}{U_3^2} (R_3 + jX_3)$$

Độ sụt áp trên đường dây 3

$$\Delta \dot{U}_3 = \frac{P_3'' R_3 + Q_3'' X_3}{U_3} + j \frac{P_3'' X_3 - Q_3'' R_3}{U_3}$$

Công suất đầu đường dây 3

$$\dot{S}_3 = \dot{S}_3' + \Delta \dot{S}_3 = P_3 + jQ_3$$

Điện áp đầu đường dây 3 cũng tức là điện áp điểm 2

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_3 + \Delta \dot{U}_3$$

Về trị số, với đường dây 110 kV trở xuống, có thể lấy gần đúng

$$U_2 = U_3 + \Delta U_3$$

Công suất cuối đường dây 2

$$\dot{S}_2'' = \dot{S}_3 - jQ_{c3} + \dot{S}_2 - jQ_{c2} = P_2'' + jQ_2''$$

Tồn thất công suất trên đường dây 2

$$\Delta \dot{S}_2 = \frac{(P_2'')^2 + (Q_2'')^2}{U_2^2} (R_2 + jX_2)$$

Độ sụt áp trên đường dây 2

$$\Delta \dot{U}_2 = \frac{P_2'' R_2 + Q_2'' X_2}{U_2} + j \frac{P_2'' X_2 - Q_2'' R_2}{U_2}$$

Công suất đầu đường dây 2

$$\dot{S}_2 = \dot{S}_2'' + \Delta \dot{S}_2 = P_2 + jQ_2$$

Điện áp tại điểm 1

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \Delta \dot{U}_2$$

Trị số điện áp gần đúng tại điểm 1

$$U_1 = U_2 + \Delta U_2$$

Công suất cuối đường dây 1

$$\dot{S}_1'' = \dot{S}_2 - jQ_{c2} + \dot{S}_1 - jQ_{c1} = P_1'' + jQ_1''$$

Tồn thất công suất trên đường dây 1

$$\Delta \dot{S}_1 = \frac{(P_1'')^2 + (Q_1'')^2}{U_1^2} (R_1 + jX_1)$$

Độ sụt áp trên đường dây 1

$$\Delta \dot{U}_1 = \frac{P_1'' R_1 + Q_1'' X_1}{U_1} + j \frac{P_1'' X_1 - Q_1'' R_1}{U_1}$$

Công suất đầu đường dây 1

$$\dot{S}_1 = \dot{S}_1'' + \Delta \dot{S}_1$$

Công suất đầu vào, nghĩa là công suất nguồn A cần cung cấp cho mạng điện

$$S_A = S'_1 - jQ'_{c1} = P_A + jQ_A$$

Điện áp tại thanh cái A

$$\dot{U}_A = \dot{U}_1 + \Delta \dot{U}_1$$

Trị số gần đúng

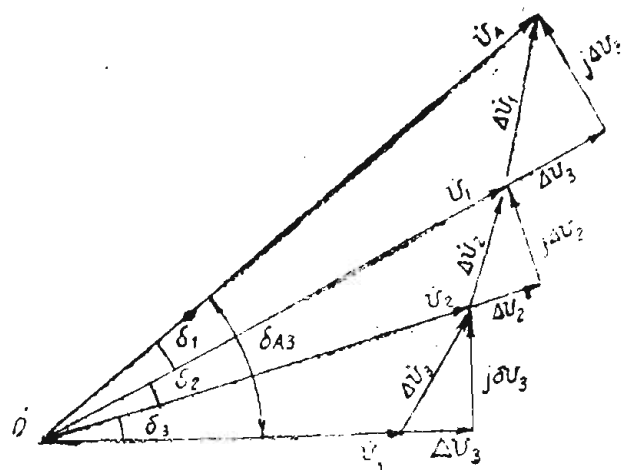
$$U_A \approx U_1 + \Delta U_1$$

Góc lệch pha giữa điện áp đầu và cuối mạng điện

$$\delta_{A3} \approx \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = \sum_{i=1}^n \delta_i$$

trong đó $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ — góc lệch pha giữa điện áp đầu và cuối các đường dây 1, 2, 3 (hình 3-2) tính được theo công thức đã biết

$$\lg \delta_i = \frac{\delta U_i}{U_i + \Delta U_i}$$



Hình 3-2

Bây giờ tiến hành tính toán cho trường hợp biết điện áp nguồn U_A . Điện áp cuối U_3 cũng như điện áp tại các nút khác là những ẩn số cần tìm. Trường hợp này áp dụng phương pháp dần đúng liên tiếp với lời giải sơ bộ là điện áp định mức tại mọi điểm trên mạng điện $U_3 = U_2 = U_1 = U_{dm}$. Căn cứ vào các phụ tải đã biết và trị số điện áp định mức, tính ngược từ cuối mạng điện tìm công suất đầu nguồn. Đến đây, chuyển sang bước lặp thứ hai từ công suất và điện áp nguồn A xác định điện áp tại các điểm cần thiết. Trình tự tiến hành

như sau:

Tồn thất công suất trên đường dây 3:

$$\Delta S_3 = \frac{(P_3'')^2 + (Q_3'')^2}{U_{dm}^2} (R_3 + jX_3)$$

Công suất cuối đường dây 2

$$S_2'' = S_3'' + \Delta S_3 - jQ'_{c3} + S_2 - jQ'_{c2}$$

Tồn thất công suất trên đường dây 2

$$\Delta S_2 = \frac{(P_2'')^2 + (Q_2'')^2}{U_{dm}^2} (R_2 + jX_2)$$

Tiếp tục tính được S_1'' và tồn thất công suất trên đường 1

$$\Delta S_1 = \frac{(P_1'')^2 + (Q_1'')^2}{U_{dm}^2} (R_1 + jX_1)$$

Cuối cùng xác định được công suất đầu vào mạng điện $\dot{S}_A$ và công suất đầu đường dây 1 $\dot{S}_1$.

Điện áp tại nút 1 tính theo $\dot{U}_A$

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_A - \frac{P_1' R_1 + Q_1' X_1}{U_A} - j \frac{P_1' X_1 - Q_1' R_1}{U_A} = \dot{U}_A - \Delta U_1 - j\delta U_1$$

Trị số gần đúng điện áp tại nút 1

$$U_1 = U_A - \Delta U_1.$$

Điện áp tại nút 2

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \frac{P_2' R_2 + Q_2' X_2}{U_1} - j \frac{P_2' X_2 - Q_2' R_2}{U_1} = \dot{U}_1 - \Delta U_2 - j\delta U_2$$

Trị số gần đúng điện áp tại nút 2

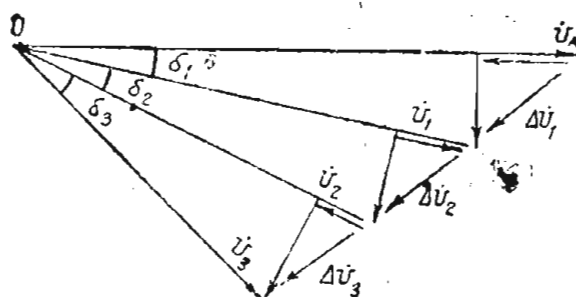
$$U_2 = U_1 - \Delta U_2$$

Điện áp tại nút 3

$$\dot{U}_3 = \dot{U}_2 - \frac{P_3' R_3 + Q_3' X_3}{U_2} - j \frac{P_3' X_3 - Q_3' R_3}{U_2} = \dot{U}_2 - \Delta U_3 - j\delta U_3.$$

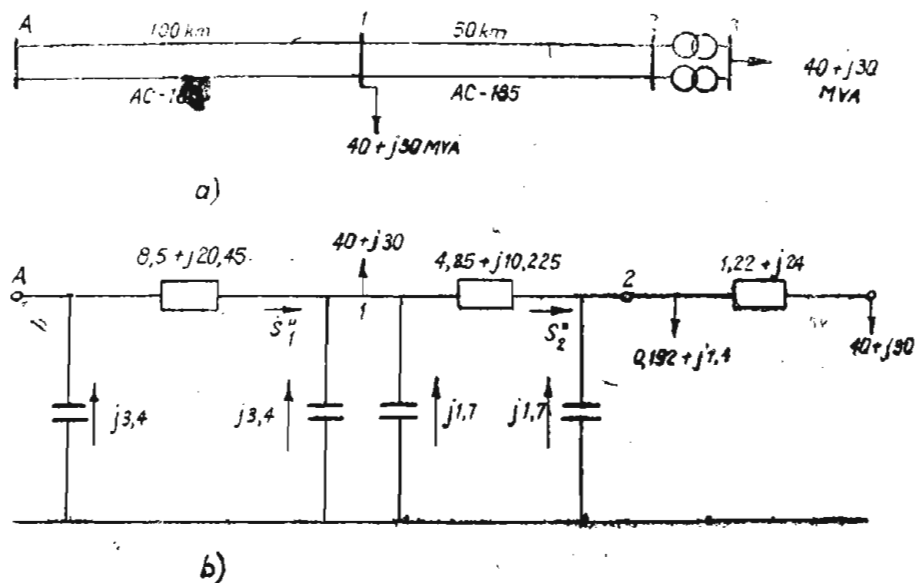
Đồ thị vector điện áp trong trường hợp này và góc lệch pha giữa chúng minh họa trên hình 3-3, trong đó

$$\operatorname{tg} \delta_i = \frac{-\delta U_i}{U_{i-1} - \Delta U_i}$$



Hình 3-3

Ví dụ 3-1. Mạng điện 110 kV như hình vẽ. Dây dẫn AC-185 đặt trên ba đỉnh tam giác đều cạnh $D = 5\text{m}$. Máy biến áp 110/11 kV dung lượng 31.500 kVA. Biết $U_3 = 10\text{ kV}$, hãy xác định điện áp và công suất tại thanh cái A, điện áp U_1 , xác định hệ số công suất tại thanh cái cao áp trạm biến áp và hiệu suất của trạm (hình 3-4, a).



Hình 3-4

Giải. Máy biến áp giảm áp 121/11 kV dung lượng 31.500 kVA có các số liệu: $\Delta P_o = 86 \text{ kW}$, $\Delta P_N = 200 \text{ kW}$, $I_o\% = 2,7\%$, $U_N\% = 10,5\%$, từ đó tính được

$$Z_B = 2,44 + j48 \Omega \text{ và } \Delta Q_o = 850 \text{ kVAR.}$$

Với trạm 2 máy $Z_N = 1,22 + j24 \Omega$

$$\Delta S_o = 192 + j1700 \text{ kVA.}$$

Đường dây kép AC-185 dài 100 km đã tính được

$$Z = 8,5 + j20,45 \Omega.$$

Với đường dây 50 km

$$Z = 4,25 + j10,225 \Omega.$$

Các thông số tính được đã ghi trên sơ đồ thay thế (hình 3-4b).

Điện áp điểm 3 quy về phía 110 kV

$$U'_3 = 10 \cdot \frac{110}{11} = 100 \text{ kV}$$

Tổn thất điện áp trong trạm biến áp

$$\Delta U_B = \frac{40 \cdot 1,22 + 30 \cdot 24}{100} = 7,7 \text{ kV}$$

Điện áp tại thanh cái cao áp trạm biến áp

$$U_2 = U'_3 + \Delta U_B = 100 + 7,7 = 107,7 \text{ kV}$$

Tổn thất công suất trong trạm biến áp

$$\begin{aligned} \Delta S_B &= 192 + j1700 + \frac{200}{2} \left(\frac{50}{31,5} \right)^2 + j \frac{10,5 \cdot 31,5}{2 \cdot 100} \left(\frac{50}{31,5} \right)^2 \cdot 10^3 = \\ &= 445 + j5850 \text{ kVA} = 0,445 + j5,85 \text{ MVA.} \end{aligned}$$

Công suất cuối đường dây 2

$$\begin{aligned} \dot{S}_2' &= \dot{S}_2 + \Delta \dot{S}_B - jQ_{c2} = 40 + j30 + 0,445 + j5,85 - j1,7 = \\ &= 40,445 + j34,15 \text{ MVA.} \end{aligned}$$

Tổn thất điện áp trên đường dây 2

$$\Delta U_2 = \frac{40,445 \cdot 4,25 + 34,15 \cdot 10,225}{107,7} = 4,85 \text{ kV.}$$

Điện áp tại nút 1

$$U_1 = U_2 + \Delta U_2 = 107,7 + 4,85 = 112,55 \text{ kV}$$

Tổn thất công suất trên đường dây 2

$$\Delta S_2 = \frac{(40,445)^2 + (34,15)^2}{(107,7)^2} (4,25 + j10,225) = 1,09 + j2,62 \text{ MVA}$$

Công suất cuối đường dây 1

$$\begin{aligned} \dot{S}_1' &= \dot{S}_2' + \Delta \dot{S}_2 - jQ_{c2} + \dot{S}_1 - jQ_{c1} = \\ &= 40,445 + j34,15 + 1,09 + j2,62 - j1,7 + 40 + j30 - j3,4 = \\ &= 81,535 + j61,67 \end{aligned}$$

Tổn thất điện áp trên đường dây 1

$$\Delta U_1 = \frac{81,535 \cdot 8,5 + 61,67 \cdot 20,45}{112,55} = 17,3 \text{ kV}$$

Điện áp tại thanh cái cao áp nguồn A

$$U_A = U_1 + \Delta U_1 = 112,55 + 17,3 = 129,85 \text{ kV}$$

Tổn thất công suất trên đường dây 1

$$\Delta S_1 = \frac{(81,535)^2 + (61,67)^2}{(112,55)^2} (8,5 + j20,45) = 7 + j16,8 \text{ MVA}$$

Công suất cần có tại thanh cái A

$$\begin{aligned} S_A &= S'_1 + \Delta S_1 - jQ_{c1} = 81,535 + j61,67 + 7 + j16,8 - j3,4 = \\ &= 88,535 + j74,07 \text{ MVA.} \end{aligned}$$

Hệ số công suất tại thanh cái cao áp trạm biến áp

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{S_2} = \frac{P_2}{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}}$$

trong đó

$$S_2 = 40 + j30 + 0,455 + j5,85 = 40,455 + j35,85 \text{ MVA}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{40,455}{\sqrt{(40,455)^2 + (35,85)^2}} = 0,75.$$

Hiệu suất trạm biến áp

$$\eta\% = \frac{40}{40,455} \cdot 100 = 99\%.$$

Kết quả trên chứng tỏ rằng hiệu suất máy biến áp rất cao, nhưng tổn hao công suất phản kháng khá lớn nên làm cho hệ số công suất giảm rõ rệt (chú ý $\cos \varphi_3 = 0,80$).

3.2. TÍNH TOÁN MẠNG ĐIỆN ĐỊA PHƯƠNG Ở CHẾ ĐỘ HỒ

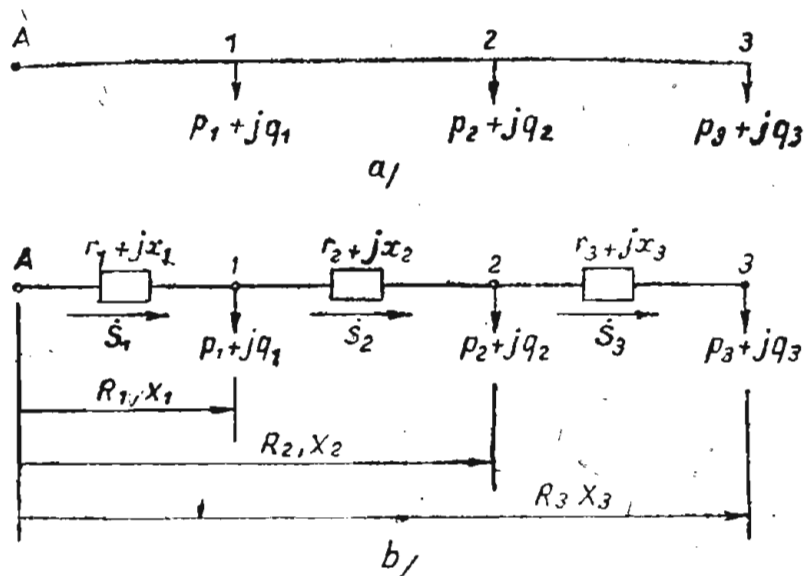
Nhận thấy rằng trong mạng điện địa phương độ lệch điện áp so với trị định mức tại mọi điểm đều khá nhỏ. Vì thế khi tính toán mạng điện ở chế độ này ngoài giả thiết bỏ qua thông số dung dẫn trên sơ đồ thay thế, người ta còn giả thiết lấy trị số điện áp tại mọi điểm bằng định mức. Khi đó công suất tại cuối và đầu đường dây nào đó có trị số tính theo U_{dm} :

$$S'' = \sqrt{3} U_{dm} I'' \text{ và } S' = \sqrt{3} U_{dm} I'$$

Các công suất đó bằng nhau $S' = S''$ nghĩa là cũng đã bỏ qua không tính đến tổn thất công suất trong mạng điện. Những giả thiết trên rất quan trọng, không những nó vẫn đảm bảo độ chính xác cho phép của các kết quả tính toán mà còn cho phép chỉ cần tiến hành bước lập đầu tiên.

Xét mạng điện địa phương ở chế độ hồ có một số phụ tải (hình 3-5, a). Trên sơ đồ thay thế (hình 3-5, b), để tiện thành lập các dạng công thức khác nhau, đã sử dụng các kí hiệu sau:

P_i, Q_i — công suất chạy trên đoạn thứ i có thông số r_i và x_i
 p_i, q_i — công suất phụ tải thứ i
 R_i, X_i — điện trở và cảm kháng đường dây tính từ nguồn A đến phụ tải i .



Hình 3-5

Do bỏ qua tổn thất công suất, dễ dàng xác định được luồng công suất trên mỗi đoạn

$$\dot{S}_2 = p_3 + jq_3 + p_2 + jq_2 = (p_2 + p_3) + j(q_2 + q_3)$$

$$\dot{S}_1 = (p_1 + p_2 + p_3) + j(q_1 + q_2 + q_3)$$

Tổng quát, công suất trên đoạn thứ i nào đó

$$\dot{S}_i = P_i + jQ_i = \sum_{m=i}^n p_m + j \sum_{m=i}^n q_m \quad (3-1)$$

Tổn thất điện áp trên đoạn thứ i

$$\Delta U_i = \frac{P_i r_i + Q_i x_i}{U_{dm}} \quad (3-2)$$

Theo đó xác định được tổng tổn thất điện áp toàn mạng điện

$$\Delta U = \frac{P_1 r_1 + Q_1 x_1}{U_{dm}} + \frac{P_2 r_2 + Q_2 x_2}{U_{dm}} + \frac{P_3 r_3 + Q_3 x_3}{U_{dm}}$$

Tổng quát, tổng tổn thất điện áp trên mạng điện có n phụ tải

$$\Delta U = \frac{1}{U_{dm}} \sum_{i=1}^n (P_i r_i + Q_i x_i) \quad (3-3)$$

Trường hợp toàn bộ đường dây có cùng tiết diện, nghĩa là có cùng thông số r_0, x_0 , công thức (3-3) có thể viết

$$\Delta U = \frac{1}{U_{dm}} \left(r_0 \sum_{i=1}^n P_i l_i + x_0 \sum_{i=1}^n Q_i l_i \right) \quad (3-4)$$

trong đó l_i — chiều dài đoạn đường dây i .

Nếu biết điện áp trạm cung cấp A là U_A , điện áp cuối mạng điện U_n xác định theo công thức

$$U_n = U_A - \Delta U = U_A - \frac{1}{U_{dm}} \sum_{i=1}^n (P_i r_i + Q_i x_i) \quad (3-5)$$

Theo (3-1) có thể viết

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n P_i r_i &= (p_1 + p_2 + \dots + p_n) r_1 + (p_2 + \dots + p_n) r_2 + \dots + p_n r_n = \\ &= p_1 r_1 + p_2 (r_1 + r_2) + \dots + p_n (r_1 + r_2 + \dots + r_n) = \sum_{i=1}^n p_i R_i. \end{aligned}$$

Tương tự cũng có

$$\sum_{i=1}^n Q_i x_i = \sum_{i=1}^n q_i X_i$$

Từ kết quả này có thể viết công thức tính điện áp dạng khác

$$\Delta U = \frac{1}{U_{dm}} \sum_{i=1}^n (p_i R_i + q_i X_i) \quad (3-6)$$

và với đường dây cùng tiết diện

$$\Delta U = \frac{1}{U_{dm}} \left(r_0 \sum_{i=1}^n r_i l_i + x_0 \sum_{i=1}^n q_i l_i \right) \quad (3-7)$$

Cần chú ý là đối với mạng điện phân nhánh (hình 3-6) tổn thất điện áp lớn nhất trong mạng điện có thể là ΔU_{A3} hoặc ΔU_{A4}

$$\Delta U_{A3} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3$$

$$\Delta U_{A4} = \Delta U_1 + \Delta U_4$$

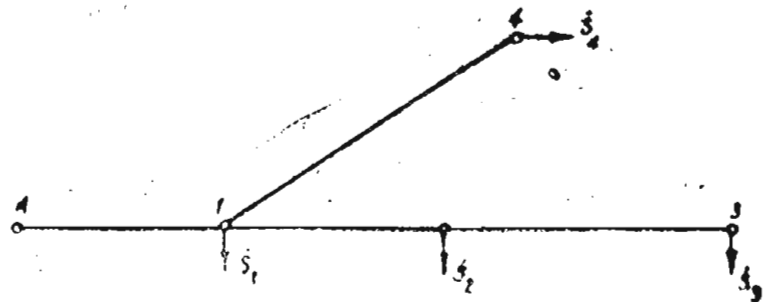
Khi đó điện áp tại các điểm cuối 3, 4 tính theo U_A

$$U_3 = U_A - (\Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3)$$

$$U_4 = U_A - (\Delta U_1 + \Delta U_4)$$

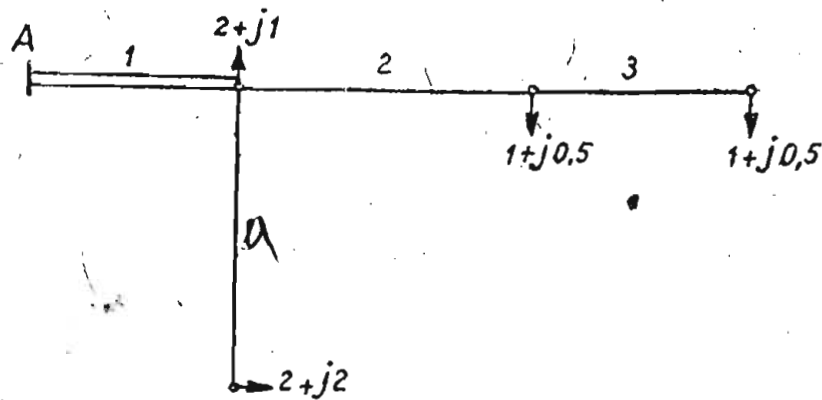
Tất nhiên, khi cần thiết, có thể dễ dàng xác định được tổn thất công suất trong mạng địa phương theo công thức

$$\Delta S = \frac{1}{U_{dm}^2} \sum_{i=1}^n (P_i^2 + Q_i^2) (r_i + j x_i) \quad (3-8)$$



Hình 3-6

Ví dụ 3-2. Mạng điện công nghiệp $10kV$, toàn bộ dùng dây A-95 với $D_{tb} = 1m$ (hình 3-7). Phụ tải có đơn vị MVA . Xác định tổn thất điện áp lớn nhất và tổn thất công suất trong mạng điện. Nếu điện áp nguồn A là $11kV$, xác định điện áp điểm có điện áp thấp nhất.



Hình 3-7

Giải. Tra được $Z_0 = r_0 + jx_0 = 0,33 + j332 \Omega/km$.

$$\text{Tính được } Z_1 = \frac{1}{2} (0,33 + j332) = 0,165 + j0,166\Omega$$

$$Z_2 = 2(0,33 + j332) = 0,66 + j0,664\Omega = Z_4$$

$$Z_3 = 0,33 + j0,332 \Omega$$

Công suất chạy trên các đoạn đường dây

$$S_4 = 2 + j2 \text{ MVA}$$

$$S_3 = 1 + j0,5 \text{ MVA}$$

$$S_2 = (1 + j0,5) + (1 + j0,5) = 2 + j1 \text{ MVA}$$

$$S_1 = (2 + j2) + (1 + j0,5) + (1 + j0,5) + (2 + j1) = 6 + j4 \text{ MVA.}$$

Tổn thất công suất trên toàn mạng điện xác định được theo (3-8)

$$\Delta S = \frac{1}{10^2} [(6^2 + 4^2) (0,165 + j0,166) + (2^2 + 1^2) (0,66 + j0,664) + (1^2 + 0,5^2) (0,33 + j0,332) + (2^2 + 2^2) (0,66 + j0,664)]$$

$$\Delta S = 0,175 + j0,180 \text{ MVA}$$

Tổn thất công suất tác dụng và phản kháng tính theo phần trăm

$$\Delta P\% = \frac{0,175}{6} 100 = 2,92\%$$

$$\Delta Q\% = \frac{0,180}{6} 100 = 3,0\%$$

Tổn thất điện áp từ A đến phụ tải 3 tính theo (3-3)

$$\Delta U_{A3} = \frac{1}{10} [(6 \cdot 0,165 + 2 \cdot 0,66 + 1 \cdot 0,33) + (4 \cdot 0,166 + 1 \cdot 0,664 + 0,5 \cdot 0,332)] = 0,412 \text{ kV}$$

Tổn thất điện áp từ A đến phụ tải 4

$$\Delta U_{A4} = \frac{1}{10} [(6 \cdot 0,165 + 2 \cdot 0,66) + (4 \cdot 0,166 + 2 \cdot 0,664)] = 0,401 \text{ kV}.$$

Như vậy tổn thất điện áp lớn nhất là $\Delta U_{A3} = 0,412 \text{ kV}$ và điểm 3 có điện áp thấp nhất mạng điện

$$U_3 = U_A - U_{A3} = 11 - 0,412 = 10,588 \text{ kV}.$$

3-3. TÍNH TOÁN CHẾ ĐỘ MẠNG ĐIỆN KÍN ĐƠN GIẢN

Để làm đơn giản sơ đồ tính toán mạng điện kín người ta đưa vào khái niệm phụ tải tính toán và công suất tính toán nhà máy điện. Xét mạng điện kín

có hai phụ tải và một nguồn cung cấp (hình 3-8, a). So sánh giữa sơ đồ thay thế (hình 3-8, b) và sơ đồ đã được làm đơn giản (hình 3-8, c), nhận thấy phụ tải tính toán $\dot{S}_1, \dot{S}_2$ là những đại lượng quy ước bao gồm phụ tải thực, tổn hao công suất trong máy biến áp và công suất do đường dây sinh ra

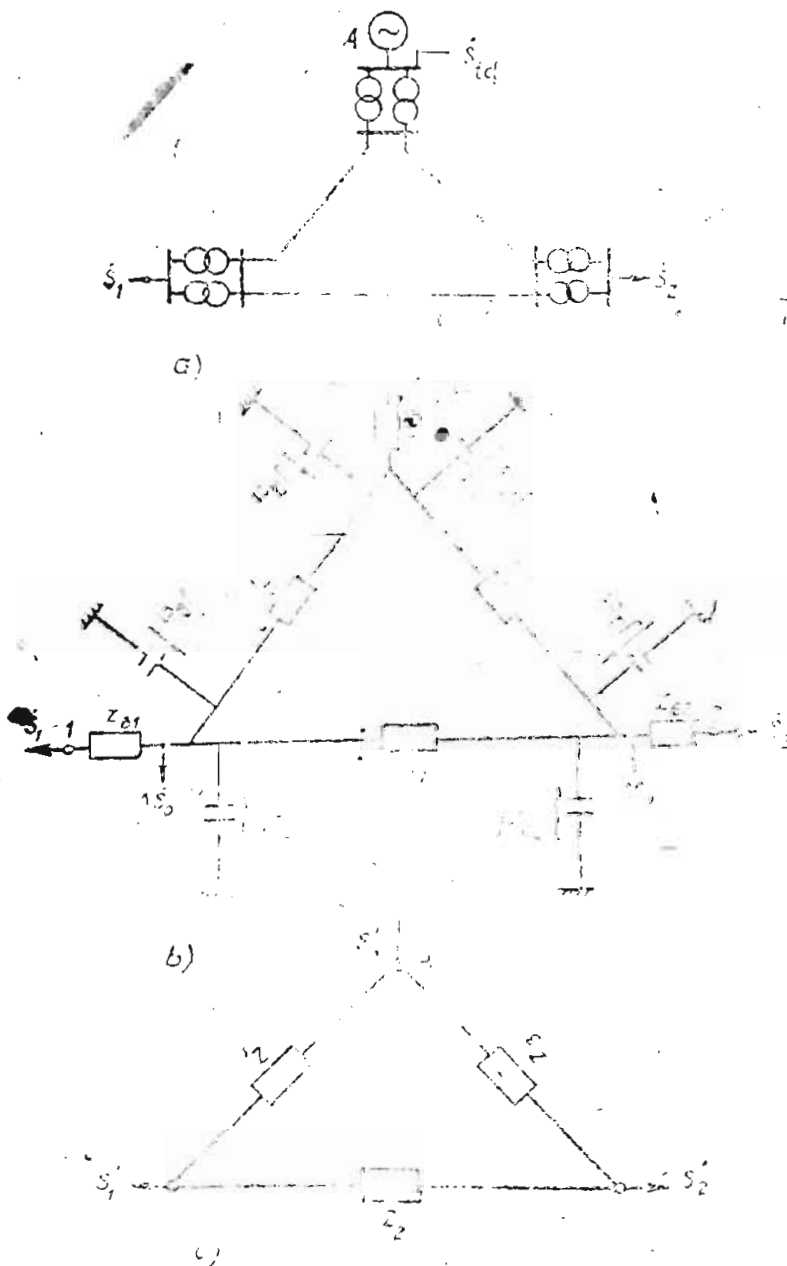
$$\dot{S}_1 = \dot{S}_1 + \Delta \dot{S}_{B1} - jQ_{c1} - jQ_{c2}.$$

và công suất tính toán nhà máy điện là công suất phát ra của nhà máy điện đã trừ đi công suất tự dùng, tổn thất công suất trong máy biến áp tăng và công suất do đường dây sinh ra

$$\begin{aligned} \dot{S}'_A &= \dot{S}_A - \dot{S}_{td} - \Delta \dot{S}_B + \\ &+ jQ_{c1} + jQ_{c3}. \end{aligned}$$

Ở đây chỉ xét mạng điện kín đơn giản nhất là mạng chỉ có một vòng (hình 3-9, a) hoặc đường dây có hai đầu cung cấp điện (hình 3-9, b), trên đó $\dot{S}_1, \dot{S}_2, \dot{S}_3$ là những phụ tải tính toán tại 1, 2, 3. Thường biết trước điện áp, nguồn cung

cấp và công suất các phụ tải, nghĩa là biết công suất và điện áp ở những điểm khác nhau, vì vậy để tính toán chế độ mạng điện kín phải dùng phương pháp dần đúng liên tiếp. Bước thứ nhất nhằm xác định phân bố dòng, trong mạng



Hình 3-8

điện với giả thiết điện áp lấy bằng trị số định mức, tại mọi điểm và bỏ qua tổn thất công suất trên các đoạn đường dây. Bước thứ hai xác định chính xác hơn công suất và điện áp tại các điểm nút của mạng điện.

Qui ước chiều công suất như hình vẽ và giả thiết điện áp hai đầu cung cấp bằng nhau cả về trị số và góc pha, theo định luật Kirchhoff II viết được phương trình cân bằng điện áp sau đây

$$\frac{\hat{S}_{A1}}{\sqrt{3} U_{dm}} Z_1 + \frac{\hat{S}_{12}}{\sqrt{3} U_{dm}} Z_2 + \frac{\hat{S}_{23}}{\sqrt{3} U_{dm}} Z_3 - \frac{\hat{S}_{B3}}{\sqrt{3} U_{dm}} Z_4 = 0$$

hay là

$$\hat{S}_{A1} \hat{Z}_1 + \hat{S}_{12} \hat{Z}_2 + \hat{S}_{23} \hat{Z}_3 - \hat{S}_{B3} \hat{Z}_4 = 0$$

Chú ý rằng vì bỏ qua tổn thất công suất, có:

$$\hat{S}_{A1} + \hat{S}_{B3} = \hat{S}_1 + \hat{S}_2 + \hat{S}_3$$

suy ra

$$\hat{S}_{A1} = \hat{S}_1 + \hat{S}_2 + \hat{S}_3 - \hat{S}_{B3}$$

Ngoài ra, viết được các phương trình cân bằng dòng tại nút 1, 2 theo luật Kirchhoff I:

$$\hat{S}_{12} = \hat{S}_{A1} - \hat{S}_1$$

$$\hat{S}_{23} = \hat{S}_{A1} - \hat{S}_1 - \hat{S}_2$$

Hình 3-9

Thay những đại lượng đó vào phương trình cân bằng điện áp, nhận được

$$\hat{S}_{A1} (\hat{Z}_1 + \hat{Z}_2 + \hat{Z}_3 + \hat{Z}_4) - \hat{S}_1 (\hat{Z}_2 + \hat{Z}_3 + \hat{Z}_4) - \hat{S}_2 (\hat{Z}_3 + \hat{Z}_4) - \hat{S}_3 \hat{Z}_4 = 0.$$

Suy ra:

$$\hat{S}_{A1} = \hat{S}_A = \frac{\hat{S}_1 \hat{Z}_1 + \hat{S}_2 \hat{Z}_2 + \hat{S}_3 \hat{Z}_3}{\hat{Z}_{AB}}$$

tương tự có:

$$\hat{S}_{B3} = \hat{S}_B = \frac{\hat{S}_1 \hat{Z}_1 + \hat{S}_2 \hat{Z}_2 + \hat{S}_3 \hat{Z}_3}{\hat{Z}_{AB}}$$

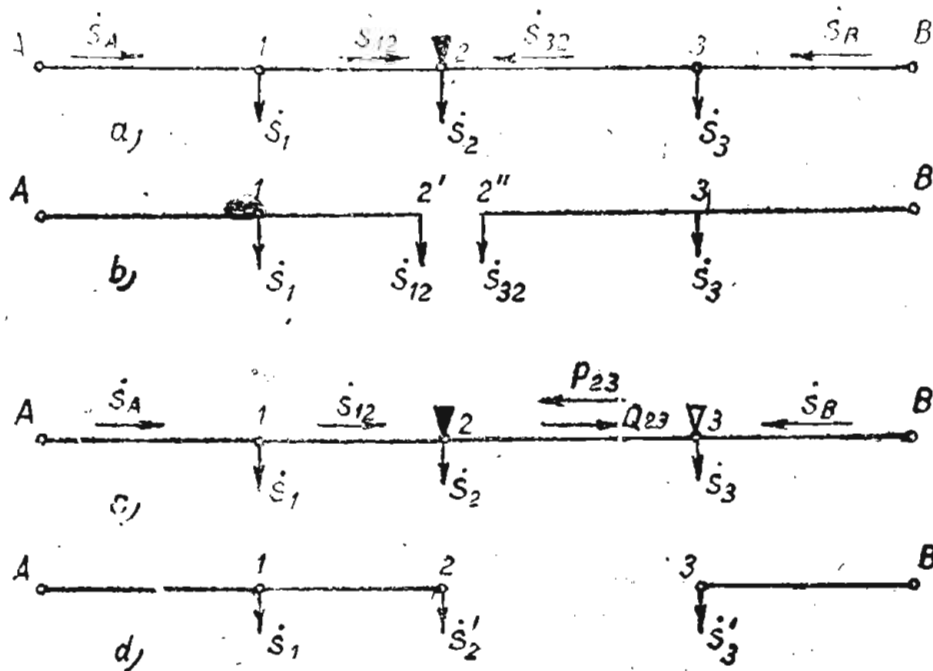
Tổng quát, nếu trong mạng kín có n phụ tải

$$\hat{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{S}_i \hat{Z}_{iB}}{\hat{Z}_{AB}} \quad (3-9)$$

$$\hat{S}_B = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{S}_i \hat{Z}_{iA}}{\hat{Z}_{AB}} \quad (3.10)$$

Trong đó Z_{iB} — tổng trở mạng điện kể từ phụ tải i đến nguồn cung cấp B ;
 Z_{iA} — cũng vậy, nhưng đến nguồn A ; Z_{AB} — tổng trở toàn mạng kín.

Nút có công suất đi đến từ hai phía gọi là điểm phân công suất, kí hiệu ∇ (hình 3-10, a), đó là điểm có điện áp thấp nhất mạng điện kín. Trường hợp mạng có hai điểm phân công suất thì dùng kí hiệu ∇ chỉ điểm phân công suất tác dụng và kí hiệu ∇ chỉ điểm phân công suất phản kháng (hình 3-10, c).



Hình 3-10

Đối với mạng kín có cùng tiết diện trên tất cả các đoạn, phân bố công suất trong mạng chỉ phụ thuộc chiều dài:

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i (r_o + jx_o) l_{iB}}{(r_o + jx_o) l_{AB}}$$

$$\dot{S}_B = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i (r_o + jx_o) l_{iA}}{(r_o + jx_o) l_{AB}}$$

nghĩa là:

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i l_{iB}}{l_{AB}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i l_{iA}}{l_{AB}} + j \frac{\sum_{i=1}^n Q_i l_{iA}}{l_{AB}} \quad (3-11)$$

$$\dot{S}_B = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i l_{iA}}{l_{AB}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i l_{iA}}{l_{AB}} + j \frac{\sum_{i=1}^n Q_i l_{iA}}{l_{AB}} \quad (3-12)$$

Công thức (3-11) và (3-12) thường được sử dụng trong giai đoạn thiết kế mạng điện khi chưa biết điện áp trên dây dẫn.

Sau khi xác định phân bố công suất có thể tách mạng kín thành hai mạng hở độc lập nhau (hình 3-10, b), trong đó tại điểm 2 đặt phụ tải $\dot{S}_{12}$ và tại 2' đặt phụ tải $\dot{S}'_{12}$. Trường hợp mạng có hai điểm phân công suất cũng tách ra làm hai mạng hở (hình 3-10 d) có kể đến tổn thất công suất trên đoạn dây nằm giữa hai điểm phân công suất đó, nghĩa là

$$\dot{S}_2 = P_2 + jS_2 = P_{12} + j(Q_{12} + \Delta Q_{23})$$

$$\dot{S}_3 = P_3 + jQ_3 = (P_{B3} + \Delta P_{23}) + jQ_{B3}$$

trong đó :

$$\Delta P_{23} = \frac{U_{23}^2 + Q_{23}^2}{U_{dm}^2} R_3, \Delta Q_{23} = \frac{P_{23}^2 + Q_{23}^2}{U_{dm}^2} X_3$$

Đến đây chuyển sang bước tính toán thứ hai, căn cứ vào công suất phụ tải và U_{dm} xác định tổn thất công suất trên các đoạn, cuối cùng xác định được công suất nguồn, từ đó tìm ra điện áp nguồn xác định điện áp tại các điểm nút. Đó chính là bài toán tính toán chế độ mạng điện hở khu vực đã nghiên cứu. Tất nhiên, với mạng kín phương, do bỏ qua tổn thất công suất, có thể sử dụng ngay trị số công suất nguồn tính được theo (3-9) – (3-12) để tiến hành xác định điện áp các nút.

Trường hợp điện áp hai đầu nguồn khác nhau, ngay cả khi mạng kín không có phụ tải vẫn có một dòng điện chạy qua gọi là dòng điện cân bằng $\dot{I}_0$.

$$\dot{I}_0 = \frac{\dot{U}_{BP} - \dot{U}_{AP}}{Z_{AB}}$$

Như vậy, với trường hợp này, công suất tính theo (3-9), (3-10) phải cộng thêm một thành phần kể đến dòng điện cân bằng đó

$$\dot{S}_A = -\sqrt{3} \dot{U}_A \hat{I}_0 + \frac{\sum_{i=1} \dot{S}_i Z_{iB}}{Z_{AB}}$$

$$\dot{S}_B = \sqrt{3} \dot{U}_B \hat{I}_0 + \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i Z_{iA}}{Z_{AB}}$$

Thay trị số dòng $\hat{I}_0$ vào công thức trên có :

$$\dot{S}_A = \dot{U}_A \frac{\hat{U}_A - \hat{U}_B}{Z_{AB}} + \frac{\sum_{i=1} \dot{S}_i Z_{iB}}{Z_{AB}} \quad (3-13)$$

$$\dot{S}_B = \dot{U}_B \frac{\hat{U}_B - \hat{U}_A}{Z_{AB}} + \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i Z_{iA}}{Z_{AB}} \quad (3-14)$$

Ví dụ 3-3. Mạng điện 10 kV cung cấp điện cho 4 phụ tải (hình 3-11) trong đó phụ tải cho bằng kVA, chiều dài km. Toàn bộ mạng điện dùng dây A-95 có $D_{tb} = 1m$. Hãy kiểm tra điều kiện điện áp nếu tổn thất điện áp cho phép lúc bình thường là 5%, khi sự cố là 10%.

Giải. Tra được $Z_0 = 0,33 + j332 \Omega/km$.

Đây là mạng kín cùng tiết diện, tính được công suất từ nguồn 1 theo công thức (3-11), (3-12) đã chú ý tập trung phụ tải 1 về nút 1:

$$S_{A1} = \frac{(4 + j3)(2 + 1 + 2) + (1 + j1)(1 + 1 + 2) + (1 + j3)2}{1 + 2 + 1 + 2} = 3,38 + j2,75 \text{ MVA}$$

$$\begin{aligned} S_{A3} &= \frac{(2 + j2)(1 + 2 + 1) + (1 + j1)(2 + 1) + (1 + j3)(1)}{1 + 2 + 1 + 2} \\ &= 3,62 + j3,25 \text{ MVA} \end{aligned}$$

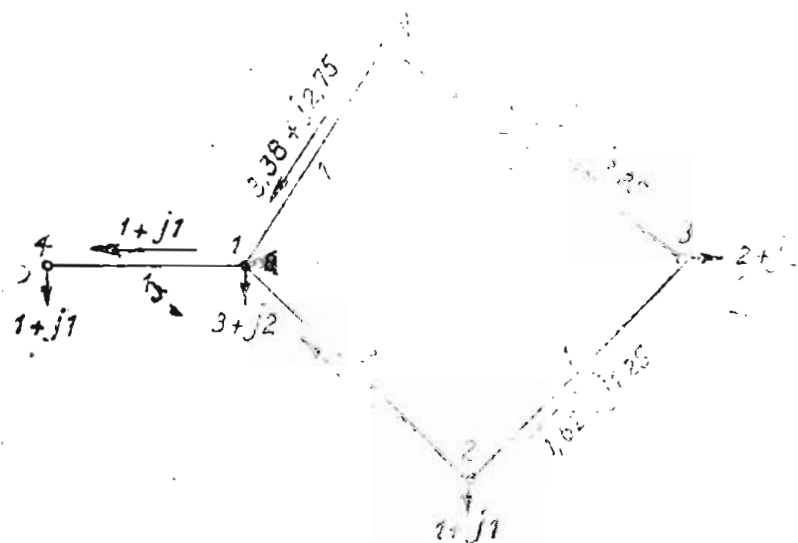
Từ đây tính được công suất đi trên các đoạn còn lại, ghi ở hình vẽ. Nút 1 là điểm phân công suất, nó có điện áp thấp nhất trong mạch vòng còn nút 4 có điện áp thấp nhất toàn mạng điện.

Tổn thất điện áp trên đoạn A1

$$\begin{aligned} \Delta U_{A1}\% &= \\ &= \frac{3,38 \cdot 0,33 + 2,75 \cdot 0,332}{10^2} 100 = \\ &= 2,02\% \end{aligned}$$

Tổn thất điện áp trên đoạn 14

$$\begin{aligned} \Delta U_{14}\% &= \\ &= \frac{1 \cdot 0,33 + 1 \cdot 0,332}{10^2} 100 = \\ &= 0,66\% \end{aligned}$$



Hình 3-11

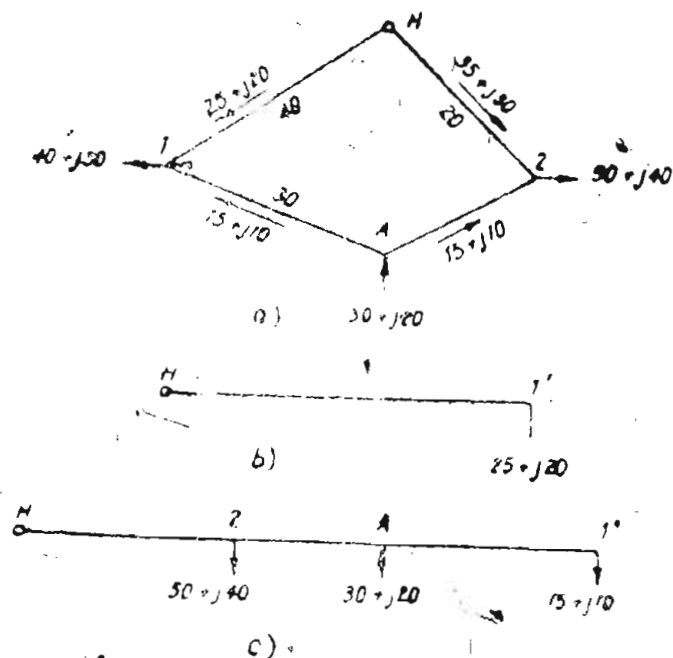
Tổn thất điện áp lớn nhất trong mạng điện

$$\Delta U_{A14}\% = 0,66\% + 2,02\% = 2,68\% < 5\%$$

Trường hợp sự cố lớn nhất trong mạng điện này là đứt đoạn đường dây A₁, lúc đó trở thành mạng điện hở A-3-2-1-4. Tổn thất điện áp lớn nhất sẽ là:

$$\begin{aligned} U_{A3214}\% &= \frac{(7 \cdot 0,33 \cdot 2 + 5 \cdot 0,33 + 4 \cdot 0,33 \cdot 2 + 1 \cdot 0,33) + (1 \cdot 0,332 \cdot 2 + \\ &\quad + 4 \cdot 0,332 + 3 \cdot 0,332 \cdot 2 + 1 \cdot 0,332)}{10^2} 100 = 1,5\% > 10\% \end{aligned}$$

Như vậy, mạng điện trên không đảm bảo yêu cầu về điện áp khi xảy ra sự cố đoạn đường dây A-1.



Hình 3-12

Ví dụ 3-4. Hai trạm biến áp trung gian được cung cấp từ nhà máy điện A và hệ thống H theo mạch vòng 110 kV (hình 3-12). Các phụ tải S_1, S_2 là các phụ tải tính toán và công suất S_A là công suất tính toán nhà máy điện, MVA; toàn mạng điện dùng dây dẫn AC-185, $D_{tb} = 5$ m, chiều dài ghi trên hình vẽ, km. Biết điện áp tại thanh cái hệ thống $U_H = 110$ kV, yêu cầu xác định điện áp tại thanh cái cao áp trạm biến áp 1 và 2.

Giải. Chú ý rằng khi trong mạch vòng có hai nguồn cung cấp thì coi một nguồn là phụ tải âm, sau đó vẫn áp dụng công thức tổng quát tính toán bình thường. Đối với mạng điện đã cho, công suất phân bố theo chiều dài

$$\dot{S}_{H1} = \frac{(40 + j30)(30 + 10 + 20) - (30 + j20)(10 + 20) + (50 + j40)20}{40 + 30 + 10 + 20} =$$

$$= 25 + j20 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_{H2} = \frac{(50 + j40)(40 + 30 + 10) - (30 + j20)(30 + 40) + (40 + j30)40}{40 + 30 + 10 + 20} =$$

$$= 35 + j30 \text{ MVA.}$$

Suy ra

$$\dot{S}_{A1} = 15 + j10 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_{A2} = 15 + j10 \text{ MVA.}$$

Tra bảng với dây AC-185 có $Z_0 = 0,17 + j0,409$.

Tổn thất công suất trên đoạn H-1 (hình 3-12b)

$$\Delta S_{H1} = \frac{25^2 + 20^2}{110^2} \cdot 0,17 \cdot 40 + j \frac{25^2 + 20^2}{110^2} \cdot 0,409 \cdot 40 =$$

$$= 0,575 + j1,39 \text{ MVA.}$$

Công suất đầu đường dây H-1

$$\dot{S}_{H1} = 25 + j20 + 0,575 + j1,39 = 25,575 + j21,39.$$

Tổn thất điện áp trên đoạn H-1

$$\Delta U_{H1} = \frac{25,575 \cdot 0,17 \cdot 40 + 21,39 \cdot 0,409 \cdot 40}{110} = 5,24 \text{ kV}$$

Điện áp tại nút 1

$$U_1 = U_H - \Delta U_{H1} = 110 - 5,24 = 104,76 \text{ kV}$$

Tổn thất công suất trên đoạn A-1 (hình 3-12, c)

$$\Delta S_{A1} = \frac{15^2 + 10^2}{110^2} \cdot 0,17 \cdot 30 + j \frac{15^2 + 10^2}{110^2} \cdot 0,409 \cdot 30 = \\ = 0,137 + j0,33 \text{ MVA.}$$

Công suất cuối đoạn 2-A

$$S'_{2A} = (30 + j20) - (15 + j10) - (0,137 + j0,33) = \\ = 14,863 + j9,67 \text{ MVA.}$$

Tổn thất công suất trên đoạn 2-A

$$\Delta S_{2A} = \frac{(14,863)^2 + (9,67)^2}{110^2} \cdot 0,17 \cdot 10 + \frac{(14,863)^2 + (9,67)^2}{110^2} \cdot 0,409 \cdot 10 = \\ = 0,043 + j0,103 \text{ MVA.}$$

Công suất cuối đoạn dây H-2

$$S'_{H2} = (50 + j40) - (14,863 + j9,67) - (0,043 + j0,103) = \\ = 35,1 + j31,23 \text{ MVA.}$$

Tổn thất công suất trên đoạn H-2

$$\Delta S_{H2} = \frac{(35,1)^2 + (31,23)^2}{110^2} (0,17 \cdot 20 + j0,409 \cdot 20) = \\ = 0,615 + j1,48 \text{ MVA.}$$

Công suất đầu đoạn H-2

$$S'_{H2} = 35,1 + j31,23 + 0,615 + j1,48 = 35,715 + j32,71 \text{ MVA.}$$

Tổn thất điện áp trên đoạn H-2:

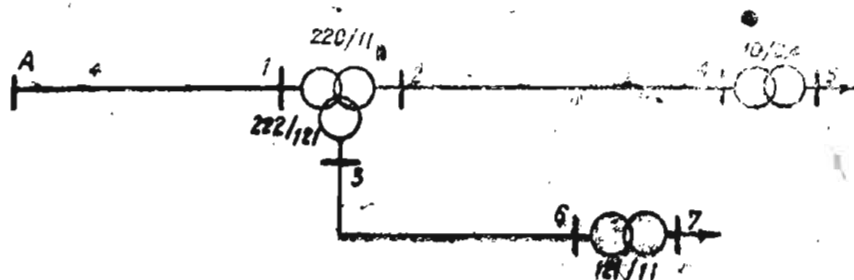
$$\Delta U_{H2} = \frac{35,715 \cdot 0,17 \cdot 20 + 32,71 \cdot 0,409 \cdot 20}{110} = 3,61 \text{ kV.}$$

Điện áp tại nút 2

$$U_2 = U_H - \Delta U_{H2} = 110 - 3,61 = 106,39 \text{ kV.}$$

3-4. TÍNH TOÁN MẠNG ĐIỆN CÓ NHIỀU CẤP ĐIỆN ÁP

Mạng điện thường bao gồm nhiều cấp điện áp khác nhau (hình 3-13). Khi tính toán chúng, với những mạng đơn giản có thể tính riêng rẽ từng cấp điện áp có chú ý đến sự biến đổi dòng điện, điện áp qua máy biến áp. Nói chung, tiện lợi hơn cả là quy các thông số của mạng điện về cùng một cấp điện áp nào đó tùy ý, như vậy mọi tính toán chỉ thực hiện trên một cấp điện áp.



Hình 3-13

Thường sử dụng một số công thức quy đổi quen biết

$$Z'_i = Z_i (\Pi k_B)^2 \quad (3-15)$$

$$Y' = Y_i / (\Pi k_B)^2 \quad (3-16)$$

trong đó Z_i, Y_i — tổng trở và tổng dẫn thực của phần tử thứ i nào đó.

Z'_i, Y'_i — tổng trở và tổng dẫn của phần tử thứ i sau khi quy đổi về cấp điện áp nào đó

k_B — tích các tỉ số biến áp giữa cấp điện áp thực của phần tử i và cấp điện áp cần quy về.

Điện áp tại một nút i nào đó cũng được quy đổi theo công thức

$$U'_i = U_i \Pi k_B \quad (3-17)$$

Ví dụ tổng trở của đoạn 2-4 quy về cấp điện áp 220 kV là

$$Z'_{24} = Z_{24} (k_{12})^2 = Z_{24} \left(\frac{220}{11} \right)^2$$

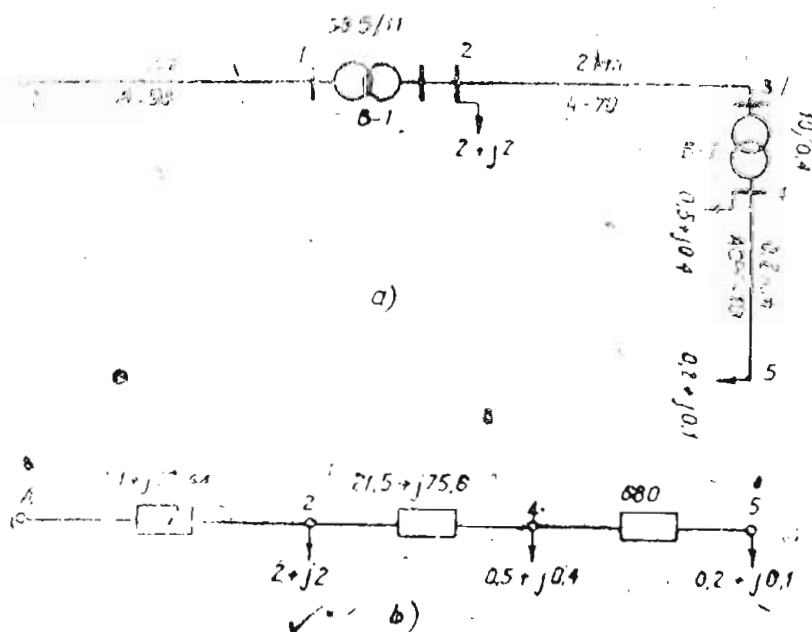
Điện áp tại thanh cái 7 quy về cấp điện áp 220 kV là

$$U'_7 = U_7 \cdot k_{67} \cdot k_{13} = U_7 \left(\frac{121}{11} \right) \left(\frac{220}{121} \right)$$

Tất nhiên, sau khi tính toán, cần sử dụng các công thức trên để xác định các trị số thực. Ví dụ, nếu kết quả tính được $U'_5 = 195$ kV thì trị số thực của điện áp tại thanh cái 5 là:

$$U_5 = U'_5 / k_B = 195 \cdot \left(\frac{11}{220} \cdot \frac{0,4}{10} \right) = 0,39 \text{ kV.}$$

Ví dụ 3-5. Mạng điện có ba cấp điện áp như hình vẽ (hình 3-14, a). Máy biến áp B-1 dung lượng 6.300 kVA, $U_N\% = 7,5\%$; $\Delta P_N = 46,5$ kW. máy biến áp B-2 dung lượng 1000 kVA, $U_N\% = 5,5\%$; $\Delta P_N = 8,6$ kW. Biết điện áp tại thanh cái A là 33 kV. Hãy xác định điện áp tại thanh cái 2, 4 và 5.



Hình 3-14

Giải. Trước hết xác định các thông số của mạng điện. Tổng trở máy biến áp B-1 tính về phía 35 kV.

$$Z_{B1} = \frac{46,5 \cdot (35)^2}{(6 \cdot 300)^2} 10^3 + j \frac{7,5 \cdot (35)^2}{6300} 10 = 1,45 + j14,5 \Omega$$

Tổng trở máy biến áp B-2 tính về phía 10 kV

$$Z_{B2} = \frac{8,6(10)^2}{(1000)^2} 10^3 + j \frac{5,5(10)^2}{1000} 10 = 0,86 + j5,5 \Omega$$

Tra được với dây A-95 có $Z_0 = 0,33 + j0,357 \Omega/km$

A-70 có $Z_0 = 0,45 + j0,341 \Omega/km$.

Cáp nhôm 70 có $Z_0 \approx 0,45 + j0 \Omega/km$ từ đó tính ra được:

$$Z_{A1} = (0,33 + j0,357)5 = 1,65 + j1,94 \Omega.$$

$$Z_{23} = (0,45 + j0,341) \cdot 2 = 0,90 + j0,68 \Omega.$$

$$Z_{45} = 45 \cdot 0,2 = 0,09 \Omega.$$

Quy đổi tất cả các thông số trên về cấp điện áp 35 kV

$$Z'_{B2} = (0,86 + j5,5) \left(\frac{38,5}{11} \right)^2 = 10,5 + j67,3 \Omega.$$

$$Z'_{23} = (0,9 + j0,68) \left(\frac{38,5}{11} \right)^2 = 11 + j8,3 \Omega.$$

$$Z'_{45} = (0,09) \cdot \left(\frac{10}{0,4} \cdot \frac{38,5}{11} \right)^2 = 680 \Omega.$$

Riêng Z_{A1} và Z_{B1} đã tính với điện áp 35 kV.

Cuối cùng có sơ đồ thay thế như hình vẽ (hình 3-14,b), trong đó đã viết gọn lại:

$$Z'_{A2} = Z_{A1} + Z'_{B1} = 3,1 + j16,44 \Omega.$$

$$Z'_{24} = Z'_{23} + Z'_{B2} = 21,5 + j75,6 \Omega.$$

Điện áp các điểm 2, 4, 5 đã quy về phía 35 kV xác định như sau:

$$U'_2 = U_A - \Delta U_{A2} = 38 - \frac{2,7 \cdot 3,1 + 2,5 \cdot 16,44}{35} = 36,6 kV$$

$$U'_4 = U'_2 - \Delta U'_{24} = 36,6 - \frac{0,7 \cdot 21,5 + 0,6 \cdot 75,6}{35} = 35,1 kV$$

$$U'_5 = U'_4 - \Delta U'_{45} = 35,1 - \frac{0,2 \cdot 680}{35} = 31,2 kV$$

Điện áp thực tại các điểm đó là

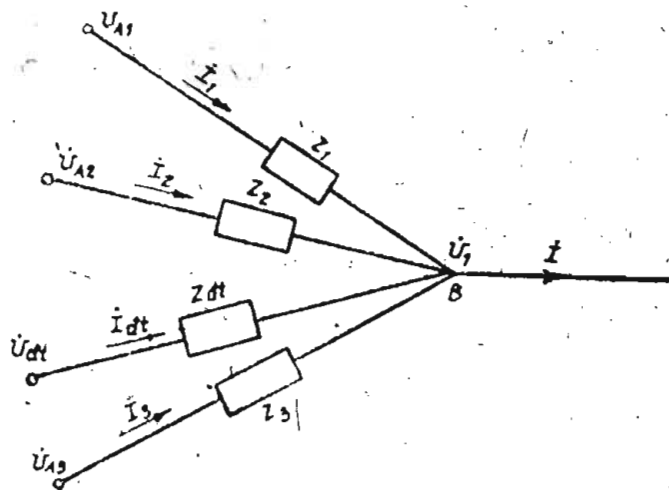
$$U_2 = U'_2 / k_B = 36,6 \cdot \frac{11}{38,5} = 10,3 kV.$$

$$U_4 = U'_4 / k_{B1} \cdot k_{B2} = 35,1 \cdot \frac{0,4}{10} \cdot \frac{11}{38,5} = 0,400 kV.$$

$$U_5 = U'_5 / k_{B1} \cdot k_{B2} = 31,2 \cdot \frac{0,4}{10} \cdot \frac{11}{38,5} = 0,360 kV.$$

3-5. MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP BIẾN ĐỔI SƠ ĐỒ THAY THỂ MẠNG ĐIỆN

Như đã nói, mạng điện là một cấu trúc phức tạp bao gồm nhiều phần tử, nhiều mạch vòng, mạng điện càng lớn sơ đồ thay thế càng phức tạp và tính toán càng khó khăn. Vì thế, song song với việc hoàn thiện các phương pháp tính, cần áp dụng các phương pháp biến đổi làm đơn giản sơ đồ thay thế mạng điện. Trong nhiều trường hợp, bằng các phương pháp biến đổi có thể đưa sơ đồ phức tạp về sơ đồ đơn giản có hai đầu cung cấp điện.



Hình 3-15

Chương 5 và 6 giới thiệu một số phương pháp hiện đại giải tích mạng điện phức tạp, song ngay cả khi áp dụng những phương pháp hiện đại đó việc biến đổi làm đơn giản sơ đồ thay thế mạng điện cũng vẫn cần thiết.

Thực tế tính toán thường gặp trường hợp nhiều nguồn cung cấp cùng đưa điện đến một trạm trung gian nào đó (hình 3-15). Để làm đơn giản mạng điện này tốt nhất là thay thế các nhánh 1, 2, 3 bằng một nhánh đẳng trị có điện trở bằng điện trở đẳng trị của Z_1, Z_2, Z_3 và điện áp nguồn bằng điện áp đẳng trị của 3 nguồn $\dot{U}_{A1}, \dot{U}_{A2}, \dot{U}_{A3}$. Điều kiện để thực hiện các biến đổi là điện áp $\dot{U}_B$ tại nút B và dòng I đi ra từ nút đó không thay đổi.

Dòng điện chạy trong các nhánh xác định theo các phương trình

$$\dot{I}_1 = (\dot{U}_{A1} - \dot{U}_B) Y_1$$

$$\dot{I}_2 = (\dot{U}_{A2} - \dot{U}_B) Y_2$$

$$\dot{I}_3 = (\dot{U}_{A3} - \dot{U}_B) Y_3$$

Trong đó $\dot{U}_{A1}, \dot{U}_{A2}, \dot{U}_{A3}, \dot{U}_B$ là các điện áp pha.

Từ điều kiện dòng I không đổi có thể viết:

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = \dot{I}_{dt} = (\dot{U}_{dt} - \dot{U}_B) Y_{dt}$$

Thay các biểu thức của dòng điện vào, nhận được

$$(\dot{U}_{A1} - \dot{U}_B) Y_1 + (\dot{U}_{A2} - \dot{U}_B) Y_2 + (\dot{U}_{A3} - \dot{U}_B) Y_3 = (\dot{U}_{dt} - \dot{U}_B) Y_{dt}$$

Sau khi biến đổi có:

$$\dot{U}_{A1} Y_1 + \dot{U}_{A2} Y_2 + \dot{U}_{A3} Y_3 - \dot{U}_B (Y_1 + Y_2 + Y_3) = \dot{U}_{dt} Y_{dt} - \dot{U}_B Y_{dt}$$

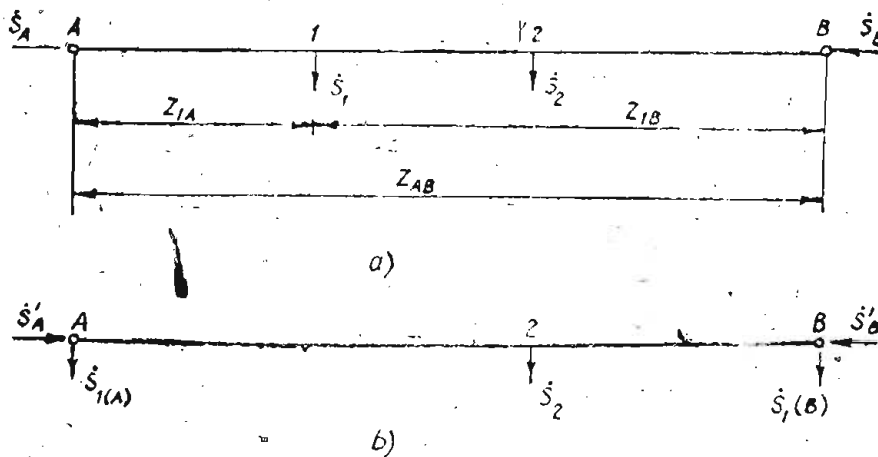
Chú ý rằng: $Y_{dt} = Y_1 + Y_2 + Y_3$, rút ra được biểu thức xác định điện áp đẳng trị

$$\dot{U}_{dt} = \frac{\dot{U}_{A1} Y_1 + \dot{U}_{A2} Y_2 + \dot{U}_{A3} Y_3}{Y_{dt}}$$

Tổng quát, có n nhánh nguồn nối vào 1 nút, điện áp đẳng trị xác định theo công thức sau:

$$U_{dt} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{U}_i Y_i}{\sum_{i=1}^n Y_i} \quad (3-18)$$

Phương pháp thay thế các nhánh đồng quy vừa nghiên cứu gọi là phương pháp «hợp nhất» các nhánh đồng quy. Phương pháp này chỉ dùng được khi giữa các nhánh không có phụ tải. Trường hợp có những phụ tải trung gian (ví dụ phụ tải 1, 2, hình 3-18a), trước hết cần phải làm mất chúng đi bằng cách phân chia chúng ra thành hai phần rồi chuyển về hai đầu nhánh. Cách làm như vậy gọi là phương pháp «chuyển dịch» phụ tải. Ví dụ, cần chuyển dịch phụ tải $\dot{S}_1$ về hai đầu A và B (hình 3-16, a). Điều kiện chuyển dịch là công suất đầu vào tại A và B trước và sau khi chuyển dịch không thay đổi.



Hình 3-16

Trước khi biến đổi công suất đầu vào xác định được theo các công thức phân bố công suất trong mạng kín (3-9), (3-10).

$$\dot{S}_A = \frac{\dot{S}_1 Z_{1B} + \dot{S}_2 Z_{2B}}{Z_{AB}}$$

$$\dot{S}_B = \frac{\dot{S}_1 Z_{1A} + \dot{S}_2 Z_{2A}}{Z_{AB}}$$

Sau khi chuyển dịch phụ tải $\dot{S}_1$ về A và B (hình 3-16, b) có thể viết:

$$\dot{S}'_A = \frac{\dot{S}'_{1(A)} Z_{AB} + \dot{S}_2 Z_{2B} + \dot{S}'_{1(B)} Z_{BD}}{Z_{AB}}$$

$$\dot{S}'_B = \frac{\dot{S}'_{1(A)} Z_{AA} + \dot{S}_2 Z_{2A} + \dot{S}'_{1(B)} Z_{AB}}{Z_{AB}}$$

trong đó $\dot{S}'_{1(A)}$, $\dot{S}'_{1(B)}$ — phần phụ tải $\dot{S}_1$ chuyển dịch về A và B.

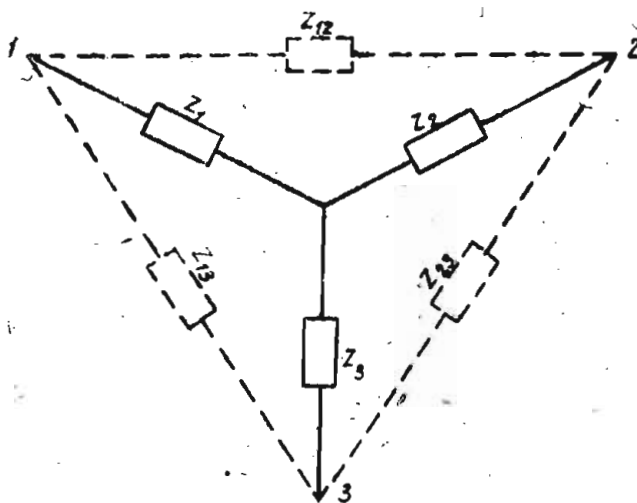
Chú ý rằng $Z_{BB} = Z_{AA} = 0$. Sau đó cho cân, bằng các công suất đầu vào $\dot{S}_A = \dot{S}'_A$, $\dot{S}_B = \dot{S}'_B$ nhận được

$$\dot{S}_{1(A)} = \dot{S}_1 \frac{Z_{1B}}{Z_{AB}}; \quad \dot{S}_{1(B)} = \dot{S}_1 \frac{Z_{1A}}{Z_{AB}}$$

Tổng quát, xác định được phần công suất của phụ tải n cần chuyển dịch về hai đầu A, B như sau

$$\left. \begin{aligned} \dot{S}_{n(A)} &= \dot{S}_n \frac{Z_{nB}}{Z_{AB}} \\ \dot{S}_{n(B)} &= \dot{S}_n \frac{Z_{nA}}{Z_{AB}} \end{aligned} \right\} \quad (3-19)$$

Phương pháp dịch chuyển phụ tải cũng được dùng để chuyển các phụ tải trung gian trong mạch vòng về các nút (ví dụ phụ tải 4, 5, 7, 8, hình 3-18, a).



Hình 3-17

Ngoài ra, phương pháp biến đổi $\Delta - Y$, $Y - \Delta$ (hình 3-17) rất hay được áp dụng trong tính toán. Ở đây không thành lập mà chỉ nhắc lại các công thức biến đổi trong giáo trình kĩ thuật điện. Công thức biến đổi $\Delta - Y$

$$\left. \begin{aligned} Z_{12} &= Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3} \\ Z_{13} &= Z_1 + Z_3 + \frac{Z_1 Z_3}{Z_2} \\ Z_{23} &= Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_1} \end{aligned} \right\} \quad (3-20)$$

và công thức biến đổi $Y - \Delta$

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= \frac{Z_{12} Z_{13}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}} \\ Z_2 &= \frac{Z_{12} Z_{23}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}} \\ Z_3 &= \frac{Z_{13} Z_{23}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}} \end{aligned} \right\} \quad (3-21)$$

Ví dụ, có mạng điện gồm 3 nguồn và 2 mạch vòng (hình 3-18a, a), bằng phương pháp chuyển dịch phụ tải đã làm mất tất cả phụ tải trung gian (hình 3-18, b), sau đó bằng phương pháp hợp nhất các nhánh đồng quy và ghép song song đã nhận được sơ đồ đơn giản chỉ có hai đầu cung cấp điện (hình 3-18, c). Trong đó:

$$\dot{S}_3 = \dot{S}_3 + \dot{S}_1 \frac{Z_1}{Z_1 + Z_3} + \dot{S}_2 \frac{Z_2}{Z_2 + Z_4} + \dot{S}_4 \frac{Z_7}{Z_5 + Z_7} + \dot{S}_5 \frac{Z_8}{Z_6 + Z_8}$$

$$\dot{S}_6' = \dot{S}_6 + \dot{S}_4 \frac{Z_5}{Z_5 + Z_7} + \dot{S}_3 \frac{Z_6}{Z_6 + Z_8} + \dot{S}_7 \frac{Z_{11}}{Z_9 + Z_{11}} + \dot{S}_8 \frac{Z_{12}}{Z_{10} + Z_{12}}$$

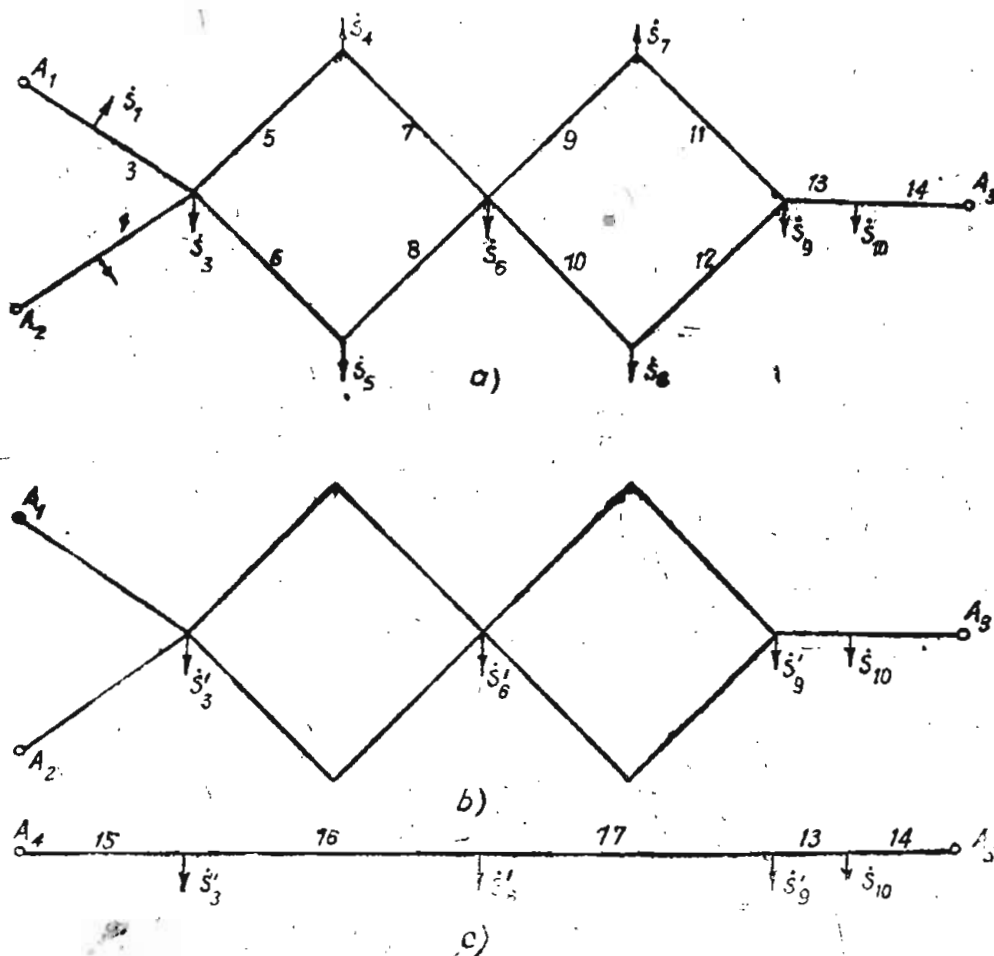
$$\dot{S}_9' = \dot{S}_9 + \dot{S}_7 \frac{Z_9}{Z_9 + Z_{11}} + \dot{S}_8 \frac{Z_{10}}{Z_{10} + Z_{12}}$$

$$Z_{15} = (Z_1 + Z_3) // (Z_2 + Z_4)$$

$$Z_{16} = (Z_5 + Z_7) // (Z_6 + Z_8)$$

$$Z_{17} = (Z_9 + Z_{11}) // (Z_{10} + Z_{12})$$

$$\dot{U}_{A4} = \frac{\dot{U}_{A1} \frac{1}{Z_1 + Z_3} + \dot{U}_{A2} \frac{1}{Z_2 + Z_4}}{\frac{1}{Z_1 + Z_3} + \frac{1}{Z_2 + Z_4}}$$



Hình 3-18

Tất nhiên, sau khi xác định được các thông số chế độ của mạng điện trên sơ đồ đơn giản cần «hoàn nguyên» để tìm các thông số chế độ của mạng điện thực.

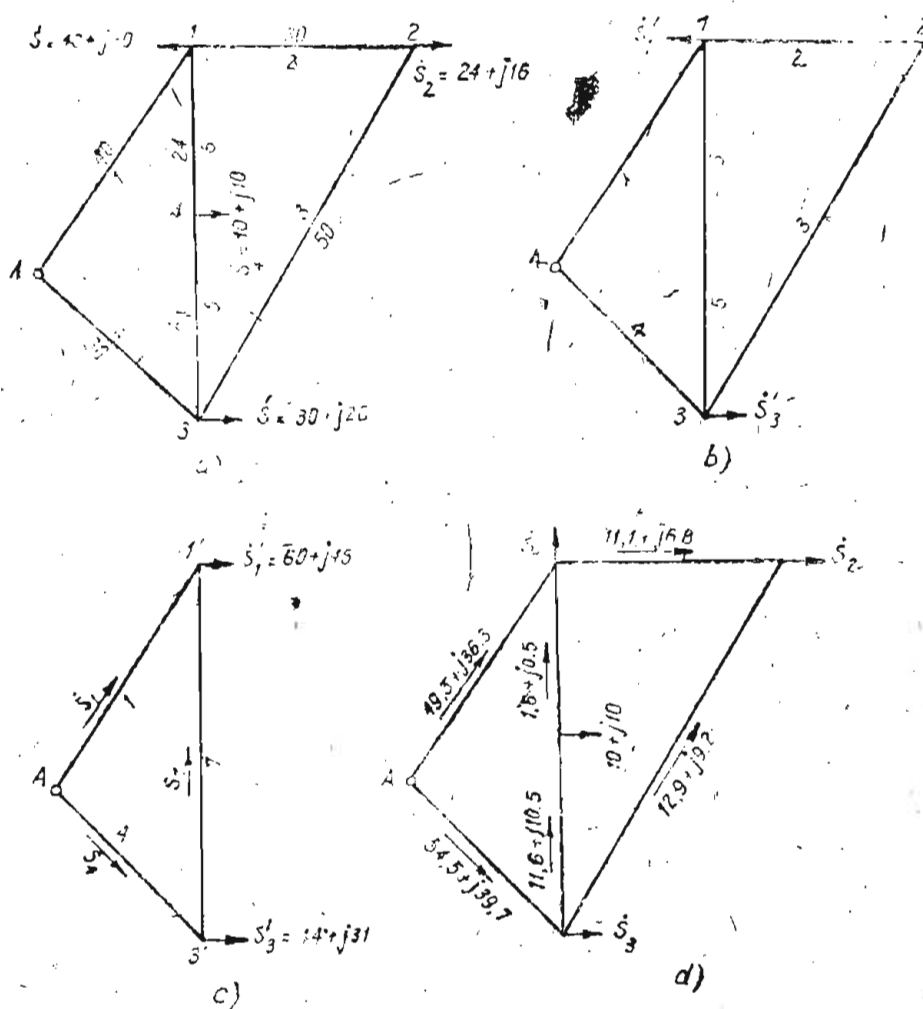
Ví dụ 3-6. Ba phụ tải S_1, S_2, S_3 (MVA), được cung cấp điện bằng mạng kín 110 kV (hình 3-19, a). Hãy xác định phân bố dòng biết rằng mạng điện dùng cùng một tiết diện dây dẫn, chiều dài dây trên hình vẽ cho bằng km.

Giải. Trước hết, chuyển dịch phụ tải $\dot{S}_2$ và $\dot{S}_4$ về nút 1 và 3, chú ý rằng vì cùng tiết diện nên tổng trở tỉ lệ với chiều dài

$$\dot{S}_{2(1)} = \dot{S}_2 \cdot \frac{l_3}{l_1 + l_3} = (24 + j16) \frac{30}{80} = 9 + j6 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_{2(3)} = \dot{S}_2 \cdot \frac{l_2}{l_2 + l_3} = (24 + j16) \frac{30}{80} = 9 + j6 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_{4(1)} = \dot{S}_{4(3)} = \frac{\dot{S}_4}{2} = 5 + j5 \text{ MVA.}$$



Hình 3-19

như đó, phụ tải tại nút 1 và 3 (hình 3-19, b) có trị số

$$\dot{S}_1' = \dot{S}_1 + \dot{S}_{2(1)} + \dot{S}_{4(1)} = 60 + j45 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_3' = \dot{S}_3 + \dot{S}_{2(3)} + \dot{S}_{4(3)} = 44 + j31 \text{ MVA.}$$

Chiều dài đẳng trị của đoạn 1'3' là (hình 3-19, c)

$$l_7 = (l_5 + l_6) // (l_2 + l_3) = \frac{48 \cdot 80}{48 + 80} = 30 \text{ km.}$$

Với mạng kín A1'3' dễ dàng xác định được phân bố công suất

$$\dot{S}_1 = \frac{(60 + j45)(30 + 30) + (44j31) \cdot 30}{30 + 30 + 40} = 49,5 + j36,3 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_4 = \frac{(44 + j31)(30 + 40) + (60 + j45) \cdot 40}{100} = 54,5 + j39,7 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_7 = 10,5 + j8,7 \text{ MVA}$$

Từ đây tiến hành hoàn nguyên tìm phân bố công suất trên sơ đồ hình 3-19, b:

$$\dot{S}_{31} = \dot{S}_7 \frac{l_7}{l_5 + l_6} = (10,5 + j8,7) \frac{30}{48} = 6,6 + j5,5 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_{321} = (10,5 + j8,7) \frac{30}{80} = 3,9 + j3,2 \text{ MVA}$$

Tiếp tục hoàn nguyên về sơ đồ ban đầu

$$\dot{S}_5 = \dot{S}_{31} + \dot{S}_{4(3)} = (6,6 + j5,5) + (5 + j5) = 11,6 + j10,5 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_3 = \dot{S}_{321} + \dot{S}_{2(3)} = (3,9 + j3,2) + (9 + j6) = 12,9 + j9,2 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_6 = \dot{S}_5 - \dot{S}_4 = (11,6 + j10,5) - (10 - j10) = 1,6 + j0,5 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_2 = \dot{S}_2 - \dot{S}_3 = (24 + j16) - (12,9 + j9,2) = 11,1 + j6,8 \text{ MVA}$$

Giới cùng có phân bố công suất toàn mạng điện (hình 3-19, d).

CHƯƠNG 4

SỬ DỤNG ĐẠI SỐ MA TRẬN GIẢI TÍCH MẠNG ĐIỆN

4-1. KHÁI NIỆM CHUNG.

Giải tích mạng điện nhằm xác định các thông số trạng thái làm việc như dòng điện trên các nhánh, điện áp tại các nút dựa trên thông số của các phần tử trong mạng như tổng trở các nhánh và các số liệu về nguồn và phụ tải.

Từ những thông số trạng thái cơ bản trên đây ta có thể xác định tiếp những thông số đặc trưng cho các trạng thái khác nhau phục vụ công tác thiết kế hoặc vận hành mạng điện, chẳng hạn xác định được tổn thất công suất, tổn thất điện năng trong mạng, các biện pháp điều chỉnh chất lượng điện v.v...

Một trong những nhiệm vụ quan trọng khi thiết kế và vận hành mạng điện là tìm những phương pháp hiệu lực để giải tích mạng điện phức tạp bao gồm nhiều nút, nhiều vòng kín. Trên cơ sở giải tích với những thông tin ban đầu khác nhau có thể xác định được trạng thái tối ưu của mạng điện. Trong trường hợp này phương pháp sử dụng đại số ma trận tỏ ra có hiệu lực rõ rệt.

Phương pháp ma trận cho phép sử dụng những biến đổi toán học chặt chẽ, biểu diễn gọn, rõ ràng. Đặc biệt khi bài toán giải trên máy tính điện tử phương pháp này càng tỏ rõ tính ưu việt, vì có thuật toán đơn giản và sử dụng rộng rãi các chương trình mẫu. Vì vậy ngày nay phương pháp ma trận được sử dụng nhiều không những trong lĩnh vực giải tích mạng điện phức tạp mà còn ở các lĩnh vực tính toán kỹ thuật khác nhau.

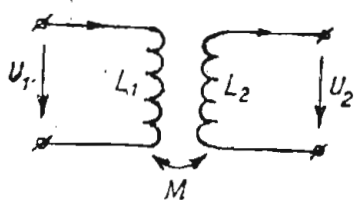
Tuy nhiên cần lưu ý là phương pháp ma trận, về nguyên tắc không cung cấp cho ta một khả năng mới để giải bài toán, mà chỉ cho ta cách biểu diễn, cách thực hiện các phép biến đổi gọn, thuận lợi. Ưu điểm đó được giải thích là phương pháp ma trận không dựa trên từng phần tử riêng rẽ trong phương trình để tính toán mà dựa trên từng nhóm phần tử có tính chất như nhau được tượng trưng cùng kí hiệu để tính toán, vì vậy quá trình tính toán thực hiện dễ dàng, đặc biệt khi có nhiều hệ phương trình.

Tuy nhiên cần thận trọng khi thực hiện các phép tính đại số đối với ma trận. Chẳng hạn ở đại số ma trận:

- phép nhân nói chung không có tính giao hoán, nghĩa là $AB \neq BA$
- không tồn tại phép chia trực tiếp cho ma trận, mà được thay bằng phép nhân với ma trận nghịch đảo. Hơn nữa chỉ có ma trận dạng vuông, không suy biến mới tồn tại ma trận nghịch đảo (sẽ trình bày ở mục sau).

Trong chương này trình bày sơ lược những khái niệm về tính toán ma trận, phương pháp giải tích mạng điện nhờ phương trình ma trận điện thế nút, phương trình ma trận mạch vòng và áp dụng đối với mạng điện cụ thể.

4-2. SƠ LƯỢC CÁC PHÉP TÍNH MA TRẬN.



Hình 4-1

Vi dụ trên hình 4-1 mô tả tình trạng làm việc của một máy biến áp không lõi thép. Trong đó:

L_1, L_2 — tự cảm của cuộn dây sơ cấp và thứ cấp;
 M — hồ cảm giữa hai cuộn dây; I_1, I_2 — dòng điện sơ và thứ cấp; U_1, U_2 — điện áp đặt vào cuộn sơ và thứ cấp.

Khi bỏ qua điện trở tác dụng của các cuộn dây, có thể viết quan hệ giữa điện áp và dòng điện theo các phương trình sau:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = j\omega L_1 \dot{I}_1 + j\omega M \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = j\omega M \dot{I}_1 + j\omega L_2 \dot{I}_2 \end{cases} \quad (4-1)$$

trong đó $\omega = 2\pi f$ và f là tần số của dòng điện. Nếu đặt

$$\begin{aligned} j\omega L_1 &= Z_{11} \\ j\omega L_2 &= Z_{22} \\ j\omega M &= Z_{12} = Z_{21} \end{aligned}$$

thì biểu thức (4-1) được viết dưới dạng:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = Z_{11} \dot{I}_1 + Z_{12} \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = Z_{21} \dot{I}_1 + Z_{22} \dot{I}_2 \end{cases} \quad (4-2)$$

Hệ phương trình (4-2) mô tả mối quan hệ giữa các thông số trạng thái (điện áp U và dòng điện I) thông qua các thông số phần tử (tổng trở Z). Trong trường hợp các giá trị Z_{11} , Z_{12} , Z_{22} là hằng số, không phụ thuộc các thông số trạng thái, ta có hệ phương trình (4-2) là tuyến tính.

Một cách tổng quát khi đưa vào hệ những kích thích $x_1, x_2, \dots, x_n$ ta nhận được những đáp ứng $y_1, y_2, \dots, y_n$ (hình 4-2). Mối quan hệ giữa những đáp ứng y_i và kích thích x_i , $i = \overline{1, n}$ có thể viết trong hệ phương trình sau đây:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \\ y_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \\ &\vdots \\ y_n &= a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n \end{aligned} \right\} \quad (4-3)$$



Hình 4-2.

trong đó các hệ số a_{ij} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, n}$ đặc trưng cho thông số các phần tử của hệ, thường coi là hằng số.

Ta thấy hệ (4-3) tương tự hệ (4-2), nghĩa là trong nhiều trường hợp khi nghiên cứu các đối tượng vật lý khác nhau dẫn đến sự cần thiết giải hệ phương trình dạng (4-3).

Nhận thấy rằng những hệ số a_{ij} trong (4-3) có tính chất giống nhau và để tránh cồng kềnh khi giải, nhà toán học Anh Cayly vào cuối thế kỉ 19 đã viết tắt hệ (4-3) trong dạng sau

$$Y = A \cdot X \quad (4-4)$$

và coi bảng các hệ số a_{ij} trên đây như một toán tử thực hiện trên các ẩn $x_1, x_2, \dots, x_n$. Lý thuyết ma trận xuất phát từ sự nghiên cứu các qui luật của toán tử dạng đó.

Từ đây biểu thức (4-4) có thể viết gọn lại:

$$Y = AX \quad (4-5)$$

trong đó Y , A , X là những bảng số hoặc chữ trên đây và được gọi là các ma trận.

Tương tự như vậy biểu thức (4-1) có thể viết trong dạng ma trận:

$$U = ZI$$

trong đó:

$$U = \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \end{pmatrix}; \quad Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix}; \quad I = \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

Như vậy ma trận có định nghĩa sau:

Ma trận cấp $m \times n$ là một bảng gồm $m \times n$ phần tử tạo thành m hàng và n cột, như vậy ma trận A cấp $m \times n$ có dạng

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

và kí hiệu là

$$A = (a_{ij})_{m \times n}$$

trong đó a_{ij} là các phần tử của ma trận.

Nếu $m = n$ ta có ma trận vuông cấp n .

Hai ma trận A và B coi là bằng nhau nếu chúng có cùng cấp $m \times n$ và mọi phần tử tương ứng đều bằng nhau, nghĩa là

$A = (a_{ij})_{m \times n}$, $B = (b_{ij})_{m \times n}$; $A = B$ khi và chỉ khi $a_{ij} = b_{ij}$ với mọi i và j .

Cần chú ý là ma trận không có giá trị là một số cụ thể mà là một bảng gồm các phần tử.

Sau đây xét một số phép toán chủ yếu của ma trận.

1. Phép nhân hằng số với ma trận. Tích của hằng số λ với ma trận $A = (a_{ij})_{m \times n}$ là một ma trận kí hiệu là λA , trong đó các phần tử là λa_{ij} , nghĩa là:

$$\lambda A = (\lambda a_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} \lambda a_{11} & \lambda a_{12} & \dots & \lambda a_{1n} \\ \lambda a_{21} & \lambda a_{22} & \dots & \lambda a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda a_{m1} & \lambda a_{m2} & \dots & \lambda a_{mn} \end{pmatrix} = A\lambda$$

Từ đây thấy rằng phép nhân hằng số với ma trận có các tính chất giao hoán và kết hợp:

$$\lambda A = A\lambda$$

$$(\lambda\mu)A = \lambda(\mu A)$$

2. Phép cộng các ma trận. Cho hai ma trận cùng cấp $A = (a_{ij})_{m \times n}$, $B = (b_{ij})_{m \times n}$ gọi tổng của A và B là ma trận $C = (c_{ij})_{m \times n}$, trong đó

$$c_{ij} = a_{ij} + b_{ij} \text{ với mọi } i \text{ và } j$$

Ví dụ

$$\begin{pmatrix} 3 & -4 & 2 \\ -1 & 0 & 5 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 2 & 6 & -1 \\ 4 & -3 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 & 2 & 1 \\ 3 & -3 & 7 \end{pmatrix}$$

Định nghĩa trên có thể mở rộng cho phép cộng nhiều ma trận cùng cấp.

Từ định nghĩa trên, suy ra:

$$\underbrace{A + A + \dots + A}_n = nA$$

Phép cộng ma trận cũng có các tính chất như phép tính cộng đại số thông thường, nghĩa là:

$$A + B = B + A$$

$$A + (B + C) = (A + B) + C$$

$$\lambda(A + B) = \lambda A + \lambda B$$

Ta cũng định nghĩa phép trừ các ma trận như sau:

Có

$$A = (a_{ij})_{m \times n}, B = (b_{ij})_{m \times n}$$

thì

$$A - B = A + (-1)B = (a_{ij} - b_{ij})_{m \times n}$$

Đặc biệt khi $A = B$ thì

$A - B = 0$, đó là ma trận không cấp $m \times n$. Nghĩa là $m \times n$ phần tử bằng 0.

Ta có $A + 0 = A$ với mọi ma trận A cấp $m \times n$

$0 - A = -A$ là ma trận đối của A

3. Phép nhân các ma trận. Cho hai ma trận $A = (a_{ij})_{m \times n}$ và $B = (b_{ij})_{n \times p}$, ta gọi ma trận $C = (c_{ij})_{m \times p}$ là tích của A và B , trong đó giá trị của phần tử c_{ij} thuộc hàng i và cột j của C được xác định bằng tổng các tích từng cặp của các phần tử tương ứng ở hàng i của ma trận A và cột j của ma trận B nghĩa là

$$c_{ij} = a_{i1} \cdot b_{1j} + a_{i2} \cdot b_{2j} + \dots + a_{in} \cdot b_{nj}$$

Quy tắc nhân hai ma trận được biểu diễn theo sơ đồ sau

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1j} & \dots & b_{1p} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2j} & \dots & b_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nj} & \dots & b_{np} \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{i1} & c_{i2} & \dots & c_{ip} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mp} \end{pmatrix}$$

Ở đây cần đặc biệt chú ý là phép nhân ma trận $A \cdot B$ chỉ thực hiện được khi số cột của A bằng số hàng của B , khi đó gọi là A nhân với B từ bên trái và tồn tại ma trận $C = AB$.

Ví dụ

$$A = \begin{pmatrix} 1 & -2 & 3 \\ -4 & 2 & 5 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ -1 & 0 \\ 2 & 4 \end{pmatrix}$$

Tính $C = AB$

$$C = \begin{pmatrix} (1 \cdot 1 + (-2) \cdot (-1) + 3 \cdot 2) & (1 \cdot 1 + (-2) \cdot 0 + 3 \cdot 4) \\ (-4 \cdot 1 + 2 \cdot (-1) + 5 \cdot 2) & (-4 \cdot 3 + 2 \cdot 0 + 5 \cdot 4) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 9 & 15 \\ 4 & 8 \end{pmatrix}$$

Nếu A và B đều là ma trận vuông cấp n thì phép nhân AB bao giờ cũng xác định và ma trận $C = AB$ cũng có cấp n .

Trở lại ví dụ ở hình 4-1, đã có phương trình ma trận

$$\vec{U} = Z\vec{I}$$

mà

$$Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \quad \text{và} \quad \vec{I} = \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

vậy theo quy tắc nhân ma trận ta xác định được ma trận $\dot{U}$

$$\dot{U} = \begin{pmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

Từ đây

$$\begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 \\ Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 \end{pmatrix}$$

như đã thấy ở biểu thức (4-2).

Một đặc điểm của phép nhân ma trận là: nói chung không có tính chất giao hoán. Vì theo quy tắc tồn tại tích hai ma trận AB khi số cột của A bằng số hàng của B thì khi AB tồn tại, chưa hẳn tích BA đã tồn tại. Ngay cả trong trường hợp cả AB và BA đều tồn tại thì:

Nếu cấp của A là $m \times n$, cấp của B phải là $n \times m$ để có cả AB và BA , nhưng khi đó tích AB có cấp $m \times m$ và tích BA có cấp $n \times n$, nghĩa là $AB \neq BA$. Trong trường hợp A và B là ma trận vuông, nói chung vẫn có $AB \neq BA$.

Ví dụ

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 0 \end{pmatrix}$$

khi đó

$$AB = \begin{pmatrix} 1 \cdot 0 + 2 \cdot 2 & 1 \cdot 1 + 2 \cdot 0 \\ 0 \cdot 0 + 1 \cdot 2 & 0 \cdot 1 + 1 \cdot 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 & 1 \\ 2 & 0 \end{pmatrix}$$

$$BA = \begin{pmatrix} 0 \cdot 1 + 1 \cdot 0 & 0 \cdot 2 + 1 \cdot 1 \\ 2 \cdot 1 + 0 \cdot 0 & 2 \cdot 2 + 0 \cdot 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 4 \end{pmatrix}$$

nghĩa là $AB \neq BA$.

Ngoài ra cần chú ý là khi có $AB = 0$, khác với quy tắc đại số thông thường, ở đây không nhất thiết $A = 0$ hoặc $B = 0$, mà nói chung $A \neq 0$ và $B \neq 0$.

Ví dụ

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 4 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} 4 & 0 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$$

ta có

$$AB = \begin{pmatrix} 1 \cdot 4 & 4 \cdot 0 \\ 0 \cdot 0 & 0 \cdot 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Tất nhiên khi $A = 0$ hoặc $B = 0$ và tồn tại tích AB thì AB luôn bằng ma trận 0.

Phép nhân ma trận không có tính giao hoán nhưng tuân theo tính kết hợp và phân phối

$$(AB)C = A(BC) = ABC$$

$$A(B + C) = AB + AC.$$

4. Một số dạng đặc biệt của ma trận.

Ma trận đơn vị I . Ma trận đơn vị cấp n , kí hiệu là I_n (hoặc I) là một ma trận vuông mà các phần tử trên đường chéo chính (từ góc trái trên cùng đến góc phải dưới cùng) bằng 1 còn các phần tử khác bằng 0.

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

hoặc kí hiệu

$$I = (\delta_{ij})_{n \times n}$$

trong đó

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{khi } i = j \\ 0 & \text{khi } i \neq j \end{cases}$$

Ma trận đơn vị có tính chất sau :

$$AI = IA = A$$

$$II = I^2 \text{ nghĩa là } I^n = I$$

Ma trận đường chéo là ma trận khi các phần tử trên đường chéo chính có giá trị khác 0, còn các phần tử khác bằng không.

Ví dụ

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 4 \end{pmatrix}$$

Trong trường hợp các phần tử trên đường chéo chính bằng nhau thì ta có **ma trận vô hướng**. Ví dụ

$$B = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{pmatrix}$$

Ma trận tam giác là ma trận vuông mà các phần tử ở phía trên (hoặc dưới) đường chéo chính đều bằng 0. Ví dụ có ma trận tam giác phải :

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 7 & 8 \\ 0 & 3 & 5 \\ 0 & 0 & 6 \end{pmatrix}$$

Ma trận cột còn gọi là vector — cột là ma trận chỉ gồm một cột.

Ma trận hàng còn gọi là vector — hàng là ma trận chỉ gồm một hàng.

Tbí dụ

$$A = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 3 \end{pmatrix} \text{ và } B = (4 \ 6 \ 8 \ 9)$$

Ma trận chuyển vị. Cho ma trận A cấp $m \times n$, ma trận chuyển vị của A , kí hiệu là A_t hoặc A^T hoặc A' , là ma trận được tạo từ A bằng cách chuyển vị trí hàng thành cột tương ứng. Vậy A_t có cấp $n \times m$. Ví dụ :

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 3 & -4 & 7 \end{pmatrix} \quad A_t = \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 1 & -4 \\ 0 & 7 \end{pmatrix}$$

Ma trận chuyển vị có những tính chất sau :

$$(A_t)_t = A$$

Nếu có $C = AB$ thì $C_t = (AB)_t = B_t A_t$.

Ví dụ : có

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix} ; B = \begin{pmatrix} 3 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Khi đó

$$AB = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \\ 9 \end{pmatrix}$$

và

$$(AB)_t = (3 \ 9)$$

Mặt khác

$$B_t = (3 \ 0) ; A_t = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 2 & 4 \end{pmatrix}$$

Vậy

$$B_t A_t = (3 \ 0) \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 2 & 4 \end{pmatrix} = (3 \ 9)$$

nghĩa là

$$(AB)_t = B_t A_t.$$

Ma trận số phức là ma trận khi có ít nhất một phần tử là số phức.

Ma trận phức hợp. Giả thiết có ma trận số phức A

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 2 + j3 \\ j2 & 1 + j1 \end{pmatrix} ; \text{ lập } A_t = \begin{pmatrix} 0 & j2 \\ 2 + j3 & 1 + j1 \end{pmatrix}$$

sau đó thay các phần tử phức của A_t bằng các giá trị liên hợp ta được A^* là ma trận phức hợp của A

$$A^* = \begin{pmatrix} 0 & -j2 \\ 2 - j3 & 1 - j1 \end{pmatrix}$$

Từ đây thấy

$$(A^*)^* = A \text{ và khi } A \text{ là ma trận thực thì}$$

$$A^* = A_t$$

Ma trận phức đối khị các phần tử trên đường chéo chính là số thực còn các cặp phần tử đối xứng qua đường chéo chính là những số phức liên hợp

Ví dụ :

$$A = \begin{pmatrix} 3 & -2j & 6 + 2j \\ +j & 4 & 3 \\ 6 - 2j & 3 & 6 \end{pmatrix}$$

Ma trận đối xứng có các phần tử đối xứng qua đường chéo chính bằng nhau. Ví dụ :

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 5 \\ 0 & 2 & -7 \\ 5 & -7 & 3 \end{pmatrix}$$

khi đó $A = A_t$

Ma trận phản đối xứng. Có các phần tử trên đường chéo chính bằng 0, còn các phần tử đối xứng qua đường chéo chính bằng nhau nhưng trái dấu. Ví dụ:

$$-A = \begin{pmatrix} 0 & 3 & 4 \\ -3 & 0 & 5 \\ -4 & -5 & 0 \end{pmatrix}$$

5. Định thức của ma trận. Khi giải hệ phương trình (4-2) xác định dòng điện I_1, I_2 ta có kết quả:

$$I_1 = \frac{U_1 Z_{22} - U_2 Z_{12}}{Z_{11} Z_{22} - Z_{12} Z_{21}}; I_2 = \frac{Z_{11} U_2 - Z_{21} U_1}{Z_{11} Z_{22} - Z_{12} Z_{21}}$$

Ta có thể kí hiệu như sau:

$$I_1 = \frac{\begin{vmatrix} U_1 & Z_{12} \\ U_2 & Z_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{vmatrix}} \quad I_2 = \frac{\begin{vmatrix} Z_{11} & U_1 \\ Z_{21} & U_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{vmatrix}}$$

trong đó

$\begin{vmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{vmatrix} = Z_{11} Z_{22} - Z_{21} Z_{12}$ được gọi là định thức của ma trận cấp 2 của (Z_{ij}) , định thức của ma trận Z còn kí hiệu là $\det Z$. Tương tự ta gọi

$$\begin{vmatrix} U_1 & Z_{12} \\ U_2 & Z_{22} \end{vmatrix} = U_1 Z_{22} - U_2 Z_{12} \text{ là định thức của ma trận } \begin{pmatrix} U_1 & Z_{12} \\ U_2 & Z_{22} \end{pmatrix}$$

Từ đây thấy rằng định thức của ma trận có trị số nhất định và có thể xác định theo qui tắc sau đây:

Đối với ma trận $A = (a)$ một phần tử, thì $\det A = a$.

Đối với ma trận cấp 2

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}$$

$$\det A = a_{11} a_{22} - a_{21} a_{12}$$

Đối với ma trận cấp 3

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}$$

ta có thể xác định $\det A$ bằng cách viết lại hai cột đầu vào bên phải:

$$\begin{array}{ccccc} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{31} & a_{33} \end{array}$$

sau đó lấy các tích số từng 3 số theo chiều nghiêng từ trên xuống thì mang dấu +, từ dưới lên thì mang dấu -. Như vậy

$$\det A = a_{11} a_{22} a_{33} + a_{12} a_{23} a_{31} + a_{13} a_{21} a_{33} - a_{31} a_{22} a_{13} - a_{32} a_{23} a_{11} - a_{33} a_{21} a_{12}$$

Chú ý là qui tắc này cũng đúng đối với ma trận cấp 2, và đây chính là thể hiện qui tắc tổng quát xác định định thức của ma trận cấp n bất kì như sau:

Định thức của ma trận vuông cấp n bằng tổng các tích của các phần tử trên một hàng (hoặc cột) nào đó, nhân với phần phụ đại số của phần tử tương ứng.

Giả thiết có $A = (a_{ij})_{n \times n}$ thì

$$\det A = \sum_{i=1}^n a_{ij} A_{ij} \quad (4-8)$$

trong đó A_{ij} là phần phụ đại số của phần tử a_{ij} .

Phần phụ đại số A_{ij} là định thức của ma trận A khi loại bỏ hàng i , cột j , và mang dấu $(-1)^{i+j}$.

Nhờ qui tắc trên đây việc tìm định thức của ma trận thực hiện theo dạng truy toán, nghĩa là xác định định thức của ma trận cấp thấp dần cho đến cấp 1.

Áp dụng qui tắc tổng quát này đối với ma trận A cấp 3 trên kia, lấy cột $j = 1$ để khai triển, ta có :

$$\begin{aligned} \det A = & (-1)^2 a_{11} \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} + (-1)^3 a_{21} \begin{vmatrix} a_{12} & a_{13} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} + \\ & + (-1)^4 a_{31} \begin{vmatrix} a_{12} & a_{13} \\ a_{22} & a_{23} \end{vmatrix} \end{aligned}$$

tiếp tục khai triển các định thức cấp 2 ta nhận được kết quả như cũ.

Ví dụ: Xác định định thức của

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 3 \end{pmatrix}$$

Theo qui tắc trên, khai triển theo các phần tử ở cột 1, có:

$$\begin{aligned} \det A &= 1 \cdot \det \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 3 \end{pmatrix} - 1 \cdot \det \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 1 & 3 \end{pmatrix} + 2 \cdot \det \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} = \\ &= 1(3 - 1) - 1(6 - 3) + 2(2 - 3) = 2 - 3 - 1 = -3 \end{aligned}$$

Từ định nghĩa về định thức của ma trận trên đây ta có một số định lý cần thiết sau đây :

Định lý 1. Nếu trong ma trận có hai hàng (hoặc cột) gồm các phần tử tương ứng tỉ lệ với nhau thì định thức của ma trận đó bằng 0, nghĩa là:

Có $A = (a_{ij})_{n \times n}$ nếu $a_{ij} = \lambda a_{kj}$, $k \neq i$, $j = \overline{1, n}$ thì $\det A = 0$.

Định lý này có thể được chứng minh như sau: Vì khi ta lập tổ hợp tuyến tính (các phép toán đại số) các phần tử của 2 hàng (hoặc cột) của một ma trận thì định thức của nó không đổi. Khi ma trận có hai hàng (hoặc cột) gồm các phần tử tỉ lệ, ta có thể biến đổi thành ma trận gồm một hàng (hoặc cột) toàn số 0 và như vậy định thức của ma trận sẽ bằng 0.

Định lý 2. Định thức của tích các ma trận bằng tích các định thức của ma trận thành phần, nghĩa là:

$$\det(ABC) = \det A \cdot \det B \cdot \det C.$$

Ma trận có định thức bằng 0 gọi là ma trận suy biến. Như vậy từ định lý 2 suy ra rằng:

Nếu $C = AB$ khi A hoặc B suy biến thì C suy biến.

Ở đây cần chú ý là khái niệm định thức chỉ áp dụng đối với ma trận vuông.

Ngoài ra từ cách tìm định thức của ma trận ta thấy rằng tổng các tích của các phần tử trên một hàng (hoặc cột) nào đó với phần phụ đại số tương ứng của các phần tử ở hàng (hoặc cột) khác thì bằng 0. Vì trong trường hợp này ta nhận được định thức của ma trận có hai hàng (hoặc cột) có các phần tử giống nhau. Chú ý này sẽ được sử dụng khi tìm ma trận nghịch đảo.

6. Ma trận nghịch đảo. Cho một ma trận vuông A cấp n . Nếu tồn tại một ma trận vuông A^{-1} cũng cấp n sao cho thỏa mãn hệ thức:

$$A^{-1}A = AA^{-1} = I \quad (4-7)$$

thì A^{-1} gọi là ma trận nghịch đảo của A .

Xác định ma trận nghịch đảo là một trong những phép toán ma trận phức tạp. Sau đây ta xây dựng thủ tục của phép toán đó.

Vì $A \cdot A^{-1} = I$ nên $\det I = \det A \cdot \det A^{-1}$. Do đó $\det I = 1$ nên A và A^{-1} phải là những ma trận không suy biến. Giả thiết có ma trận A vuông, không suy biến

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

Nếu lấy các phần phụ đại số theo các phần tử của hàng i nào đó ($i = \overline{1, n}$) rồi sắp lại thành cột i của một ma trận khác thì ma trận mới này có dạng:

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{21} & \dots & A_{n1} \\ A_{12} & A_{22} & \dots & A_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{1n} & A_{2n} & \dots & A_{nn} \end{pmatrix}$$

và gọi là ma trận phụ hợp của A .

Ta xét ma trận tích $A \cdot \tilde{A} = (c_{ij})$. Trong đó các phần tử $c_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ik}A_{jk}$.

Ta thấy rằng nếu $i \neq j$ thì giá trị c_{ij} chính là tổng các tích của các phần tử trên một hàng i với các phần phụ đại số lấy ứng với các phần tử ở hàng j khác. Như trên đã biết các tổng đó đều bằng 0. Nếu $i = j$ thì $c_{ij} = c_{ii}$, $i = \overline{1, n}$ chính là tổng các tích của các phần tử trên hàng i với các phần phụ đại số tương ứng, nghĩa là $c_{ii} = \det A = |A|$. Từ đây có:

$$A\tilde{A} = \begin{pmatrix} |A| & 0 & \dots & 0 \\ 0 & |A| & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & |A| \end{pmatrix}$$

và như vậy $A\tilde{A} = \tilde{A}A = |A| \cdot I$

Từ đây có:

$$A \cdot \frac{\tilde{A}}{|A|} = I$$

Đặt $\frac{\tilde{A}}{|A|} = A^{-1}$ ta có $A \cdot A^{-1} = I$, và A^{-1} thỏa mãn điều kiện ma trận nghịch đảo của A .

Tóm lại khi có A vuông, không suy biến, để tìm A^{-1} , trước hết cần lập $\tilde{A}$ sau đó có:

$$A^{-1} = \frac{\tilde{A}}{|A|} \quad (4-8)$$

Ví dụ:

Cho

$$A = \begin{pmatrix} 3 & -2 & 2 \\ -1 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & 4 \end{pmatrix}, \text{ xác định } A^{-1}$$

Vì $\det A = |A| = 5$ nên tồn tại A^{-1} .

Lập $\tilde{A}$

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 4 \end{vmatrix} & -\begin{vmatrix} -2 & 2 \\ 1 & 4 \end{vmatrix} & \begin{vmatrix} -2 & 2 \\ 1 & -1 \end{vmatrix} \\ -\begin{vmatrix} -1 & -1 \\ 0 & 4 \end{vmatrix} & \begin{vmatrix} 3 & 2 \\ 0 & 4 \end{vmatrix} & -\begin{vmatrix} 3 & 2 \\ -1 & -1 \end{vmatrix} \\ \begin{vmatrix} -1 & 1 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} & -\begin{vmatrix} 3 & -2 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} & \begin{vmatrix} 3 & -2 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 & 10 & 0 \\ 4 & 12 & 1 \\ -1 & -3 & 1 \end{pmatrix}$$

Vậy

$$A^{-1} = \frac{\tilde{A}}{|A|} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 0 \\ \frac{4}{5} & \frac{12}{5} & \frac{1}{5} \\ -\frac{1}{5} & -\frac{3}{5} & \frac{1}{5} \end{pmatrix}$$

Thử lại thấy $AA^{-1} = I$.

Một số tính chất về ma trận nghịch đảo cần chú ý:

- a) $\det(A^{-1}) = (\det A)^{-1}$
- b) $(A^{-1})^{-1} = A$
- c) $(AB)^{-1} = B^{-1}A^{-1}$
- d) $(A_t)^{-1} = (A^{-1})_t$

7. Xác định ma trận nghịch đảo nhờ các ma trận. Phương pháp này có giá trị lý thuyết quan trọng và được dùng làm cơ sở để xác định ma trận nghịch đảo bằng máy tính.

Giả thiết có ma trận vuông cấp n

$$M = \left(\begin{array}{cc|ccc} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1n} & \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{2n} & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \\ m_{n1} & m_{n2} & \dots & m_{nn} & \end{array} \right) \left. \vphantom{\begin{array}{c} m_{11} \\ m_{21} \\ \dots \\ m_{n1} \end{array}} \right\} k$$

$s \qquad k$

Ta chia M thành các ma trận con

$$M = \begin{pmatrix} M_\alpha & M_\beta \\ M_\gamma & M_\delta \end{pmatrix}$$

trong đó M_α — ma trận con cấp $s \times s$; M_β — ma trận con cấp $s \times k$;

M_γ — ma trận con cấp $k \times s$; M_δ — ma trận con cấp $k \times k$.

ở đây $s + k = n$.

Nếu tồn tại M^{-1} khi đó M^{-1} cũng được chia thành

$$M^{-1} = \begin{pmatrix} M_a & M_b \\ M_c & M_d \end{pmatrix}$$

trong đó các cấp của M_a, M_b, M_c, M_d tương ứng như của $M_\alpha, M_\beta, M_\gamma, M_\delta$.

Giả thiết ma trận con M_δ tồn tại M_δ^{-1} . Khi đó vì

$$MM^{-1} = I$$

nên viết được:

$$\begin{pmatrix} M_\alpha & M_\beta \\ M_\gamma & M_\delta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} M_a & M_b \\ M_c & M_d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_s & 0 \\ 0 & I_k \end{pmatrix}.$$

Từ đây áp dụng phép nhân ma trận ta có:

$$\left. \begin{aligned} M_\alpha M_a + M_\beta M_c &= I_s \\ M_\alpha M_b + M_\beta M_d &= 0 \\ M_\gamma M_a + M_\delta M_c &= 0 \\ M_\gamma M_b + M_\delta M_d &= I_k \end{aligned} \right\} \quad (4.9)$$

Giải hệ phương trình (4.9) xác định được các ma trận con M_a, M_b, M_c, M_d theo $M_\alpha, M_\beta, M_\gamma, M_\delta$.

$$\left. \begin{aligned} M_a &= \left(M_\alpha - M_\beta M_\delta^{-1} M_\gamma \right)^{-1} \\ M_b &= -M_\alpha M_\beta M_\delta^{-1} \\ M_c &= M_\delta^{-1} M_\gamma M_\alpha \\ M_d &= M_\delta^{-1} - M_\delta^{-1} M_\gamma M_\beta \end{aligned} \right\} \quad (4.10)$$

Thường chia M để M_0 có cấp thấp (1 hoặc 2) để dễ dàng xác định M^{-1} .

Ví dụ. Có ma trận

$$M = \begin{pmatrix} 4 & 3 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}$$

Xác định M^{-1} theo cách chia M thành các ma trận con. Chia M thành $M_a = (4)$; $M_b = (3)$; $M_c = (2)$; $M_d = (1)$

Theo biểu thức (4-10) ta có:

$$M_a = (4 - 3 \cdot 1 \cdot 2)^{-1} = -\frac{1}{2}$$

$$M_b = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 1 = \frac{3}{2}$$

$$M_c = 1 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} = 1$$

$$M_d = 1 - 1 \cdot 2 \cdot \frac{3}{2} = -2$$

Vậy

$$M^{-1} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2} & \frac{3}{2} \\ 1 & -2 \end{pmatrix}$$

Thử lại

$$MM^{-1} = \begin{pmatrix} 4 & 3 \\ 2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -\frac{1}{2} & \frac{3}{2} \\ 1 & -2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Chú ý: Một số ma trận dạng đặc biệt có thể xác định trực tiếp ma trận nghịch đảo.

Ví dụ

$$\begin{pmatrix} a & 0 & 0 \\ 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & a \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{1}{a} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{a} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{a} \end{pmatrix}.$$

hoặc

$$\begin{pmatrix} 1 & a & b \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & -a & -b \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

8. Phép tính vi, tích phân của ma trận. Cho ma trận mà mỗi phần tử của nó là hàm của một biến nào đó. Lấy đạo hàm (hoặc vi phân) ma trận theo biến đó là lấy đạo hàm (hoặc vi phân) từng phần tử theo biến đó.

Có

$$A = (a_{ij}(x))$$

$$\frac{dA}{dx} = \left(\frac{d}{dx} a_{ij}(x) \right) \quad (4-11)$$

Phép tính đạo hàm ma trận cũng tuân theo các luật của phép tính đạo hàm thông thường. Chẳng hạn

Có

$$C = AB \text{ thì}$$

$$\frac{dC}{dx} = \frac{dA}{dx} B + A \frac{dB}{dx}$$

Ở đây cần chú ý thứ tự ở các phép nhân.

Tương tự đối với phép tích phân ma trận:

$$\int_a^b A dx = \int_a^b (a_{ij}(x)) dx = \left(\int_a^b a_{ij}(x) dx \right) \quad (4-12)$$

Ví dụ. Có ma trận

$$A = \begin{pmatrix} 5x & 6x^2 \\ 7 & 2x \end{pmatrix}, \text{ xác định } \frac{dA}{dx}$$
$$\frac{dA}{dx} = \begin{pmatrix} 5 & 12x \\ 0 & 2 \end{pmatrix}$$

4-3. GIẢI TÍCH MẠNG ĐIỆN BẰNG MA TRẬN

Khi sử dụng đại số ma trận để giải tích mạng điện ta thường biểu diễn sơ đồ nối dây của mạng điện dưới dạng đồ thị (graph). Dưới đây trình bày một vài khái niệm cần thiết về graph.

1. Những khái niệm cơ bản về graph. Graph được định nghĩa là một tập hợp gồm các nút và các nhánh. Khi các nút nối liên thông với nhau ta có graph liên thông.

Trong trường hợp đơn giản ứng với sơ đồ nối dây của mạng điện, nhánh được xem là tổng trở nối tiếp với sức điện động trên đó hoặc tổng dẫn, nối song song với nguồn dòng điện hoặc phụ tải; nút là điểm nối từ ba nhánh trở lên.

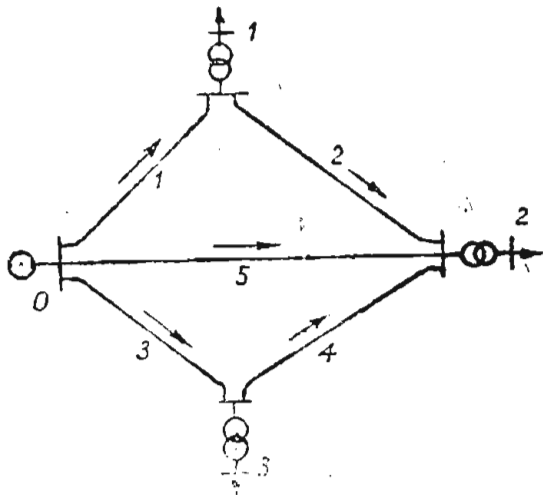
Ví dụ từ sơ đồ mạng điện trên hình 4-3 có thể biểu diễn nhờ graph trên hình 4-4. Đó là một graph có hướng (theo chiều dòng điện).

Tuy nhiên việc biểu diễn sơ đồ mạng điện chỉ là một ví dụ đơn giản về graph. Định nghĩa của graph tổng quát hơn: graph xác định mối quan hệ chức năng giữa các đại lượng khác nhau, vì vậy nó có ứng dụng rất rộng rãi.

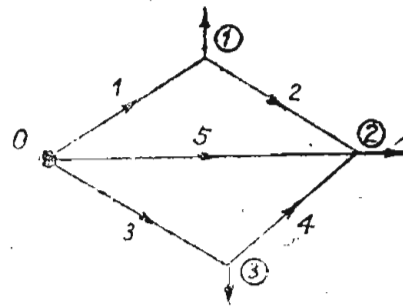
Vòng của graph là đường kín đi từ một nút qua các nhánh không trùng tên và trở về nút cũ.

Cây của graph là tập hợp tất cả các nút (đỉnh) có các nhánh (cạnh) liên thông mà không tạo thành vòng kín.

Vi dụ đối với graph mạng điện trên hình 4-4, có thể thành lập một số cây như trên hình 4-5.

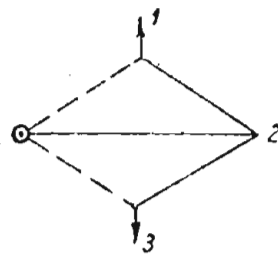
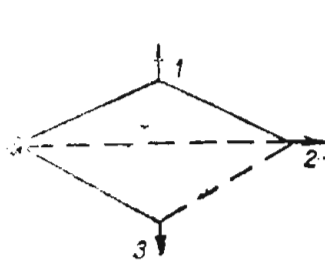


Hình 4-3



Hình 4-4

Bù cây của graph là phần còn lại của graph sau khi đã xóa cây. Trên hình 4-5 ở mỗi trường hợp các cạnh có đường chấm là bù cây của graph.



Hình 4-5

Một vài định lý cơ bản của graph.

Định lý 1. Graph liên thông có n đỉnh, thì cây của nó có $n-1$ cạnh.

Vi dụ graph trên hình 4-4 có 4 đỉnh, thì các cây của nó đều có 3 cạnh, vì cạnh thứ 4 sẽ tạo thành vòng kín.

Định lý 2. Graph có m cạnh, n đỉnh thì bù cây của graph có số cạnh $s = m - n + 1$.

Điều này có thể thấy rõ ràng vì số cạnh của bù cây bằng số cạnh của graph trừ đi số cạnh của cây, nghĩa là

$$s = m - (n - 1) = m - n + 1.$$

Vì mạch vòng kín được tạo thành bởi số cạnh của một cây nào đó và một cạnh của bù cây, nói cách khác mỗi cạnh của bù cây lập được một mạch vòng độc lập. Từ đây rút được hệ quả sau đây:

Một graph có n đỉnh, m cạnh mà $m \geq n$ (nghĩa là tồn tại mạch vòng) thì ta lập được $m - n + 1$ mạch vòng độc lập. Đó chính là cơ sở để xác định số phương trình độc lập theo định luật Kirchhoff II.

2. Một số định nghĩa về ma trận trong mạng điện

Ma trận điện áp nhánh $\vec{U}$ là ma trận cột có số phần tử bằng số nhánh của sơ đồ và mô tả giá trị điện áp rơi (hoặc tổn thất điện áp) trên các nhánh. Để tiện, thường viết

$$\vec{U}_t = (\vec{U}_1 \ \vec{U}_2 \ \dots \ \vec{U}_m)$$

$$\vec{U} = \begin{pmatrix} \vec{U}_1 \\ \vec{U}_2 \\ \vdots \\ \vec{U}_m \end{pmatrix}$$

Ma trận dòng điện nhánh $\vec{I}$ cũng là ma trận cột gồm m phần tử, biểu thị giá trị dòng điện đi trên các nhánh, kí hiệu

$$\vec{I}_t = (\vec{I}_1 \ \vec{I}_2 \ \dots \ \vec{I}_m)$$

Ma trận sức điện động nhánh $\vec{E}$ cũng là ma trận cột gồm m phần tử, biểu thị giá trị sức điện động nối tiếp trong các nhánh, kí hiệu

$$\vec{E}_t = (\vec{E}_1 \ \vec{E}_2 \ \dots \ \vec{E}_m)$$

Trong mạng điện các nhánh thường là những tổng trở thụ động, vì vậy $\vec{E} = 0$.

Ma trận nguồn dòng $\vec{J}$ là ma trận cột gồm n phần tử, biểu thị các giá trị dòng điện đi vào nút (khi nút là nguồn điện) hoặc đi ra từ nút (khi nút là phụ tải), kí hiệu

$$\vec{J}_t = (\vec{J}_1 \ \vec{J}_2 \ \dots \ \vec{J}_n)$$

trong đó $\vec{J}_i$ mang dấu $-$ khi i là nút phụ tải, mang dấu $+$ khi i là nguồn.

Ma trận tổng trở nhánh $\vec{Z}$ là ma trận vuông cấp m , bằng số nhánh của sơ đồ, các giá trị trên đường chéo chính là tổng trở từng nhánh còn phần tử (ij) là tổng trở tương hỗ Z_{ij} giữa hai nhánh i và j . Khi giải tích mạng điện thường không xét tới hiệu ứng của trường điện từ, nghĩa là coi $Z_{ij} = 0$ với mọi i, j nên $\vec{Z}$ có dạng ma trận đường chéo, kí hiệu

$$\vec{Z} = \begin{pmatrix} Z_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & Z_2 & & 0 \\ & & \ddots & \\ 0 & 0 & & Z_m \end{pmatrix}$$

Tương tự, ma trận tổng dẫn nhánh $\vec{Y}$ trong trường hợp này là nghịch đảo của $\vec{Z}$.

Ma trận hệ số phân bố nguồn dòng $\vec{C}$ là ma trận chữ nhật cấp $m \times k$, trong đó m là số nhánh và k là số nút độc lập (trừ nút lấy làm cơ sở cân bằng), nghĩa là $k = n - 1$. Những phần tử c_{ij} biểu thị giá trị của dòng điện trên nhánh do nguồn dòng ở nút j phân phối cho.

Có thể xây dựng ma trận $\vec{C}$ như sau:

Ta biết rằng giá trị của dòng điện I_i trên một nhánh i nào đó được gây bởi tất cả các nguồn dòng (và nguồn phụ tải) J_j tại các nút j , $j = 1, k$. Như vậy coi $J_1, J_2, \dots, J_k$ như những kích thích và ta nhận được các đáp ứng I_i , $i = 1, m$ trong dạng các tổ hợp tuyến tính sau đây

$$I_1 = C_{11} J_1 + C_{12} J_2 + \dots + C_{1k} J_k$$

$$I_2 = C_{21} J_1 + C_{22} J_2 + \dots + C_{2k} J_k$$

$$I_m = C_{m1} J_1 + C_{m2} J_2 + \dots + C_{mk} J_k$$

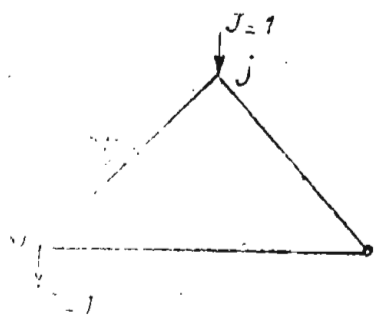
Hệ phương trình trên được viết trong dạng ma trận

$$\mathbf{I} = \mathbf{CJ} \quad (4-13)$$

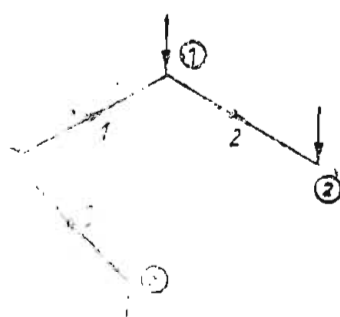
Về ý nghĩa năng lượng, các phần tử C_{ij} của ma trận hệ số phân phối $\mathbf{C}$ được giải thích và thành lập như sau: Đối với mạng gồm các phần tử tuyến tính, hệ số phân phối C_{ij} là giá trị dòng điện trong nhánh i khi ở nút j nguồn dòng có giá trị 1 đơn vị, ở nút cân bằng nguồn dòng có giá trị 1 đơn vị nhưng hướng ngược lại, còn ở mọi nút khác giá trị nguồn dòng bằng 0 (xem hình 4-6).

Ma trận $\mathbf{C}$ đối với mạng hở có những đặc điểm sau đây:

Vì ở mạng hở số nhánh m bằng số nút độc lập (mạng hở chính là một cây của graph) nên $\mathbf{C}$ có dạng ma trận vuông. Ngoài ra các giá trị C_{ij} trong trường hợp này có thể xác định trực tiếp vì không có hiện tượng phân phối dòng trong mạch vòng kín. Các phần tử C_{ij} có giá trị đơn vị (+1 hoặc -1) nếu nhánh i đó nằm trên đường nối được, từ nút j đến nút cân bằng, có giá trị 0 nếu không tồn tại đường đi từ nút j qua nhánh i đến nút cân bằng. Ngoài ra theo qui ước $C_{ij} = +1$ nếu chiều đi cùng chiều với dòng điện trong nhánh đã cho, $C_{ij} = -1$ nếu ngược chiều. Áp dụng qui tắc trên, có thể lập ma trận $\mathbf{C}$ cho mạng điện hở trên hình 4-7.



Hình 4-6



Hình 4-7

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Ma trận nối dây nút — nhánh $\mathbf{M}$ nhằm biểu diễn trong dạng đại số cách chấp nối của sơ đồ mạng điện. Sau đây ta xét ý nghĩa và cách lập ma trận $\mathbf{M}$.

Giả thiết mạng điện có graph như trên hình 4-4, ở mỗi nút có thể phương trình cân bằng dòng điện (định luật Kierchoff I) trong dạng

$$\sum_{k=1}^m m_{ik} I_k = J_i \text{ với } i = \overline{1, n} \quad (4-14)$$

trong đó

m — số nhánh tổng cộng trong graph

I_k — dòng điện trong nhánh k

m_{ik} — hệ số có giá trị:

$m_{ik} = +1$ khi dòng I_k đi ra từ nút i

$m_{ik} = -1$ khi dòng I_k hướng tới nút i

$m_{ik} = 0$ khi dòng I_k không qua nút i

n — số nút của graph.

Tập hợp n phương trình dạng (4-14) có thể viết trong dạng ma trận sau:

$$M \dot{I} = \dot{J} \quad (4-15)$$

trong đó $\dot{I}$ — ma trận cột m phần tử dòng điện nhánh

$\dot{J}$ — ma trận cột n phần tử nguồn dòng ở các nút

M — ma trận cấp $n \times m$ thể hiện cách nối dây giữa các nút và nhánh gọi là ma trận nối dây nút — nhánh.

được thành lập như sau: số hàng n ứng với số nút, số cột m ứng với số nhánh của sơ đồ, các phần tử m_{ij} ở hàng i cột j có giá trị

$m_{ij} = +1$ nếu nhánh j đi ra từ nút i .

$m_{ij} = -1$ nếu nhánh j đi tới nút i .

$m_{ij} = 0$ nếu nhánh j không qua nút i

Dựa vào quy tắc trên đây, graph trên hình 4-4 có ma trận nối dây nút — nhánh như sau:

$$M = \left(\begin{array}{ccccc} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{array} \right) \begin{array}{l} (1) \\ (2) \\ (3) \\ (0) \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{c} (1) \\ (2) \\ (3) \\ (0) \end{array}} \right\} \text{nút}$$

$$\underbrace{\begin{array}{ccccc} \boxed{1} & \boxed{2} & \boxed{3} & \boxed{4} & \boxed{5} \end{array}}_{\text{nhánh}}$$

Nhìn vào các phần tử của M ta thấy:

Mỗi hàng ứng với mỗi nút và những phần tử trên hàng đó ứng với cách nối dây của các nhánh đối với nút đó, nếu có giá trị $+1$ nghĩa là nhánh tương ứng đó đi ra từ nút này, -1 là đi vào nút này. Chẳng hạn từ hàng 1 của M trên đây ta thấy đối với nút 1: nhánh 1 đi vào, nhánh 2 đi ra còn các nhánh 3, 4, 5 không qua nút này.

Mỗi cột của ma trận M ứng với mỗi nhánh của graph và các phần tử $+1$, -1 trên đó chứng tỏ nhánh đó nối với hai nút tương ứng nào đó. Giá trị $+1$ nghĩa là nhánh đó đi ra từ nút này, -1 là đi vào nút này. Chẳng hạn đối với nhánh 3 ta thấy nó đi ra từ nút cân bằng 0 và đi vào nút 3 còn không qua các

nút 1, 2. Vì nhánh chỉ nối giữa hai nút nên ở mỗi cột chỉ có hai giá trị +1 và -1 còn các giá trị khác bằng 0. Như vậy tổng đại số các phần tử theo mỗi cột đều bằng 0, nghĩa là các phần tử của một hàng bất kì có thể suy ra từ các hàng khác, điều đó chứng tỏ trong graph có một nút phụ thuộc và thường gọi là nút cân bằng. Trong ví dụ này ta lấy nút 0 làm nút cân bằng. Khi đó ma trận M thường chỉ viết với những nút độc lập. Ở đây M có dạng

$$M = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Khi đã qui định về nút cân bằng và cách kí hiệu tên và chiều dòng điện trên các nhánh ta có liên hệ đơn trị giữa hình dáng nối dây của sơ đồ và dạng của ma trận M , nghĩa là từ ma trận M ta tái hiện duy nhất được sơ đồ nối dây của mạng điện.

Đối với mạng điện kín thường số nhánh nhiều hơn số nút độc lập nên ma trận M có dạng chữ nhật.

Đối với mạng hở, không có vòng kín, graph là cây với số nhánh bằng $n - 1$ (trong đó n là số nút tổng) nghĩa là bằng tổng các nút độc lập. Như vậy ma trận nối dây nút nhánh là vuông cấp $(n - 1)$ không suy biến kí hiệu là M_a . Ví dụ có mạng điện hở trên hình 4-7 ta lập được M_a như sau:

$$M_a = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Trong trường hợp mạng hở vì M_a vuông không suy biến nên từ biểu thức (4-15) ta viết được:

$$\dot{I} = M_a^{-1} \dot{J} \quad (4-16)$$

So sánh với biểu thức (4-13) về ma trận hệ số phân phối nguồn dòng C ta rút ra kết luận: ở mạng điện hở ta có mối liên hệ giữa ma trận nối dây nút - nhánh và ma trận hệ số phân phối nguồn dòng như sau:

$$C = M_a^{-1} \quad (4-17)$$

Ngoài ra để tiện lợi trong tính toán, đối với mạng điện kín, ta chia ma trận nối dây nút - nhánh thành hai ma trận con:

$$M = (M_a M_\beta) \quad (4-18)$$

trong đó M_a là ma trận con liên quan đến phần cây của graph mạng điện. Như vậy M_a vuông, không suy biến.

M_β là ma trận con liên quan đến phần bù cây của graph. Chẳng hạn ở ví dụ trên, ma trận M_a đã xác định, còn M_β có dạng

$$M_\beta = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -1 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

trong đó phần bù cây của graph bao gồm nhánh 4 và 5.

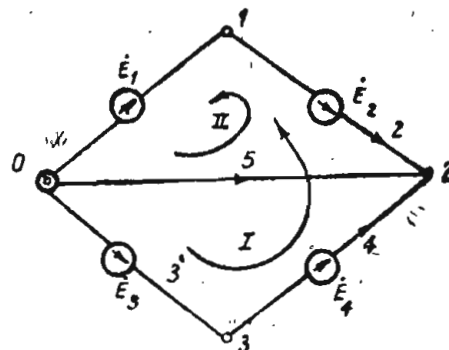
Ma trận nối dây mạch vòng — nhánh N. Trong trường hợp mạng điện gồm các sức điện động $\vec{E}$ trên các nhánh mà không có nguồn dòng thì thường sử dụng định luật Kirchhoff II để xác định dòng điện trên các nhánh.

Giả thiết có sơ đồ mạng điện như trên hình 4-8 với hai mạch vòng độc lập với chiều qui ước như trên hình vẽ.

Định luật Kirchhoff II được phát biểu như sau :

Trong mỗi mạch vòng tổng đại số điện áp giáng trên các nhánh bằng 0, nghĩa là

$$\sum_{j=1}^m n_{ij} U_j = 0 \quad (4-19)$$



Hình 4-8

trong đó U_j là điện áp giáng trên nhánh j , vì trong nhánh có sức điện động E_j nên có

$$\dot{U}_j = Z_j \dot{I}_j - \vec{E}_j \quad (4-20)$$

trong đó Z_j — tổng trở nhánh j ; I_j — dòng điện trên nhánh j ; n_{ij} — hệ số có giá trị: $n_{ij} = +1$ khi dòng điện trong nhánh j cùng chiều với mạch vòng i qui ước; $n_{ij} = -1$ khi dòng điện ở nhánh j ngược chiều mạch vòng; $n_{ij} = 0$ khi nhánh j không thuộc mạch vòng i .

Nếu mạng điện có m nhánh, $(n - 1)$ nút độc lập thì số mạch vòng độc lập s là

$$s = m - n + 1$$

Các phương trình (4-19) có thể viết trong dạng ma trận như sau :

$$N \dot{U} = 0 \quad (4-21)$$

kết hợp với (4-20) ta có

$$N(Z \dot{I} - \vec{E}) = 0 \quad (4-22)$$

trong đó Z — ma trận tổng trở nhánh; $\dot{I}$ — ma trận dòng điện nhánh; $\vec{E}$ — ma trận sức điện động nhánh; N — ma trận nối dây mạch vòng — nhánh cấp $s \times m$

Theo qui tắc xác định các giá trị n_{ij} trên đây, ứng với graph hình 4-9 ta lập N như sau .

Mạch vòng	Nhánh				
	1	2	3	4	5
I	-1	-1	1	1	0
II	-1	-1	0	0	1

Vậy N có dạng

$$N = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Ở đây cần chú ý là khi chọn mạch vòng khác nhau dạng ma trận N sẽ khác tuy cùng danh số các nút và nhánh. Từ đây thấy rằng, khác với ma trận nối dây nút — nhánh M , ma trận nối dây N không cho đủ thông tin để tái hiện duy nhất sơ đồ mạng điện. Đối với mạng hở, không tồn tại ma trận N .

Vì ma trận N dạng chữ nhật nên không có nghịch đảo, vì vậy trong tính toán để thuận tiện ta chia N thành hai ma trận con, trong đó có một ma trận vuông

$$N = (N_\alpha \ N_\beta) \quad (4-23)$$

trong đó N_α — ma trận con liên quan đến các nhánh của cây. N_α — ma trận có thể chữ nhật vì số hàng là số mạch vòng độc lập, còn số cột là số nhánh của cây. N_β — ma trận con liên quan đến các nhánh của bù cây. N_β — ma trận vuông vì số mạch vòng độc lập bằng số nhánh của bù cây $s = n - m + 1$.

Ngoài ra thường qui ước chiều mạch vòng sao cho cùng chiều với các nhánh ở bù cây, như vậy N_β có dạng ma trận đơn vị

$$N_\beta = I \quad (4-24)$$

Từ biểu thức (4-22) ta viết được

$$N \cdot Z \cdot \dot{I} = N \cdot \dot{E} \quad (4-25)$$

Ở đây coi $N \dot{E} = \dot{E}_k \quad (4-26)$

trong đó $\dot{E}_k$ là ma trận sức điện động tổng của từng mạch vòng.

Trong trường hợp, ví dụ trên hình 4-9 ta có :

$$\dot{E}_k = \begin{pmatrix} \dot{E}_{kI} \\ \dot{E}_{kII} \end{pmatrix}$$

trong đó $\dot{E}_{kI} = -\dot{E}_1 - \dot{E}_2$

$$\dot{E}_{kII} = -\dot{E}_1 - \dot{E}_2 + \dot{E}_3 + \dot{E}_4.$$

Vậy ta có phương trình ma trận sau đây để xác định dòng điện trên các nhánh

$$N \cdot Z \cdot \dot{I} = \dot{E}_k \quad (4-27)$$

3. Phương trình trạng thái của mạng điện. Qua những lập luận trên đây ta thấy rằng một trong những mục đích chính của việc giải tích mạng điện là xác định giá trị dòng điện trên các nhánh khi đã biết nguồn dòng tại các nút và sức điện động trong các nhánh (nếu có). Khi đó dựa vào hai định luật Kirchhoff, trạng thái của mạng điện được mô tả nhờ hai phương trình (4-15) và (4-27) :

$$\left. \begin{aligned} M \cdot \dot{I} &= \dot{J} \\ N \cdot Z \cdot \dot{I} &= N \dot{E} = \dot{E}_k \end{aligned} \right\} \quad (4-28)$$

Ta có thể hợp hai phương trình trên, nếu coi các ma trận M và NZ là các ma trận con của ma trận thông số A của hệ

$$A = \begin{pmatrix} M \\ N \cdot Z \end{pmatrix} \quad (4-29)$$

còn I và $N\dot{E} = \dot{E}_k$ là các ma trận con của ma trận thông số trạng thái F

$$\dot{F} = \begin{pmatrix} J \\ \dot{E}_k \end{pmatrix} \quad (4-30)$$

Khi đó phương trình trạng thái tổng quát của mạng điện có dạng

$$A\dot{I} = \dot{F} \quad (4-31)$$

trong đó A là ma trận vuông và thường không suy biến, nên giải được

$$\dot{I} = A^{-1}\dot{F} \quad (4-32)$$

Từ các giá trị dòng điện nhánh có thể xác định các điều kiện làm việc khác (tổn thất điện áp, tổn thất điện năng v.v...). Tuy nhiên cấp của A thường lớn, lấy A^{-1} khó.

Ngoài ra khi giải tích mạng điện thường sử dụng những đặc điểm để tính toán đơn giản hơn, chẳng hạn thường trong mạng điện cao áp không tồn tại sức điện động trong các nhánh, vì vậy thường dùng định luật Kirchhoff I và viết trong dạng phương trình điện thế điểm nút để xác định dòng điện trên các nhánh. Sau đây sẽ trình bày nội dung và thuật toán giải theo phương pháp đó

4. Phương trình điện thế điểm nút trong dạng ma trận

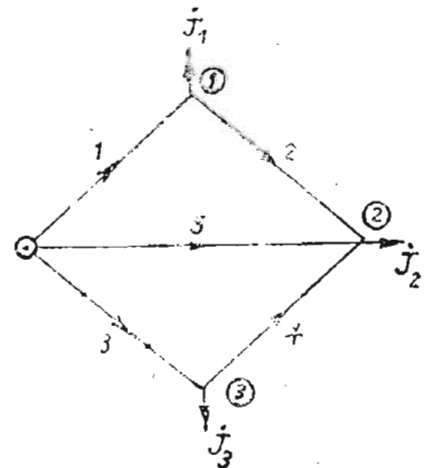
Giả thiết có sơ đồ mạng điện như trên hình 4-9 gồm nguồn $\mathcal{E}$ cung cấp cho 3 phụ tải tại các nút 1, 2, 3 với các giá trị dòng phụ tải J_1, J_2, J_3 . Mạng điện gồm các nhánh thụ động có các giá trị tổng trở Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5 . Cần thành lập phương trình ma trận dựa vào định luật các nút để xác định giá trị dòng điện trên các nhánh.

Ta lấy 0 làm nút cân bằng. Lập hệ phương trình Kirchhoff I cho các nút 1, 2, 3:

$$\left. \begin{aligned} -I_1 + I_2 + J_1 &= 0 \\ -I_2 - I_4 + I_5 + J_2 &= 0 \\ -I_3 + I_4 + J_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4-33)$$

Từ (4-33) viết được trong dạng ma trận:

$$\begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -J_1 \\ -J_2 \\ -J_3 \end{pmatrix}$$



Hình 4-9

Ở đây ta nhận được phương trình ma trận quan hệ giữa vector I và J như dạng (4-15), tuy nhiên trong ví dụ này vì J gồm các nguồn dòng phụ tải nên đều có giá trị âm, ta có:

$$MI = J \quad (4-33a)$$

Kí hiệu điện áp giáng trên các nhánh là $\dot{U}_i$; $i = 1, 2, \dots, 5$, còn điện thế tại các nút là $\dot{U}_{\Delta j}$; $j = 0, 1, 2, 3$, dựa vào sơ đồ mạng điện ta viết được:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{U}_{\Delta 0} - \dot{U}_{\Delta 1} \\ \dot{U}_2 &= \dot{U}_{\Delta 1} - \dot{U}_{\Delta 2} \\ \dot{U}_3 &= \dot{U}_{\Delta 0} - \dot{U}_{\Delta 3} \\ \dot{U}_4 &= \dot{U}_{\Delta 3} - \dot{U}_{\Delta 2} \\ \dot{U}_5 &= \dot{U}_{\Delta 0} - \dot{U}_{\Delta 2} \end{aligned} \right\} \quad (4-34)$$

Vì điểm 0 lấy làm nút cân bằng nên có thể coi các giá trị $\dot{U}_{\Delta j}$ là điện áp của nút j so với nút 0. Từ đây hệ (4-34) có thể viết trong dạng ma trận sau:

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_3 \\ \dot{U}_4 \\ \dot{U}_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{U}_{\Delta 1} \\ \dot{U}_{\Delta 2} \\ \dot{U}_{\Delta 3} \end{pmatrix} \quad (4-35)$$

và được viết gọn trong dạng

$$\dot{U} = M_t \dot{U}_{\Delta} \quad (4-36)$$

trong đó M_t là dạng chuyển vị của ma trận nối dây nút — nhánh.

Ngoài ra vì không có sức điện động trên các nhánh nên điện áp giáng trên các nhánh $\dot{U}_i$ được biểu diễn dưới dạng ma trận sau:

$$\dot{U} = Z \dot{I} \quad (4-37)$$

trong đó Z là ma trận tổng trở các nhánh, vì không xét tới tác động tương hỗ giữa các nhánh, nên Z có dạng đường chéo chính. Ở đây có:

$$Z = \begin{pmatrix} Z_1 & & & & \\ & Z_2 & & & \\ & & Z_3 & & \\ & & & Z_4 & \\ & 0 & & & Z_5 \end{pmatrix}$$

Từ biểu thức (4-37) vì Z là ma trận vuông, không suy biến có Z^{-1} nên xác định được $\dot{I}$ theo biểu thức:

$$\dot{I} = Z^{-1} \dot{U} \quad (4-38)$$

Thay (4-38) vào (4-36) ta có: $\dot{I} = Z^{-1} M_t \dot{U}_{\Delta}$ (4-39)

Kết hợp với (4-33a) ta có:

$$M Z^{-1} M_t \dot{U}_{\Delta} = \dot{J} \quad (4-40)$$

Biểu thức (4-40) cho ta mối liên hệ giữa điện áp nút và nguồn dòng tại các nút. Ta thấy thành phần $M Z^{-1} M_t$ có thứ nguyên tổng dẫn, được kí hiệu là

$$M Z^{-1} M_t = Y_{\Delta} \quad (4-41)$$

Y_{Δ} là ma trận tổng dẫn nút của mạng điện, có thể xác định theo biểu thức (4-41) hoặc trực tiếp từ sơ đồ như sau:

Y_{Δ} là ma trận vuông, đối xứng, các phần tử y_{ii} trên đường chéo chính là tổng các tổng dẫn các nhánh nối vào nút i , còn các phần tử khác y_{ij} là giá trị tổng dẫn của nhánh ij lấy dấu ngược lại.

Chẳng hạn ở ví dụ này ta có :

$$Y_{\Delta} = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Y_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Y_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Y_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Y_5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} Y_1 + Y_2 & -Y_2 & 0 \\ -Y_2 & Y_2 + Y_4 + Y_5 & -Y_4 \\ 0 & -Y_4 & Y_3 + Y_4 \end{pmatrix}$$

trong đó $Y_i = \frac{1}{Z_i}$; $i = 1, 2, 3, 4, 5$.

Vì ma trận Y_{Δ} vuông, không suy biến nên từ biểu thức (4-40) ta xác định được điện áp các nút thông qua số liệu ban đầu là ma trận J :

$$\dot{U}_{\Delta} = Y_{\Delta}^{-1} J \quad (4-42)$$

Ma trận điện áp giáng trên các nhánh $\dot{U}$ có dạng

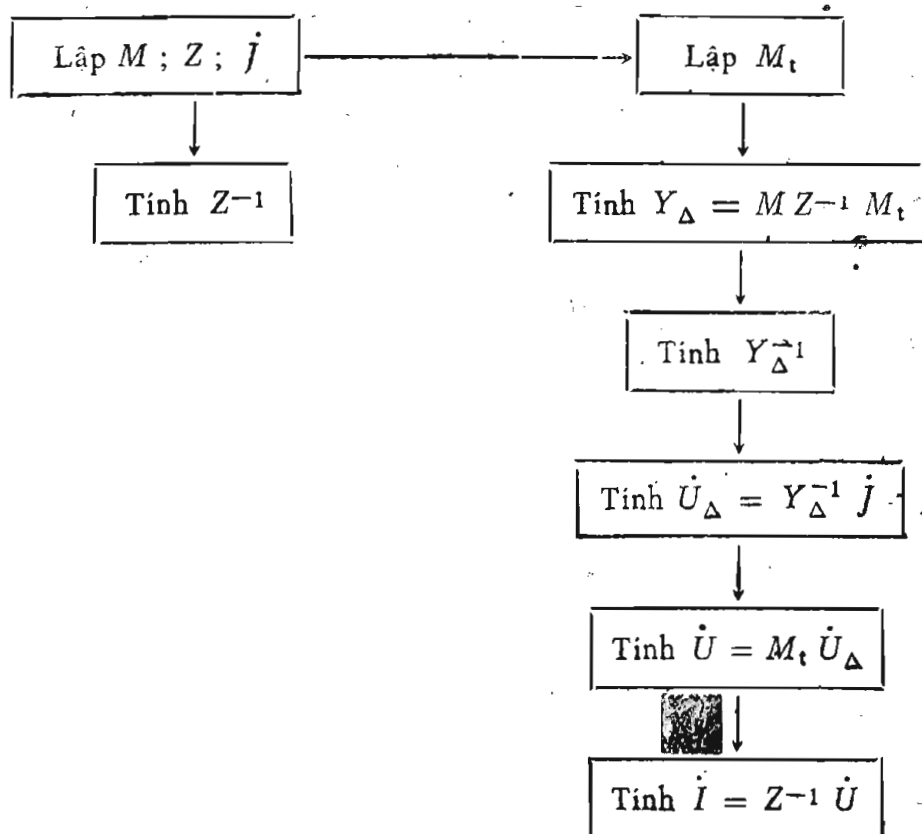
$$\dot{U} = M \dot{U}_{\Delta} = M Y_{\Delta}^{-1} J \quad (4-43)$$

Ma trận dòng điện trên các nhánh có dạng

$$\dot{I} = Z^{-1} \dot{U} = Z^{-1} M Y_{\Delta}^{-1} J \quad (4-44)$$

Từ ma trận I có thể xác định tổn thất công suất và tổn thất điện năng trong mạng điện.

Tóm lại giải tích mạng điện theo phương pháp điện thế điểm nút có thể tiến hành theo sơ đồ khối sau đây :



Việc tính toán theo phương pháp này thường gặp khó khăn ở bước xác định ma trận nghịch đảo Y_{Δ}^{-1} khi số nút lớn. Vì vậy khi đó có thể kết hợp với phương pháp mạch vòng mà nội dung sẽ trình bày ở mục khác của chương này.

Ngoài ra qua các bước của phương pháp điện thế điểm nút trên đây, ta có thể thấy mối quan hệ giữa hai ma trận nối dây M và N như sau:

Đối với mạng điện không có sức điện động trên các nhánh, ta có phương trình tổng điện áp giáng trong các mạch vòng bằng 0, nghĩa là có phương trình ma trận

$$NU = 0 \quad (4-45)$$

Mặt khác ma trận điện áp trên các nhánh có quan hệ với ma trận điện áp nút U_{Δ} theo biểu thức (4-36):

$$U = M_t U_{\Delta} \quad (4-46)$$

Kết hợp (4-45) và (4-46) có:

$$NM_t U_{\Delta} = 0 \quad (4-47)$$

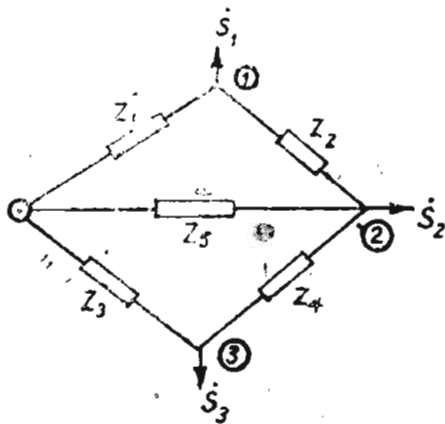
Vì biểu thức (4-47) thỏa mãn với mọi dạng của U_{Δ} nên có

$$NM_t = 0 \quad (4-48)$$

Đây là phương trình nêu bản chất nội tại của sơ đồ mạng điện, còn gọi là nguyên lý tô pô của mạng (tính bất biến qua các phép biến đổi tuyến tính, liên tục). Trong ví dụ này có:

$$NM_t = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

5. Ví dụ. Mạng điện có sơ đồ cho trên hình 4-10. Phụ tải ở các nút có trị số tính toán và cho trong dạng công suất:



Hình 4-10

$$S_1 = \frac{1}{\sqrt{3}} (10 - j5) \text{ MVA}$$

$$S_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} (15 - j10) \text{ MVA}$$

$$S_3 = \frac{1}{\sqrt{3}} (20 - j15) \text{ MVA}$$

Tổng trở các nhánh có giá trị

$$Z_1 = (5 + j10)\Omega; \quad Z_2 = (10 + j15)\Omega$$

$$Z_3 = (10 + j15)\Omega; \quad Z_4 = (5 + j10)\Omega$$

$$Z_5 = (15 + j20)\Omega.$$

Điện áp định mức của mạng $U_{dm} = 110 \text{ kV}$. Điện áp nguồn 0 luôn giữ không đổi và $U_0 = 115 \angle 0^\circ \text{ kV}$.

Cần xác định:

- Điện áp duy trì tại các nút 1, 2, 3
- Dòng điện trên các nhánh 1, 2, 3, 4, 5.

Giải.

Xác định ma trận dòng phụ tải $\dot{J}_t = -(\dot{J}_1 \dot{J}_2 \dot{J}_3)$. Để đơn giản ở đây coi $U = U_{dm}$ khi tính $\dot{J}$.

Vậy:

$$\dot{J}_t = -(\dot{J}_1 \dot{J}_2 \dot{J}_3) = -\left(\frac{\dot{S}_t}{\sqrt{3} U_d}\right)$$

Thay các giá trị $\dot{S}_1, \dot{S}_2, \dot{S}_3$ có:

$$\dot{J} = -\begin{pmatrix} 91 - j 45 \\ 136 - j 91 \\ 182 - j 136 \end{pmatrix} A$$

Xác định ma trận nối dây nút — nhánh M .

$$M = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix}; \quad M_t = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

Lập ma trận tổng trở nhánh Z

$$Z = \begin{pmatrix} 5 + j10 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10 + j15 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 10 + j15 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5 + j10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 15 + j20 \end{pmatrix}$$

Vì Z có dạng đường chéo nên tìm Z^{-1} đơn giản.

Tiếp theo ta tính ma trận tổng dẫn nút Y_Δ của mạng $Y_\Delta = MZ^{-1}M_t$, hoặc lập trực tiếp từ sơ đồ, có kết quả:

$$Y_\Delta = \begin{pmatrix} 0,071 - j0,126 & -0,031 + j0,046 & 0 \\ -0,031 + j0,046 & 0,095 - j0,158 & -0,04 + j0,08 \\ 0 & -0,04 + j0,08 & 0,071 - j0,126 \end{pmatrix} \frac{1}{\Omega}$$

Y_Δ là ma trận vuông, đối xứng ($Y_\Delta = Y_\Delta^T$), không suy biến nên tồn tại Y_Δ^{-1} .

Xác định Y_Δ^{-1} theo qui tắc tìm ma trận nghịch đảo, có

$$Y_\Delta^{-1} = \begin{pmatrix} -8,45 - j18,8 & -3,6 - j 7,16 & -2,4 - j 4,32 \\ -3,6 - j 7,16 & -10,8 - j17,9 & -7,24 - j 7,72 \\ -2,4 - j 4,32 & -7,24 - j 7,72 & -12,1 - j20,3 \end{pmatrix} 10^{-3}$$

Xác định ma trận điện thế nút (so với U_0) theo công thức $\dot{U}_\Delta = Y_\Delta^{-1} \dot{J}$, có kết quả

$$\dot{U}_\Delta = \begin{pmatrix} \dot{U}_{\Delta 1} \\ \dot{U}_{\Delta 2} \\ \dot{U}_{\Delta 3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1613 - j 990 \\ -2656 - j1008 \\ -3116 - j1191 \end{pmatrix} V$$

Với điện áp nguồn 0 đã cho $U_0 = 115kV$ L₀° vậy giá trị điện áp tại các nút là

$$\dot{U}_{\Delta i} = U_0 + \dot{U}_{\Delta i}$$

$$\dot{U}_{\Delta 1} = 115 - 1,613 - j0,99 = (113,4 - j0,99)kV \approx 113,5kV$$

$$\dot{U}_{\Delta 2} = 115 - 2,656 - j1,008 = (112,3 - j1,0)kV \approx 112,4kV$$

$$\dot{U}_{\Delta 3} = 115 - 3,116 - j1,191 = (112 - j1,2)kV \approx 112kV.$$

Để xác định dòng trên các nhánh, cần biết điện áp giáng trên các nhánh, nghĩa là cần tìm ma trận $\dot{U}$, theo (4-46) có:

$$\dot{U} = M \dot{U}_{\Delta}$$

Tính ra, có kết quả

$$\dot{U} = \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_3 \\ \dot{U}_4 \\ \dot{U}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,61 + j0,99 \\ 1,04 + j0,01 \\ 3,11 + j1,20 \\ -0,46 - j0,20 \\ 2,65 + j1,0 \end{bmatrix} kV$$

Ma trận dòng điện nhánh I xác định theo

$$\dot{I} = Z^{-1} \dot{U}$$

Thay giá trị của các phần tử Z^{-1} và $\dot{U}$, có kết quả:

$$\dot{I} = \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_3 \\ \dot{I}_4 \\ \dot{I}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,144 - j0,089 \\ 0,032 - j0,048 \\ 0,151 - j0,106 \\ -(0,034 - j0,028) \\ 0,095 - j0,061 \end{bmatrix} kA$$

Chú ý:

— Dòng điện I_4 mang dấu trừ, chứng tỏ có chiều ngược với chiều lấy trên sơ đồ hình 4-10.

— Vì khi tính toán I không xét đến tổn thất công suất trên các nhánh nên ta có thể thử lại điều kiện cân bằng: tổng các dòng điện phát từ nguồn 0 phải cân bằng với tổng dòng phụ tải, nghĩa là:

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_3 + \dot{I}_5 = \dot{J}_1 + \dot{J}_2 + \dot{J}_3$$

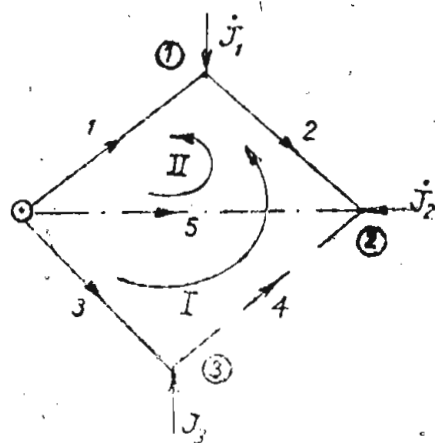
ở đây

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_5 = (390 - j256)A$$

$$\dot{J}_1 + \dot{J}_2 + \dot{J}_3 = (409 - j272)A$$

Sai số trong phạm vi 5%. Vậy kết quả có thể tin cậy được.

Như trên ta đã nói sử dụng phương pháp điện thế điểm nút đối với mạng điện có số nút độc lập $(n - 1)$ lớn sẽ gặp nhiều khó khăn khi tìm nghịch đảo ma trận tổng dẫn nút Y_{Δ}^{-1} . Ta cũng thấy rằng số mạch vòng độc lập trong mạng điện thường ít. Tuy nhiên phương pháp mạch vòng thuần túy chỉ phù hợp khi ở các nút không có nguồn dòng mà lại có sức điện động các nhánh (hình 4-8). Đối với mạng điện thường không có sức điện động nhánh, mà luôn có nguồn dòng ở các nút vì vậy muốn sử dụng kết hợp phương pháp mạch vòng để giảm bậc của ma trận nghịch đảo cần phải có những biến đổi thêm. Đó là nội dung của mục tiếp sau.



Hình 4-11

6. Phối hợp với phương trình mạch vòng.

Giả thiết có sơ đồ mạng điện như trên hình 4-11.

Trong trường hợp này những nguồn dòng J_1, J_2, J_3

sẽ gây trong các mạch vòng những điện áp không

cân bằng. Để loại trừ điện áp không cân bằng đó, bên cạnh dòng điện nhánh sẽ

xuất hiện những dòng điện mạch vòng. Để tiện lợi cho tính toán, ta giả thiết

ma trận dòng điện trên các nhánh gồm hai thành phần

$$\dot{I} = \dot{I}' + \dot{I}'' \quad (4-49)$$

trong đó $\dot{I}'$ liên quan với các nguồn dòng tại các nút J_k và thỏa mãn định luật Kirchhoff I:

$$M\dot{I}' = \dot{J} \quad (4-50)$$

Thành phần thứ hai $\dot{I}''$ xác định bởi các dòng điện mạch vòng. Vì dòng điện ở mỗi nhánh là tổng đại số của các dòng điện mạch vòng qua nhánh đó nên có thể viết

$$\dot{I}'' = N_t \dot{I}_k \quad (4-51)$$

trong đó $\dot{I}_k$ là ma trận dòng điện mạch vòng.

Vì luôn thỏa mãn điều kiện cân bằng dòng điện tại các nút nên có:

$$M\dot{I} = \dot{J}$$

mà đã có (4-50) vậy

$$M\dot{I}'' = MN_t \dot{I}_k = 0 \quad (4-52)$$

nghĩa là ta coi dòng điện mạch vòng không liên quan trực tiếp với các nguồn dòng.

Để đơn giản ta giả thiết rằng nguồn dòng chỉ phân bố trong các nhánh thuộc cây của graph mạng điện, như vậy

$$\dot{I}' = \begin{pmatrix} \dot{I}'_a \\ \dot{I}'_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_o \dot{J} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4-53)$$

trong đó $\dot{I}'_a$ — ma trận dòng điện trong các nhánh thuộc cây

$\dot{I}'_p$ — ma trận dòng điện trong các nhánh thuộc bù cây.

G_o — ma trận hệ số phân phối nguồn dòng ứng với cây của graph mạng điện.

Giả thiết ở các nhánh không có sức điện động ($E_k = 0$) ta viết được phương trình của tổng điện áp giáng trong các mạch vòng theo biểu thức (4-22) có:

$$N Z \dot{I}_k = 0 \quad (4-54)$$

Kết hợp với (4-49), (4-51), (4-53) có

$$N Z (\dot{I}' + \dot{I}'') = N Z \left(\begin{pmatrix} C_o J \\ 0 \end{pmatrix} + N_t \dot{I}_k \right) = 0 \quad (4-55)$$

trong đó Z là ma trận tổng trở nhánh. Vì không xét đến tổng trở tương hỗ giữa các nhánh và ta chia Z thành các ma trận con theo dạng

$$Z = \begin{pmatrix} Z_a & 0 \\ 0 & Z_\delta \end{pmatrix} \quad (4-56)$$

trong đó Z_a — ma trận con liên quan đến các nhánh của cây; Z_δ — liên quan đến các nhánh của bù cây.

Thay (4-56) vào (4-55) có

$$N \cdot \begin{pmatrix} Z_a & 0 \\ 0 & Z_\delta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} C_o J \\ 0 \end{pmatrix} + N Z N_t \dot{I}_k = 0 \quad (4-57)$$

$$N Z C_o J = -N Z N_t \dot{I}_k \quad (4-58)$$

Đặt $N Z N_t = Z_k$ là ma trận tổng trở mạch vòng.

Ta thấy Z_k là ma trận vuông, đối xứng, không suy biến có cấp s , trong đó s là số mạch vòng độc lập của sơ đồ.

Từ biểu thức (4-58) xác định được ma trận dòng điện mạch vòng I_k :

$$\dot{I}_k = -Z^{-1} N_t Z_a C_o J \quad (4-59)$$

Bây giờ cần xác định ma trận dòng điện tổng trong các nhánh $\dot{I}$. Ta cũng tách $\dot{I}$ thành hai ma trận con

$$\dot{I} = \begin{pmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_\beta \end{pmatrix} \quad (4-60)$$

trong đó $\dot{I}_a$ — ma trận dòng điện trong các nhánh của cây,

$\dot{I}_\beta$ — ma trận dòng điện trong các nhánh của bù cây, chính là ma trận dòng điện mạch vòng I_k .

Ở đây

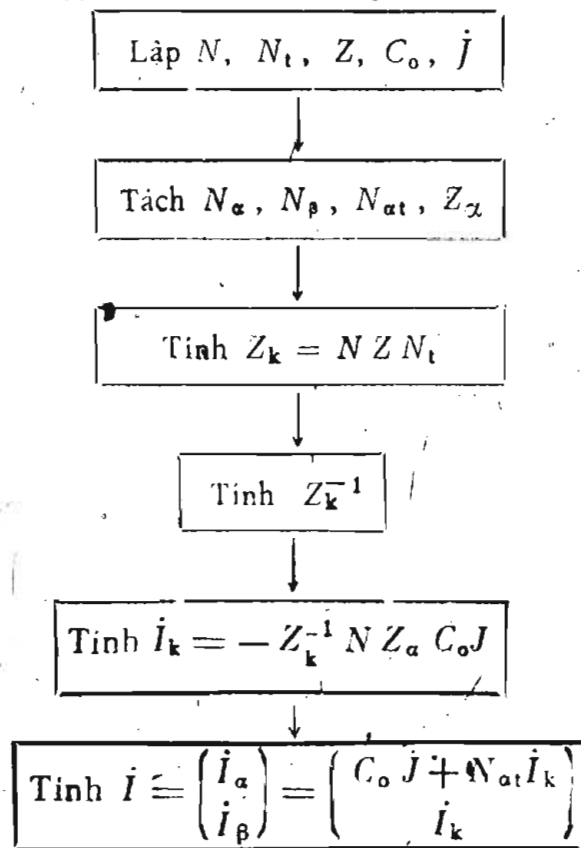
$$\dot{I}_a = \dot{I}'_a + \dot{I}''_a = C_o J + N_{at} \dot{I}_k \quad (4-61)$$

trong đó N_{at} là ma trận con thuộc N_t , chỉ liên quan đến những nhánh của cây [xem biểu thức (4-23)].

Thay $\dot{I}_k$ ở biểu thức (4-59) cuối cùng ta có

$$\dot{I} = \begin{pmatrix} 1 - N_{at} Z_k^{-1} N Z_a \\ -Z^{-1} N Z_a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_o J \end{pmatrix} \quad (4-62)$$

Tóm lại giải tích mạng điện kin, phức tạp, khi số nút lớn hơn nhiều so với số mạch vòng độc lập, để giảm khó khăn khi tính nghịch đảo của ma trận, có thể phối hợp với phương pháp mạch vòng theo trình tự tính toán sau đây:



7. Ví dụ. Có mạng điện như trên hình 4-11 với các số liệu ban đầu:

$$Z_1 = 1 \Omega; Z_2 = 2 \Omega; Z_3 = 3 \Omega; Z_4 = 4 \Omega, Z_5 = 5 \Omega$$

$$J_1 = 1kA; J_2 = 2kA; J_3 = 3kA.$$

Cần xác định dòng trên các nhánh.

Giải. Lập hai mạch vòng độc lập như trên hình 4-11 với dụng ý mỗi nhánh của bù cây (đường nét đứt của nhánh 4 và 5) có mặt ở một mạch vòng.

Khi đó có

$$N = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Vậy

$$N_\alpha = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{pmatrix} \text{ và } N_\beta = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Ứng với cây gồm các nhánh 1, 2, 3 với điểm 0 làm nút cân bằng, xác định được ma trận hệ số phân phối C_o (hoặc $C_o = M^{-1}$) như sau

$$C_o = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$\text{Vì } Z = \begin{pmatrix} 1 & & & & \\ & 2 & & & \\ & & 3 & & \\ & & & 4 & \\ & & & & 5 \end{pmatrix} \text{ nên } Z_\alpha = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 2 & \\ 0 & 3 \end{pmatrix}$$

Tiếp theo tính được Z_k :

$$Z_k = N Z N_t = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 0 & 3 & 4 \\ 0 & 0 & 5 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 \\ -1 & -1 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10 & 3 \\ 3 & 8 \end{pmatrix}$$

Như đã biết Z_k là ma trận vuông, đối xứng, không suy biến, trong trường hợp này Z_k có cấp 2 nên dễ dàng xác định Z_k^{-1} :

$$Z_k^{-1} = \frac{1}{71} \begin{pmatrix} 8 & -3 \\ -3 & 10 \end{pmatrix}$$

Tính

$$Z_k^{-1} N Z_a = \frac{1}{71} \begin{pmatrix} -5 & -10 & 24 \\ -7 & -14 & -9 \end{pmatrix}$$

Theo biểu thức (4-62) có:

$$1 - N_{at} Z^{-1} N Z_a = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -1 & -1 \\ -1 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{71} \begin{pmatrix} -5 & -10 & 24 \\ -7 & -14 & -9 \end{pmatrix} =$$

$$= \frac{1}{71} \begin{pmatrix} 59 & -24 & 15 \\ -12 & 47 & 15 \\ 5 & 10 & 47 \end{pmatrix}$$

Cuối cùng có:

$$I = \begin{pmatrix} 1 - N_{at} Z_k^{-1} N Z_a \\ -Z_k^{-1} \cdot N \cdot Z \end{pmatrix} (C_o J) = \frac{1}{71} \begin{pmatrix} 59 & -24 & 15 \\ -12 & 47 & 15 \\ 5 & 10 & 47 \\ 7 & 14 & 9 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2,43 \\ -1,44 \\ -2,46 \\ 0,52 \\ -1,06 \end{pmatrix} \text{ kA}$$

Từ kết quả trên đây thấy rằng các dòng điện trên các nhánh 1, 2, 3, 5 có chiều ngược với qui định.

Ta có thể thử lại theo điều kiện cân bằng:

$$I_1 + I_5 + I_3 = J_1 + J_2 + J_3$$

Ở đây

$$I_1 + I_5 + I_3 = 5,95$$

$$J_1 + J_2 + J_3 = 6,00$$

như vậy kết quả đáng tin cậy.

4.4 KẾT LUẬN

Trong chương này đã trình bày phương pháp ma trận để giải tích mạng điện có sơ đồ nối dây bất kỳ dựa trên các phương trình trạng thái của mạng. Trong trường hợp mạng hở hoặc mạng kín nhưng số nút không lớn lắm thường sử dụng phương pháp điện thế điểm nút. Khi số nút nhiều, việc tính nghịch đảo ma trận lồng dẫn nút Y_{Δ} của mạng sẽ gặp khó khăn, trong trường hợp này nên kết hợp với phương trình mạch vòng.

Phương pháp ma trận càng tỏ rõ hiệu lực khi cần xác định những thông số trạng thái của mạng điện khi thay đổi các số liệu ban đầu (về nguồn, phụ tải, cấu trúc mạng điện, thông số phần tử v.v...). Lúc này bài toán thường được chương trình hóa và giải trên máy tính điện tử số.

Tuy nhiên qua các mục của chương này ta thấy tính chất gần đúng của phương pháp. Đó là: khi giải tích mạng điện nhằm xác định dòng điện trên các nhánh và điện áp tại các nút thường cần cứ vào công suất S_i đã cho tại các nút, từ công suất S_i cần tìm giá trị nguồn dòng J_i tại nút i để sử dụng các biểu thức giải tích. Nhưng khi xác định J_i cần biết điện áp tại nút đó, vì

$$J_i = \frac{S_i}{\sqrt{3} U_i}$$

mà điện áp U_i tại nút i lại đang cần xác định. Vì vậy khi tính gần đúng, ta dùng giá trị điện áp định mức của mạng điện cho mọi nút trong các phép toán xác định J_i .

Ngoài ra cũng giả thiết bỏ qua tổn thất công suất trong mạng điện khi xác định dòng trên các nhánh.

Để khắc phục nhược điểm trên đây có thể dùng phương pháp lập đề giải tích mạng điện. Phương pháp lập có nhiều ý nghĩa trong việc tìm lời giải khi bài toán là phi tuyến, là bất định. Vì vậy chương tiếp theo dành để mô tả và ứng dụng các thuật toán lập khác nhau nhằm giải tích mạng điện.

CHƯƠNG 5

PHƯƠNG PHÁP LẬP GIẢI TÍCH MẠNG ĐIỆN

5.1. MỞ ĐẦU. TINH THẦN CỦA THUẬT TOÁN LẬP

Lập là thủ tục tính toán của phương pháp dần đúng, nghĩa là qua các bước với cùng một công thức thực hiện ta đi dần đến lời giải.

Ưu điểm chủ yếu của thuật toán lập là biến quá trình tìm đáp số thành một chuỗi hữu hạn các bước lập đơn giản, máy móc, dễ chương trình hóa để nhờ sự giúp đỡ của máy tính điện tử. Ngoài ra mức độ chính xác của lời giải tùy ta qui định và độ chính xác càng tăng khi số bước lập tăng.

Tuy nhiên ở đây phải tồn tại điều kiện hội tụ của lời giải, nghĩa là lời giải phải được tìm thấy và chấp nhận được sau một số bước hữu hạn. Ngoài ra vì quá trình giải là các bước lặp nên thời gian kéo dài.

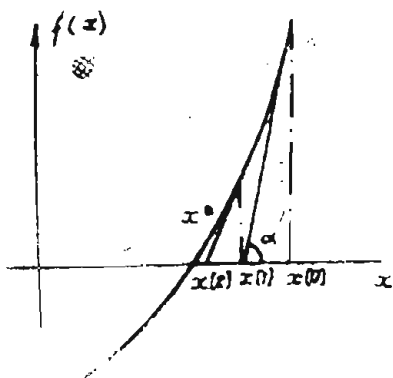
Lĩnh vực đầu tiên thường áp dụng thuật toán lặp là khi đối tượng được mô tả bằng số rất lớn những quan hệ hàm, tất định tuyến tính, hoặc mô tả bằng quan hệ phi tuyến, khi đó để tránh khó khăn trong tính toán ta thường sử dụng những biểu thức gần đúng, đơn giản, được thực hiện lặp lại nhiều lần, nhưng ở mỗi bước lặp kết quả được hiệu chỉnh, nhờ đó tiến dần đến lời giải.

Trong chương này sẽ trình bày nội dung của thuật toán lặp áp dụng trong lĩnh vực nêu trên đối với việc giải tích mạng điện.

Vì trong thuật toán lặp ở mỗi bước tính toán, kết quả được hiệu chỉnh, nên tinh thần này rất gần gũi với thuật toán thích nghi, học, nghĩa là ở mỗi bước cần sử dụng thông tin tức thời để uốn nắn quyết định của bước tiếp, nhờ đó có được sách lược mềm mại để đạt đến mục tiêu khi điều kiện ngoại cảnh thay đổi. Về phương diện này thuật toán lặp có hiệu lực trong việc tìm kiếm lời giải khi đối tượng không thể mô tả bởi những qui luật tất định do sự hiểu biết của ta về đối tượng còn thiếu. Khi đó sách lược khôn khéo và hợp lý nhất không phải là những quyết định cứng nhắc mà phải tôn trọng giải pháp thăm dò, sử dụng thông tin phản hồi, hiệu chỉnh từng bước để đạt đến lời giải.

Những áp dụng trong lĩnh vực này của thuật toán lặp mở rộng trong khuôn khổ của mô hình thích nghi, hy vọng sẽ trình bày với độc giả ở tập III của bộ sách.

1. Phép lặp Newton giải phương trình. Khi có hàm $f(x)$ phi tuyến, nhưng biết tồn tại nghiệm x trong khoảng $[a, b]$, ta có thể tìm x nhờ phép lặp Newton.



Hình 5-1

Từ đây có:

$$x[1] = x[0] - \frac{f(x[0])}{f'(x[0])}$$

Như vậy giá trị lời giải ở bước sau được tính từ các thông tin ở bước trước. Tổng quát, ta có công thức lặp để đi đến lời giải

$$x[k+1] = x[k] - \frac{f(x[k])}{f'(x[k])} \quad (5-2)$$

Những mục 5-2, 5-3; 5-4 của chương này được viết với sự tham gia của Phạm Văn Hòa, Nguyễn Ngọc Hải và Vương Văn Liêu.

Quá trình giải dừng lại khi $x[k+1] \approx x[k]$, nghĩa là $f'(x[k]) \approx 0$.

Trong trường hợp hàm $f(x)$ khó lấy đạo hàm, có thể thay thế

$$f'(x[k]) = \frac{f(x[k]) - f(x[k-1])}{x[k] - x[k-1]} \quad (5-3)$$

Biểu thức lặp (5-2) có thể nhận được bằng cách khai triển hàm $f(x)$ quanh giá trị $x[k]$ và bỏ các vô cùng bé bậc cao.

Khi có hệ phương trình phi tuyến, nghĩa là $f(x)$ là một vector — hàm

$$[f(x)]_i = [f_1(x) f_2(x) \dots f_n(x)]$$

thuật toán giải tìm vector nghiệm $x^* = [x_1 \ x_2 \dots x_n]^*$ cũng tương tự như biểu thức (5-2), nghĩa là có biểu thức lặp sau :

$$x[k+1] = x[k] - \frac{f(x[k])}{F(x[k])} \quad (5-4)$$

trong đó $F(x[k])$ được gọi là ma trận Jacobi của vector hàm $f(x)$, mô tả các đạo hàm riêng của $f_1(x), \dots, f_n(x)$ theo các biến $x_1, \dots, x_n$ và lấy tại điểm $x = x[k]$.

$$F(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n(x)}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n(x)}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (5-5)$$

Ma trận Jacobi $F(x)$ vuông, không suy biến nên thực hiện được thuật toán (5-4). Trong trường hợp hệ phương trình nhiều ẩn việc tính $F(x[k])$ ở từng bước rất cồng kềnh, thường để đơn giản, có thể giữ nguyên giá trị các phần tử của $F(x)$ cho mọi bước.

Phương pháp lặp trên đây thường sử dụng có hiệu quả khi đã biết vùng lân cận chứa vector nghiệm x^* .

Ví dụ. Có hệ phương trình

$$f_1(x) = x_1^2 + x_2^2 - 8x_1 + 3 = 0$$

$$f_2(x) = x_1^2 - 2x_1x_2 + 10x_2 - 17 = 0$$

có một nghiệm ở gần điểm $\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ -4 \end{bmatrix}$. Dùng phép lặp Newton tính chính xác nghiệm đó.

Giải. Sử dụng biểu thức (5-4) với kí hiệu

$$\Delta x_1[k] = x_1[k+1] - x_1[k]$$

$$\Delta x_2[k] = x_2[k+1] - x_2[k]$$

Điều thức (5-4) được viết trong dạng ma trận

$$\begin{bmatrix} \Delta x_1[k] \\ \Delta x_2[k] \end{bmatrix} = - [F(x[k])]^{-1} \begin{bmatrix} f_1(x[k]) \\ f_2(x[k]) \end{bmatrix} \quad (5-6)$$

trong đó ma trận Jacobi $F(x[k])$ có dạng

$$F(x[k]) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_2} \end{bmatrix}$$

Lấy điểm $\begin{bmatrix} x_1[0] \\ x_2[0] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ -4 \end{bmatrix}$ và tiến hành phép lặp theo (5-6) với các bước $k = 1, 2, 3, \dots$. Quá trình được dừng lại khi đạt đến các giá trị $\Delta x_1[k] \approx 0$; $\Delta x_2[k] \approx 0$.

Chú ý. Ở mỗi bước để xác định $\Delta x_1[k]$, $\Delta x_2[k]$ cần giải hệ hai phương trình dạng (5-6).

Kết quả tính toán ghi ở bảng sau đây :

Bảng 5-1

Bước	$x_1[k]$ $x_2[k]$	$f_1(x) = x_1^2 + x_2^2 - 8x_1 + 3$ $f_2(x) = x_1^2 - 2x_1x_2 + 10x_2 - 17$	$F(x[k]) = \begin{bmatrix} 2x_1 + 8 & -2x_2 \\ -2x_1 + 2x_2 & 2x_1 - 10 \end{bmatrix}$	$\Delta x_1[k]$ $\Delta x_2[k]$
0	4 -4	3 -9	0 8 -16 -2	0,516 0,375
1	4,516 -3,625	0,407 -0,115	-1,032 7,250 -16,282 -0,968	0,0037 0,0567
2	4,5197 -3,5683	0,00285 -0,00002	- - - -	- -

Đến bước lặp thứ 2 đã có $f_1(x) \approx 0$; $f_2(x) \approx 0$ vậy có thể dừng và giá trị nghiệm là :

$$x_1^* = 4,5197$$

$$x_2^* = -3,5683.$$

Thực chất của phương pháp lặp ở đây là đã biến bài toán phi tuyến thành một dãy các bài toán tuyến tính với thủ tục giải giống nhau.

2. Phép lặp xác định ma trận nghịch đảo. Như ở chương 4 đã nói, trong các phép tính ma trận cũng như khi sử dụng đại số ma trận giải tích mạng điện, thường bước xác định ma trận nghịch đảo gây nhiều khó khăn trong quá trình giải, nhất là trường hợp ma trận có cấp cao.

Tuy nhiên có nhận xét là khi ma trận có dạng đường chéo thì tìm nghịch đảo rất đơn giản: ma trận nghịch đảo cũng có dạng đường chéo mà các phần tử bằng nghịch đảo các phần tử của ma trận đầu tiên.

Từ đặc điểm này có thể sử dụng thuật toán lặp, nhờ phép nghịch đảo ma trận đường chéo, qua một số hữu hạn các bước để tìm đến ma trận nghịch đảo của ma trận vuông ban đầu.

Giả thiết có ma trận A vuông, không suy biến. Cần xác định A^{-1}

Trước hết từ A lấy ra ma trận đường chéo A_d , nghĩa là chỉ giữ lại các phần tử trên đường chéo chính.

Xác định $\tilde{A}^{-1}$ và coi là ma trận gần đúng đầu tiên $\tilde{A}^{-1}$. Như vậy $\tilde{A}^{-1}$ sẽ lệch với kết quả cần tìm A^{-1} một ma trận B , nghĩa là:

$$A^{-1} = \tilde{A}^{-1} + B \quad (5-7)$$

Từ định nghĩa $AA^{-1} = I$ (ma trận, đơn vị) nên viết được:

$$A(\tilde{A}^{-1} + B) = I.$$

Vậy

$$AB = I - A\tilde{A}^{-1} \quad (5-8)$$

Theo giả thiết tồn tại A^{-1} nên từ (5-8) xác định được ma trận B :

$$B = A^{-1}(I - A\tilde{A}^{-1}) \quad (5-9)$$

Kết hợp (5-9) với (5-7) ta có

$$A^{-1} = \tilde{A}^{-1} + A^{-1}(I - A\tilde{A}^{-1}) \quad (5-10)$$

Từ biểu thức (5-10) thấy rằng: để xác định A^{-1} thì ở vế phải lại cần biết A^{-1} . Như vậy ở đây để tránh những khó khăn do tính chất phi tuyến gây nên ta phải nhờ đến thuật toán lặp và ở mỗi bước k tính gần đúng ta có:

$$A^{-1}[k] \approx \tilde{A}^{-1}[k]$$

trong đó ma trận gần đúng $\tilde{A}^{-1}$ ở bước đầu tiên, lấy bằng nghịch đảo của ma trận đường chéo, nghĩa là $\tilde{A}^{-1}[0] = A_d^{-1}[0]$.

Khi đó biểu thức (5-10) được viết trong dạng phép lặp xác định ma trận nghịch đảo A^{-1} như sau:

$$\tilde{A}^{-1}[k+1] = \tilde{A}^{-1}[k] + \tilde{A}^{-1}[k](I - A\tilde{A}^{-1}[k]) \quad (5-11)$$

Biểu thức (5-11) cho phép xác định gần đúng ma trận nghịch đảo ở bước sau phụ thuộc vào ma trận nghịch đảo gần đúng ở bước trước và được hiệu chỉnh bởi độ chênh lệch

$$(I - A\tilde{A}^{-1}[k]),$$

đây chính là thông tin tức thời ở bước k , cần thiết để dẫn dắt $\tilde{A}^{-1}$ đến A^{-1} , sao cho độ chênh lệch trên kia triệt tiêu. Như vậy quá trình dừng lại khi có $A\tilde{A}^{-1}[k] \approx I$.

Ví dụ. Có ma trận

$$A = \begin{bmatrix} 1,5 & 0 & -0,5 \\ -0,5 & 0,95 & -0,25 \\ 0 & -0,25 & 0,5833 \end{bmatrix}$$

Xác định A^{-1} .

Giải. Nghịch đảo của ma trận đường chéo từ A là:

$$A_d^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{1,5} & & \\ & \frac{1}{0,95} & \\ & & \frac{1}{0,5833} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,6667 & & \\ & 1,0526 & \\ & & 1,714 \end{bmatrix}$$

Coi A_d^{-1} là ma trận nghịch đảo gần đúng ở bước đầu tiên $\tilde{A}^{-1}[0]$, áp dụng thuật toán (5-11) xác định $\tilde{A}^{-1}[1]$, có kết quả

$$\tilde{A}^{-1}[1] = \begin{bmatrix} 0,6667 & 0,3508 & 0 \\ 0,3509 & 1,0562 & 0,4512 \\ 0 & 0,4511 & 1,7144 \end{bmatrix}$$

Tiếp tục đến bước 3, nhận được

$$\tilde{A}^{-1}[3] = \begin{bmatrix} 0,8271 & 0,4895 & 2,2063 \\ 0,4897 & 1,4688 & 0,6296 \\ 0,2062 & 0,6296 & 1,9796 \end{bmatrix}$$

Thử lại

$$A\tilde{A}^{-1}[3] = \begin{bmatrix} 0,9959 & 0,0001 & 0,0021 \\ 0,0001 & 0,9931 & 0,0000 \\ -0,0055 & 0,0001 & 0,9973 \end{bmatrix}$$

ta thấy $A\tilde{A}^{-1}[3]$ xấp xỉ ma trận đơn vị I vậy quá trình có thể dừng và ta có $A^{-1} \approx \tilde{A}^{-1}[3]$.

Qua ví dụ trên đây thấy rằng có thể dùng thuật toán lặp xác định ma trận nghịch đảo đến độ chính xác tùy ý, chỉ dựa vào các phép toán ma trận thông thường: cộng, nhân. Khi giải trên máy tính có thể sử dụng dễ dàng những chương trình mẫu.

Phương pháp gần đúng xác định ma trận nghịch đảo nêu trên tỏ ra thuận tiện khi ma trận đầu tiên A có các phần tử trên đường chéo chính lớn hơn nhiều so với các phần tử còn lại, điều này thường gặp ở các ma trận tổng trở nút Z hoặc tổng dẫn nút Y_Δ của mạng điện. Khi các phần tử trên đường chéo chính của A quá nhỏ, quá trình lặp sẽ kéo dài.

3. Cần thiết lập khi tính toán mạng điện. Khi thiết kế và vận hành mạng điện người kỹ sư luôn luôn gặp những bài toán phi tuyến, để tránh công

kênh và cũng đủ mức chính xác về kỹ thuật, thông thường họ sử dụng những tính toán gần đúng mà lẽ ra để đảm bảo kết quả chính xác hơn phải tiến hành phép lặp liên tiếp (khi sử dụng máy tính điện tử). Dưới đây ta nêu lên vài trường hợp minh họa sự cần thiết sử dụng thuật toán lặp khi tính toán mạng điện.



Hình 5-2

Chẳng hạn có đường dây tải điện như hình vẽ 5-2. Thường đã biết phụ tải P_2 , Q_2 và biết điện áp U_1 ở đầu đường dây. Cần xác định điện áp cuối đường dây U_2 để tiến hành các biện pháp điều chỉnh.

Giá trị U_2 có thể xác định theo biểu thức đơn giản sau:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} \quad (5-12)$$

trong đó ΔU_{12} là điện áp giáng trên đường dây từ điểm U_1 đến điểm U_2 .

Giá trị ΔU_{12} xác định theo biểu thức sau

$$\Delta U_{12} = \sqrt{3} iZ$$

hoặc lấy gần đúng bằng giá trị

$$\Delta U_{12} = \frac{P_1 R + Q_1 X}{U_1} \quad (5-13)$$

trong đó P_1 , Q_1 — công suất ở đầu đường dây

R , X — tham số tổng trở đường dây (kể cả trạm biến áp).

Nhưng P_1 , Q_1 phải xác định từ P_2 , Q_2 , nghĩa là

$$P_1 = P_2 + \Delta P$$

$$Q_1 = Q_2 + \Delta Q$$

trong đó ΔP , ΔQ là tổn thất công suất trên đường dây. Vì biết P_2 , Q_2 nên có thể xác định

$$P = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} R \text{ và}$$

$$Q = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} X.$$

Từ đây thấy rằng trong phương trình xác định U_2 (5-12) ở vế phải lại phụ thuộc U_2 , như vậy việc xác định chính xác giá trị U_2 là khó khăn.

Thông thường tính gần đúng U_2 như sau: Dựa vào giá trị P_2 , Q_2 và coi $U_2 = U_{dm}$ (giá trị định mức của đường dây) tính ngược lên, tìm ΔP , ΔQ rồi P_1 , Q_1 . Với P_1 , Q_1 và giá trị U_1 đã cho ta tính xuống, xác định ΔU_{12} theo biểu thức (5-13) rồi xác định U_2 theo (5-12) [xem chương 3].

Tất nhiên giá trị U_2 khi tính xuống sẽ khác với $U_2 = U_{dm}$ lấy đầu tiên, nên nếu muốn chính xác hơn phải tiến hành lặp, tiếp tục tính lên và xuống... cho đến khi giá trị U_2 ở bước sau sai lệch rất nhỏ so với bước trước đó, với phạm vi sai số qui định.

Hoặc như ở cuối chương 4 đã nói, khi giải tích mạng điện bằng ma trận, thường căn cứ vào dòng điện các nút để tìm ra dòng điện trên các nhánh và điện áp tại các nút. Nhưng dòng điện tại các nút lại phụ thuộc vào điện áp tại nút đó, và ở đây cũng có quan hệ phi tuyến. Khi giải tích gần đúng, để xác định

dòng ở các nút đều giả thiết điện áp nút bằng giá trị định mức. Muốn giải tích chính xác cần tiếp tục lặp để đi đến giá trị thực của điện áp tại các nút. Đó là nguyên nhân sử dụng thuật toán lặp để tính toán mạng điện mà nội dung sẽ trình bày ở các mục tiếp theo. Tuy nhiên cần lưu ý, thuật toán lặp phát huy tác dụng tối khi bài toán được chương trình hóa và giải trên máy tính điện tử.

5-2. PHƯƠNG PHÁP LẬP GAUSS — SEIDEL GIẢI TÍCH MẠNG ĐIỆN

Như đã trình bày ở mục mở đầu, trong trường hợp đối tượng được mô tả bởi hệ phương trình tuyến tính dạng $AX = F$ để tránh những tính toán cồng kềnh khi giải chính xác, đặc biệt khi số phương trình nhiều, ta có thể dùng thuật toán lặp để giải. Khi đó hệ phương trình đưa về dạng:

$$\begin{aligned} x_1 &= b_{12}x_2 + b_{13}x_3 + \dots + b_{1n}x_n + g_1 \\ x_2 &= b_{21}x_1 + b_{23}x_3 + \dots + b_{2n}x_n + g_2 \end{aligned} \quad (5-14)$$

$$x_n = b_{n1}x_1 + b_{n2}x_2 + \dots + b_{nn-1}x_{n-1} + g_n$$

Sau đó cho $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ một giá trị ban đầu $X[0]$ rồi xác định các bước tiếp theo bằng cách lặp:

$$X[k+1] = BX[k] + G \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (5-15)$$

trong đó B và G là các ma trận hệ số b_{ij} và g_i ở (5-14).

Số bước k tăng dần, $X[k]$ hội tụ tới giá trị X^* cần tìm. Nói chung quá trình lặp dừng lại khi có

$$|X[k] - X[k-1]| \leq \epsilon \quad (5-16)$$

trong đó ϵ là giá trị nhỏ qui định.

Lặp theo biểu thức (5-15) gọi là thuật toán *lập đơn*, nghĩa là giá trị gần đúng ở bước sau chỉ phụ thuộc vào giá trị các ẩn khác ở bước ngay trước đó.

Việc nghiên cứu điều kiện hội tụ của thuật toán (5-15) có liên quan đến ma trận B được đề cập ở những tài liệu chuyên đề tuy nhiên những bài toán giải tích mạng điện thường thỏa mãn điều kiện đó.

Để tăng mức độ hội tụ, Gauss và Seidel đã xây dựng phương pháp lặp với tinh thần chủ yếu như sau: Giá trị của ẩn $x_i[k]$ ở bước k được tính từ giá trị của ẩn đó ở bước $k-1$, nghĩa là $x_i[k-1]$ và các ẩn khác $x_j[k]$, $j = 1, 2, \dots, n$ và $j \neq i$ với giá trị mới nhận được ở bước k đó. Tinh thần này phản ánh quan điểm hệ thống và khía cạnh triết học của vấn đề, đó là: một đối tượng bao giờ cũng có quan hệ với quá khứ của nó và quan hệ với các đối tượng khác cùng trong hệ thống ở hiện tại. Chính những giá trị mới nhận được của các ẩn tại bước k ở đây đóng vai trò thông tin tức thời để hiệu chỉnh.

Với tinh thần đó có thể xây dựng thuật toán lặp Gauss—Seidel đối với hệ phương trình tuyến tính tổng quát như sau:

$$\begin{aligned} x_1[k] &= a_{11}x_1[k-1] + a_{12}x_2[k-1] + \dots + a_{1n}x_n[k-1] \\ x_2[k] &= a_{21}x_1[k] + a_{22}x_2[k-1] + \dots + a_{2n}x_n[k-1] \\ x_3[k] &= a_{31}x_1[k] + a_{32}x_2[k] + a_{33}x_3[k-1] + \dots + a_{3n}x_n[k-1] \\ x_n[k] &= a_{n1}x_1[k] + a_{n2}x_2[k] + \dots + a_{nn}x_n[k-1] \end{aligned} \quad (5-17)$$

Theo thuật toán (5-17) các phương trình được giải vòng tròn và quá trình kết thúc khi

$$|x_i[k] - x_i[k-1]| \leq \varepsilon \quad \text{với } i = \overline{1, n}$$

Sau đây ta sử dụng thuật toán (5-17) trong việc giải tích mạng điện.

Đối với mạng điện ta đã có quan hệ giữa ma trận điện áp nút $\dot{U}_\Delta$ và ma trận nguồn dòng $\dot{J}$ theo biểu thức (4-42) ở chương 4 như sau:

$$\dot{Y}_\Delta \cdot \dot{U}_\Delta = \dot{J} \quad (5-18)$$

trong đó $\dot{Y}_\Delta$ — ma trận tổng dẫn nút của mạng điện, dạng vuông, đối xứng và không suy biến.

$\dot{U}_\Delta$ — ma trận điện áp các nút so với điện áp nút cân bằng $U_{\Delta 0}$.

$\dot{J}$ — ma trận nguồn dòng ở các nút.

Đối với mạng điện có n nút độc lập ta có:

$$\dot{Y} = \begin{bmatrix} \dot{Y}_{11} & \dot{Y}_{12} & \dots & \dot{Y}_{1n} \\ \dot{Y}_{21} & \dot{Y}_{22} & \dots & \dot{Y}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dot{Y}_{n1} & \dot{Y}_{n2} & \dots & \dot{Y}_{nn} \end{bmatrix}$$

$$\dot{U}_\Delta = \begin{bmatrix} \dot{U}_{\Delta 1} \\ \dot{U}_{\Delta 2} \\ \vdots \\ \dot{U}_{\Delta n} \end{bmatrix}; \quad \dot{J} = \begin{bmatrix} \dot{J}_1 \\ \dot{J}_2 \\ \vdots \\ \dot{J}_n \end{bmatrix}$$

Khai triển (5-18) ta có hệ phương trình:

$$\left. \begin{aligned} \dot{Y}_{11}\dot{U}_{\Delta 1} + \dot{Y}_{12}\dot{U}_{\Delta 2} + \dots + \dot{Y}_{1n}\dot{U}_{\Delta n} &= \dot{J}_1 \\ \dot{Y}_{21}\dot{U}_{\Delta 1} + \dot{Y}_{22}\dot{U}_{\Delta 2} + \dots + \dot{Y}_{2n}\dot{U}_{\Delta n} &= \dot{J}_2 \\ \vdots & \vdots \\ \dot{Y}_{n1}\dot{U}_{\Delta 1} + \dot{Y}_{n2}\dot{U}_{\Delta 2} + \dots + \dot{Y}_{nn}\dot{U}_{\Delta n} &= \dot{J}_n \end{aligned} \right\} \quad (5-19)$$

trong đó các giá trị nguồn dòng $\dot{J}_i$ ở vế phải lại phụ thuộc vào điện áp tại nút i theo biểu thức

$$\dot{J}_i = \frac{\dot{S}_i}{\dot{U}_i}; \quad (i = \overline{1, n}) \quad (5-20)$$

trong đó $\dot{S}_i$ — công suất toàn phần (phức số) tại nút i

$\dot{U}_i$ — giá trị liên hợp của điện áp tại nút i

Ở đây $\dot{U}_i = \dot{U}_{\Delta i} + U_{\Delta 0}$

Mục tiêu của giải tích mạng điện ở đây là xác định các giá trị $\dot{U}_i$; $i = 1, 2, \dots, n$. Sau đó từ các giá trị này sẽ xác định được dòng điện trên các nhánh

$$\dot{I}_{ij} = \dot{Y}_{ij} (\dot{U}_i - \dot{U}_j) \quad (5-21)$$

công suất đi trên các nhánh (ở đây viết cho giá trị pha)

$$\dot{S}_{ij} = \dot{U}_i \cdot \dot{I}_{ij} \quad (5-22)$$

và tổn thất công suất trên các nhánh

$$\Delta \dot{S}_{ij} = |\dot{U}_i - \dot{U}_j|^2 \cdot \dot{Y}_{ij} \quad (5-23)$$

Vì các giá trị $\dot{Y}_{11}, \dot{Y}_{22}, \dots, \dot{Y}_{nn}$ —khác không, nên kết hợp biểu thức (5-20) vào (5-19) ta mô tả các ẩn $\dot{U}_{\Delta i}$; $i = \overline{1, n}$ trong hệ phương trình sau:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{\Delta 1} &= \frac{1}{Y_{11}} \left[\frac{S_1}{\dot{U}_1} - Y_{12} \dot{U}_{\Delta 2} - \dots - Y_{1n} \dot{U}_{\Delta n} \right] \\ \dot{U}_{\Delta 2} &= \frac{1}{Y_{22}} \left[\frac{S_2}{\dot{U}_2} - Y_{21} \dot{U}_{\Delta 1} - \dots - Y_{2n} \dot{U}_{\Delta n} \right] \\ \dot{U}_{\Delta n} &= \frac{1}{Y_{nn}} \left[\frac{S_n}{\dot{U}_n} - Y_{n1} \dot{U}_{\Delta 1} - \dots - Y_{n(n-1)} \dot{U}_{\Delta(n-1)} \right] \end{aligned} \right\} \quad (5-24)$$

Sử dụng thuật toán lặp (5-17) ta viết được đối với bước 1

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{\Delta 1}[1] &= \frac{1}{Y_{11}} \left[\frac{\dot{S}_1}{\dot{U}_1[0]} - Y_{12} \dot{U}_{\Delta 2}[0] - \dots - Y_{1n} \dot{U}_{\Delta n}[0] \right] \\ \dot{U}_{\Delta 2}[1] &= \frac{1}{Y_{22}} \left[\frac{\dot{S}_2}{\dot{U}_2[0]} - Y_{21} \dot{U}_{\Delta 1}[1] - \dots - Y_{2n} \dot{U}_{\Delta n}[0] \right] \\ \dot{U}_{\Delta 3}[1] &= \frac{1}{Y_{33}} \left[\frac{\dot{S}_3}{\dot{U}_3[0]} - Y_{31} \dot{U}_{\Delta 1}[1] - Y_{32} \dot{U}_{\Delta 2}[1] - \dots - Y_{3n} \dot{U}_{\Delta n}[0] \right] \\ \vdots & \\ \dot{U}_{\Delta n}[1] &= \frac{1}{Y_{nn}} \left[\frac{\dot{S}_n}{\dot{U}_n[0]} - Y_{n1} \dot{U}_{\Delta 1}[1] - Y_{n2} \dot{U}_{\Delta 2}[1] - \dots - Y_{n(n-1)} \dot{U}_{\Delta(n-1)}[1] \right] \end{aligned} \right\} \quad (5-25)$$

Tiếp tục tính cho các bước 2, 3, ..., k, cho đến lúc thỏa mãn điều kiện

$$|\dot{U}_{\Delta i}[k+1] - \dot{U}_{\Delta i}[k]| \leq \varepsilon$$

Chú ý là trong biểu thức (5-25) các tổng dẫn riêng Y_{ii} của nút i là tổng các tổng dẫn của các nhánh nối với nút i , còn tổng dẫn liên lạc Y_{ij} giữa hai nút i và j được lấy giá trị ngược dấu của tổng dẫn nhánh ij . Nếu trong sơ đồ không có nhánh ij thì $Y_{ij} = 0$. Ngoài ra vì $Y_{ij} = -Y_{ji}$ nên ma trận tổng dẫn nút Y_{Δ} là đối xứng qua đường chéo chính.

Khi giải tích mạng điện các giá trị Y_{ij} , S_i , $\dot{U}_{\Delta i}$ đều là những số phức, để tiện lợi thường tách thành phần thực và ảo để tính toán. Trong trường hợp này thường lấy các giá trị $\dot{U}_i[0]$ ở bước ban đầu bằng giá trị điện áp định mức của lưới điện và chỉ gồm phần thực.

Khi đó viết được

$$\begin{aligned} \dot{U}_{\Delta i} &= U'_{\Delta i} + jU''_{\Delta i} \\ J_i &= J_i' - jJ_i'' \end{aligned} \quad (5-26)$$

$$Y_{ij} = \frac{1}{Z_{ij}} = \frac{1}{R_{ij} + jX_{ij}} = \frac{R_{ij} - jX_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} = Y_{ij}' - jY_{ij}''$$

Đề biểu diễn J_i' , J_i'' qua giá trị công suất ở nút i và U_i' , U_i'' ta có:

$$\begin{aligned} J_i &= \frac{S_i}{\dot{U}_i} = \frac{P_i - jQ_i}{U_i' - jU_i''} = \frac{(P_i - jQ_i)(U_i' + jU_i'')}{U_i'^2 + U_i''^2} = \\ &= \frac{P_i U_i' + Q_i U_i''}{U_i'^2 + U_i''^2} - j \frac{-P_i U_i'' + Q_i U_i'}{U_i'^2 + U_i''^2} = J_i' - jJ_i'' \end{aligned} \quad (5-27)$$

Trong trường hợp này biểu thức (5-24) được viết, chẳng hạn cho nút i , trong dạng sau:

$$U'_{\Delta i} + jU''_{\Delta i} = \frac{1}{Y_{ii}' - jY_{ii}''} \left[J_i' - jJ_i'' + \sum_{j=1}^n (Y_{ij}' - jY_{ij}'')(U'_{\Delta j} + jU''_{\Delta j}) \right] \quad (5-28)$$

Khai triển biểu thức trên đây, tách phần thực và ảo, cuối cùng nhận được biểu thức xác định các ẩn $U'_{\Delta i}$ và $U''_{\Delta i}$.

$$\left. \begin{aligned} U'_{\Delta i} &= C_i(J_i' + A_i) - D_i(J_i'' + B_i) \\ U''_{\Delta i} &= D_i(J_i' + A_i) + C_i(J_i'' + B_i) \end{aligned} \right\} \quad (5-28a)$$

trong đó C_i , D_i là những hằng số phụ thuộc các tổng dẫn

$$C_i = \frac{Y_{ii}'}{(Y_{ii}')^2 + (Y_{ii}'')^2}; \quad D_i = \frac{Y_{ii}''}{(Y_{ii}')^2 + (Y_{ii}'')^2}$$

A_i , B_i là những hàm phụ thuộc giá trị điện áp ở các nút liên quan với nút i :

$$\left. \begin{aligned} A_i &= \sum_{j=1}^n (Y_{ij}' U'_{\Delta j} + Y_{ij}'' U''_{\Delta j}) \\ B_i &= \sum_{j=1}^n (Y_{ij}' U''_{\Delta j} - Y_{ij}'' U'_{\Delta j}) \end{aligned} \right\} \quad (5-29)$$

Như vậy khi các giá trị S_i , Y_{ii} , Y_{ij} , $\dot{U}_{\Delta i}$ cho trong dạng phức số, ta sử dụng biểu thức (5-28a) theo thủ tục lập như sau:

— Xác định mọi giá trị hệ số Y_{ii}' , Y_{ii}'' , Y_{ij}' , Y_{ij}'' trong ma trận tổng dẫn nút của sơ đồ mạng điện, sau đó xác định C_i , D_i ; $i = \overline{1, n}$.

— Cho giá trị ban đầu của điện áp tại các nút $U_i[0]$, $U_i'[0]$; $i = \overline{1, n}$. Thường giả thiết $U_i'[0] = 0$.

Tính các giá trị ở bước 1: $A_i[1]$, $B_i[1]$, $i = \overline{1, n}$, tính $J_i[0]$, $J_i'(0)$ theo (5-27).

Sau đó tính $U_{\Delta i}[1]$, $U_{\Delta i}'[1]$ theo biểu thức (5-28a).

Chú ý. Ở đây theo phép lặp Gauss — Seidel các giá trị $U_{\Delta i}[k]$ và $U_{\Delta i}'[k]$ được sử dụng kết quả vòng tròn, nghĩa là chẳng hạn khi tính $U_{\Delta i}[k]$; $U_{\Delta i}'[k]$ của nút 3 ở bước k , ta sử dụng kết quả vừa nhận được của nút 1 và nút 2 ở bước k đó.

— Lặp tiếp với k tăng dần và quá trình dừng khi thỏa mãn điều kiện

$$|U_{\Delta i}[k+1] - U_{\Delta i}[k]| \leq \varepsilon$$

$$|U_{\Delta i}'[k+1] - U_{\Delta i}'[k]| \leq$$

với $i = \overline{1, n}$.

Sau đó các thông số trạng thái khác của mạng điện như dòng điện trên các nhánh, tổn thất điện áp, tổn thất công suất của mạng điện v.v... được xác định theo các biểu thức (5-21), (5-22), (5-23).

Vi dụ. Có sơ đồ mạng điện như trên hình 5-3 gồm 11 nút, trong đó nút 11 lấy làm điểm cân bằng và 11 nhánh với các giá trị tổng trở đã biết như sau:

$$\begin{aligned} Z_{12} &= 0 + j2,5; & Z_{23} &= 0,5 + j0,92 \\ Z_{34} &= 1,2 + j2,18; & Z_{45} &= 0 + j3,9 \\ Z_{28} &= 0,81 + j1,47; & Z_{46} &= 0,95 + j1,72 \\ Z_{2-10} &= 0,41 + j4,74; & Z_{67} &= 0,34 + j4,32 \\ Z_{7-10} &= 0,21 + j0,48; & Z_{89} &= 0,42 + j1,94 \\ Z_{10-11} &= 0 + j0,64. \end{aligned}$$

Các nút 5, 9 là nguồn điện với công suất:

$$\begin{aligned} S_5 &= 5,45 + j3,35 \text{ MVA} \\ S_9 &= 34,3 + j32,7 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Các nút còn lại là phụ tải với công suất qui định mang dấu âm:

$$\begin{aligned} S_1 &= -(2,90 + j1,80) \text{ MVA}; \\ S_3 &= -(37,05 + j22,95) \text{ MVA}; \\ S_4 &= -(8,06 + j6,42) \text{ MVA}; \\ S_8 &= -(13,65 + j8,46) \text{ MVA}; \end{aligned}$$

$$S_2 = -(9,75 + j6,04) \text{ MVA}$$

$$S_6 = -(25,35 + j15,31) \text{ MVA}$$

$$S_7 = -(7,8 + j4,83) \text{ MVA}$$

$$S_{10} = -(8,64 + j5,32) \text{ MVA}.$$

Nút 11 là nguồn điện, có công suất đảm bảo cân bằng trong toàn mạng. Mạng điện có cấp điện áp định mức $U_{dm} = 35 \text{ kV}$.

Vận hành với $U_{11} = 37 \text{ kV} \angle 0^\circ$. Giải tích mạng điện trên đây.

Giải. Trước hết căn cứ vào tổng trở các nhánh, ta xác định tổng dẫn riêng Y_{ii} và liên lạc giữa các nút Y_{ij} . Ở đây có :

$$Y_{11} = Y_{12} = Y_{21} = \frac{1}{Z_{12}} = Y'_{11} - jY''_{11} = 0 - j0,4 \frac{1}{\Omega}$$

$$Y_{23} = Y_{32} = \frac{1}{Z_{23}} = Y'_{23} - jY''_{23} = 0,46 - j0,84$$

$$Y_{22} = Y_{23} + Y_{21} + Y_{28} + Y_{2-10} = Y'_{22} - jY''_{22}$$

$$Y_{33} = Y_{32} + Y_{34} = Y'_{33} - jY''_{33} \text{ v.v...}$$

Sau đó tính các hằng số $C_i, D_i, i = 1, 2, \dots, n$ ở các nút chẳng hạn

$$C_1 = \frac{Y'_{12}}{(Y'_{12})^2 + (Y''_{12})^2} = 0$$

$$D_1 = \frac{Y_{12}}{(Y'_{12})^2 + (Y''_{12})^2} = 2,5 \text{ v.v...}$$

Cho giá trị ban đầu đối với các điện áp nút. Chẳng hạn $\dot{U}_{11} = \dot{U}_5 = \dot{U}_9 = 37 + j0 \text{ kV}$, còn lại các nút phụ tải cho $\dot{U}_i = 35 + j0 \text{ kV}$.

— Xác định các $A_i [0]; B_i [0], i = 1, 2, \dots, 11$ theo (5-29).

Chẳng hạn tính được $A_1 [0] = 0; B_1 [0] = -14; A_2 [0] = 26,57; B_2 [0] = -68,9 \text{ v.v...}$

— Xác định giá trị nguồn dòng ban đầu $j'_i [0], j''_i [0], i = 1, 2, \dots, 11$ theo biểu thức (5-27). Chẳng hạn tính được trong đơn vị ampe :

$$J'_1 [0] = -0,08; J''_1 [0] = 0,05$$

$$J'_2 [0] = -0,28; J''_2 [0] = 0,172 \text{ v.v...}$$

Sau đó sử dụng biểu thức (5-28a) và cách lặp Gauss-Seidel, xác định được các giá trị điện áp nút ở bước 1 :

$U'_i [1]; U''_i [1]; i = 1, 2, \dots, 11$. Chẳng hạn tính được các giá trị trong đơn vị kV:

$$U'_1 [1] = 34,84; U''_1 [1] = 0,21,$$

$$U'_2 [1] = 34,84; U''_2 [1] = -0,12 \text{ v.v...}$$

Tiếp tục đến bước lặp 29 quá trình hội tụ với $\varepsilon = 0,001$. Kết quả các giá trị điện áp ở các nút $U'_i + jU''_i, i = 1, 2, \dots, 10$ được ghi trong bảng sau :

Bảng 5-2

Nút	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U' + jU''$ (kV)	32,94 - j5,24	35,11 - j5,05	31,75 - j5,49	31,67 - j5,40	32,17 - j4,81	32,05 - j5,18	35,45 - j1,59	34,50 - j4,90	36,74 - j3,68	36,09 - j1,25

Giá trị dòng điện trên các nhánh được xác định theo các biểu thức

$$I_{ij} = (\dot{U}_i - \dot{U}_j) Y_{ij}$$

và cũng gồm hai thành phần : thực và ảo. Chẳng hạn đối với nhánh 1 — 2 có :

$$\dot{I}_{12} = I_{12} + jI'_{12} \text{ trong đó :}$$

$$I_{12} = (U_1 - U_2) Y_{12} + (U'_1 - U'_2) Y'_{12} = -0,08 \text{ A}$$

$$I'_{12} = (U'_1 - U'_2) Y_{12} - (U_1 - U_2) Y'_{12} = 0,07 \text{ A v.v...}$$

Giá trị công suất đi lên các nhánh được tính theo biểu thức :

$$\dot{S}_{ij} = \dot{U}_i \dot{I}_{ij} = P_{ij} - jQ_{ij}$$

Chẳng hạn với nhánh 1-2 có :

$$\dot{S}_{12} = \dot{U}_1 \dot{I}_{12} = (U_1 + jU'_1) (I_{12} + jI'_{12}) = P_{12} - jQ_{12}.$$

Vậy

$$P_{12} = U_1 I_{12} - U'_1 I'_{12} = -2,92 \text{ MW}$$

$$Q_{12} = U'_1 I_{12} - U_1 I'_{12} = -1,82 \text{ MVAR v.v...}$$

Giá trị tổn thất công suất trên các nhánh được xác định theo biểu thức .

$$\Delta \dot{S}_{ij} = \Delta P_{ij} + j \Delta Q_{ij} = |\dot{U}_i - \dot{U}_j|^2 Y_{ij}$$

Chẳng hạn đối với nhánh 1-2 có :

$$\Delta P_{12} = (\dot{U}_1 - \dot{U}_2)^2 + (U'_1 - U'_2)^2 Y_{12} = 0 \text{ MW}$$

$$\Delta Q_{12} = (U'_1 - U'_2)^2 + (U_1 - U_2)^2 Y'_{12} = 0,027 \text{ MVAR v.v...}$$

Để kiểm tra kết quả tính toán, ta có thể thử lại điều kiện cân bằng công suất tại các nút. Chẳng hạn với nút 1

$$\Sigma P = P_1 + P_{12} = 2,90 - 2,93 = -0,03 \approx 0$$

$$\Sigma Q = Q_1 + Q_{12} = 1,80 - 1,82 = -0,02 \approx 0.$$

Tại nút 2 :

$$\begin{aligned} \Sigma P &= P_2 + P_{21} + P_{2-10} + P_{23} + P_{28} = 9,75 + 2,93 - 30,92 + \\ &\quad + 37,6 - 19,4 = -0,04 \approx 0 \end{aligned}$$

$$\Sigma Q = 6,04 + 1,86 - 14,1 + 26,18 - 20,02 = 0,04 \approx 0.$$

Phương pháp lặp Gauss-Seidel có ưu điểm là dựa trên thuật toán đơn giản, dễ chương trình hóa trên máy tính số, sử dụng ít bộ nhớ và khối lượng tính toán ở mỗi bước lặp cũng ít. Tuy nhiên phương pháp này có nhược điểm là tốc độ hội tụ chậm. Vì vậy cần có biện pháp để tăng nhanh hội tụ.

5-3. PHƯƠNG PHÁP MA TRẬN TỔNG TRỞ NÚT Z_{Δ} GIẢI TÍCH MẠNG ĐIỆN

Phương pháp này dựa trên việc giải hệ phương trình mô tả mối quan hệ giữa điện áp các nút $\dot{U}_{\Delta i}$ và nguồn dòng J_i tại các nút. Thông qua các thông số của mạng là tổng dẫn các nút Y_{ii} và tổng dẫn nhánh Y_{ij} , trong dạng biểu thức (4-42) hoặc (5-18).

Bản chất vấn đề ở đây là : đối với mạng điện gồm n nút độc lập (và một nút cân bằng), không tồn tại sức điện động trong nhánh, giả thiết đã biết giá trị

nguồn dòng J_i (phát hoặc phụ tải). ở các nút và thông số mạng là tuyến tính thì có thể coi giá trị J_i ở nút i là tổ hợp tuyến tính của các dòng điện gây bởi điện áp tại nút đó $\dot{U}_{\Delta i}$ và điện áp tại các nút khác $\dot{U}_{\Delta i}$; $i \neq i$. Đór chính là nguyên lí xếp chồng trong mạch tuyến tính. Khi đó ta viết được :

$$\left. \begin{aligned} Y_{11} \dot{U}_{\Delta 1} + Y_{12} \dot{U}_{\Delta 2} + \dots + Y_{1n} \dot{U}_{\Delta n} &= J_1 \\ Y_{21} \dot{U}_{\Delta 1} + Y_{22} \dot{U}_{\Delta 2} + \dots + Y_{2n} \dot{U}_{\Delta n} &= J_2 \\ Y_{n1} \dot{U}_{\Delta 1} + Y_{n2} \dot{U}_{\Delta 2} + \dots + Y_{nn} \dot{U}_{\Delta n} &= J_n \end{aligned} \right\} \quad (5-30)$$

trong đó, như đã biết giá trị của Y_{ii} là tổng các tổng dẫn các nhánh nối với nút i , còn Y_{ij} là giá trị của tổng dẫn nhánh ij với dấu ngược lại.

Hệ phương trình (5-30) được viết gọn trong dạng ma trận như đã biết

$$\dot{Y}_{\Delta} \dot{U}_{\Delta} = \dot{J} \quad (5-31)$$

Một mục tiêu đầu tiên trong giải tích mạng điện là xác định điện áp các nút $\dot{U}_i$, sau đó cần xác định dòng điện trên các nhánh và những thông số trạng thái khác. Như vậy trước hết cần giải hệ (5-30).

Việc giải hệ (5-30) có thể dùng phép khử liên tiếp, hoặc theo phương pháp Cramer với việc dùng định thức. Tuy nhiên những phương pháp này trở nên rất cồng kềnh khi số phương trình n lớn.

Tiếp theo ta giải hệ (5-30) nhờ sử dụng phương trình ma trận (5-31).

Vì ma trận tổng dẫn nút $\dot{Y}_{\Delta}$ của mạng điện có dạng vuông, cấp $n \times n$ đối xứng, không suy biến nên tồn tại $\dot{Y}_{\Delta}^{-1}$ và giải (5-31) có :

$$\dot{U}_{\Delta} = \dot{Y}_{\Delta}^{-1} \dot{J} \quad (5-32)$$

Ở đây $\dot{Y}_{\Delta}^{-1} = \dot{Z}_{\Delta}$ và gọi là *ma trận tổng trở nút* $\dot{Z}_{\Delta}$ của mạng điện (chú ý phân biệt với tổng trở nhánh Z của mạng chỉ gồm các phần tử trên đường chéo chính, là tổng trở của các nhánh). Như vậy

$$\dot{U}_{\Delta} = \dot{Z}_{\Delta} \dot{J} \quad (5-33)$$

Khó khăn chủ yếu của giải tích mạng điện theo phương pháp này là xác định $\dot{Y}_{\Delta}^{-1}$, nghĩa là tìm các phần tử của ma trận $\dot{Z}_{\Delta}$.

Ta phân biệt hai trường hợp khi giải tích mạng điện theo phương pháp ma trận $\dot{Z}_{\Delta}$.

1. Trường hợp cho J_i giả thiết mạng gồm n nút độc lập và giả thiết ở các nút nguồn và phụ tải đều cho trong dạng dòng điện nút J_i , $i = 1, 2, \dots, n$. Khi đó giá trị điện áp nút $\dot{U}_{\Delta i}$ được xác định theo biểu thức

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{\Delta 1} \\ \dot{U}_{\Delta 2} \\ \vdots \\ \dot{U}_{\Delta n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \dots & Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ \vdots \\ J_n \end{bmatrix} \quad (5-34)$$

trong đó ma trận $Z_{\Delta} = [Z_{ij}]$ được xác định từ Y_{Δ}^{-1} . Trong trường hợp n bé, có thể xác định Z_{Δ} theo phương pháp dùng ma trận phần phụ đại số của Y_{Δ} , nghĩa là $Z_{\Delta} = \frac{Y_{\Delta}}{\det Y_{\Delta}}$. Trong trường hợp n lớn, có thể dùng thuật toán lặp, đưa vào nghịch đảo ma trận đường chéo của Y_{Δ} là $Y_{\Delta d}$, để xác định Y_{Δ}^{-1} như trình bày ở mục mở đầu của chương này, hoặc có thể phân chia Y_{Δ} thành các ma trận khối như trình bày ở chương 4.

Ngoài ra vì ma trận tổng trở nút Z_{Δ} của mạng điện cũng có ý nghĩa vật lý như ma trận Y_{Δ} , nên ta cũng có thể xác định Z_{Δ} trực tiếp từ sơ đồ nối dây của mạng điện. Khi đó Z_{ii} là tổng trở đầu vào nhìn từ nút i đến nút cân bằng, khi ở mọi nút k có $J_k = 0$, $k \neq i$, còn Z_{ij} là tổng trở tương hỗ giữa nút i và nút j . Tuy nhiên việc xác định Z_{ii} , Z_{ij} trực tiếp từ sơ đồ có khó khăn hơn so với việc xác định Y_{ii} , Y_{ij} từ sơ đồ.

Ở đây khi giải tích mạng điện theo phương pháp này trên máy tính điện tử, có thể xác định các phần tử của ma trận Z_{Δ} theo phương pháp « mở rộng dần sơ đồ ». Tinh thần chủ yếu của phương pháp này là: chọn một vài phần tử của mạng điện để dễ dàng lập được ma trận Z_{Δ} ban đầu. Sau đó thêm dần các phần tử thì ma trận Z_{Δ} được mở rộng dần đến khi đủ n nút độc lập. Phương pháp này còn có ưu việt khi giải tích những mạng điện có cấu trúc thay đổi và bài toán được chương trình hóa trên máy tính số.

2. Trường hợp cho công suất tại các nút S_i . Trong thực tế nguồn phát hoặc phụ tải tại các nút thường được cho trong dạng công suất $S_i = P_i - jQ_i$. Khi đó để giải tích mạng điện theo biểu thức (5-30) cần xác định dòng điện tại các nút J_i , nhưng lại phụ thuộc vào giá trị điện áp tại nút i , trong đó U_i là giá trị hiệu dụng của điện áp $\dot{U}_i$

$$J_i = \frac{\dot{S}_i}{U_i}; i = \overline{1, n} \quad (5-35)$$

Thay giá trị J_i từ (5-35) vào hệ (5-50), ta nhận được hệ phương trình ẩn $\dot{U}_i$ phi tuyến. Để tránh những khó khăn về quá trình giải, ta sử dụng phương pháp lặp theo thủ tục sau đây:

— Trước hết coi giá trị phần thực của điện áp ban đầu tại các nút phụ tải $U_i[0]$, $i = 1, 2, \dots, n$ là giá trị định mức U_{dm} của mạng điện hoặc một giá trị gần đó, phần ảo lấy bằng không. Từ đây xác định được vector — cột nguồn dòng $J_i[0]$ tại các nút ở thời điểm ban đầu:

$$J_i[0] = \frac{S_i}{U_i[0]} = \frac{S_i}{U_{dm}} \quad (5-36)$$

— Xác định các thành phần của ma trận tổng dẫn Y_{Δ} .

— Tính toán cho bước lặp 1. Thay n giá trị $J_i[0]$ vào hệ (5-31), giải các giá trị $\dot{U}_{\Delta i}[1]$ như biểu thức

$$Y_{\Delta} \dot{U}_{\Delta}[1] = J[0] \quad (5-37)$$

— Sau khi giải được $\dot{U}_{\Delta i}[1]$; $i = \overline{1, n}$ nhờ phương trình ma trận, thông qua ma trận nghịch đảo của Y_{Δ} :

$$\dot{U}_{\Delta i}[1] = Y_{\Delta}^{-1} \dot{J}[0] \quad (5-38)$$

để chuyển sang bước lặp 2, ta lại tính giá trị các nguồn dòng ở cuối bước 1: $\dot{J}_i[1]$ theo biểu thức

$$J_i[1] = \frac{S_i}{U_i[1]} \quad (5-38)$$

Thay vào hệ (5-31) ta xác định được giá trị điện áp nút $\dot{U}_{\Delta i}[2]$ ở bước 2.

Tiếp tục các bước lặp cho đến khi thỏa mãn điều kiện

$$|U_i[k+1] - U_i[k]| \leq \varepsilon$$

Chú ý.

— Ở mọi bước đều sử dụng cùng giá trị công suất tại các nút S_i , nghĩa là chưa xét đến đặc tính tĩnh của phụ tải

— Ở mọi bước đều dùng cùng ma trận Y_{Δ}

— Sau khi xác định được giá trị hội tụ của $\dot{U}_{\Delta i}$, đó là so với giá trị điện áp nút cân bằng U_o . Giá trị tuyệt đối của điện áp các nút được xác định theo biểu thức

$$\dot{U}_i = \dot{U}_{\Delta i} + \dot{U}_o, i = \overline{1, n} \quad (5-39)$$

— Khi áp dụng với số liệu cụ thể cần lưu ý nếu S_i cho là công suất 3 pha, $\dot{U}_i$ là điện áp dây thì dòng điện nút $\dot{J}_i$ phải xác định theo công thức

$$j_2 = \frac{\dot{S}_i}{\sqrt{3} \dot{U}_i} \quad (5-40)$$

Ví dụ. Sơ đồ mạng điện cho trên hình 5-4 với các số liệu sau đây:

Công suất tính toán của các phụ tải

$$S_1 = \sqrt{3}(16,5 - j11) \text{ MVA}$$

$$S_2 = \sqrt{3}(33 - j22) \text{ MVA}$$

$$S_3 = \sqrt{3}(12 - j8) \text{ MVA}$$

Tổng trở của các nhánh

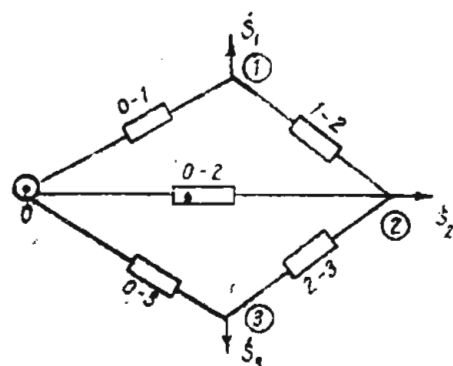
$$\dot{Z}_{01} = (5,3 + j10,3); \quad \dot{Z}_{02} = (8,4 + j16,2)$$

$$\dot{Z}_{03} = (10,5 + j20,5); \quad \dot{Z}_{12} = (9,9 + j13,4)$$

$$\dot{Z}_{23} = (11,6 + j15,4).$$

Điện áp định mức của mạng là $U_{dm} = 100 \text{ kV}$. Nguồn phát 0 lấy làm nút cân bằng, với giá trị điện áp vận hành

$$U_o = 1,1 U_{dm} = 121 \text{ kV}.$$



Hình 5-4

Cần xác định điện áp tại các nút $\dot{U}_i$

Giải.

Trước hết cần xác định ma trận tổng dẫn nút Y_{Δ} , ở đây có thể tìm trực tiếp từ sơ đồ mạng điện:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & 0 \\ Y_{21} & Y_{12} & Y_{23} \\ 0 & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \text{ trong đó: } Y_{11} = Y_{10} + Y_{12} = \frac{1}{Z_{10}} + \frac{1}{Z_{12}} =$$

$$= 0,076 - j0,126$$

$$Y_{21} = Y_{12} = -\frac{1}{Z_{12}} = -(0,036 - j0,049)$$

$$Y_{23} = Y_{32} = -\frac{1}{Z_{23}} = -(0,031 - j0,041)$$

$$Y_{33} = Y_{03} + Y_{32} = \frac{1}{Z_{03}} + \frac{1}{Z_{32}} = 0,051 - j0,08.$$

Vậy

$$Y_{\Delta} = \begin{bmatrix} 0,076 - j0,126 & -0,036 + j0,049 & 0 \\ -0,036 + j0,049 & 0,092 - j0,138 & -0,031 + j0,041 \\ 0 & -0,031 + j0,041 & 0,051 - j0,08 \end{bmatrix}$$

Y_{Δ} là ma trận vuông, không suy biến nên có $Z_{\Delta} = Y_{\Delta}^{-1}$

Theo phương pháp ma trận phần phụ đại số, xác định Z_{Δ} trong dạng

$$Z_{\Delta} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,93 + j7,2 & 1,52 + j3,27 & 0,66 + j1,85 \\ 1,52 + j3,27 & 4,42 + j7,57 & 2,02 + j4,32 \\ 0,66 + j1,85 & 2,02 + j4,32 & 6,59 + j11,26 \end{bmatrix}$$

— Cho các giá trị điện áp nút ban đầu

$$\dot{U}_1[0] = \dot{U}_2[0] = \dot{U}_3[0] = 121 \text{ kV}$$

— Xác định ma trận nguồn phụ tải ban đầu

$$j[0] = \begin{bmatrix} j_1[0] \\ j_2[0] \\ j_3[0] \end{bmatrix} = \frac{S}{\sqrt{3} \dot{U}_3[0]} = \frac{1}{121} \begin{bmatrix} -(16,5 - j11) \\ -(33 - j22) \\ -(22 - j8) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} -0,136 + j0,091 \\ -0,273 + j0,182 \\ -0,182 + j0,066 \end{bmatrix} \text{ kA}$$

— Xác định ma trận điện áp nút $\dot{U}_{\Delta}[1]$ ở bước 1:

$$\dot{U}_{\Delta}[1] = \begin{bmatrix} \dot{U}_{\Delta 1}[1] \\ \dot{U}_{\Delta 2}[1] \\ \dot{U}_{\Delta 3}[1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} j_1[0] \\ j_2[0] \\ j_3[0] \end{bmatrix} =$$

$$= - \begin{bmatrix} 2,431 + j1,537 \\ 3,732 + j2,125 \\ 3,531 + j2,622 \end{bmatrix} \text{ kV}$$

— Từ đây tính $J[1]$:

$$J[1] = \begin{bmatrix} j_1[1] \\ j_2[1] \\ j_3[1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{S}_1/\sqrt{3} \cdot \dot{U}_1^*[1] \\ \dot{S}_2/\sqrt{3} \cdot \dot{U}_2^*[1] \\ \dot{S}_3/\sqrt{3} \cdot \dot{U}_3^*[1] \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} 0,138 - j 0,095 \\ 0,276 - j 0,191 \\ 0,185 - j 0,072 \end{bmatrix}$$

— Ở bước lặp 2 tính được

$$\dot{U}_{\Delta}[2] = \begin{bmatrix} \dot{U}_{\Delta 1}[2] \\ \dot{U}_{\Delta 2}[2] \\ \dot{U}_{\Delta 3}[2] \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} 2,541 + j 1,549 \\ 3,910 + j 2,25 \\ 3,677 + j 2,591 \end{bmatrix} \text{ kV}$$

Các bước sau tính tương tự. Khi tính bằng tay, với độ chính xác tới 1/10kV ta có thể dừng sau bước 2 và xác định giá trị điện áp tuyệt đối tại các nút:

$$\dot{U}_i = \dot{U}_{\Delta i} + \dot{U}_0$$

Ở đây có:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_3 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} 2,541 + j 1,549 \\ 3,910 + j 2,25 \\ 3,677 + j 2,591 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 121 \\ 121 \\ 121 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 118,459 - j 1,549 \\ 117,09 - j 2,250 \\ 117,323 - j 2,591 \end{bmatrix} \text{ kV}$$

Các thông số khác đặc trưng trạng thái mạng điện như dòng trên các nhánh, tổn thất công suất trên nhánh v.v... được xác định tương tự như ở mục trước.

Qua ví dụ trên đây thấy rằng khi giải tích mạng điện ta phải thao tác với những ma trận phức số. Sau đây trình bày tổng quát cách chuyển thành các ma trận số thực nhằm tính toán dễ dàng và thuận lợi khi đưa số liệu vào máy tính điện tử.

Khi giải tích mạng điện ta thường gặp 4 loại ma trận và có thể tách ra phần thực và ảo, đó là:

$$\text{Ma trận tổng dẫn nút } Y_{\Delta} = Y'_{\Delta} - jY''_{\Delta}$$

$$\text{Ma trận điện áp nút } U_{\Delta} = U'_{\Delta} + jU''_{\Delta}$$

$$\text{Ma trận công suất nút } S = P - jQ$$

$$\text{Ma trận nguồn dòng nút } J = J' - jJ''$$

Phương trình ma trận xác định điện áp nút được viết trong dạng:

$$\begin{bmatrix} Y'_{11} - jY''_{11} & Y'_{12} - jY''_{12} & \dots & Y'_{1n} - jY''_{1n} \\ Y'_{21} - jY''_{21} & Y'_{22} - jY''_{22} & \dots & Y'_{2n} - jY''_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y'_{n1} - jY''_{n1} & Y'_{n2} - jY''_{n2} & \dots & Y'_{nn} - jY''_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U'_{\Delta 1} + jU''_{\Delta 1} \\ U'_{\Delta 2} + jU''_{\Delta 2} \\ \vdots \\ U'_{\Delta n} + jU''_{\Delta n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J'_1 - jJ''_1 \\ J'_2 - jJ''_2 \\ \vdots \\ J'_n - jJ''_n \end{bmatrix} \quad (5-41)$$

Khai triển vế trái của biểu thức (5-41), cân bằng phần thực, phần ảo tương ứng với vế phải, sau đó xếp lại trong dạng ma trận, ta nhận được phương trình sau :

$$\begin{bmatrix} Y'_{11} & Y'_{12} & \dots & Y'_{1n} \\ Y'_{21} & Y'_{22} & \dots & Y'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y'_{n1} & Y'_{n2} & \dots & Y'_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y''_{11} & Y''_{12} & \dots & Y''_{1n} \\ Y''_{21} & Y''_{22} & \dots & Y''_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y''_{n1} & Y''_{n2} & \dots & Y''_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U'_1 \\ U'_2 \\ \vdots \\ U'_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J'_1 \\ J'_2 \\ \vdots \\ J'_n \end{bmatrix} \quad (5-42)$$

$$\begin{bmatrix} Y''_{11} & Y''_{12} & \dots & Y''_{1n} \\ Y''_{21} & Y''_{22} & \dots & Y''_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y''_{n1} & Y''_{n2} & \dots & Y''_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -Y'_{11} & -Y'_{12} & \dots & -Y'_{1n} \\ -Y'_{21} & -Y'_{22} & \dots & -Y'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -Y'_{n1} & -Y'_{n2} & \dots & -Y'_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U''_1 \\ U''_2 \\ \vdots \\ U''_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J''_1 \\ J''_2 \\ \vdots \\ J''_n \end{bmatrix}$$

hoặc viết trong dạng ma trận khối gọn hơn :

$$\left[\begin{array}{c|c} Y' & Y'' \\ \hline Y'' & -Y' \end{array} \right] \begin{bmatrix} U' \\ U'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J' \\ J'' \end{bmatrix} \quad (5-43)$$

Hệ phương trình (5-42) hoặc (5-43) rất tiện lợi để tìm giá trị các thành phần $U'_{\Delta 1}, U'_{\Delta 2}, \dots, U'_{\Delta n}$ và $U''_{\Delta 1}, U''_{\Delta 2}, \dots, U''_{\Delta n}$ vì các phần tử trong các ma trận đều là những số thực tạo điều kiện dễ dàng khi đưa số liệu và khi tính toán. Khi nhận được kết quả mới lắp lại thành những số phức :

$$U_{\Delta i} = U'_{\Delta i} + jU''_{\Delta i}; \quad i = \overline{1, n}.$$

Ngoài ra ma trận $\left[\begin{array}{c|c} Y' & Y'' \\ \hline Y'' & -Y' \end{array} \right]$ cũng có dạng đặc biệt nên có thể sử dụng tính chất đó để tiết kiệm bộ nhớ khi giải bài toán trên máy tính điện tử.

Trong trường hợp phụ tải ở các nút cho trong dạng công suất $\hat{S}_i$, thì ở mỗi bước lặp cần xác định các giá trị J'_i và J''_i theo biểu thức sau :

$$J_i[k] = \frac{\hat{S}_i}{\sqrt{3} U_i[k]} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{P_i - jQ_i}{U_i[k] - jU_i'[k]} \quad i = \overline{1, n}$$

hiến đổi và tách phần thực và ảo ta có

$$J'_i[k] = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{P_i U_i'[k] + Q_i U_i[k]}{(U_i[k])^2 + (U_i'[k])^2}$$

$$J''_i[k] = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{Q_i U_i[k] - P_i U_i'[k]}{(U_i[k])^2 + (U_i'[k])^2} \quad (5-44)$$

Phương pháp ma trận tổng trở nút Z_{Δ} có ưu điểm hội tụ nhanh nhưng tốn nhiều bộ nhớ và trong một số trường hợp việc xác định ma trận Z_{Δ} là khó khăn.

5-4. PHƯƠNG PHÁP LẬP NEWTON GIẢI TÍCH MẠNG ĐIỆN

Trong mục mở đầu của chương này đã trình bày tinh thần chủ yếu của việc giải phương trình hoặc hệ phương trình theo phương pháp lập Newton, trong đó bản chất của vấn đề được giải thích từ khía cạnh hình học. Sau đây những kết quả về công thức của thuật toán lập Newton sẽ được nhận từ lập luận giải tích và sau đó được ứng dụng trong việc tính toán trạng thái mạng điện.

Giả thiết có phương trình một biến

$$f(x) = 0 \quad (5-45)$$

có nghiệm là x^* , nghĩa là $f(x^*) = 0$.

Giả thiết đã biết một nghiệm gần đúng ban đầu của $f(x)$ là $x[0]$. Khai triển phương trình (5-45) quanh điểm $x[0]$ ta nhận được:

$$f(x[0]) + \frac{1}{1!} f'(x[0]) (x - x[0]) + \frac{1}{2!} f''(x[0]) (x - x[0])^2 + \dots = 0 \quad (5-46)$$

trong đó $f'(x[0])$, $f''(x[0])$ là đạo hàm bậc 1 và đạo hàm bậc 2 của hàm $f(x)$ khi lấy với giá trị $x = x[0]$.

Từ (5-46) bỏ các vô cùng bé bậc 2 trở lên, ta nhận được phương trình tuyến tính hóa dạng

$$f(x[0]) + f'(x[0]) (x - x[0]) = 0 \quad (5-47)$$

Giải phương trình (5-47) thay bởi giá trị của những bước tiếp theo, ta nhận được biểu thức lập Newton trong dạng

$$x[1] - x[0] = - \frac{f(x[0])}{f'(x[0])}$$

hoặc viết trong dạng tổng quát

$$x[k+1] = x[k] - \frac{f(x[k])}{f'(x[k])} \quad (5-48)$$

nghĩa là giá trị của nghiệm gần đúng ở bước $k+1$ có quan hệ với giá trị của nó ở bước k ngay trước đó và những thông tin nhận được về $x[k]$ đó là $f(x[k])$ và $f'(x[k])$.

Rõ ràng quá trình lặp (5-48) là hội tụ khi giá trị $f(x[k])$ nhỏ dần, và quá trình dừng lại khi thỏa mãn điều kiện

$$|f(x[k])| \leq \epsilon \quad (5-49)$$

Sau đây với tinh thần trên ta xét trường hợp hệ phương trình đại số phi tuyến.

Giả thiết có n phương trình của n nghiệm:

$$\left. \begin{aligned} f_1(x_1, \dots, x_n) &= 0 \\ f_2(x_1, \dots, x_n) &= 0 \\ &\vdots \\ f_n(x_1, \dots, x_n) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5-50)$$

hoặc có thể viết trong dạng vector — cột các hàm $f_i(x)$

$$f(x) = 0 \quad (5-51)$$

trong đó x là vector — cột n lần

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad \text{hoặc } [x]_t = [x_1, x_2 \dots x_n]$$

trong đó t chỉ ký hiệu chuyển vị ma trận.

Giả thiết có n giá trị nghiệm gần đúng ban đầu $[x[0]]_t = [x_1[0] \dots x_n[0]]$, khai triển Taylo hệ phương trình (5-50) tại điểm $x[0]$ và bỏ từ vô cùng bé bậc 2 ta được:

$$\begin{cases} f_1(x_1[0] \dots x_n[0]) + \frac{\partial f_1(x_1[0] \dots x_n[0])}{\partial x_1} (x_1 - x_1[0]) + \\ + \dots + \frac{\partial f_1(x_1[0] \dots x_n[0])}{\partial x_n} (x_n - x_n[0]) = 0 \\ f_2(x_1[0] \dots x_n[0]) + \frac{\partial f_2(x_1[0] \dots x_n[0])}{\partial x_1} (x_1 - x_1[0]) + \\ + \dots + \frac{\partial f_2(x_1[0] \dots x_n[0])}{\partial x_n} (x_n - x_n[0]) = 0 \\ \vdots \\ f_n(x_1[0] \dots x_n[0]) + \frac{\partial f_n(x_1[0] \dots x_n[0])}{\partial x_1} (x_1 - x_1[0]) + \\ + \dots + \frac{\partial f_n(x_1[0] \dots x_n[0])}{\partial x_n} (x_n - x_n[0]) = 0 \end{cases} \quad (5-51)$$

Biểu thức (5-51) có thể viết trong dạng ma trận sau

$$\begin{bmatrix} f_1(x[0]) \\ f_2(x[0]) \\ \vdots \\ f_n(x[0]) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n(x)}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n(x)}{\partial x_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (x_1 - x_1[0]) \\ (x_2 - x_2[0]) \\ \vdots \\ (x_n - x_n[0]) \end{bmatrix} = 0 \quad (5-52)$$

trong đó ma trận các đạo hàm bậc nhất trên đây gọi là ma trận Jacobi, ký hiệu $F(x)$, lấy tại $x = x[0]$.

Hệ (5-52) có thể viết gọn trong dạng:

$$f(x[0]) + F(x) (x - x[0]) = 0 \quad (5-52)$$

Vì $F(x)$ là ma trận vuông, không suy biến, nên từ (5-52) giải được:

$$x - x[0] = -[F(x[0])]^{-1} f(x[0]).$$

và có thể lập thuật toán lặp tìm vector $\mathbf{u}$ ở bước $(k+1)$ theo biểu thức tương tự (5-48)

$$\mathbf{x}[k+1] = \mathbf{x}[k] - [\mathbf{F}(\mathbf{x}[k])]^{-1} \cdot \mathbf{f}(\mathbf{x}[k]) \quad (5-53)$$

Tiếp theo ta áp dụng thuật toán lặp (5-53) trên đây để mô tả và giải bài toán giải tích mạng điện.

Để có dạng hệ phương trình $\mathbf{f}(\mathbf{u}) = 0$ ta viết cho điều kiện cân bằng công suất ở n nút độc lập của mạng điện:

$$\mathbf{f}(\mathbf{U}) = \mathbf{S}_i - \mathbf{J}_i \mathbf{U}_i = 0; \quad i = \overline{1, n} \quad (5-54)$$

trong đó $\mathbf{S}_i$ — công suất toàn phần ở nút i (nguồn phát hoặc phụ tải)

$\mathbf{J}_i$ — nguồn dòng điện tại nút i ; $\mathbf{U}_i$ — điện áp tại nút i

Dựa vào biểu thức xác định nguồn dòng điện tại nút i thông qua dòng điện gây ra bởi điện áp các nút $\mathbf{U}_k$; $k = 1, 2, \dots, n+1$ và $k \neq i$ theo nguyên lý xếp chồng:

$$\mathbf{J}_i = \mathbf{y}_{ii} \mathbf{U}_i + \sum_{k=1}^{n+1} \mathbf{y}_{ik} \mathbf{U}_k; \quad k \neq i \quad (5-55)$$

trong đó n là số nút độc lập của mạng điện.

Kết hợp (5-55) với (5-54) có:

$$\mathbf{f}(\mathbf{U}_i) = \mathbf{S}_i - \mathbf{y}_{ii} \mathbf{U}_i^2 - \sum_{k=1}^{n+1} \mathbf{y}_{ik} \mathbf{U}_k = 0 \quad (5-56)$$

Phương trình cân bằng (5-56) có thể tách ra phần thực $f_1(\mathbf{U}'_i, \mathbf{U}''_i)$ và phần ảo $f_2(\mathbf{U}'_i, \mathbf{U}''_i)$ là những hàm của hai vector biến số là phần thực điện áp các nút $\mathbf{U}'_i = [\mathbf{U}'_1 \mathbf{U}'_2 \dots \mathbf{U}'_n]$ và phần ảo của chúng $\mathbf{U}''_i = [\mathbf{U}''_1 \mathbf{U}''_2 \dots \mathbf{U}''_n]$, nghĩa là

$$\mathbf{F}(\mathbf{U}_i) = \mathbf{f}_1(\mathbf{U}'_i, \mathbf{U}''_i) + j \mathbf{f}_2(\mathbf{U}'_i, \mathbf{U}''_i) = 0 \quad (5-57)$$

Như vậy đối với mạng điện gồm n nút độc lập, ta thành lập được $2n$ phương trình cân bằng dạng (5-57) của $2n$ ẩn là phần thực $\mathbf{U}'_i$ và phần ảo $\mathbf{U}''_i$ của điện áp tại các nút.

Để thành lập thuật toán lặp Newton, xác định giá trị các vector $\mathbf{U}'$ và $\mathbf{U}''$ ở bước $(k+1)$ ta cần xác định ma trận Jacobi của hệ (5-57) ở bước k :

$$\mathbf{F}(\mathbf{U}[k]) = \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{U}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \mathbf{U}'} & \frac{\partial f_1}{\partial \mathbf{U}''} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \mathbf{U}'} & \frac{\partial f_2}{\partial \mathbf{U}''} \end{bmatrix} \quad (5-58)$$

Tiếp theo sử dụng thuật toán (5-53) xác định được giá trị vector điện áp nút ở bước $(k+1)$:

$$\begin{aligned} \mathbf{U}[k+1] &= \begin{bmatrix} \mathbf{U}'[k+1] \\ \mathbf{U}''[k+1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{U}'[k] \\ \mathbf{U}''[k] \end{bmatrix} - \left[\frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{U}} \right]^{-1} \times \\ &\times \begin{bmatrix} \mathbf{f}_1(\mathbf{U}'[k], \mathbf{U}''[k]) \\ \mathbf{f}_2(\mathbf{U}'[k], \mathbf{U}''[k]) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5-59)$$

Điều kiện dừng của quá trình lặp là:

$$|f_1(U'[k], U''[k])| \leq \varepsilon$$

$$|f_2(U'[k], U''[k])| \leq \varepsilon$$

Áp dụng của phép lặp Newton để giải tích mạng điện phức tạp, bạn đọc cần nghiên cứu có thể tham khảo trong các tài liệu chuyên đề.

Phương pháp này có ưu điểm là hội tụ nhanh, tuy nhiên ở mỗi bước phải xác định dạng nghịch đảo của ma trận Jacobi cũng gây phức tạp trong tính toán và chiếm nhiều bộ nhớ của máy tính.

CHƯƠNG 6

LỰA CHỌN CÁC PHẦN TỬ CỦA MẠNG ĐIỆN

Máy biến áp, dây dẫn cũng như các phần tử khác của mạng điện được lựa chọn căn cứ vào các chỉ tiêu kỹ thuật và kinh tế.

Về mặt kỹ thuật, cần lựa chọn máy biến áp sao cho nhiệt độ phát nóng các cuộn dây nhỏ hơn trị số cho phép nhằm đảm bảo tuổi thọ của máy biến áp khoảng 20 năm. Trong khi đó tiết diện dây dẫn phải thỏa mãn hàng loạt yêu cầu kỹ thuật. Ngoài phát nóng và tổn thất điện áp là hai yêu cầu chung nhất, các loại vật dẫn khác nhau, do cấu tạo và lắp đặt khác nhau, còn cần thỏa mãn một số yêu cầu riêng. Tiết diện dây dẫn của đường dây trên không phải đảm bảo điều kiện hạn chế vầng quang điện và độ bền cơ khí, thanh dẫn cần ổn định dòng và lõi cáp cần ổn định nhiệt khi xảy ra ngắn mạch.

Về mặt kinh tế, các phần tử được lựa chọn theo cùng một chỉ tiêu: hàm chi phí tính toán nhỏ nhất.

Trong thực tế thiết kế mạng điện người ta thường tìm yêu cầu đặc trưng nhất trong những yêu cầu đề ra cho mỗi phần tử để căn cứ vào đó lựa chọn phần tử, sau đó tiến hành kiểm tra kết quả lựa chọn theo các yêu cầu còn lại. Ví dụ, dây dẫn đường dây trên không mạng điện khu vực được lựa chọn theo chỉ tiêu kinh tế và kiểm tra theo các chỉ tiêu kỹ thuật; trái lại, dây dẫn mạng địa phương lựa chọn theo điều kiện tổn thất điện áp, dây dẫn mạng điện phân xưởng lựa chọn theo phát nóng v.v...

Lựa chọn đúng các phần tử của mạng điện sẽ làm cho mạng điện thực hiện tốt nhiệm vụ chuyên tải điện năng đảm bảo những yêu cầu kỹ thuật, đồng thời góp phần quan trọng nâng cao tính kinh tế của mạng điện thiết kế.

6-1. LỰA CHỌN TIẾT DIỆN DÂY DẪN VÀ CÁP THEO CHỈ TIÊU KINH TẾ

Biết rằng chỉ tiêu kinh tế khi so sánh các phương án mạng điện là hàm chi phí tính toán [xem chương 8].

$$Z = (a_{vh} + a_{tc}) K + c_0 \Delta A$$

Tiết diện dây dẫn sẽ được gọi là tiết diện kinh tế nếu như với nó hàm chi phí tính toán Z đạt giá trị cực tiểu.

Để xác định tiết diện kinh tế của dây dẫn trước hết cần thành lập hàm chi phí tính toán phụ thuộc vào tiết diện $Z(F)$.

Vốn đầu tư cho đường dây mạng điện có thể biểu diễn gần đúng bằng một hàm số đường thẳng

$$K = (k_0 + k_0' F) l$$

trong đó k_0 -- chi phí xây dựng 1 km đường dây của phần không phụ thuộc vào tiết diện dây mà chỉ liên quan đến việc thăm dò, thiết kế, vạch tuyến v.v...

k_0' -- chi phí xây dựng 1 km đường dây phụ thuộc vào tiết diện dây mà chủ yếu là phụ thuộc vào giá tiền bản thân dây dẫn.

Tổn thất điện năng hàng năm trên đường dây mạng điện biểu diễn qua tiết diện dây dẫn

$$\Delta A = 3I_{\max}^2 R \tau = 3I_{\max}^2 \tau \frac{\rho l}{F}$$

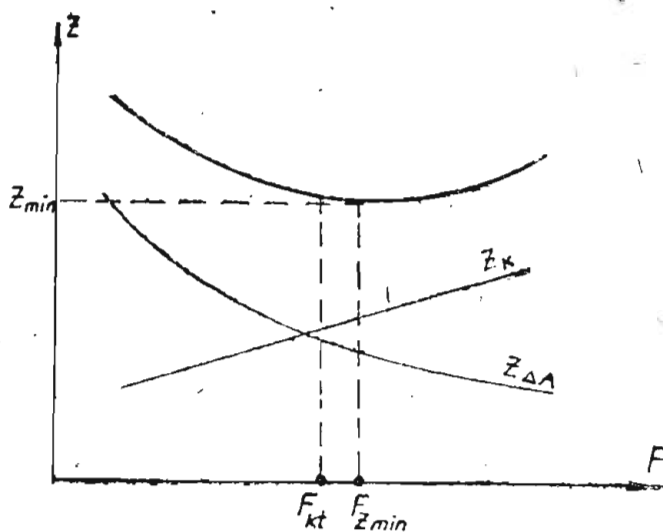
Như vậy, hàm chi phí tính toán hàng năm của đường dây mạng điện quan hệ với tiết diện dây dẫn theo biểu thức

$$Z(F) = (a_{vh} + a_{tc}) (k_0 + k_0' F) l + 3I_{\max}^2 C_0 \tau \frac{\rho l}{F} = Z_K + Z_{\Delta A} \quad (6-1)$$

Quan hệ giữa thành phần hàm chi phí tính toán liên quan đến giá tiền dây dẫn Z_K và thành phần hàm chi phí tính toán liên quan đến tổn thất điện năng trên đường dây $Z_{\Delta A}$ cũng như giữa hàm chi phí tính toán và tiết diện dây F cho trên hình vẽ (hình 6-1).

Tiết diện kinh tế của dây dẫn xác định được bằng cách lấy đạo hàm hàm (6-1) theo F , sau đó cho bằng 0.

$$\begin{aligned} \frac{dZ(F)}{dF} &= (a_{vh} + a_{tc}) k_0' l - \\ &- 3I_{\max}^2 C_0 \tau \frac{\rho l}{F^2} = 0 \end{aligned}$$



Hình 6-1

suy ra

$$F_{zmin} = I_{\max} \sqrt{\frac{3C_0 \rho \tau}{(a_{vh} + a_{tc}) k_0'}} \quad (6-2)$$

Từ đồ thị hàm $Z(F)$ nhận thấy rằng đoạn đường cong lân cận trị số Z_{min} rất tù, nghĩa là trị số Z thay đổi rất ít khi F dao động lân cận F_{zmin} . Vì vậy có thể lựa chọn tiết diện dây dẫn nhỏ hơn trị số F_{zmin} , điều đó không làm chi phí tính toán tăng bao nhiêu mà tiết kiệm được lượng kim loại màu khá lớn. Tiết diện được lựa chọn như vậy gọi là tiết diện kinh tế F_{kt} .

Mật độ dòng điện trong dây dẫn có tiết diện kinh tế gọi là mật độ kinh tế của dòng điện

$$J_{kt} = \frac{I_{max}}{F_{kt}} \quad (6-3)$$

Mật độ kinh tế của dòng điện cũng có thể xác định gần đúng dựa theo công thức (6-2)

$$J_{kt} \approx \frac{I_{max}}{F_{zmin}} = \sqrt{\frac{(u_{vh} + u_{tc})k_c'}{3C_c \rho \tau}} \quad (6-4)$$

Nhận thấy mật độ kinh tế của dòng điện phụ thuộc rất nhiều yếu tố. Trị số của nó thay đổi theo sự phát triển nền kinh tế quốc dân và trình độ kỹ thuật của từng quốc gia, từng thời kì. Chúng ta có thể tham khảo trị số J_{kt} hiện đang được dùng ở Liên Xô (bảng 6-1)

Bảng 6-1

Mật độ kinh tế của dòng điện

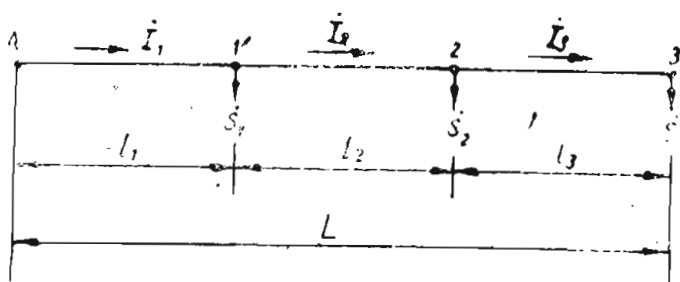
Tên dây dẫn	Thời gian sử dụng công suất lớn nhất		
	1000—3000	3000—5000	Trên 5000
Dây dẫn trần:			
đồng	2,5	2,1	1,8
nhôm	1,3	1,1	1,0
Cáp bọc giấy và dây dẫn bọc cao su, lõi:			
đồng	3,0	2,5	2,0
nhôm	1,6	1,4	1,2
Cáp bọc cao su, lõi:			
đồng	3,5	3,1	2,7
nhôm	1,9	1,7	1,6

Cần chú ý rằng những số liệu cho trong bảng là những trị số trung bình, chưa xét được hết những điều kiện đặc biệt khi xây dựng đường dây qua mỗi vùng cụ thể. Trong những điều kiện cụ thể có thể áp dụng phương pháp khoảng chia kinh tế để lựa chọn tiết diện dây dẫn mạng điện.

Từ đó tự lựa chọn tiết diện dây dẫn và cáp theo phương pháp mật độ kinh tế như sau: xác định trị số dòng điện lớn nhất chạy qua dây, căn cứ vào thời gian sử dụng công suất lớn nhất T_{max} tra bảng 6-1 tìm mật độ kinh tế của dòng điện tương ứng với loại dây dẫn cần dùng, sau đó xác định tiết diện kinh tế theo công thức

$$F_{kt} = \frac{T_{max}}{J_{kt}} \quad (6-5)$$

Cuối cùng từ F_{kt} , chọn dùng cỡ dây dẫn tiêu chuẩn gần nhất.



Hình 6-2

Đối với đường dây mạng điện có một số phụ tải (hình 6-2) có lợi hơn cả là mỗi đoạn đường dây dùng một tiết diện khác nhau. Muốn vậy, trước hết cần xác định trị số trung bình của thời gian sử dụng công suất lớn nhất

$$T_{\max tb} = \frac{T_{\max 1} P_{\max 1} + T_{\max 2} P_{\max 2} + \dots + T_{\max n} P_{\max n}}{P_{\max 1} + P_{\max 2} + \dots + P_{\max n}} \quad (6-6)$$

Tra bảng tìm J_{kt} theo $T_{\max tb}$, sau đó đưa vào (6-5) xác định tiết diện kinh tế cho từng đoạn dây.

$$F_{kti} = \frac{T_{\max i}}{J_{kt}}$$

Tuy nhiên, cũng có trường hợp muốn dùng cùng một tiết diện trên tất cả đường dây. Khi đó cần xác định dòng điện đẳng trị I_{dt} . Đường dây chuyên tải dòng điện đẳng trị qui ước đó sẽ tương đương về mặt tổn thất công suất với đường dây chuyên tải các dòng điện thực

$$\frac{3I_{dt}^2 \rho L}{F} = \frac{3\rho}{F} (I_1^2 l_1 + I_2^2 l_2 + \dots + I_n^2 l_n)$$

suy ra

$$I_{dt} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 l_i}{L}} \quad (6-7)$$

Tiết diện kinh tế của toàn bộ đường dây xác định theo biểu thức

$$F_{kt} = \frac{I_{dt}}{J_{kt}}$$

Đặc biệt, nếu các phụ tải bằng nhau $i_1 = i_2 = \dots = i_n$ và khoảng cách giữa chúng cũng bằng nhau và bằng l . Chú ý là :

$$I_3 = i_3 = I, I_2 = i_2 + i_3 = 2I; I_1 = i_1 + i_2 + i_3 = 3I$$

khi đó

$$\sum_{i=1}^3 I_i^2 l_i = I^2 l + (2I)^2 l + (3I)^2 l = I^2 l (1^2 + 2^2 + 3^2)$$

Đối với đường dây n phụ tải sẽ có

$$\sum_{i=1}^n I_i^2 l_i = I^2 l (1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2)$$

Lại chú ý rằng tổng của chuỗi số trong ngoặc bằng $\frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$ và $L = nl$, công thức (6-7) có dạng

$$I_{dt} = \sqrt{\frac{I^2 (n+1)(2n+1)}{6}}$$

Bởi vì dòng ở đầu đường dây $I_1 = nI$, nghĩa là $I = \frac{1}{n} I_1$ và do đó

$$I_{dt} = I_1 \sqrt{\frac{(n+1)(2n+1)}{6n^2}}$$

Chia cả hai vế cho F_{kt} có:

$$J_{kt} = J_{kt1} \sqrt{\frac{(n+1)(2n+1)}{6n^2}}$$

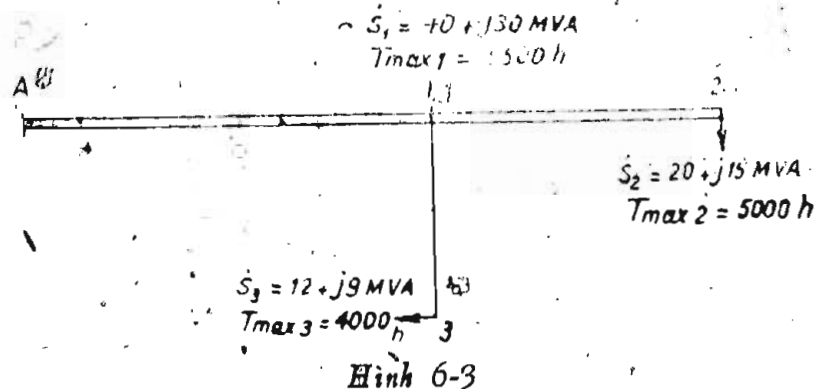
hay là

$$J_{kt1} = J_{kt} \sqrt{\frac{6n^2}{(n+1)(2n+1)}} = kJ_{kt} \quad (6-8)$$

rường hợp đường dây có một phụ tải $n=1$ và $k=1$, do đó $J_{kt1} = J_{kt}$ — điều đó hiển nhiên như đã biết. Khi số phụ tải bằng nhau là 2, 3, 5, 10 thì k có trị số tương ứng là 1,27; 1,39; 1,54 và 1,62.

Khi $n \rightarrow \infty$, nghĩa là khi phụ tải phân bố đều dọc đường dây $k \rightarrow \sqrt{3} = 1,73$.

Ví dụ 6-1. Mạng điện 110 kV cung cấp điện cho 3 phụ tải công nghiệp (hình 6-3). Lựa chọn tiết diện cho các đường dây mạng điện đó nếu dùng dây AC và tiết diện mỗi đoạn khác nhau.



Giải. Trước hết, xác định trị số trung bình của thời gian sử dụng công suất lớn nhất

$$T_{maxtb} = \frac{40 \cdot 5500 + 20 \cdot 5000 + 12 \cdot 4000}{40 + 20 + 12} \approx 5100h$$

Tra bảng 6-1 với $T_{maxtb} = 5100h$ và dây AC có $J_{kt} = 1$. Dòng điện chạy trên mỗi đoạn

$$I_3 = \frac{\sqrt{12^2 + 9^2}}{\sqrt{3} \cdot 110} 10^3 = 78A$$

$$I_2 = \frac{\sqrt{20^2 + 15^2}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} 10^3 = 65A$$

$$I_1 = \frac{\sqrt{(40+20+12)^2 + (30+15+9)^2}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} 10^3 = 234A$$

Tiết diện kinh tế mỗi đoạn

$$F_{kt3} = 78/1 = 78 mm^2$$

$$F_{kt2} = 65/1 = 65 mm^2$$

$$F_{kt1} = 234/1 = 234 mm^2$$

Như vậy, trên đoạn 1 dây AC-240, đoạn 2 và 3 dùng dây AC-70.

6-2. XÁC ĐỊNH TIẾT DIỆN DÂY DẪN THEO TỶ SỐ THẤT ĐIỆN ÁP CHO PHÉP

Mạng điện địa phương, do có nhiều phụ tải mắc trực tiếp không qua máy biến áp nên yêu cầu chất lượng điện áp rất cao; mặt khác khả năng điều chỉnh điện áp của nó cũng hạn chế nhiều so với mạng khu vực. Vì vậy khi thiết kế mạng địa phương thường căn cứ vào mức điện áp cho phép để lựa chọn tiết diện dây dẫn.

Ở chương 2, với đường dây có một phụ tải đã xác định được công thức tính tổn thất điện áp

$$\Delta U = \frac{RP + QX}{U_{dm}} = \Delta U'(F) + \Delta U''(F).$$

Trong đó $\Delta U'(F)$ — thành phần tổn thất điện áp do công suất tác dụng gây ra
 $\Delta U''(F)$ — thành phần tổn thất điện áp do công suất phản kháng gây ra.

Nếu lấy tổn thất điện áp trên đường dây bằng trị số cho phép, có:

$$\Delta U_{cp} = \Delta U'(F) + \Delta U''(F)$$

Nhờ lại quan hệ giữa x_0 và tiết diện theo công thức (1-3) sẽ thấy phương trình trên thuộc loại phương trình siêu việt, khó xác định trực tiếp F theo ΔU_{cp} . Trong trường hợp này lại phải dùng phương pháp gần đúng.

Nhận thấy cảm kháng đường dây trên không thường thay đổi trong phạm vi khá hẹp $x_0 = 0,33 - 0,48 \Omega/km$, vì thế trong bước lập đầu tiên có thể lấy một trị số cảm kháng, trung bình $\bar{x}_0 = 0,36 - 0,40 \Omega/km$. Với $\bar{x}_0$ dễ dàng xác định được thành phần tổn thất điện áp do Q gây ra

$$\Delta U''(F) = \frac{Q \bar{x}_0 l}{U_{dm}}$$

Từ đó xác định được trị số cho phép của thành phần tổn thất điện áp trên điện trở

$$\Delta U'_{cp}(F) = \Delta U_{cp} - \Delta U''(F) \quad (6-9)$$

Mặt khác, bởi vì

$$\Delta U'_{cp}(F) = \frac{P r_0 l}{U_{dm}} = \frac{P_{\rho l}}{U_{dm} F}$$

do đó xác định được tiết diện dây dẫn cần tìm

$$F = \frac{P_{\rho l}}{\Delta U'_{cp} U_{dm}} \quad (6-10)$$

Tiết diện tính được theo (6-10) cần đối chiếu với dãy tiết diện tiêu chuẩn để chọn tiết diện tiêu chuẩn gần nhất. Với tiết diện này tra bảng tìm trị số r_0 , x_0 thực, sau đó tính tổn thất điện áp trên đường dây và so sánh với trị số cho phép. Nếu $\Delta U \leq \Delta U_{cp}$ thì tiết diện tìm được là lời giải của bài toán; nếu $\Delta U > \Delta U_{cp}$ thì cần chọn tiết diện lớn hơn một cấp và lại tiếp tục kiểm tra điều kiện $\Delta U \leq \Delta U_{cp}$.

Trường hợp đường dây cung cấp cho một số phụ tải, tương tự cũng cho một giá trị trung bình $\bar{x}_0$ và xác định được

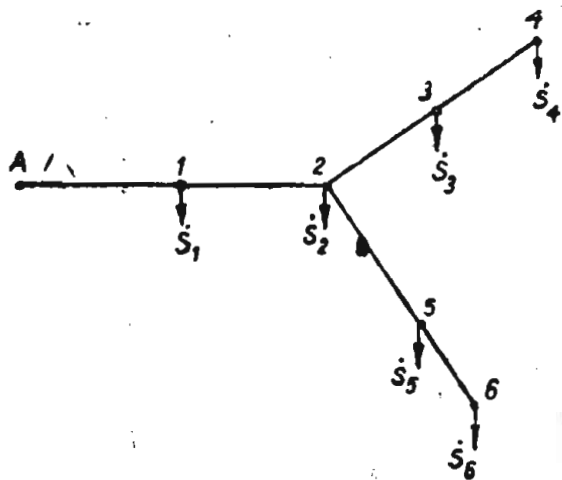
$$\Delta U''(F) = \frac{\bar{x}_0}{U_{dm}} \sum_{i=1}^n Q_i l_i \quad (6-11)$$

sau đó xác định trị số cho phép của thành phần tổn thất điện áp trên điện trở theo (6-9). Cuối cùng, trên cơ sở công thức

$$\Delta U''_{cp}(F) = \frac{P}{U_{dm} F} \sum_{i=1}^n P_i l_i$$

xác định được tiết diện cần tìm

$$F = \frac{P}{U'_{cp} \cdot U_{dm}} \sum_{i=1}^n P_i l_i \quad (6-12)$$



Hình 6-4

Đối với đường dây phân nhánh (hình 6-4) cần xác định $\Delta U''(F)$ lớn nhất theo các nhánh ($\Delta U''_{A24}$ hoặc $\Delta U''_{A25}$), sau đó tiếp tục tiến hành như trên.

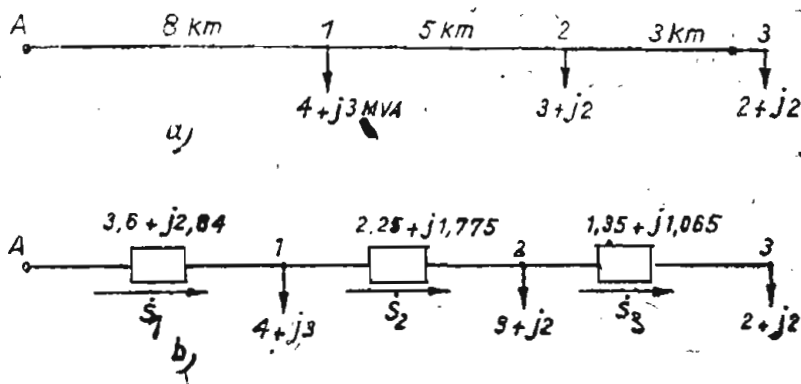
Để xác định tiết diện lõi cáp lấy

$$\bar{x}_0 = 0,08 \Omega/\text{km}.$$

Ví dụ 6.2. Mạng điện 35kV cung cấp cho 3 phụ tải (hình 6-5, a). Hãy xác định tiết diện dây dẫn cho mạng điện đó nếu toàn bộ mạng điện dùng dây nhôm. Cho biết tổn thất điện áp cho phép là $\Delta U_{cp} = 6\%$

Giải. Lấy trị số trung bình $\bar{x}_0 = 0,4 \Omega/\text{km}$, xác định được tổn thất điện áp trên cảm kháng toàn đường dây

$$\Delta U'' = \frac{0,4}{35} (3 + 2 + 2)8 + (2 + 2)5 + 2 \cdot 3 = 940\text{V}.$$



Hình 6-5

Trị số cho phép của thành phần tổn thất điện áp trên điện trở

$$\Delta U' = 6\% \cdot 35000 - 940 = 1160\text{V}$$

Tiết diện dây toàn bộ đường dây xác định được theo công thức (6-12)

$$F = \frac{31,5}{1160 \cdot 35} (4 + 3 + 2)8 + (3 + 2)5 + 2 \cdot 3 = 80 \text{ mm}^2$$

Chọn dùng dây A-70.

Với dây A-70 và $D = 1,25 \text{ m}$ có $r_0 = 0,45 \Omega/\text{km}$, $x_0 = 0,355 \Omega/\text{km}$. Xác định được tổng trở các đoạn đường dây (hình 6-5, b).

$$Z_1 = (0,45 + j0,355)8 = 3,6 + j2,84 \Omega$$

$$Z_2 = (0,45 + j0,355)5 = 2,25 + j1,775 \Omega$$

$$Z_3 = (0,45 + j0,355)3 = 1,35 + j1,065 \Omega$$

Tổn thất điện áp trên toàn bộ đường dây

$$\Delta U_{\text{ab}} \% = \frac{(9 \cdot 3,6 + 5 \cdot 2,25 + 2 \cdot 1,35) + (7 \cdot 2,84 + 4 \cdot 1,775 + 2 \cdot 1,065)}{35^2} 100$$

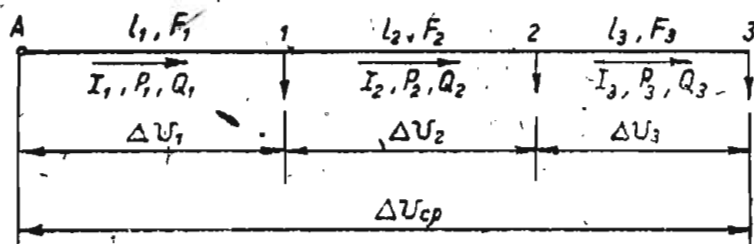
$$= 6,2\%$$

So với $\Delta U_{\text{cp}} = 6\%$ thấy rằng có thể chấp nhận tiết diện A-70 là tiết diện cần lựa chọn cho đường dây.

6-3. XÁC ĐỊNH TIẾT DIỆN DÂY DẪN THEO TỔN THẤT ĐIỆN NĂNG NHỎ NHẤT.

Ngoài phương pháp lựa chọn tiết diện dây dẫn theo tổn thất điện áp cho phép và toàn bộ đường dây chọn cùng tiết diện, cần xét trường hợp các đoạn đường dây có tiết diện khác nhau có thể sẽ kinh tế hơn do giảm tổn thất điện năng hoặc giảm chi phí kim loại màu. Như đã nói, tiêu chuẩn cơ bản nhất để lựa chọn tiết diện dây dẫn mạng địa phương là tổn thất điện áp không được vượt quá trị số cho phép. Với đường dây có một số phụ tải (hình 6-6), điều kiện đó là

$$\Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 \leq U_{\text{cp}}$$



Hình 6-6

Để thực hiện điều kiện này có thể đề ra nhiều phương án bằng cách thay đổi lượng tổn thất điện áp rơi trên mỗi đoạn đường dây. Ví dụ, có thể tăng tiết diện dây dẫn đoạn đầu và giảm tương ứng tiết diện dây đoạn khác. Vấn đề đặt ra là cần tìm một trong số những phương án thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật, đồng thời phương án đó có chỉ tiêu kinh tế tốt nhất, nghĩa là phương án có hàm chi phí tính toán bé nhất.

Hàm chi phí tính toán hàng năm của mạng điện này viết theo (6-1) sẽ có dạng

$$\begin{aligned} Z(F_1, F_2, F_3) &= (a_{vh} + a_{tc}) [k'_0 (l_1 + l_2 + l_3) + k''_0 (F_1 l_1 + F_2 l_2 + \\ &+ F_3 l_3)] + C_0 \rho \tau \left(\frac{I_1^2 l_1}{F_1} + \frac{I_2^2 l_2}{F_2} + \frac{I_3^2 l_3}{F_3} \right) = \\ &= Z_K(F_1, F_2, F_3) + Z_{\Delta A}(F_1, F_2, F_3). \end{aligned}$$

Không thể giải trực tiếp hàm $Z(F_1, F_2, F_3)$ để xác định tiết diện F_1, F_2, F_3 vừa thỏa mãn điều kiện tổn thất điện áp vừa làm cực tiểu hàm chi phí tính toán. Do đó cần tìm lời giải gần đúng.

Nhận thấy rằng nếu mạng điện cung cấp cho những hộ tiêu thụ có thời gian sử dụng công suất lớn nhất $T_{\max}$ lớn thì thành phần $Z_{\Delta A}$ chiếm tỉ trọng lớn trong hàm chi phí tính toán. Trong trường hợp này phương án có tổn thất điện năng bé nhất sẽ là phương án có chi phí tính toán bé nhất. Vì vậy, hướng tiết diện tối ưu của mạng điện này sẽ được lựa chọn theo mục tiêu tổn thất điện năng bé nhất khi thay đổi chi phí kim loại màu.

Biết rằng khối lượng kim loại màu của một dây dẫn đường dây bằng

$$V = F_1 l_1 + F_2 l_2 + F_3 l_3$$

suy ra

$$F_3 = \frac{1}{l_3} (V - F_1 l_1 - F_2 l_2)$$

Thành phần hàm chi phí tính toán $Z_{\Delta A}$ sẽ viết được như sau :

$$Z_{\Delta A}(F_1, F_2, F_3) = C_0 \rho \tau \left(\frac{I_1^2 l_1}{F_1} + \frac{I_2^2 l_2}{F_2} + \frac{I_3^2 l_3}{V - F_1 l_1 - F_2 l_2} \right)$$

Đạo hàm hàm $Z_{\Delta A}$ đối theo F_1 và cho bằng 0

$$\frac{\partial Z_{\Delta A}}{\partial F_1} = C_0 \rho \tau \left(-\frac{I_1^2 l_1}{F_1^2} + \frac{I_3^2 l_3^2 l_1}{(V - F_1 l_1 - F_2 l_2)^2} \right) = 0$$

Từ đó có thể viết

$$\frac{I_1^2 l_1}{F_1^2} + \frac{I_3^2 l_3^2 l_1}{(V - F_1 l_1 - F_2 l_2)^2} = 0$$

hay là

$$-\frac{I_1^2 l_1}{F_1^2} + \frac{I_3^2 l_3^2 l_1}{F_3^2 l_3^2} = 0$$

suy ra

$$\frac{I_1}{F_1} = \frac{I_3}{F_3}, \text{ nghĩa là } J_1 = J_3.$$

Tương tự, lấy đạo hàm $Z_{\Delta A}$ theo F_2 , nhận được $J_2 = J_3$. Như vậy, tổn thất điện năng (do đó, $Z_{\Delta A}$) trên mạng điện sẽ nhỏ nhất khi mật độ dòng điện trên tất cả các đoạn đường dây không đổi

$$J_1 = J_2 = J_3 = J$$

Chính vì thế phương pháp lựa chọn tiết diện dây dẫn theo tổn thất điện áp cho phép và tổn thất điện năng nhỏ nhất còn được gọi một cách khác là lựa chọn tiết diện dây dẫn theo mật độ dòng điện không đổi,

Thủ tục lựa chọn tiến hành như sau :

Cho một trị số cảm kháng trung bình $\bar{x}_0$, xác định được thành phần tổn thất điện áp $\Delta U''$ và sụt áp $\Delta U'_{cp}$. Với mạng điện hình 6-6 có thể viết

$$\Delta U'_{cp} = \Delta U'_1 + \Delta U'_2 + \Delta U'_3 = \frac{P_1 \rho l_1}{F_1 U_{dm}} + \frac{P_2 \rho l_2}{F_2 U_{dm}} + \frac{P_3 \rho l_3}{F_3 U_{dm}}$$

Chú ý rằng $P_i = \sqrt{3} U_{dm} I_i \cos \Phi_i$, vậy :

$$\Delta U'_{cp} = \rho \sqrt{3} \left(\frac{I_1 l_1 \cos \Phi_1}{F_1} + \frac{I_2 l_2 \cos \Phi_2}{F_2} + \frac{I_3 l_3 \cos \Phi_3}{F_3} \right)$$

trong đó $\cos \Phi_i$ — hệ số công suất trên đoạn đường dây i . Thay vào biểu thức trên, mật độ dòng điện không đổi nhận được

$$J = \frac{\gamma \cdot \Delta U'_{cp}}{\sqrt{3} (l_1 \cos \Phi_1 + l_2 \cos \Phi_2 + l_3 \cos \Phi_3)}$$

Tổng quát, với đường dây có n phụ tải

$$J = \frac{\gamma \cdot \Delta U'_{cp}}{\sqrt{3} \sum_{i=1}^n l_i \cos \Phi_i} \quad (6-14)$$

trong đó $\gamma = \frac{1}{\rho}$ — điện dẫn suất của vật liệu làm dây dẫn, $km/\Omega \cdot mm^2$.

Tiết diện tối ưu trên mỗi đoạn đường dây xác định được theo trị số mật độ dòng điện không đổi theo biểu thức

$$F_i = \frac{I_i}{J} \quad (6-15)$$

Trường hợp mạng điện có phân nhánh (hình 6-7), điều kiện lựa chọn tiết diện tối ưu vẫn tuân theo (6-13) nhưng khi xác định trị số J theo (6-14)

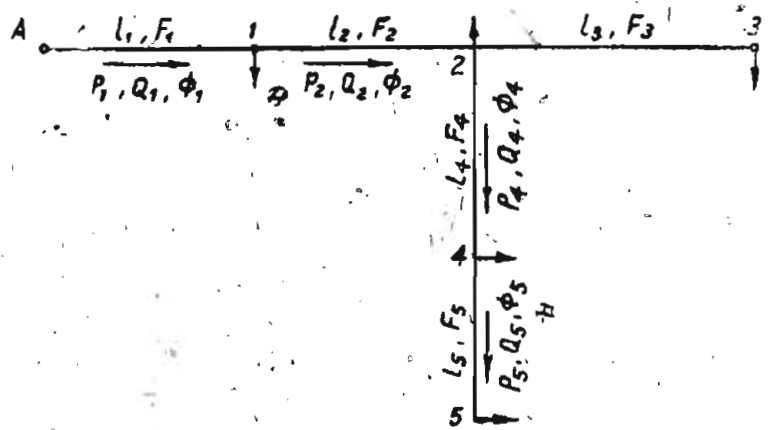
cần tính toán với tổng $\sum_{i=1}^n l_i \cos \Phi_i$

lớn nhất. Giả thiết với mạng điện đã cho, tổng đó lớn nhất theo tuyến A-1-2-4-5. Khi đó

$$J = \frac{\gamma \cdot \Delta U'_{cp}}{\sqrt{3} (l_1 \cos \Phi_1 + l_2 \cos \Phi_2 + l_4 \cos \Phi_4 + l_5 \cos \Phi_5)}$$

Các tiết diện dây nằm trên tuyến đó được lựa chọn theo công thức (6-15): F_1, F_2, F_4, F_5 . Sau đó xác định tổn thất điện áp thực trên đoạn A-1-2 và tổn thất điện áp cho phép trên đoạn 2-3.

$$\Delta U_{cp23} = \Delta U_{cp} - \Delta U_{A2}$$



Hình 6-7

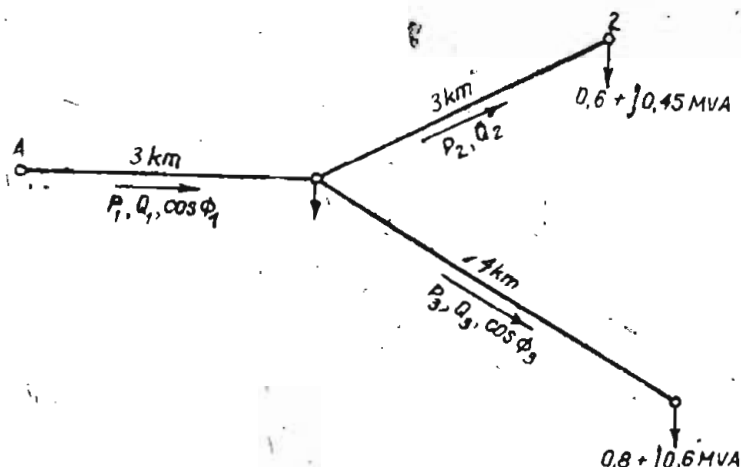
Từ đó tính được

$$\Delta U'_{cp23} = \Delta U_{cp23} - \frac{Q_3 x_{ol3}}{U_{dm}}$$

Cuối cùng xác định được tiết diện đoạn 2-3

$$F_3 = \frac{\rho P_3 l_3}{\Delta U'_{cp23} U_{dm}}$$

Cần chú ý là mật độ dòng điện xác định được theo (6-14) cần so sánh với mật độ kinh tế J_{kt} , trị số nào nhỏ hơn sẽ được dùng để xác định tiết diện dây dẫn. Tất nhiên, sau khi lựa chọn được tiết diện dây cần tiến hành kiểm tra điều kiện tổn thất điện áp.



Hình 6-8

Ví dụ 6-3. Mạng điện 10 kV cung cấp cho 3 nghiệp bằng đường dây trên không, dây dẫn nhôm. Thời gian sử dụng công suất lớn nhất của các phụ tải là $T_{max} = 4500 h$. Hãy xác định tiết diện dây dẫn cho mạng điện đó, (hình 6-8) nếu tổn thất điện áp cho phép là 6%.

Giải. Cho $\bar{x}_0 = 0,35$. Xác định được trị số $\Delta U''$ theo tuyến A-1-3 là

$$\begin{aligned} \Delta U''_{A3} &= \frac{0,35}{10} 0,6 \cdot 0,35 \cdot 4 + (0,6 + 0,45 + 0,75) 0,35 \cdot 3 = \\ &= 0,274 kV = 274 V \end{aligned}$$

Tổn thất điện áp cho phép trên điện trở tuyến A-1-3

$$\Delta U_{A3} = \Delta U_{cp} = \Delta U''_{A3} = 6\% \cdot 10000 - 274 = 326 V$$

Mật độ dòng điện không đổi xác định như sau

$$J = \frac{\gamma \Delta U_{A3}}{\sqrt{3} (l_1 \cos \Phi_1 + l_3 \cos \Phi_3)}$$

Theo bảng 1-1 tra được $\gamma = 31,7 \cdot 10^{-3} km/\Omega \cdot mm^2$, và chú ý là trong trường hợp này do hệ số công suất của 3 phụ tải đều bằng 0,8 nên $\cos \Phi_1 = \cos \Phi_3 = 0,8$. Do đó:

$$J = \frac{31,7 \cdot 10^{-3} \cdot 326}{3(3 \cdot 0,8 + 4 \cdot 0,8)} = 1,05 A/mm^2$$

Với dây nhôm và $T_{max} = 4500 h$ tra được $J_{kt} = 1,1$. Thấy rằng $J < J_{kt}$ nên dùng $J = 1,05 A/mm^2$ xác định tiết diện

$$F_1 = \frac{I_1}{J} = \frac{P_1}{\sqrt{3} J U_{dm} \cos \Phi_1} = \frac{1 + 0,8 + 0,6}{3 \cdot 1,05 \cdot 10 \cdot 0,8} \cdot 10^3 = 158 mm^2$$

$$F_3 = \frac{I_3}{J} = \frac{0,8}{\sqrt{3} \cdot 1,05 \cdot 10 \cdot 0,8} \cdot 10^3 = 52,5 mm^2$$

Chọn tiết diện đoạn 1 là A-150, đoạn 3 là A-50.

Tra bảng với $D = 1 \text{ m}$ có

$$Z_{01} = 0,21 + j 0,319 \Omega/\text{km}$$

$$Z_{03} = 0,63 + j 0,355 \Omega/\text{km}.$$

Kiểm tra lại tổn thất điện áp với những tiết diện vừa chọn

$$\begin{aligned} \Delta U_{A3} &= \\ &= \frac{(1 + 0,8 + 0,6)0,21 \cdot 3 + (0,75 + 0,45 + 0,6)0,319 \cdot 3 + 0,8 \cdot 0,63 \cdot 4 + 0,6 \cdot 0,355}{10} \\ &= 0,608 \text{ kV} = 608 \text{ V}. \end{aligned}$$

So sánh trị số đó với $\Delta U_{cp} = 600 \text{ V}$, thấy rằng những tiết diện vừa chọn là hợp lí.

Tổn thất điện áp cho phép trên đoạn 1-2

$$\begin{aligned} \Delta U_{cp12} &= \Delta U_{cp} - \Delta U_{A1} = \\ &= 600 \text{ V} - \frac{(1 + 0,8 + 0,6)0,21 \cdot 3 + (0,75 + 0,45 + 0,6)0,319 \cdot 3}{10} 100 = 277 \text{ V} \end{aligned}$$

và

$$\Delta U'_{cp12} = 277 - \frac{0,35 \cdot 0,45 \cdot 3}{10} 10^3 = 232 \text{ V}.$$

Tiết diện đoạn 1-2

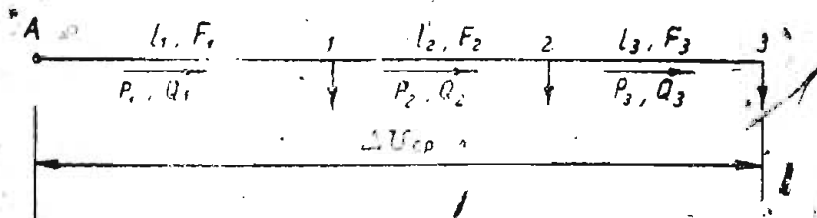
$$F_2 = \frac{31,5 \cdot 0,6 \cdot 3}{232 \cdot 10} = 24,5 \text{ mm}^2.$$

Tiết diện tiêu chuẩn chọn dùng trên đoạn 1-2 là 25 mm^2 , A-25.

6-4. XÁC ĐỊNH TIẾT DIỆN DÂY DẪN THEO CHI PHÍ KIM LOẠI ÍT NHẤT

Đối với những mạng điện có T_{max} nhỏ, ví dụ mạng điện cung cấp cho phụ tải nông nghiệp, chiếu sáng, thành phần Z_k chiếm tỷ trọng lớn hơn $Z_{\Delta A}$ trong hàm chi phí tính toán Z . Vì vậy hàm Z sẽ có trị số nhỏ nhất khi Z_k nhỏ nhất. Tiết diện dây dẫn lựa chọn sao cho Z_k đạt giá trị nhỏ nhất gọi là tiết diện tối ưu theo chi phí kim loại ít nhất (bởi vì Z_k tỷ lệ thuận với khối lượng kim loại). Giả thiết có mạng điện cung cấp cho một số phụ tải (hình 6-9) với tổn thất điện áp cho phép là ΔU_{cp} . Cho một trị số trung bình x_0 sẽ xác định được $\Delta U''$ và $\Delta U'_{cp}$

$$\Delta U_{cp} = \Delta U'_1 + \Delta U'_2 + \Delta U'_3$$



Hình 6-9

trong đó

$$\begin{aligned} \Delta U'_1 &= \frac{P_1 l_1}{\gamma U_{dm} F_1}; \quad \Delta U'_2 = \frac{P_2 l_2}{\gamma U_{dm} F_2}; \\ \Delta U'_3 &= \frac{P_3 l_3}{\gamma U_{dm} F_3}. \end{aligned}$$

Tiết diện các đoạn dây tính được theo các trị số ΔU theo các biểu thức

$$F_1 = \frac{P_1 l_1}{\gamma U_{dm} \Delta U_1}; F_2 = \frac{P_2 l_2}{\gamma U_{dm} \Delta U_2}; F_3 = \frac{P_3 l_3}{\gamma U_{dm} \Delta U_3}$$

Đã biết biểu thức của hàm Z_k

$$Z_k(F_i) = (a_{vh} + a_{ic}) [k_o (l_1 + l_2 + l_3) + k_o' (F_1 l_1 + F_2 l_2 + F_3 l_3)] = \\ = a [k_o + k_o' (F_1 l_1 + F_2 l_2 + F_3 l_3)].$$

Thay các biểu thức của F_i theo ΔU_i vào biểu thức của $Z_k(F_i)$ nhận được;

$$Z_k(\Delta U_i) = a \left[k_o + \frac{k_o'}{\gamma U_{dm}} \left(\frac{P_1 l_1^2}{\Delta U_1} + \frac{P_2 l_2^2}{\Delta U_2} + \frac{P_3 l_3^2}{\Delta U_{cp} - \Delta U_1 - \Delta U_2} \right) \right]$$

Để có $Z_k(F_i)$ nhỏ nhất cần lấy đạo hàm Z_k và cho bằng không

$$\frac{\partial Z_k}{\partial (\Delta U_1)} = \frac{k_o'}{U_{dm}} \left(-\frac{P_1 l_1^2}{(\Delta U_1)^2} + \frac{P_3 l_3^2}{(\Delta U_{cp} - \Delta U_1 - \Delta U_2)^2} \right) = 0.$$

Suy ra

$$\frac{P_1 l_1^2}{(\Delta U_1)^2} = \frac{P_3 l_3^2}{(\Delta U_3)^2}$$

Lấy căn hai vế, nhận được

$$\frac{l_1 \sqrt{P_1}}{\Delta U_1} = \frac{l_3 \sqrt{P_3}}{\Delta U_3}$$

Tương tự, lấy đạo hàm hàm Z_k theo ΔU_2 , nhận được

$$\frac{l_2 \sqrt{P_2}}{U_1} = \frac{l_3 \sqrt{P_3}}{U_3}$$

Bây giờ thay ΔU_i bằng các biểu thức theo F_i

$$\frac{l_1 \sqrt{P_1}}{\frac{P_1 l_1}{\gamma U_{dm} F_1}} = \frac{l_2 \sqrt{P_2}}{\frac{P_2 l_2}{\gamma U_{dm} F_2}} = \frac{l_3 \sqrt{P_3}}{\frac{P_3 l_3}{\gamma U_{dm} F_3}}$$

Sau khi đơn giản nhận được

$$\frac{\sqrt{P_1}}{F_1} = \frac{\sqrt{P_2}}{F_2} = \frac{\sqrt{P_3}}{F_3}$$

Tổng quát, với mạng có n phụ tải, điều kiện lựa chọn tiết diện để đạt được chi phí kim loại nhỏ nhất (do đó Z_k nhỏ nhất) là

$$\frac{\sqrt{P_m}}{F_m} = \text{hằng số} \quad (6-16)$$

Nhờ điều kiện (6-16) dễ dàng xác định được tiết diện tối ưu các đoạn đường dây

$$\Delta U_{cp} = \frac{P_1 l_1}{\gamma U_{dm} F_1} + \frac{P_2 l_2}{\gamma U_{dm} F_2} + \frac{P_3 l_3}{\gamma U_{dm} F_3} = \\ = \frac{P_1 l_1}{\gamma U_{dm} \sqrt{\frac{P_1}{P_3}} F_3} + \frac{P_2 l_2}{\gamma U_{dm} \sqrt{\frac{P_2}{P_3}} F_3} + \frac{P_3 l_3}{\gamma U_{dm} F_3}$$

Từ đó suy ra

$$F_3 = \frac{\sqrt{P_3}}{\gamma U_{dm} \Delta U'_{cp}} [l_1 \sqrt{P_1} + l_2 \sqrt{P_2} + l_3 \sqrt{P_3}]$$

Tương tự

$$F_2 = \frac{\sqrt{P_2}}{\gamma U_{dm} \Delta U'_{cp}} [l_1 \sqrt{P_1} + l_2 \sqrt{P_2} + l_3 \sqrt{P_3}]$$

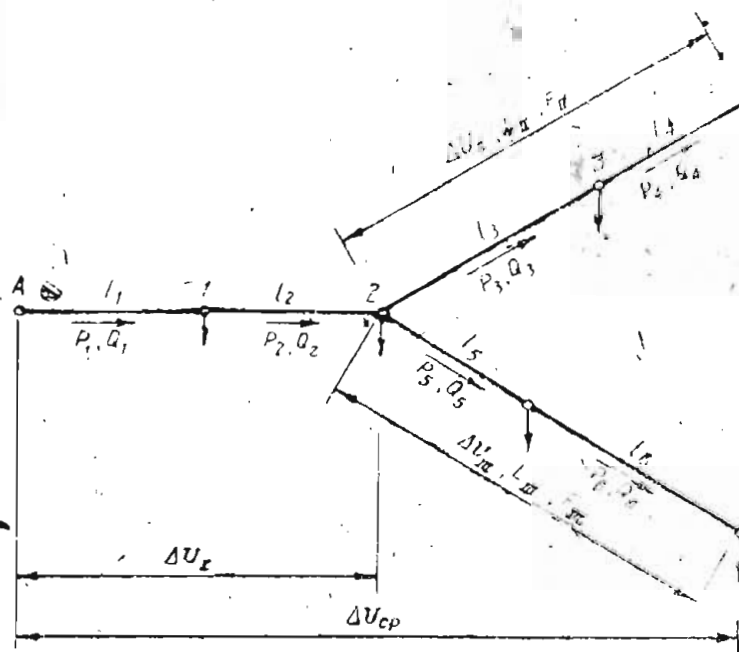
$$F_1 = \frac{\sqrt{P_1}}{\gamma U_{dm} \Delta U'_{cp}} [l_1 \sqrt{P_1} + l_2 \sqrt{P_2} + l_3 \sqrt{P_3}]$$

Tổng quát, công thức xác định tiết diện tối ưu theo chi phí kim loại ít nhất của đoạn đường dây k ở mạng có n phụ tải như sau:

$$F_k = \frac{\sqrt{P_k}}{\gamma U_{dm} \Delta U'_{cp}} \sum_{i=1}^n l_i \sqrt{P_i} \quad (6-17)$$

Đối với mạng điện phân nhánh (hình 6-10), với những ký hiệu quy ước trên hình vẽ, có thể viết

$$\Delta U'_{cp} = \Delta U'_{cpI} + \Delta U'_{cpII} = \Delta U'_{cpI} + \Delta U'_{cpIII}.$$



Hình 6-1)

Nếu như xác định được tổn thất điện áp cho phép trên các phần đường dây thì có thể xác định được tiết diện của chúng theo những biểu thức sau:

$$\left. \begin{aligned} F_I &= \frac{P_1 l_1 + P_2 l_2}{\gamma U_{dm} \Delta U'_{cpI}} = \frac{M_I}{\gamma U_{dm} \Delta U'_{cpI}} \\ F_{II} &= \frac{P_3 l_3 + P_4 l_4}{\gamma U_{dm} \Delta U'_{cpII}} = \frac{M_{II}}{\gamma U_{dm} \Delta U'_{cpII}} \\ F_{III} &= \frac{P_5 l_5 + P_6 l_6}{\gamma U_{dm} \Delta U'_{cpIII}} = \frac{M_{III}}{\gamma U_{dm} \Delta U'_{cpIII}} \end{aligned} \right\} \quad (6-18)$$

Trong trường hợp này hàm Z_k có dạng

$$Z_k(F_i) = a [k'_0 + k''_0 (F_I L_I + F_{II} L_{II} + F_{III} L_{III})] =$$

$$= a \left[k'_0 + \frac{k''_0}{U_{dm}} \left(\frac{M_I L_I}{\Delta U'_{cpI}} + \frac{M_{II} L_{II} + M_{III} L_{III}}{\Delta U'_{cp} - \Delta U'_{cpI}} \right) \right]$$

Lấy đạo hàm và cho bằng không

$$\frac{\partial Z_k}{\partial (\Delta U'_{cpI})} = - \frac{M_I L_I}{(\Delta U'_{cpI})^2} + \frac{M_{II} L_{II} + M_{III} L_{III}}{(\Delta U'_{cp} - \Delta U'_{cpI})^2} = 0$$

Sau một vài biến đổi nhận được

$$\Delta U'_{cpI} = \frac{\Delta U'_{cp}}{1 + \sqrt{\frac{M_{II} L_{II} + M_{III} L_{III}}{M_I L_I}}} \quad (6-19)$$

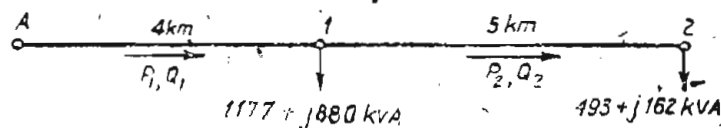
Từ đây xác định được tổn thất điện áp cho phép trên các mạch nhánh:

$$\Delta U'_{cpII} = \Delta U'_{cpIII} = \Delta U'_{cp} - \Delta U'_{cpI}$$

Cuối cùng, nhờ các công thức (6-18) xác định được tiết diện tối ưu trên mỗi phần mạng điện. Sau đó tiến hành kiểm tra lại điều kiện tổn thất điện áp.

Muốn đạt được lời giải kinh tế hơn cần so sánh các tiết diện tìm được theo (6-18) với các tiết diện tính theo mật độ kinh tế của dòng điện. Nếu có tiết diện nào đó bé hơn cần lấy tăng lên bằng F_{kt} . Việc lựa chọn như vậy sẽ làm tăng chi phí kim loại nhưng chi phí tính toán tổng sẽ giảm xuống.

Ví dụ 6-4. Mạng điện 10 kV cung cấp cho hai trạm bơm (hình 6-11), tổn thất điện áp cho phép bằng 6%. Hãy lựa chọn tiết diện dây dẫn theo hai phương án: theo mật độ dòng điện không đổi và theo chi phí kim loại ít nhất; phân tích kết quả.



Hình 6-11

Giải. Cho $\bar{x}_0 = 0,4 \Omega/km$, xác định được tổn thất điện áp trên cảm kháng đường dây

$$\Delta U'' = \frac{0,36}{10} (162 + 880) 4 + 162 \cdot 5 = 179V.$$

Tổn thất điện áp cho phép trên điện trở

$$\Delta U' = U_{cp} - \Delta U'' = 600 - 179 = 421V.$$

Để xác định tiết diện dây theo mật độ dòng điện không đổi cần biết hệ số công suất trên các đoạn (ký hiệu là $\cos\Phi$, còn ở phụ tải kí hiệu $\cos\varphi$)

$$\cos\Phi_2 = \cos\varphi_2 = \frac{162}{493^2 + 162^2} = 0,95$$

$$\cos\Phi_1 = \frac{493 + 1177}{(493 + 1177)^2 + (162 + 880)^2} = 0,847$$

Mật độ dòng điện không đổi trên toàn mạng điện

$$J = \frac{\gamma \Delta U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot (l_1 \cos \Phi_1 + l_2 \cos \Phi_2)} = \frac{31,7 \cdot 421}{3 (4 \cdot 0,847 + 5 \cdot 0,95)} = 0,96 \text{ A/mm}^2$$

Tiết diện dây dẫn trên mỗi đoạn

$$F_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_{dm} \cos \Phi_1 J} = \frac{1177 + 493}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,847 \cdot 0,96} = 119 \text{ mm}^2$$

$$F_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} U_{dm} \cos \Phi_2 J} = \frac{493}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,95 \cdot 0,96} = 31,2 \text{ mm}^2$$

Lựa chọn dây dẫn A-120 và A-35. Không cần kiểm tra tổn thất điện áp vì các tiết diện đều được chọn lớn hơn trị số tính toán

Theo (6-17) xác định được tiết diện dây dẫn đảm bảo chi phí kim loại ít nhất

$$F_2 = \frac{\sqrt{P_2}}{\gamma U_{dm} \Delta U_{cp}} \sum_{i=1}^2 l_i \sqrt{P_i} =$$

$$= \frac{\sqrt{493} \cdot 10^3}{10 \cdot 421 \cdot 31,7} [3 \sqrt{493} + 4 \sqrt{1670}] = 45 \text{ mm}^2$$

Tiết diện đoạn 1 xác định theo F_2 dựa vào quan hệ (6-16)

$$F_1 = \sqrt{\frac{P_1}{P_2}} F_2 = \sqrt{\frac{1670}{493}} 45 = 82 \text{ mm}^2$$

Lựa chọn tiết diện trên đoạn 1 và 2 là A-70 và A-50. Với $D = 1\text{m}$ và dây A-70, A-50 tra bảng có

$$Z_{01} = 0,45 + j0,341 \Omega/\text{km}$$

$$Z_{02} = 0,63 + j0,355 \Omega/\text{km}$$

Tổn thất điện áp toàn mạng điện

$$\Delta U \% = \frac{(1670 \cdot 0,45 + 1042 \cdot 0,341) 4 + (493 \cdot 0,63 + 162 \cdot 0,355) 5}{10^2} 100 =$$

$$= 6,2 \% \approx \Delta U_{cp} \%$$

Để tiện so sánh hai phương pháp lựa chọn tiết diện tiến hành tính tổn thất công suất và khối lượng kim loại màu cho từng phương án.

Dây A-120 có $r_0 = 0,27$, A-35 có $r_0 = 0,91 \Omega/\text{km}$. Khối lượng kim loại màu dùng cho phương án I

$$V_5 = 3F_1 l_1 + 3F_2 l_2 = (3 \cdot 120 \cdot 4 \cdot 10^3 + 3 \cdot 35 \cdot 5 \cdot 10^3) 10^{-6}$$

$$= 1,965 \text{ m}^3$$

Tổn thất công suất trên mạng điện phương án I

$$\Delta P_1 = \frac{(1670)^2 + (1042)^2}{(10)^2} 0,27 \cdot 4 + \frac{(493)^2 + (162)^2}{(10)^2} 0,91 \cdot 5 = 54 \text{ kW}$$

Tổn thất điện áp cho phép trên các nhánh

$$\Delta U_{cpII} = \Delta U_{cpIII} = 1600 - 820 = 780V.$$

Từ đó xác định được tiết diện tối ưu các phần mạng điện

$$F_I = \frac{M_I}{\gamma U_{dm} \Delta U_{cpI}} = \frac{6,5 \cdot 2 + 4 \cdot 5 \cdot 3}{31,7 \cdot 35 \cdot 820} \cdot 10^8 = 29,5 mm^2$$

$$F_{II} = \frac{M_{II}}{\gamma U_{dm} \Delta U_{cpII}} = \frac{1,5 \cdot 8}{31,7 \cdot 35 \cdot 780} \cdot 10^8 = 14 mm^2$$

$$F_{III} = \frac{M_{III}}{U_{dm} \Delta U_{cpIII}} = \frac{1 \cdot 58}{31,7 \cdot 35 \cdot 780} \cdot 10^8 = 5,8 mm^2.$$

Chọn dây dẫn phần I là A-25, hai phần còn lại A-16 (chú ý tiết diện nhỏ nhất cho phép về độ bền cơ khí của đường dây trên không là $16 mm^2$).

Với dây A-25; $D = 1,25m$ có $Z_0 = 1,27 + j0,391 \Omega/km$

Với dây A-16; $D = 1,25m$ có $Z_0 = 1,96 + j0,4050 \Omega/km$

Thử lại điều kiện tổn thất điện áp

$$\Delta U_{A3} = \frac{(6,5 \cdot 1,27 \cdot 2 + 2 \cdot 50 \cdot 0,391 \cdot 2) + (4,5 \cdot 1,27 \cdot 3 + 1,5 \cdot 0,391 \cdot 2) + (1,5 \cdot 1,96 + 0,5 \cdot 0,4) \cdot 8}{35} = 1,770 kV$$

hay là

$$\Delta U_{A3} \% = \frac{1,770}{35} \cdot 100 = 5,05 \% \approx \Delta U_{cp}.$$

Tuy nhiên, nếu các trạm bơm đó là quan trọng, hoặc đường dây qua vùng đông dân cần chọn dùng A-25 cho toàn mạng điện.

6.5. CHỌN TIẾT DIỆN DÂY DẪN MẠNG ĐIỆN KÍN.

Lựa chọn tiết diện dây dẫn mạng điện kín là một bài toán khó. Muốn lựa chọn đúng tiết diện dây dẫn cần biết phân bố công suất chính xác, điều này không thể làm được vì chưa biết tổng trở các đoạn dây do chưa biết tiết diện. Vì vậy, chỉ có thể xác định tiết diện dây dẫn mạng điện kín bằng phương pháp gần đúng. Đối với mạng điện khu vực, do phải chuyển tải công suất lớn, tiết diện dây dẫn thường khá lớn, nghĩa là $R \ll X$, do đó phân bố công suất chủ yếu phụ thuộc X . Nhưng x_0 hầu như không thay đổi khi tiết diện thay đổi nên X lại chủ yếu phụ thuộc chiều dài dây. Với nhận xét đó có thể rút ra kết luận là với mạng điện kín, khu vực công suất được phân bố gần đúng theo chiều dài các đoạn dây. Từ đó suy ra phương pháp lựa chọn tiết diện cho nó như sau: Xác định phân bố công suất gần đúng theo chiều dài [công thức (3-11), (3-12)], căn cứ vào trị số công suất chạy trên mỗi đoạn xác định tiết diện dây dẫn theo mật độ kinh tế dòng điện [công thức (6-5)], cuối cùng kiểm tra tiết diện lựa chọn theo các điều kiện kỹ thuật sau đây:

Dòng điện lớn nhất khi sự cố nhỏ hơn dòng điện lâu dài cho phép

$$I_{max} \leq I_{cp} \quad (6-20)$$

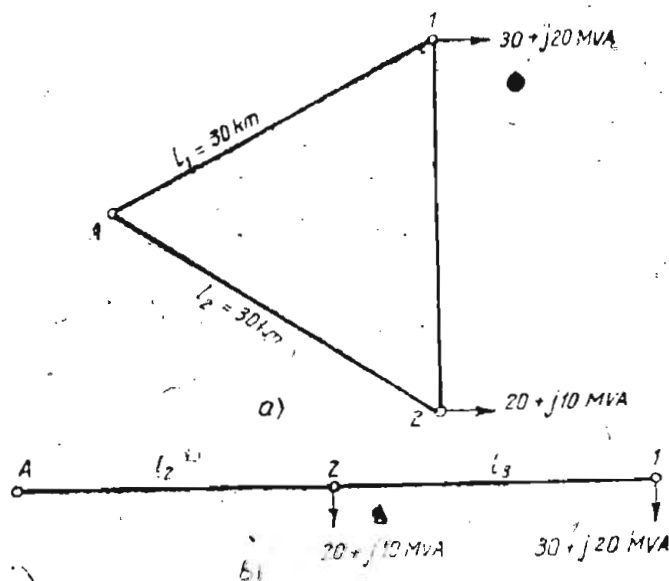
tổn thất điện áp lúc bình thường nhỏ hơn tổn thất điện áp cho phép lúc bình thường

$$\Delta U_{bt} \leq \Delta U_{\text{phb}} \quad (6-21)$$

tổn thất điện áp lúc sự cố nguy hiểm nhất nhỏ hơn tổn thất điện áp cho phép lúc sự cố

$$\Delta U_{sc} \leq \Delta U_{\text{cpsc}} \quad (6-22)$$

Đối với mạng điện kín địa phương nếu như các phụ tải tương đối dày thì tốt nhất nên chọn cùng một tiết diện dây trên tất cả các đoạn. Như vậy, có thể tiến hành phân bố công suất theo chiều dài, sau đó lựa chọn tiết diện dây theo phương pháp đã biết.



Hình 6-13

Trường hợp các phụ tải cách xa nhau, cần phải chọn mỗi đoạn dây một tiết diện khác nhau. Chú ý rằng tổn thất điện năng cũng như chi phí kim loại mẫu đều tỷ lệ với chiều dài dây, có thể sơ bộ phân bố công suất theo nguyên tắc sau đây: Các phụ tải được nhận điện từ nguồn gần nhất. Nguyên tắc đó cho phép dễ dàng tách mạng kín làm hai mạng hở căn cứ vào khoảng cách từ nguồn đến phụ tải, sau đó tiến hành lựa chọn tiết diện bình thường cho hai mạng điện hở đó.

Với mạng điện kín địa phương, tiết diện lựa chọn được cũng phải thỏa mãn các điều kiện (6-20) — (6-22).

Ví dụ 6-6. Mạng điện kín khu vực 110 kV cung cấp điện cho hai phụ tải có thời gian sử dụng công suất lớn nhất $T_{\max} = 5500h$. Yêu cầu lựa chọn tiết diện thỏa mãn tổn thất điện áp cho phép lúc bình thường bằng 10%, khi sự cố bằng 15%.

Giải: Phân bố công suất mạng điện (hình 6-13) theo chiều dài:

$$S_1 = \frac{(30 + j20)(40 + 30) + (20 + j10)(30)}{30 + 30 + 40} = 27 + j17 \text{ MVA}$$

$$S_2 = \frac{(20 + j10)(40 + 30) + (30 + j20) \cdot 30}{100} = 23 + j13 \text{ MVA}$$

$$S_3 = 3 + j3 \text{ MVA}$$

Với $T_{\max} = 5500h$, dây nhôm, tra bảng có $J_{kt} \approx 1$. Tiết diện kinh tế trên mỗi đoạn đường dây bằng

$$F_1 = \frac{\sqrt{27^2 + 17^2}}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 1} 10^3 = 170 \text{ mm}^2$$

$$F_2 = \frac{\sqrt{23^2 + 13^2}}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 1} = 140 \text{ mm}^2$$

$$F_3 = \frac{\sqrt{3^2 + 3^2}}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 1} = 22,3 \text{ mm}^2$$

Chọn dùng dây dẫn các đoạn là AC-185, AC-150 và AC-70 (chú ý rằng 70 là tiết diện nhỏ nhất quy định cho đường dây 110 kV nhằm hạn chế văng quang điện).

Với các tiết diện trên và $D = 5m$, có

$$Z_{01} = 0,17 + j0,407; Z_{02} = 0,21 + j0,420; Z_{03} = 0,45 + j0,442 \Omega/km$$

Điểm 1 có điện áp thấp nhất mạng điện, vì thế xác định được tổn thất điện áp lớn nhất lúc bình thường là

$$\Delta U_{A1}\% = \frac{27 \cdot 0,17 \cdot 30 + 17 \cdot 0,407 \cdot 30}{110^2} 100 = 2,86\% < \Delta U_{cpbt} = 10\%$$

Trường hợp sự cố nguy hiểm nhất là đứt đoạn dây A1, lúc đó trở thành mạng điện hở A-2-1 (hình 6-13,b). Dòng điện chạy trên đoạn 1 và 3 sẽ bằng

$$I_{\max 1} = \frac{\sqrt{50^2 + 30^2}}{\sqrt{3} \cdot 110} 10^3 = 306A < I_{cp} = 515A$$

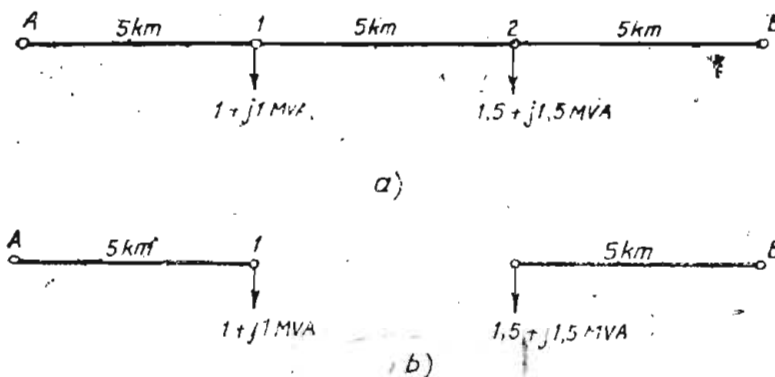
$$I_{\max 2} = \frac{\sqrt{30^2 + 20^2}}{\sqrt{3} \cdot 110} 10^3 = 190A < I_{cp} = 265A$$

Tổn thất điện áp lớn nhất khi sự cố

$$\begin{aligned} \Delta U_{A2}\% &= \frac{(50 \cdot 0,17 + 30 \cdot 0,407)30 + (30 \cdot 0,45 + 20 \cdot 0,442)40}{110^2} 100 = \\ &= 12,5\% < \Delta U_{cpst} = 15\% \end{aligned}$$

Các tiết diện lựa chọn như trên là thỏa mãn.

Ví dụ 6-7. Hai phụ tải công nghiệp được cung cấp điện từ hai nguồn A và B (hình 5-14,a). Yêu cầu xác định tiết diện dây dẫn thỏa mãn điều kiện tổn thất điện áp cho phép lúc bình thường là 5% khi sự cố 10%. Biết rằng điện áp mạng điện $U_{dm} = 10 kV$ và số giờ sử dụng công suất lớn nhất $T_{\max} = 5200h$.



Hình 6-14

Giải. Với mạng điện này nên chọn mỗi đoạn một tiết diện. Muốn vậy, tách ra làm hai mạng hở (hình 6-14,b). Tiết diện mỗi đoạn được xác định theo mật độ dòng điện không đổi.

Cho trị số $x_0 = 0,35 \Omega/km$.

$$\Delta U_{A1}'' = 0,35 \cdot \frac{1 \cdot 5}{10} 10^3 = 175V$$

$$\Delta U_{B2}'' = 0,35 \cdot \frac{1 \cdot 5}{10} 10^2 = 262V.$$

Tổn thất điện áp cho phép trên điện trở mỗi đoạn

$$\Delta U_{A1} = 5\% \cdot 10000 - 175 = 325V$$

$$\Delta U_{B2} = 5\% \cdot 10000 - 262 = 248V.$$

Mật độ dòng điện không đổi mỗi đoạn

$$J_{A1} = \frac{31,7 \cdot 325}{\sqrt{3} \cdot 5 \cdot 0,71} \cdot 10^{-3} = 1,65 \text{ A/mm}^2$$

$$J_{B2} = \frac{31,7 \cdot 248}{\sqrt{3} \cdot 5 \cdot 0,71} \cdot 10^{-3} = 1,25 \text{ A/mm}^2$$

Nhận thấy $J_{A1} = 1,65 > J_{B2} = 1,25 > J_{kt} = 1$ nên chọn tiết diện theo J_{kt} .

Tiết diện kinh tế các đoạn

$$F_{A1} = \frac{\sqrt{1^2 + 1^2}}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1} \cdot 10^3 = 81,5 \text{ mm}^2$$

$$F_{B2} = \frac{\sqrt{(1,5)^2 + (1,5)^2}}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1} \cdot 10^3 = 123 \text{ mm}^2$$

Chọn tiết diện đoạn A1 là 95 mm^2 , đoạn B2 là 120 mm^2 đoạn 12 là 95 mm^2 . Không cần kiểm tra tổn thất điện áp trong chế độ làm việc bình thường.

Sự cố nguy hiểm nhất là đứt dây B2. Lúc đó dòng điện lớn nhất chạy trên đoạn A1 là

$$I_{\max A1} = \frac{\sqrt{(2,5)^2 + (2,5)^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} \cdot 10^3 = 205 \text{ A} < I_{cp} = 325 \text{ A}.$$

Với dây A-95 và $D = 1 \text{ m}$ có $Z_0 = 0,33 + j0,332 \Omega/\text{km}$

$$\begin{aligned} \Delta U_{A12\%} &= \frac{(2,5 \cdot 0,33 + 2,5 \cdot 0,332)5 + (1,5 \cdot 0,33 + 1,5 \cdot 0,332)5}{10^2} \cdot 100 = \\ &= 13,3\% > \Delta U_{cpac} = 10\%. \end{aligned}$$

Cần phải nâng tiết diện đoạn A1 lên 120 mm^2 , nghĩa là lần lượt chọn dùng các dây dẫn trên 3 đoạn là A-120, A-95, A-120.

6.6. LỰA CHỌN MÁY BIẾN ÁP

Số lượng máy biến áp đặt trên một trạm căn cứ chủ yếu vào yêu cầu đảm bảo cung cấp điện của hộ tiêu thụ: trạm cung cấp cho hộ loại một cần đặt ít nhất là hai máy, với hộ loại ba thường chỉ cần đặt một máy. Công suất máy biến áp được chọn sao cho trạm có thể đáp ứng được phụ tải lớn nhất, nghĩa là với trạm 1 máy

$$S_{dMB} > S_{\max} \quad (6-23)$$

Với trạm n máy

$$S_{dMB} > \frac{S_{\max}}{n} \quad (6-24)$$

trong đó

$S_{\text{đmB}}$ -- công suất định mức của máy biến áp.

Công suất định mức của máy biến áp là công suất đảm bảo cho máy biến áp làm việc liên tục khoảng 20 năm trong điều kiện điện áp định mức và nhiệt độ môi trường định mức. Khi nhiệt độ môi trường θ khác định mức θ_0 , muốn đảm bảo tuổi thọ đó của máy biến áp, cần hiệu chỉnh công suất theo công thức sau

34-IC

$$S'_{\text{đmB}} = S_{\text{đmB}} \left(1 + \frac{\theta_0 - \theta}{100} \right) \quad (6-25)$$

Như đã biết, phụ tải luôn luôn biến động theo thời gian không phải lúc nào trạm biến áp cũng phải làm việc với S_{max} , vì thế trong máy biến áp còn dự trữ cách điện, cho phép xét tới khả năng quá tải mà không làm giảm tuổi thọ của chúng.

Quá tải bình thường của máy biến áp được xác định căn cứ vào hai quy tắc: quy tắc 3% và quy tắc 1%. Theo quy tắc 3% máy biến áp có thể tải công suất lớn hơn định mức tùy thuộc vào hệ số điện kín phụ tải ngày đêm:

$$k_t = 1 + (1 - k_d)0,3 \quad (6-26)$$

trong đó

k_t -- hệ số tải cho phép của máy biến áp theo quy tắc 3%, $k_t > 1$.

k_d -- hệ số điện kín phụ tải

33-ID

$$k_d = \frac{S_{\text{tb}}}{S_{\text{max}}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{\text{ti}}}{24 S_{\text{max}}} \quad (6-27)$$

Quy tắc 1% phát biểu như sau: cứ mỗi phần trăm non tải mùa hè, máy biến áp được phép quá tải 1% về mùa đông nhưng không được quá 15%:

Có thể áp dụng đồng thời hai quy tắc trên để xác định khả năng quá tải của máy biến áp nhưng tổng công suất quá tải không được vượt quá 30%.

Mặc dù đã xét quá tải bình thường, máy biến áp vẫn còn dự trữ cách điện, lượng dự trữ cách điện này có thể sử dụng xét quá tải sự cố. Trong chế độ sự cố các máy biến áp dầu làm mát bằng không khí được phép quá tải đến 40% trong 5 ngày đêm với thời gian quá tải không quá 6 giờ mỗi ngày. Khi đó hệ số điện kín phụ tải phải thỏa mãn điều kiện

$$k_d = \frac{S_{\text{tb}}}{1,4 S_{\text{đm}}} \leq 0,75 \quad (6-28)$$

Ngoài ra, khi sự cố, không phụ thuộc vào hệ số tải trước đó và nhiệt độ của môi trường, cho phép quá tải của máy biến áp như sau:

Quá tải, %	30	60	75	100	200
Thời gian quá tải, phút	120	45	20	10	1,5

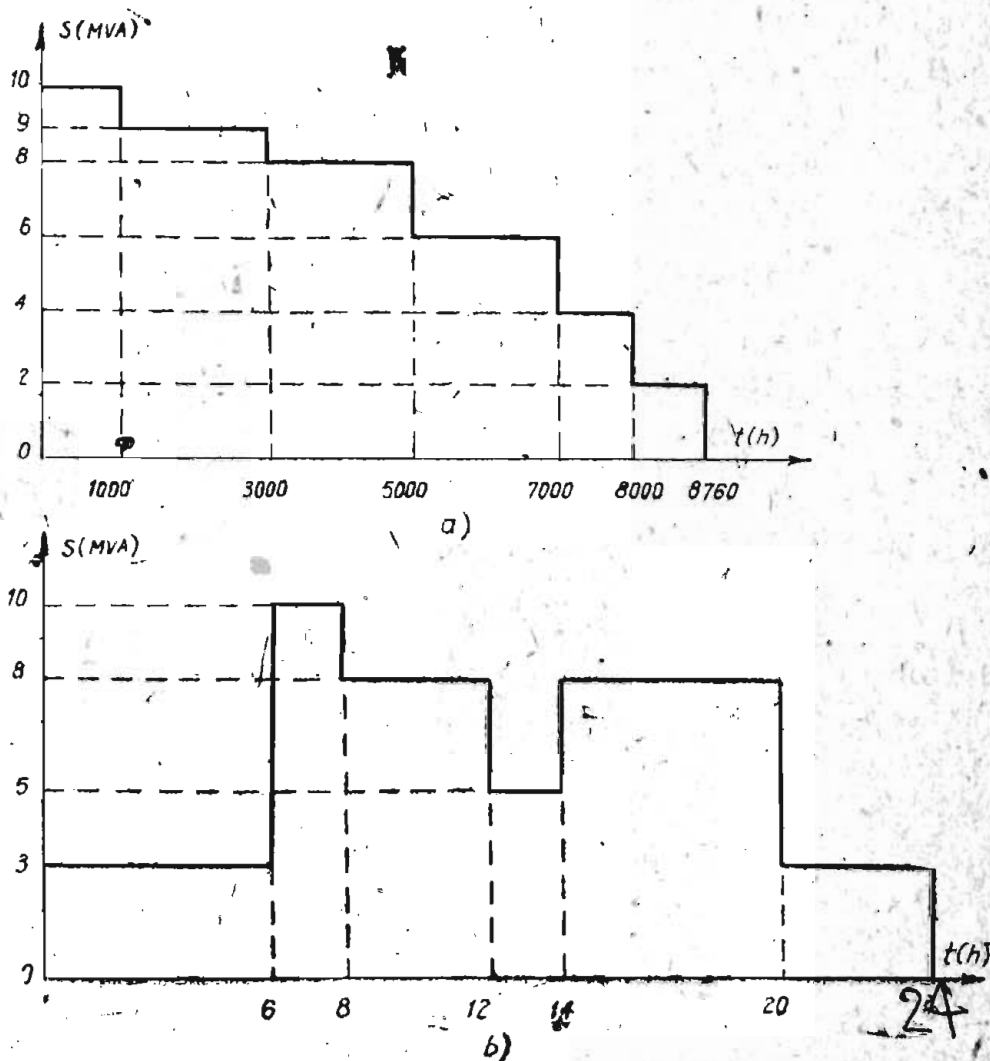
Như vậy, với trạm n máy biến áp, khi sự cố một máy những máy còn lại làm việc quá tải 40% phải chuyển tải đủ công suất yêu cầu S_c là công suất của

những phụ tải quan trọng không thể ngừng cung cấp điện, ví dụ hộ loại một. Muốn vậy, công suất máy biến áp cần được lựa chọn theo bất đẳng thức

$$S_{\text{đmB}} \geq \frac{S_{\text{sc}}}{1,4(n-1)} \quad (6-29)$$

Nhờ xét quá tải bình thường và sự cố, trong nhiều trường hợp có thể chọn được máy biến áp nhỏ đi một cấp. Song, điều đó không phải lúc nào cũng có lợi. Để có được lời giải đúng cần tiến hành tính toán kinh tế kỹ thuật so sánh hai phương án.

Ví dụ 6-8. Chọn máy biến áp 110/10kV cho phụ tải loại 3 có đồ thị phụ tải năm và ngày đêm như hình vẽ (hình 6-15). Biết rằng máy biến áp do Liên Xô sản xuất và phụ tải nằm trong khu vực Hà Nội.



Hình 6-15

Giải. Máy biến áp Liên/Xô được chế tạo với nhiệt độ định mức là $\theta^{\circ} = +5^{\circ}\text{C}$. khu vực Hà Nội có nhiệt độ trung bình hàng năm là $\theta = +24^{\circ}\text{C}$, vì vậy cần hiệu chỉnh công suất theo nhiệt độ. Phụ tải loại 3 chỉ cần đặt một máy biến áp. Công suất máy biến áp lựa chọn theo điều kiện (6-23):

$$S'_{\text{đmB}} = S_{\text{đmB}} \left(1 + \frac{5 - 24}{100} \right) \geq 10000 \text{ kVA}$$

nghĩa là

$$S_{\text{dmb}} > \frac{10000}{0,81} = 12.350 \text{ kVA}.$$

Nếu không xét quá tải cần chọn máy biến áp 16.000 kVA. Muốn xét quá tải bình thường cần xác định hệ số điện kinh phụ tải theo đồ thị ngày đêm (hình 6-15,a):

$$k_d = \frac{\sum_{i=1}^n S_i t_i}{24 S_{\text{max}}} = \frac{10 \cdot 2 + 8 \cdot 10 + 5 \cdot 2 + 3 \cdot 8}{24 \cdot 10} = \frac{134}{240} = 0,56$$

Hệ số tải cho phép theo quy tắc 3% bằng:

$$k_t \% 1 + (1 - 0,56)0,3 = 1,13.$$

Mặt khác, từ đồ thị phụ tải năm nhận thấy sự chênh lệch phụ tải giữa các mùa khá lớn, có thể cho phép quá tải theo quy tắc 1% tới 15%, khi đó máy biến áp được phép vận hành với hệ số tải:

$$k_t = 1,13 + 0,15 = 1,28.$$

Khi xét đến quá tải bình thường, công suất máy biến áp xác định như sau:

$$1,28 S'_{\text{dmb}} \geq S_{\text{max}}$$

nghĩa là

$$S_{\text{dmb}} \geq \frac{10.000}{1,28 \cdot 0,81} = 9.650 \text{ kVA}.$$

Vậy, nếu xét quá tải có thể lựa chọn máy 10.000 kVA. Cần tiến hành tính toán kinh tế kỹ thuật để so sánh hai phương án máy biến áp 16.000 và 10.000 kVA.

Máy biến áp 16.000 kVA có $\Delta P_o = 24 \text{ kW}$, $\Delta P_N = 85 \text{ kW}$, căn cứ vào đồ thị phụ tải năm xác định được tổn thất điện năng trong máy 1 năm là

$$\begin{aligned} \Delta A_{16} = & 24.8760 + 85 \left[\left(\frac{10}{0,81 \cdot 16} \right)^2 \cdot 1000 + \left(\frac{9}{0,81 \cdot 16} \right)^2 \cdot 2000 + \right. \\ & + \left(\frac{8}{0,81 \cdot 16} \right)^2 \cdot 2000 + \left(\frac{6}{0,81 \cdot 16} \right)^2 \cdot 2000 + \left(\frac{4}{0,81 \cdot 16} \right)^2 \cdot 1000 + \\ & \left. + \left(\frac{2}{0,81 \cdot 16} \right)^2 \cdot 760 \right] = 442 \cdot 10^3 \text{ kWh}. \end{aligned}$$

Máy biến áp 10.000 kVA có $\Delta P_o = 15,5 \text{ kW}$, $\Delta P_N = 60 \text{ kW}$, tổn thất điện năng trong nó 1 năm là.

$$\begin{aligned} \Delta A_{10} = & 15,5 \cdot 8760 + 60 \left[\left(\frac{10}{0,81 \cdot 10} \right)^2 \cdot 1000 + \left(\frac{9}{0,81 \cdot 10} \right)^2 \cdot 2000 + \right. \\ & \times 2000 + \left(\frac{8}{0,81 \cdot 10} \right)^2 \cdot 2000 + \left(\frac{6}{0,81 \cdot 10} \right)^2 \cdot 1000 + \\ & \left. + \left(\frac{2}{0,81 \cdot 10} \right)^2 \cdot 760 \right] = 527 \cdot 10^3 \text{ kWh}. \end{aligned}$$

Lấy giá tiền máy biến áp 16.000 kVA là $350 \cdot 10^3$ đ, máy 10.000 kVA là $280 \cdot 10^3$ đ, $a_{vh} = 0,1$, $a_{tc} = 0,125$; $C_0 = 0,1$ đ/kWh, chi phí tính toán hai phương án bằng:

$$Z_{16} = (0,1 + 0,125) \cdot 350 \cdot 10^3 + 0,1 \cdot 442 \cdot 10^3 = 123 \cdot 10^3 \text{ đ}$$

$$Z_{10} = (0,1 + 0,125) \cdot 280 \cdot 10^3 + 0,1 \cdot 527 \cdot 10^3 = 115,7 \cdot 10^3 \text{ đ}$$

Nhận thấy rằng với các số liệu về giá cả lấy như trên, trường hợp này nên chọn dùng máy biến áp 10.000 kVA bởi vì phương án này vừa có chi phí tính toán bé vừa có vốn đầu tư nhỏ.

Ví dụ 6-9. Nhà máy cơ khí trung tâm có phụ tải tính toán là 1700 kVA trong đó phụ tải loại 1 chiếm 60%. Hãy lựa chọn số lượng và dung lượng máy biến áp đặt tại trạm biến áp 10/0,4 kV của nhà máy.

Giải. Vì nhà máy là phụ tải quan trọng với 60% là loại 1 nên trạm phải đặt hai máy. Sẽ chọn dùng máy biến áp do Việt Nam sản xuất nên không cần hiệu chỉnh nhiệt độ. Trong điều kiện làm việc bình thường công suất máy biến áp cần thỏa mãn điều kiện (6-24)

$$S_{\text{dmb}} \geq \frac{1700}{2} = 850 \text{ kVA}$$

Khi sự cố 1 máy, máy còn lại phải chuyển tải $S_{sc} = 60\% \cdot 1700 = 1020 \text{ kVA}$, công suất máy biến áp cần thỏa mãn điều kiện (6-29).

$$S_{\text{dmb}} \geq \frac{1020}{1,4} = 730 \text{ kVA}$$

Căn cứ vào trị số 730 kVA có thể chọn 2 máy 750 kVA, căn cứ vào trị số 850 kVA cần chọn 2 máy 1000 kVA.

Lẽ ra cần phải đề ra hai phương án: phương án 2 máy 750 kVA và phương án 2 máy 1000 kVA. Song, do thiếu đồ thị phụ tải nên không thể xét được quá tải bình thường. Vì vậy, trong bước sơ bộ, chọn dùng hai máy biến áp Việt Nam $2 \times 1000 \text{ kVA}$.

CHƯƠNG 7

VẬN HÀNH KINH TẾ MẠNG ĐIỆN

Hệ thống điện, như đã biết, gồm ba phần: các nhà máy điện, mạng điện và các hộ tiêu thụ điện. Nâng cao tính kinh tế trong vận hành mỗi phần sẽ làm cho tính kinh tế của toàn hệ thống điện tăng lên. Trong vận hành mạng điện, để nâng cao tính kinh tế, người ta thường áp dụng mọi biện pháp có thể nhằm giảm tổn thất điện năng. Đường dây là phần tử gây tổn thất điện năng nhiều nhất, trong đó tổn thất trên đường dây 10 kV và thấp hơn chiếm đến 60 – 70%

tổng tổn thất điện năng toàn mạng điện. Máy biến áp là thiết bị điện có hiệu suất rất cao (98 – 99%), song mạng điện thường có nhiều cấp điện áp và số lượng máy biến áp đặt rất nhiều, do đó tổn thất trong chúng cũng chiếm gần 20%.

Các biện pháp nhằm giảm tổn thất điện năng trong mạng điện có thể chia thành hai loại. Loại thứ nhất bao gồm những biện pháp không đòi hỏi thêm vốn đầu tư : vận hành kinh tế mạng điện kin, vận hành kinh tế máy biến áp, nâng cao mức điện áp vận hành, giảm số lần cắt để sửa chữa đường dây v.v... Những biện pháp thuộc loại thứ hai đòi hỏi chi phí thêm vốn đầu tư : xây dựng thêm đường dây, đặt thêm máy biến áp, thay tiết diện dây dẫn bằng cỡ lớn hơn, nâng cấp điện áp, đặt thiết bị bù công suất phản kháng v.v...

Những biện pháp thuộc loại thứ nhất, mặc dù có hiệu quả thấp hơn, song với ưu điểm nổi bật không đòi hỏi thêm vốn đầu tư, phải được đề cập đến trước tiên trong vận hành kinh tế mạng điện.

7-1. NÂNG CAO MỨC ĐIỆN ÁP VẬN HÀNH

Biết rằng tổn thất công suất tác dụng quan hệ với điện áp theo công thức

$$\Delta P = \frac{S^2}{U^2} R$$

nghĩa là tổn thất công suất tỷ lệ nghịch với bình phương điện áp. Vì vậy, nếu điện áp vận hành được nâng lên đến mức cao nhất có thể cho phép về mặt kỹ thuật thì tổn thất điện năng sẽ giảm xuống đáng kể. Tính toán cho thấy là cứ nâng cao mức điện áp lên 1% thì tổn thất điện năng giảm xuống 2%, đồng thời công suất phản kháng do dung dẫn của đường dây sinh ra cũng tăng 2%.

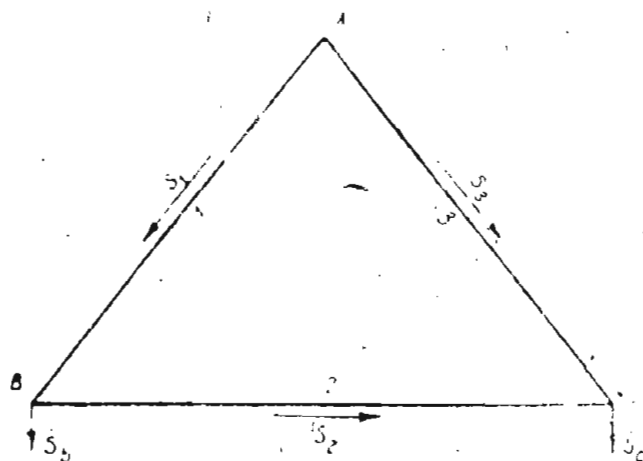
Khả năng nâng cao mức điện áp vận hành tùy thuộc vào cách điện của các thiết bị điện. Với mạng điện đến 20kV cho phép nâng điện áp lên 20%, mạng 35 – 220kV lên 15% và mạng 330kV lên 10% so với trị số định mức. Trong thực tế thường có thể nâng cao mức điện áp vận hành lên 5%, như vậy đã làm cho tổn thất điện năng giảm xuống 10% và làm cho công suất phản kháng do đường dây sinh ra tăng được 10%.

Khi áp dụng biện pháp này ở mạng điện siêu cao cần đặc biệt chú ý hiện tượng vầng quang điện. Tổn thất do vầng quang điện sẽ tăng lên cùng với việc nâng cao mức điện áp. Trong những thời gian non tải tổn thất do vầng quang điện có thể sẽ lớn hơn phần tổn thất điện năng giảm được do nâng cao mức điện áp vận hành. Điều đó nói lên rằng, với đường dây siêu cao, biện pháp này không phải lúc nào cũng có lợi. Trái lại, khi phụ tải bé, giảm mức điện áp vận hành lại kinh tế hơn.

Đối với mạng điện địa phương, vấn đề đảm bảo yêu cầu kỹ thuật, nghĩa là đảm bảo độ lệch điện áp cho phép tại các hộ dùng điện, là vấn đề chủ yếu. Mạng địa phương thường có nhiều nhánh, thường nối trực tiếp vào thiết bị dùng điện, vì thế khả năng thay đổi mức điện áp vận hành thường rất hạn chế. Cũng cần nói thêm rằng khi tăng mức điện áp trong mạng phân phối thường dẫn tới tăng công suất phản kháng tiêu thụ, do đó biện pháp này chỉ thực hiện được khi trong mạng có dự trữ công suất phản kháng.

Điện áp vận hành được nâng cao bằng cách nâng cao điện áp của máy phát hoặc bằng cách thay đổi đầu phân áp của các máy biến áp tăng và giảm áp.

7-2. VẬN HÀNH KINH TẾ MẠNG ĐIỆN KÍN



Hình 7-1

Đối với mạng điện kín kinh tế hơn cả là phân bố công suất trên các đoạn đường dây của nó theo điện trở. Vì vậy, phân bố công suất theo điện trở được gọi là phân bố kinh tế công suất trong mạng kín. Điều đó được chứng minh như sau. Giả thiết có mạng điện kín một nguồn hai phụ tải (hình 7-1).

Tồn thất công suất tác dụng trong mạng điện đó bằng

$$\Delta P = \frac{S_1^2}{U_{dm}^2} R_1 + \frac{S_2^2}{U_{dm}^2} R_2 + \frac{S_3^2}{U_{dm}^2} R_3$$

Chú ý rằng

$$\begin{aligned} \dot{S}_2 &= \dot{S}_1 - \dot{S}_b = (P_1 - P_b) + j(Q_1 - Q_b) \\ \dot{S}_3 &= \dot{S}_c - \dot{S}_2 = (P_b + P_c - P_1) + j(Q_b + Q_c - Q_1) \end{aligned}$$

Thay những biểu thức đó vào phương trình ΔP có:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_{dm}^2} R_1 + \frac{(P_1 - P_b)^2 + (Q_1 - Q_b)^2}{U_{dm}^2} R_2 + \\ &+ \frac{(P_b + P_c - P_1)^2 + (Q_b + Q_c - Q_1)^2}{U_{dm}^2} R_3. \end{aligned}$$

Lấy đạo hàm hàm $\Delta P(P_1, Q_1)$ rồi cho bằng không nhận được:

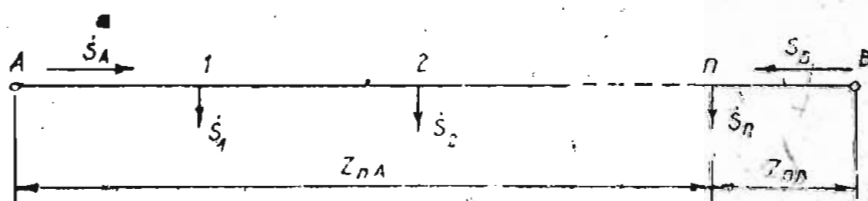
$$\frac{\partial \Delta P}{\partial P_1} = \frac{2}{U_{dm}^2} [P_1 R_1 + (P_1 - P_b) R_2 - (P_b + P_c - P_1) R_3] = 0$$

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_1} = \frac{2}{U_{dm}^2} [Q_1 R_1 + (Q_1 - Q_b) R_2 - (Q_b + Q_c - Q_1) R_3] = 0$$

Giải ra được:

$$P_{1kt} = \frac{P_b(R_2 + R_3) + P_c R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$Q_{1kt} = \frac{Q_b(R_2 + R_3) + Q_c R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$



Hình 7-2

Tổng quát, với mạng kín có n phụ tải, phân bố kinh tế công suất sẽ tuân theo công thức sau (hình 7-2).

$$S_{Akt} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i R_{iB}}{R_{AB}} \quad (7-1)$$

$$S_{Bkt} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i R_{iA}}{R_{AB}} \quad (7-2)$$

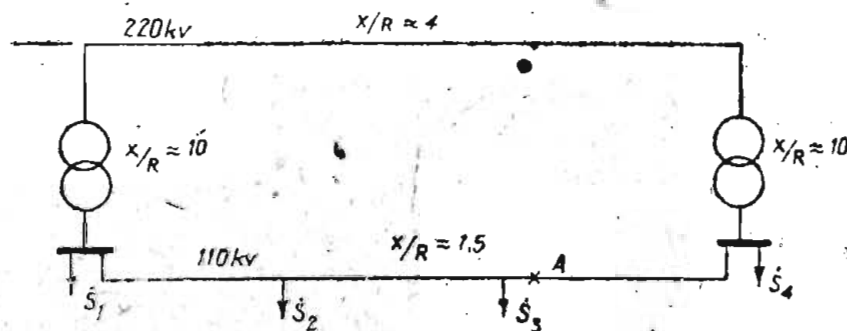
Theo công thức (3-9) [chương ba], công suất trong mạng điện kín bất kỳ được phân bố theo tổng trở

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i \cdot \hat{Z}_i}{\hat{Z}_{AB}}$$

Trường hợp mạng kín là mạng đồng nhất, nghĩa là tỷ số giữa điện trở và cảm kháng tất cả các đoạn trong mạng đó bằng nhau $X_i/R_i = \text{hằng số}$, công thức (3-9) có thể viết được như sau :

$$\dot{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i \left(1 - j \frac{X_i}{R_i}\right) R_i}{\left(1 - j \frac{X_{AB}}{R_{AB}}\right) R_{AB}} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{S}_i R_i}{R_{AB}} \quad (7-3)$$

Đối chiếu công thức (7-3) với (7-1) nhận thấy mạng điện kín đồng nhất là mạng có phân bố công suất kinh tế, tổn thất công suất tác dụng trong nó là nhỏ nhất.



Hình 7-3

Tiếc rằng trong thực tế vận hành thường gặp mạng điện kín rất không đồng nhất (hình 7-3), do đó phân bố công suất tự nhiên trong nó theo tổng trở là rất không kinh tế. Với mạng điện này, đường dây có điện áp cao hơn (220kV) có khả năng tải lớn thì non tải, trái lại đường dây 110kV lại bị quá tải. Hiện tượng

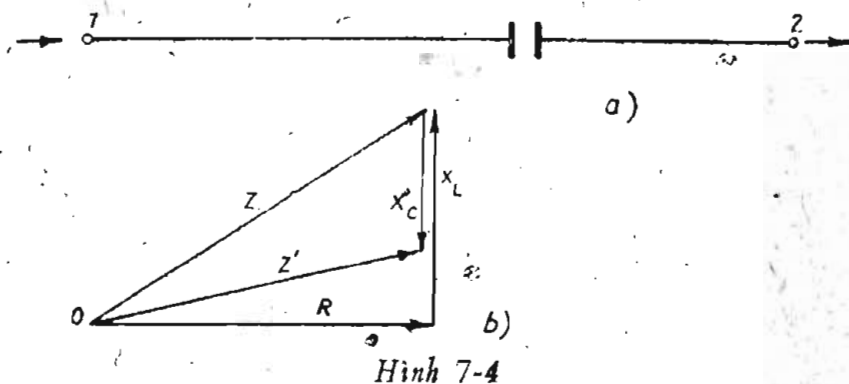
đó dẫn đến tăng vọt tổn thất điện năng trên đường dây 110kV và không sử dụng hết khả năng tải của đường dây 220kV. Vì vậy, cần nghiên cứu các phương pháp vận hành kinh tế mạng điện kin.

Phương pháp đầu tiên là chia cắt mạng có điện áp thấp hơn thành hai mạng điện hồ. Phương pháp này hay được dùng vì nó đơn giản nhất và không đòi hỏi vốn đầu tư phụ. Thường chọn điểm chia cắt là điểm có trị số công suất chuyển qua nhỏ nhất (ví dụ điểm A trên hình 7-3). Việc chia cắt như vậy sẽ làm giảm tổn thất điện năng trong mạng điện áp thấp hơn, nhưng mức đảm bảo liên tục cung cấp điện bị hạ thấp. Để khắc phục nhược điểm này cần đặt thiết bị tự động đóng mạch khi bất kỳ đường dây nào trong mạng kin bị sự cố. Cũng cần lưu ý là tổn thất công suất phản kháng trong mạng điện áp thấp tăng lên, nếu như mạng đó không có dự trữ công suất phản kháng. Để khắc phục điều đó cần đặt thêm thiết bị bù.

Phương pháp thứ hai là bù dọc, nghĩa là đặt nối tiếp bộ tụ điện trên đường dây tại vị trí thích hợp (hình 7-4,a). Bù dọc làm tăng độ đồng nhất của mạng điện, làm tốt điều kiện ổn định và nâng cao khả năng tải của đường dây. Công suất do bộ tụ bù dọc phát ra không đáng kể, chủ yếu là làm giảm cảm kháng của đường dây bằng dung kháng của bộ tụ X_c . Nếu trước khi bù cảm kháng của đường dây là X_L thì cảm kháng tổng của đường dây sau khi bù dọc là $X' = X_L - X_c$, và tổng trở của đường dây $Z' = R + j(X_L - X_c)$ (hình 7-4b). Tổn thất công suất phản kháng giảm đi tương ứng:

$$\Delta Q = \frac{S^2}{U^2} (X_L - X_c).$$

Cũng vì do tác dụng làm thay đổi thông số của đường dây nên bù dọc còn được gọi là bù thông số, khác với bù ngang gọi là bù công suất phản kháng.

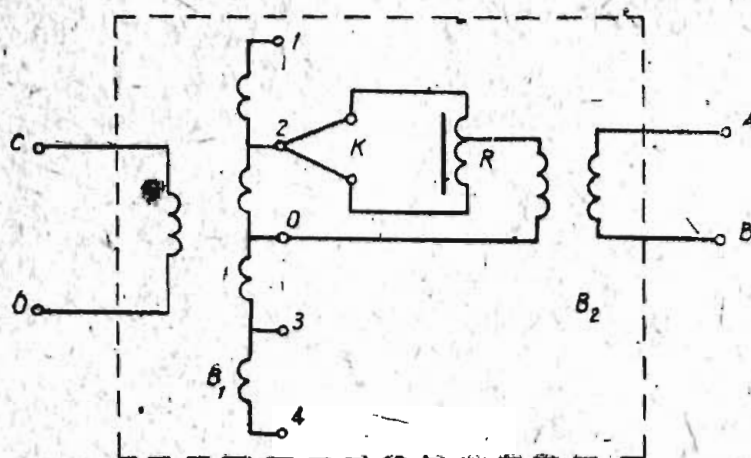


Hình 7-4

Tuy nhiên, phương pháp này yêu cầu chi phí vốn đầu tư khá lớn, chỉ áp dụng có lợi khi số nhánh điện áp cao không nhiều lắm.

Phương pháp thứ ba là đặt máy biến áp hỗ trợ. Nhiệm vụ của máy biến áp hỗ trợ là tạo ra các sức điện động phụ ngang và dọc để chuyển sự phân bố công suất tự nhiên sang phân bố kinh tế. Phương pháp này có nhược điểm là vốn đầu tư cao và đòi hỏi phải kiểm tra chế độ làm việc và điều khiển tự động sức điện động theo điều kiện của chế độ tối ưu. Trường hợp mạng điện phức tạp cần đặt một vài máy biến áp hỗ trợ, việc điều khiển tự động sức điện động rất khó khăn. Máy biến áp hỗ trợ có cấu tạo như hình vẽ (hình 7-5), bao gồm máy biến áp cung cấp B_1 có cuộn sơ cấp BC nối trực tiếp vào mạng điện và máy biến áp

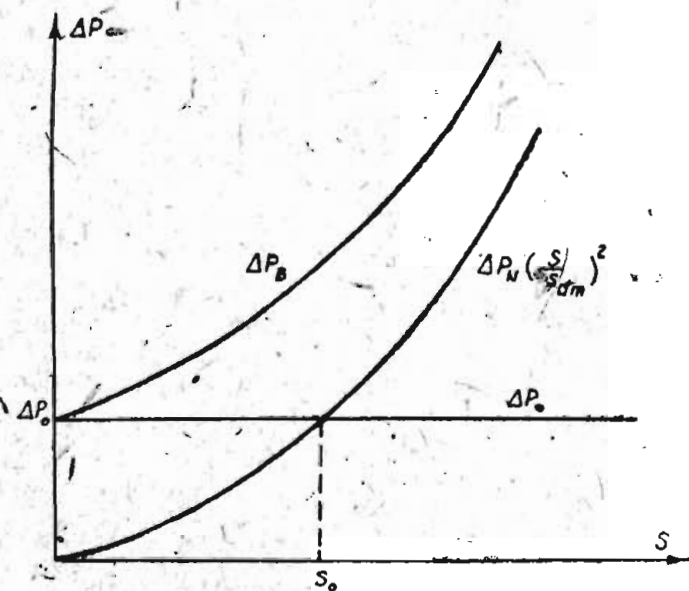
B_2 có cuộn dây AB nối nối tiếp với cuộn dây của máy biến áp chính. Nhờ bộ phận chuyển đổi K và điện trở R , máy biến áp B_2 có thể tạo ra một sức điện động, hỗ trợ được chế tạo có công suất định mức từ 402 kVA đến 120 MVA với các điện áp định mức khác nhau. Sức điện động hỗ trợ có thể thay đổi trong giới hạn $\pm (10\% - 15)\%$ bằng tay hoặc tự động.



Hình 7-5

7-3. VẬN HÀNH KINH TẾ MÁY BIẾN ÁP

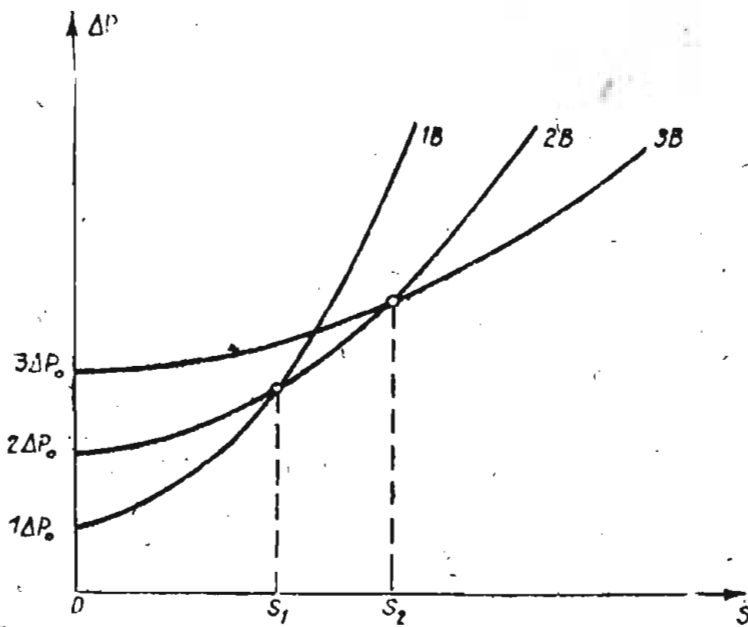
Tồn thất công suất tác dụng trong máy biến áp gồm tồn thất trong thép và trong các cuộn dây [công thức (2-3)], trong đó tồn thất trong thép không phụ thuộc vào phụ tải còn tồn thất, trong các cuộn dây tỷ lệ với bình phương phụ tải (hình 7-6).



Hình 7-6

Khi máy biến áp làm việc với phụ tải lớn tồn thất trong các cuộn dây lớn hơn tồn thất trong thép nhiều, song với phụ tải nhỏ $S < S_0$ tồn thất trong thép lại lớn hơn. Vì vậy ở những trạm có một vài máy biến áp làm việc song song, để giảm tồn thất công suất và điện năng, nên cắt bớt máy biến áp ra khỏi lưới điện khi phụ tải nhỏ hơn trị số nào đó. Nội dung của bài toán vận hành kinh

tế máy biến áp là : xác định những giá trị giới hạn của phụ tải, theo chung, thay đổi số lượng máy biến áp làm việc nhằm giảm đến mức thấp nhất tổn thất công suất và điện năng.



Hình 7-7

Giả thiết trạm có 3 máy biến áp cùng dung lượng S_{dm} , tổn thất trong mỗi máy là ΔP_0 và ΔP_N . Bằng cách xây dựng đường cong tổn thất công suất trong toàn trạm khi vận hành 1 máy, 2 máy và 3 máy (hình 7-7) xác định được các giá trị giới hạn S_1, S_2 . Từ các đường cong tổn thất đó nhận thấy rằng khi phụ tải có giá trị từ 0 đến S_1 nên vận hành một máy, khi phụ tải có giá trị từ S_1 đến S_2 nên vận hành hai máy, khi phụ tải tăng từ S_2 trở lên cần đóng thêm máy thứ ba. S_1 và S_2 là công suất giới hạn để chuyển có lợi từ vận hành một máy lên hai máy và từ hai máy lên ba máy.

Tổng quát nếu trạm đặt n máy biến áp giống nhau, tổng tổn thất công suất tác dụng khi vận hành n máy là :

$$\Delta P_n = n\Delta P_0 + \frac{1}{n} \Delta P_N \left(\frac{S}{S_{dm}} \right)^2$$

Khi vận hành $n+1$ máy, tổng tổn thất sẽ bằng

$$\Delta P_{n+1} = (n+1) \Delta P_0 + \frac{1}{n+1} \Delta P_N \left(\frac{S}{S_{dm}} \right)^2$$

Cho cân bằng hai biểu thức trên sẽ tìm được công suất giới hạn S để chuyển có lợi từ vận hành n máy lên $n+1$ máy

$$n\Delta P_0 + \frac{1}{n} \Delta P_N \left(\frac{S}{S_{dm}} \right)^2 = (n+1) \Delta P_0 + \frac{1}{n+1} \Delta P_N \left(\frac{S}{S_{dm}} \right)^2$$

Suy ra

$$S = S_{dm} \sqrt{n(n+1) \frac{\Delta P_0}{\Delta P_N}} \quad (7-4)$$

trong đó S là công suất giới hạn của cả trạm n máy.

Từ đây giá trị công suất giới hạn của một máy biến áp trong trường hợp này là :

$$S_1 = \frac{S}{n} = S_{dm} \sqrt{\frac{(n+1)}{n} \frac{\Delta P_0}{\Delta P_N}} \quad (7-5)$$

Trường hợp đặc biệt khi trạm có một số máy biến áp; dung lượng khác nhau làm việc song song, bằng cách xây dựng các đường cong tổn thất như hình 7-7 tương ứng với các máy biến áp đó sẽ tìm được trị số các công suất giới hạn. Cũng có thể thành lập được công thức giải tích cho trường hợp này với giả thiết gần đúng rằng: nếu các máy có cùng một trị số điện áp ngắn mạch thì phụ tải mỗi máy nhận được sẽ tỷ lệ với dung lượng của nó, nghĩa là

$$S_i = S \cdot \frac{S_{dmi}}{\sum_{i=1}^n S_{dmi}}$$

trong đó S — phụ tải toàn trạm.

Khi trạm vận hành n máy và $(n+1)$ máy, tổng tổn thất công suất sẽ bằng

$$\Delta P_n = \Delta P_{o1} + \dots + \Delta P_{on} + \Delta P_{N1} \left(\frac{S}{\sum_{i=1}^n S_{dmi}} \right)^2 + \dots +$$

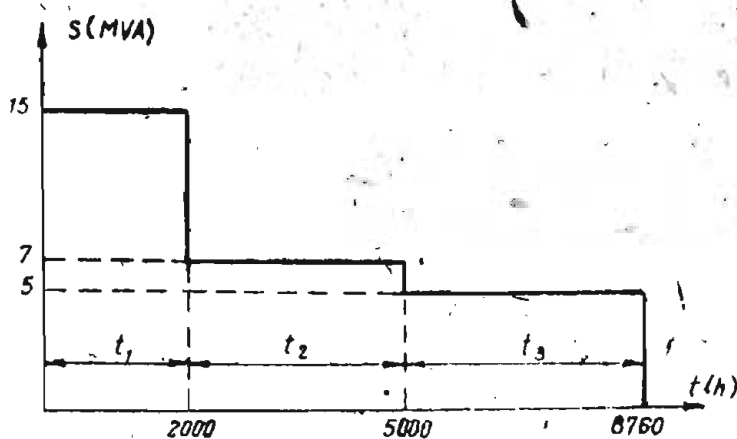
$$+ \Delta P_{Nn} \left(\frac{S}{\sum_{i=1}^n S_{dmi}} \right)^2$$

$$\Delta P_{n+1} = \Delta P_{o1} + \dots + \Delta P_{o(n+1)} + \Delta P_{N1} \left(\frac{S}{\sum_{i=1}^{n+1} S_{dmi}} \right)^2 + \dots +$$

$$+ \Delta P_{N(n+1)} \left(\frac{S}{\sum_{i=1}^{n+1} S_{dmi}} \right)^2$$

Cân bằng hai lượng tổn thất đó, nhận được

$$S = \sqrt{\frac{\Delta P_{on} \left[\sum_{i=1}^n S_{dmi} \right]^2 \left[\sum_{i=1}^{n+1} S_{dmi} \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n \Delta P_{Ni} \right] \left[\sum_{i=1}^n S_{dmi} \right]^2 - \left[\sum_{i=1}^{n+1} \Delta P_{Ni} \right] \left[\sum_{i=1}^{n+1} S_{dmi} \right]^2}} \quad (7-6)$$



Hình 7-8

Ví dụ 7-1. Trạm biến áp 110/11 kV đặt hai máy biến áp dung lượng 10000 kVA. Hãy xác định phương thức vận hành kinh tế trạm và xác định khoản tiền tiết kiệm được so với phương thức vận hành hai máy suốt năm, cho biết giá tiền 1 kWh là $C_0 = 0,15 \text{ đ/kWh}$ và phụ tải trạm cho như hình vẽ (hình 7-8).

Giải. Công suất giới hạn để chuyển từ vận hành một máy lên hai máy xác định theo (7-4)

$$S = S_{\text{dm}} \sqrt{n(n+1)} \frac{\Delta P_0}{\Delta P_N} = 10 \sqrt{1(1+1)} \frac{15,5}{60} = 7,17 \text{ MVA}$$

Như vậy, phương thức vận hành kinh tế trạm là: trong thời gian t_1 vận hành 2 máy còn trong t_2 và t_3 chỉ vận hành một. Tổng thất điện năng toàn trạm tương ứng với phương thức vận hành kinh tế là:

$$\Delta A_1 = 2 \cdot 15,5 \cdot 2000 + 1 \cdot 15,5 \cdot 3760 + \frac{60}{2} \left(\frac{15}{10} \right)^2 \cdot 2000 + \frac{60}{1} \times \left(\frac{7}{10} \right) \cdot 3000 + \frac{60}{1} \left(\frac{5}{10} \right)^2 \cdot 3760 = 445 \cdot 10^3 \text{ kWh}$$

Tổng thất điện năng trong trạm khi vận hành hai máy suốt năm:

$$\Delta A_2 = 2 \cdot 15,5 \cdot 8760 + \frac{60}{2} \left(\frac{15}{10} \right)^2 \cdot 2000 + \frac{60}{2} \left(\frac{7}{10} \right)^2 \cdot 3000 + \frac{60}{2} \left(\frac{5}{10} \right)^2 \cdot 3760 = 480 \cdot 10^3 \text{ kWh}$$

Tổng điện năng tiết kiệm được một năm do vận hành kinh tế trạm là:

$$\Delta A_2 - \Delta A_1 = 480 \cdot 10^3 - 445 \cdot 10^3 = 35 \cdot 10^3 \text{ kWh}$$

Khoản tiền tiết kiệm trong một năm là:

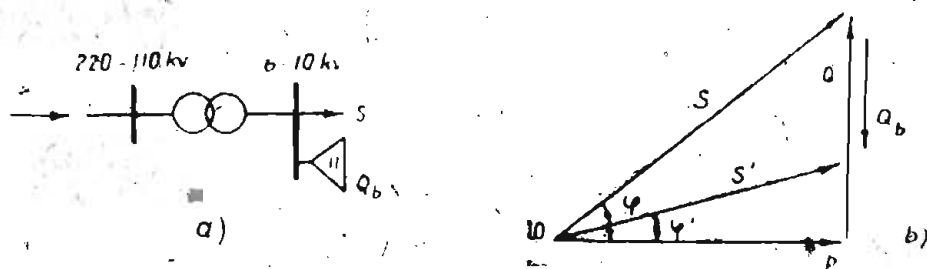
$$\Delta K = C_0 \cdot 35 \cdot 10^3 = 0,15 \cdot 35 \cdot 10^3 = 5,25 \cdot 10^3 \text{ đ.}$$

7-4. BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG TRÊN MẠNG ĐIỆN

Phần lớn các hộ tiêu thụ ngoài công suất tác dụng P còn tiêu thụ một lượng đáng kể công suất phản kháng Q . Các động cơ điện không đồng bộ tiêu thụ nhiều công suất phản kháng nhất: chiếm đến 65 — 70% tổng công suất phản kháng, sau đó đến các máy biến áp 20 — 25% và đường dây tải điện khoảng 10%. Kết quả là hệ số công suất $\cos \phi$ của phụ tải giảm thấp đến mức các đường dây của mạng điện phải chuyển tải một lượng công suất phản kháng lớn hơn công suất tác dụng. Việc chuyển tải lượng công suất phản kháng lớn trên mạng điện rất không kinh tế trước hết là vì nó làm tăng tổn thất công suất tác dụng trên các phần tử của mạng điện, mức tăng đó khá lớn do ΔP tỷ lệ với Q^2 (xem

công thức (2-1)]. Sau nữa nó làm tăng tổn thất điện áp [công thức (2-24)], giảm khả năng tải công suất tác dụng của đường dây và cuối cùng là làm cho các máy phát, do yêu cầu về công suất quá lớn, phải làm việc không kinh tế với hệ số công suất bé hơn định mức nhiều.

Để khắc phục tình trạng trên người ta quan tâm trước hết đến những biện pháp nhằm nâng cao hệ số công suất của bản thân các bộ tiêu thụ: thay thế các động cơ non tải bằng động cơ có công suất bé hơn, hạn chế tình trạng làm việc không tải của động cơ, dùng động cơ đồng bộ thay cho động cơ không đồng bộ ở những nơi quá trình công nghệ cho phép, giảm điện áp đặt vào động cơ bằng cách đổi nối Δ -Y, nâng cao chất lượng sửa chữa động cơ v.v... Những biện pháp đó góp phần quan trọng vào việc cải thiện hệ số công suất, song $\cos\varphi$ của các hộ tiêu thụ vẫn còn rất thấp so với trị số mong muốn 0,92 — 0,95. Vì vậy vẫn phải áp dụng thêm biện pháp khác để vận hành kinh tế mạng điện, đó là đặt các thiết bị phát ra công suất phản kháng Q tại các hộ tiêu thụ để giảm bớt lượng công suất Q chuyên tải trên mạng điện. Thiết bị bù thường được đặt ở phía thành cái hạ áp 10 hoặc 6 kV của trạm giảm áp (hình 7-9, a). Biện pháp này được gọi là bù ngang hay bù công suất phản kháng. Bù công suất phản kháng là biện pháp giảm tổn thất điện năng rất có hiệu lực do có thể tùy ý đặt công suất thiết bị bù để đạt được hệ số công suất mong muốn (hình 7-9, b).



Hình 7-9

Hiện nay trên mạng điện thường dùng hai loại thiết bị phát công suất phản kháng là máy bù đồng bộ và tụ điện. Máy bù đồng bộ có khả năng điều chỉnh trơn lượng công suất phát ra khi cần thiết có thể tiêu thụ công suất phản kháng nhưng nó có nhược điểm cơ bản là tiêu thụ nhiều công suất tác dụng, khoảng 2 — 4% công suất định mức của nó. Máy bù đồng bộ chỉ được chế tạo có công suất từ 5 MVAR trở lên, điện áp 6 hoặc 10 kV.

Tụ điện được chế tạo với điện áp từ 220V đến 10 kV, một pha và ba pha, công suất đơn vị 5 + 100 kVAR. Bằng cách ghép nối tiếp và song song sẽ có được bộ tụ điện, có công suất và điện áp tùy ý. Trên mạng điện, tụ điện được dùng phổ biến hơn máy bù chủ yếu là do nó có những ưu điểm nổi bật: tiêu thụ rất ít công suất tác dụng, khoảng 0,3 ÷ 0,5% công suất định mức, và vận hành, sửa chữa đơn giản.

Tụ điện, và đặc biệt máy bù đồng bộ là những thiết bị đắt tiền, dùng chúng chỉ có lợi khi nào khoản tiền tiết kiệm được do hiệu quả giảm tổn thất điện năng lớn hơn khoản tiền chi phí vào việc đặt thiết bị bù. Bộ tụ cần đặt ở đâu, với công suất bao nhiêu, đó là lời giải của bài toán kinh tế dựa trên tiêu chuẩn chi phí tính toán hàng năm nhỏ nhất.

Nội dung bài toán bù như sau: tại mỗi nút phụ tải đặt một ẩn số Q bù $Q_{b1}, Q_{b2}, \dots, Q_{bn}$, thành lập hàm chi phí tính toán của mạng điện liên quan đến các dung lượng bù $Z(Q_{b1}, Q_{b2}, \dots, Q_{bn})$, làm cực tiểu hàm chi phí tính toán để xác định các dung lượng bù tối ưu thỏa mãn điều kiện ràng buộc $Q_{bi} \geq 0$. Với mạng điện nhỏ, số ẩn Q_{bi} không lớn lắm, có thể giải bài toán bù bằng cách trực tiếp lấy đạo hàm hàm Z theo các ẩn Q_{bi} , cho bằng không:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Z}{\partial Q_{b1}} &= 0 \\ \frac{\partial Z}{\partial Q_{b2}} &= 0 \\ \frac{\partial Z}{\partial Q_{bn}} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (7-7)$$

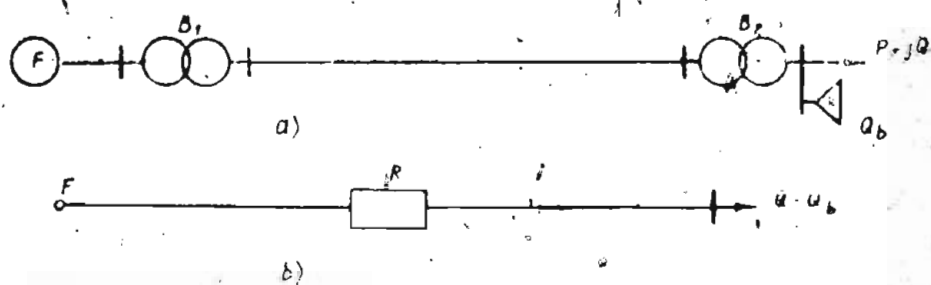
Trong khi giải hệ phương trình (7-7) để xác định Q_{bi} cần chú ý điều kiện ràng buộc.

$$Q_{bi} \geq 0 \quad \text{equation 32 IE} \quad (7-8)$$

nếu có một nghiệm nào đó nhận được giá trị âm, ví dụ $Q_{bk} < 0$, nghĩa là tại hộ k không nên đặt thiết bị bù, $Q_{bk} = 0$, cần xóa bỏ phương trình thứ k trong hệ (7-7)

$\frac{Z(Q_{bi})}{Q_{bk}} = 0$, sau đó tiếp tục giải lại hệ $(n-1)$ phương trình để tìm $(n-1)$ ẩn còn lại.

Sau đây thành lập bài toán bù cho một số mạng điện đơn giản thường gặp trước hết là mạng điện hở một phụ tải (hình 7-10, a)



Hình 7-10

Hàm chi phí tính toán của mạng điện này cũng viết được căn cứ vào biểu thức tổng quát

$$Z(Q_b) = Z_k(Q_b) + Z_{\Delta A}(Q_b)$$

trong đó

$Z_k(Q_b)$ — thành phần liên quan đến vốn đầu tư thiết bị bù

$$Z_k(Q_{b1}) = (a_{vh} + a_{tc}) K_0 Q_b \quad (7-9)$$

với K_0 là giá tiền một đơn vị dung lượng bù

$Z_{\Delta A}(Q_b)$ — thành phần liên quan đến tổn thất điện năng sau khi bù, bao gồm tổn thất điện năng trên mạng điện và tổn thất điện năng do bản thân bộ tụ điện tiêu tổn

$$Z_{\Delta A}(Q_b) = C_0 \Delta P_0 Q_b T + C_0 \tau \frac{P^2 + (Q - Q_b)^2}{U^2} R \quad (7-10)$$

trong đó

ΔP_o — tổn thất công suất tác dụng trên một đơn vị dung lượng bù $kW/kVAR$; T — Thời gian làm việc của bộ tụ; R — điện trở mạng điện tính từ vị trí đặt bộ tụ đến nguồn cung cấp, trong mạng điện trên, R là tổng điện trở của máy tăng áp B_1 , đường dây và biến áp B_2 (hình 7-10, b)

Chú ý rằng thành phần $C_o \frac{P^2}{V^2} R\tau$ giống nhau với mọi phương án dung lượng bù, có thể không cần kể đến trong hàm $Z(Q_b)$. Vậy hàm chi phí tính toán tổng của mạng điện này bằng

$$Z(Q_b) = (a_{vh} + a_{tc}) K_o Q_b + C_o \Delta P_o T + C_o \tau R \frac{(Q - Q_b)^2}{V^2} \quad (7-11)$$

Lấy đạo hàm hàm (7-11) theo Q_b rồi cho bằng không

$$\frac{dZ(Q_b)}{dQ_b} = (a_{vh} + a_{tc}) K_o + C_o \Delta P_o T - \frac{2C_o R \tau}{V^2} (Q - Q_b) = 0$$

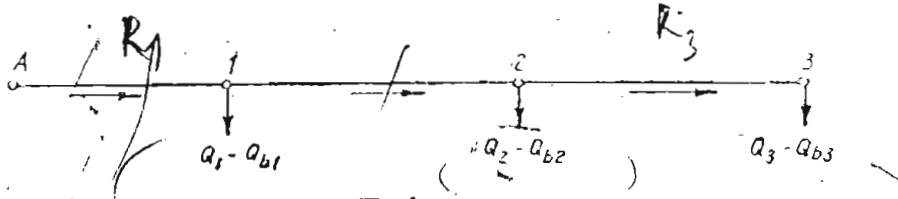
Giải ra nhận được:

$$Q_b = Q - \frac{V^2 [(a_{vh} + a_{tc}) K_o + C_o \Delta P_o T]}{2C_o R \tau} \quad (7-12)$$

Nếu trị số $Q_b < 0$ thì có nghĩa là đặt thiết bị cho mạng này sẽ không kinh tế.

Đối với mạng điện hở có một số phụ tải (hình 7-11) tại mỗi phụ tải đặt một dung lượng bù Q_{b1}, Q_{b2}, Q_{b3} và chi phí tính toán trong trường hợp này viết được theo công thức (7-11).

$$\begin{aligned} + Z(Q_{b1}, Q_{b2}, Q_{b3}) = & (a_{vh} + a_{tc}) K_o (Q_{b1} + Q_{b2} + Q_{b3}) + \\ & + C_o \Delta P_o T (Q_{b1} + Q_{b2} + Q_{b3}) + \frac{C_o \tau}{V^2} [(Q_3 - Q_{b3})^2 R_3 + \\ & + (Q_2 + Q_3 - Q_{b2} - Q_{b3})^2 R_2 + \\ & + (Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_{b1} - Q_{b2} - Q_{b3})^2 R_1] \end{aligned} \quad (7-13)$$



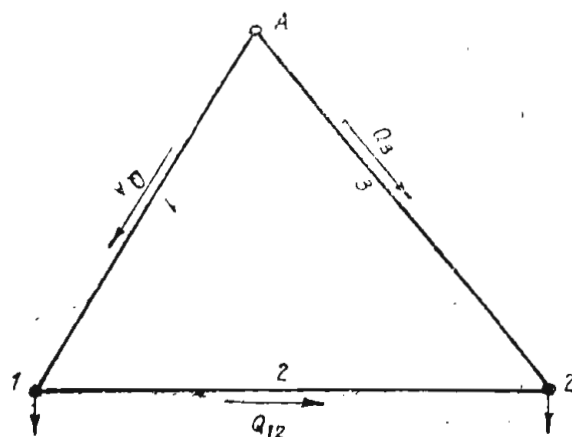
Hình 7-11

Để tìm phân bố dung lượng bù tối ưu trong mạng điện kín (hình 7-12), trước hết cần xác định phân bố công suất phản kháng

$$Q_A = \frac{(Q_1 - Q_{b1})(R_2 + R_3) + (Q_2 - Q_{b2})R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$Q_B = \frac{(Q_1 - Q_{b1})R_1 + (Q_2 - Q_{b2})(R_2 + R_1)}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$Q_{12} = Q_A - (Q_1 - Q_{b1})$$



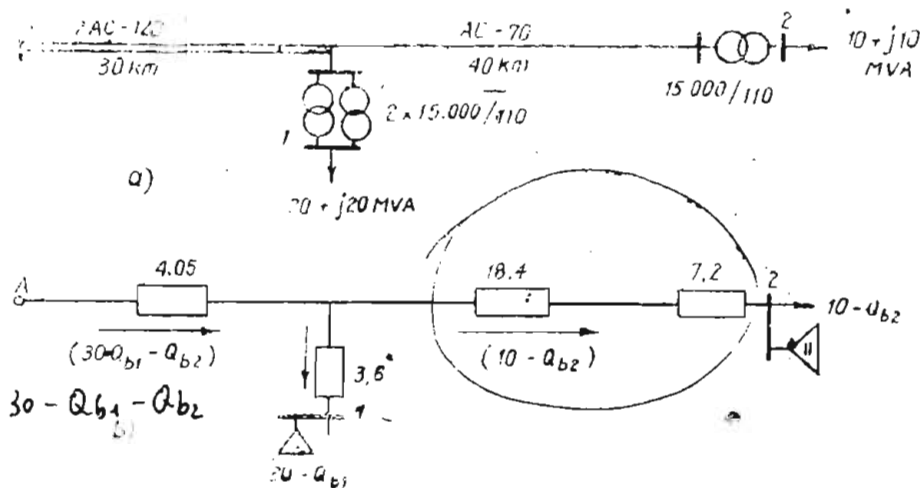
Hình 7-12

Hàm chi phí tính toán của mạng điện kín

$$Z(Q_{b1}, Q_{b2}) = (a_{vh} + a_{tc}) (Q_{b1} + Q_{b2}) K_o + C_o \Delta P_o T (Q_{b1} + Q_{b2}) + \frac{C_o \tau}{v^2} (Q_A^2 R_1 + Q_{12}^2 R_2 + Q_B^2 R_3) \quad (7-14)$$

Tiếp tục lấy đạo hàm các biểu thức (7-13), (7-14) theo các ẩn số, cho bằng không, giải các hệ phương trình thu được sẽ xác định được dung lượng bù tối ưu trong các mạng điện.

Ví dụ 7-2. Mạng điện 110kV cung cấp điện cho hai phụ tải bằng đường dây liên thông và hai trạm biến áp 110/10kV, các số liệu về phụ tải và mạng điện cho trên hình vẽ (hình 7-13,a). Xác định dung lượng bù kinh tế tại thành cái 10kV trạm 1 và 2, biết thời gian tổn thất công suất lớn nhất $\tau = 4500h$.



Hình 7-13

Giải. Từ các số liệu về dây dẫn và máy biến áp tính được tổng trở trên các phần tử của mạng điện. Trên sơ đồ thay thế (hình 7-13,b) chỉ ghi những số liệu cần thiết phục vụ bài toán bù. Cho tụ điện vận hành cả năm $T = 8760h$ với $\Delta P_o = 0,005$, lấy $a_{vh} = a_{tc} = 0,1$, $K_o = 70đ/kV.AR$, $C_o = 0,1đ/kWh$, hàm chi phí tính toán của hai biến số Q_{b1}, Q_{b2} bằng

$$Z(Q_{b1}, Q_{b2}) = (0,1 + 0,1) 70(Q_{b1} + Q_{b2}) + 0,1 \cdot 0,005 \cdot 8760 (Q_{b1} + Q_{b2}) + \frac{0,1 \cdot 4500}{110^2 \cdot 10^3} [(10 \cdot 10^3 - Q_{b2})^2 \cdot 25,6 + (20 \cdot 10^3 - Q_{b1})^2 \cdot 3,6 + (30 \cdot 10^3 - Q_{b1} - Q_{b2})^2 \cdot 4,05]$$

Lần lượt lấy đạo hàm hàm Z và cho bằng không

$$\begin{aligned} \frac{\partial Z}{\partial Q_{b1}} &= 14 + 4,38 + 2,7 \cdot 10^{-5} [-7,2(20 \cdot 10^3 - Q_{b1}) - 8,1(30 \cdot 10^3 - Q_{b1} - Q_{b2})] = 0 \\ \frac{\partial Z}{\partial Q_{b2}} &= 14 + 4,38 + 2,7 \cdot 10^{-5} [-51,2(10 \cdot 10^3 - Q_{b2}) - 8,1(30 \cdot 10^3 - Q_{b1} - Q_{b2})] = 0. \end{aligned}$$

Rút gọn lại được hai phương trình sau

$$15,2Q_{b1} + 8Q_{b2} = -1,36 \cdot 10^5$$

$$8Q_{b1} + 51,2Q_{b2} = 2,32 \cdot 10^5$$

Giải hệ phương trình trên nhận được

$$Q_{b1} = -12.500 \text{ kVAR}, Q_{b2} = 2.250 \text{ kVAR}$$

vì $Q_{b1} < 0$ nên tại hộ 1 không nên đặt thiết bị bù, bỏ phương trình thứ nhất, chỉ giữ lại phương trình thứ hai của hệ phương trình trên trong đó đã cho $Q_{b1} = 0$

$$51,2Q_{b2} = 2,32 \cdot 10^5$$

Như vậy dung lượng bù kinh tế tại thanh cái 10kV hộ thứ 2 bằng

$$Q_{b2} = 4.500 \text{ kVAR}$$

Hệ số công suất tại đó trước khi bù và sau khi bù bằng

$$\cos\varphi_2 = \frac{10}{\sqrt{10^2 + 10^2}} = 0,71$$

$$\cos\varphi'_2 = \frac{10}{\sqrt{10^2 + 5,5^2}} = 0,875$$

CHƯƠNG 8

NHỮNG NỘI DUNG CHỦ YẾU THIẾT KẾ MẠNG ĐIỆN

8.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ THIẾT KẾ MẠNG ĐIỆN

Với số liệu ban đầu là nguồn và các phụ tải đã biết, thiết kế mạng điện bao gồm những nội dung chủ yếu sau đây: lựa chọn cấu trúc tối ưu chấp nối giữa nguồn và phụ tải, lựa chọn cấp điện áp, lựa chọn tiết diện dây dẫn, lựa chọn số lượng và công suất máy biến áp trên tất cả các trạm, lựa chọn sơ đồ nối dây cho các trạm tăng giảm áp, phân bố kinh tế các dung lượng bù công suất phản kháng, lựa chọn các phương tiện điều chỉnh điện áp. Đó là những nội dung chủ yếu thiết kế phần điện, sau đó chuyển sang thiết kế phần cơ: lựa chọn kết cấu cột, xà, móng đường dây tải điện, kết cấu kiến trúc trạm biến áp, lựa chọn khoảng vượt kinh tế cho mỗi tiết diện dây, mỗi vùng khí hậu, vạch tuyến đi dây hợp lý nhất trong điều kiện địa hình cụ thể.

Mạng điện thiết kế cần đảm bảo những yêu cầu kỹ thuật: đảm bảo độ tin cậy cung cấp điện tùy theo tính chất hộ tiêu thụ, đảm bảo chất lượng điện năng, đảm bảo an toàn cho người và thiết bị, thuận tiện cho vận hành, sửa chữa v.v... Đối với những hộ quan trọng, độ tin cậy cung cấp điện được đảm bảo bằng cách nối với chúng nhiều đường dây từ nhiều nguồn cung cấp tới

hoặc đặt thêm nguồn dự phòng. Chất lượng điện năng thể hiện ở chỉ tiêu tần số và điện áp, trong đó nhiệm vụ của mạng điện phải đảm bảo sao cho độ lệch điện áp tại mọi nút phụ tải nằm trong phạm vi cho phép bằng các phương tiện điều chỉnh điện áp.

Rõ ràng là sẽ có vô số phương án thiết kế mạng điện đảm bảo những yêu cầu kỹ thuật đề ra. Phương án lựa chọn cuối cùng là phương án có chỉ tiêu kinh tế tốt nhất.

Hiện nay chỉ tiêu kinh tế dùng trong tính toán kinh tế — kỹ thuật mạng điện là chi phí kinh tế quy đổi thường được gọi là chi phí tính toán. Chi phí tính toán là một hàm của rất nhiều biến số cần tìm: tiết diện dây dẫn trên tất cả các đoạn đường dây của sơ đồ cấu trúc, trị số điện áp của các cấp, số lượng và dung lượng các trạm giảm áp, dung lượng bù tại mọi nút phụ tải v.v... Muốn xác định được phương án thiết kế mạng điện tối ưu cần tìm cực tiểu hàm chi phí tính toán thỏa mãn điều kiện ràng buộc là những yêu cầu kỹ thuật và những điều kiện thực tế. Cũng cần nói thêm là phụ tải điện luôn biến động theo thời gian, các thông số về cấu trúc cũng như các thông số về chế độ làm việc — chính là các biến số của hàm chi phí tính toán — cũng phải biến động theo mới hoàn thành được nhiệm vụ cung cấp điện trong mọi thời kỳ.

Bài toán thiết kế tối ưu mạng điện có thể được xem là bài toán quy hoạch động, phi tuyến. Về nguyên tắc mà nói, bài toán quy hoạch động, phi tuyến có thể giải được trên máy tính điện tử. Song, hiện đang còn gặp nhiều khó khăn trong việc tìm lời giải cho bài toán thiết kế tối ưu mạng điện. Khó khăn trước hết là kích thước khổng lồ của bài toán do số lượng biến số quá nhiều, đặc biệt là với mạng điện hiện đại cung cấp cho một vùng rộng lớn bao gồm nhiều nguồn, nhiều cấp điện áp và rất nhiều nút phụ tải. Sau nữa là rất khó thành lập công thức giải tích cho các điều kiện ràng buộc của bài toán. Vì vậy, cho đến nay vẫn chưa có được một phương pháp chung chặt chẽ và chính xác để tìm cực tiểu hàm chi phí tính toán rất phức tạp của mạng điện. Bài toán này đang được nghiên cứu giải quyết theo hai hướng: hoàn thiện các phương pháp tính và nghiên cứu các biện pháp rút nhỏ kích thước bài toán. Để tránh những khó khăn chưa thể giải quyết được, người ta thường chia nhỏ bài toán thiết kế mạng điện, đó là sơ đồ nối dây tối ưu, hệ cấp điện áp tối ưu, vị trí và công suất trạm tối ưu, vị trí và dung lượng bù tối ưu v.v... Bằng cách ấy có thể dễ dàng hơn trong việc tìm lời giải tối ưu cục bộ, song chắc chắn là chưa đảm bảo tính kinh tế toàn mạng điện.

Hiện nay trong thực tế thiết kế đang dùng rộng rãi phương pháp so sánh phương án. Nội dung của phương pháp đó như sau: người thiết kế vạch ra tất cả phương án có thể, tiến hành so sánh các phương án về mặt kỹ thuật để loại bỏ những phương án không thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật, sau đó tiến hành tính toán kinh tế — kỹ thuật nhằm xác định trị số hàm chi phí tính toán cho mỗi phương án được giữ lại, cuối cùng phương án nào có trị số hàm chi phí tính toán bé nhất sẽ được lựa chọn làm phương án thiết kế mạng điện. Trường hợp các phương án có trị số hàm chi phí tính toán xấp xỉ bằng nhau, nghĩa là chỉ sai khác nhau một lượng nằm trong giới hạn cho phép của sai số phương pháp tính, sẽ được coi là các phương án đồng kinh tế. Khi đó, để lựa chọn phương án hợp lý nhất cần so sánh thêm một số chỉ tiêu kinh tế — kỹ thuật khác: vốn đầu tư, tổn thất điện năng, giá tiền truyền tải điện năng, khối lượng kim loại màu, khả năng

thuận tiện cho vận hành, sửa chữa và phát triển mạng điện v.v... Phương pháp so sánh phương án áp dụng tiện lợi cho những bài toán thiết kế mạng điện đơn giản, trong đó số biến số không nhiều lắm và đảm bảo cho người thiết kế trong khi vạch ra các phương án không bỏ sót phương án tối ưu.

8-2. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN KINH TẾ — KỸ THUẬT MẠNG ĐIỆN

Tính kinh tế của một phương án mạng điện được đánh giá thông qua nhiều chỉ tiêu, trong đó vốn đầu tư và phí tổn vận hành hàng năm là hai chỉ tiêu cơ bản nhất.

Vốn đầu tư K trên mạng điện bao gồm chi phí trên công trình đường dây và trên công trình trạm biến áp:

$$K = K_D + K_B \quad (8-1)$$

Vốn đầu tư trên đường dây dùng vào việc mua đất, vạch tuyến, mua cột, sứ, dây dẫn và xây lắp v.v... Vốn đầu tư trên công trình trạm gồm tiền mua đất san nền, tiền mua máy biến áp, thiết bị phân phối, đo lường điều khiển và công lắp đặt v.v...

Phí tổn vận hành hàng năm bao gồm các khoản khấu hao vốn đầu tư cho hao mòn, sửa chữa, phục vụ mạng điện và giá tiền tổn thất điện năng một năm:

$$Y = Y_D + Y_B + Y_{\Delta A} = a_{vhD}K + a_{vhB}K + C_0 \Delta A \quad (8-2)$$

trong đó: a_{vhD} , a_{vhB} — khấu hao vận hành, còn gọi là hệ số vận hành của đường dây và trạm biến áp, %.

C_0 — Giá tiền 1kWh tổn thất điện năng.

Chính phí tổn vận hành hàng năm quyết định giá tiền chuyên tải điện năng. Bởi vì theo định nghĩa, giá tiền chuyên tải điện năng bằng tỉ số giữa phí tổn vận hành hàng năm và điện năng chuyên tải qua mạng điện trong một năm

$$C = \frac{Y}{A} \quad (8-3)$$

Phương án mạng điện kinh tế nhất là phương án có hai chỉ tiêu kinh tế cơ bản thấp nhất

$$K \Rightarrow \min \text{ và } Y \Rightarrow \min. \quad (8-4)$$

Song, điều mong muốn đó hầu như không có trong thực tế. Phương án có vốn đầu tư lớn thường dẫn đến làm nhỏ phí tổn vận hành, trái lại, phương án có K nhỏ thì Y lại tăng lên. Ví dụ như đường dây tải điện chọn lớn hơn, do đó vốn đầu tư K_D nhiều hơn, sẽ có tổn thất điện năng ít hơn do điện trở nhỏ đi. Vì vậy, để xét tính kinh tế của phương án còn cần quan tâm đến thời hạn thu hồi vốn đầu tư chênh lệch. Ý nghĩa của đại lượng đó là việc xây dựng một công trình nào đó chỉ có lợi nếu như có thể thu hồi được vốn đầu tư chênh lệch trong một thời hạn không lớn. Thời hạn thu hồi vốn đầu tư chênh lệch được quy định tùy theo mỗi nước, mỗi thời kỳ phát triển kinh tế quốc dân, nó thường được gọi là thời gian tiêu chuẩn thu hồi vốn đầu tư chênh lệch T_{tc} . Vốn đầu tư, phí tổn vận hành hàng năm, thời gian thu hồi vốn đầu tư chênh lệch của một phương án

mạng điện được xét đến thông qua một chỉ tiêu kinh tế tổng quát: chi phí nền kinh tế quốc dân hay là chi phí tính toán

$$Z = \frac{K}{T_{tc}} + Y = a_{tc}K + Y = (a_{vh} + a_{tc})K + C_o \Delta A \quad (8-5)$$

trong đó a_{tc} -- hệ số thu hồi vốn đầu tư tiêu chuẩn hoặc hệ số hiệu quả vốn đầu tư.

Phương án mạng điện kinh tế nhất là phương án kết hợp hài hòa giữa vốn đầu tư và phí tổn vận hành đảm bảo cho trị số chi phí tính toán nhỏ nhất

$$Z \Rightarrow \min \quad (8-6)$$

Hàm chi phí tính toán theo (8-5) đã được thành lập với giả thiết rằng vốn đầu tư của các phương án bỏ vào mạng điện trong cùng một thời gian (thời hạn xây dựng không quá 1 năm) và phí tổn vận hành hàng năm của mạng điện không thay đổi trong khoảng thời gian nghiên cứu. Trường hợp cần so sánh những phương án có thời gian xây dựng khác nhau, tiêu chuẩn kinh tế là cực tiểu hàm chi phí tính toán tổng đã quy về cùng một thời điểm thường lấy là năm đầu tiên của thời kỳ xây dựng T

$$Z_{\Sigma} = \sum_{t=1}^T Z_t' = \sum_{t=1}^T \frac{Z_t}{(1 + a_{tc})^t} = \sum_{t=1}^T \frac{Z_t}{\alpha^t} \quad (8-7)$$

Công thức (8-5) cũng chỉ đúng với trường hợp so sánh các phương án có cùng độ tin cậy cung cấp điện. Nếu các phương án có độ tin cậy cung cấp điện khác nhau cần đưa thêm vào hàm Z kì vọng tổn thất nền kinh tế quốc dân 1 năm do ngừng cung cấp điện H

$$Z = (a_{vh} + a_{tc})K + C_o \Delta A + H \quad (8-8)$$

Trị số của kì vọng tổn thất H được xác định theo biểu thức sau:

$$H = a \cdot W \quad (8-9)$$

a -- giá tiền 1kWh điện năng thiếu hụt

W -- lượng điện năng thiếu hụt trong 1 năm do ngừng cung cấp điện xác định theo xác suất ngừng cung cấp điện h

$$W = p_{\max} \cdot T_{\max} \cdot h \quad (8-10)$$

Xác suất ngừng cung cấp điện xác định được đối với một sơ đồ cung cấp điện nhờ hai định nghĩa sau đây:

Xác suất xảy ra sự cố trên các phần tử mạng điện

$$q = \frac{t_{sc}}{T} = \frac{Q_{sc} t_q}{T} \quad (8-11)$$

và xác suất sửa chữa định kì

$$f = \frac{t_f}{T} \quad (8-12)$$

trong đó t_{sc} — số giờ sự cố trong thời gian quan sát T

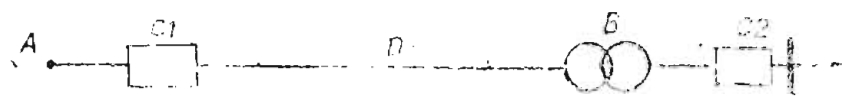
Q_{sc} — số lần sự cố 1 năm

t_q — thời gian sửa chữa 1 sự cố

t_c — số giờ sửa chữa định kì trong thời gian T .

Sơ đồ thường gặp nhất trên mạng điện là sơ đồ cung cấp điện theo đường dây 1 lộ (hình 8-1). Xác suất ngừng cung cấp điện trong trường hợp này là một biến cố phức tạp, bằng biến cố tổng của các biến cố: sự cố máy cắt, sự cố đường dây, sự cố máy biến áp, sửa chữa định kì máy cắt, sửa chữa định kì đường dây, sửa chữa định kì máy biến áp. Chú ý rằng thời gian sửa chữa định kì đường dây là lâu hơn cả, trong thời gian đó người ta tranh thủ sửa chữa đồng thời máy cắt và máy biến áp. Xác suất ngừng cung cấp điện của sơ đồ đó bằng

$$h = q_{c1} + q_D + q_B + q_{c2} + f_D \quad (8-13)$$



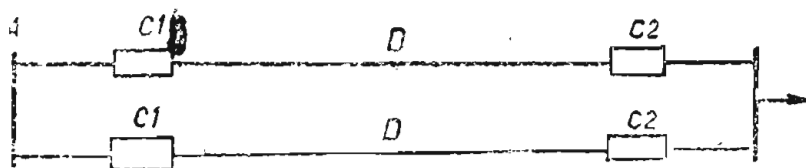
Hình 8-1. Sơ đồ cung cấp điện bằng đường dây 1 lộ.

Các trị số q_c , q_B , q_D , f_D tính được theo (8-11), (8-12) căn cứ vào các số liệu thống kê Q_{sc} , t_q , t_f ; Đối với đường dây 1 lộ thường biết được các số liệu thống kê 1 năm trên 100 km, vì thế

$$q_D = \frac{Q_D t_q}{8760} \cdot \frac{l}{100} \quad (8-14)$$

Trường hợp hệ tiêu thụ được cung cấp bằng đường dây kép (hình 8-2) xác suất ngừng cung cấp điện bằng xác suất xảy ra sự cố đồng thời trên cả 2 lộ cộng với xác suất sự cố đường dây này khi sửa chữa đường dây kia. Ở đây số liệu thống kê cho biết xác suất xảy ra sự cố trên đường dây và thời gian sửa chữa định kì đường dây đều lớn hơn của máy cắt nhiều nên có thể bỏ qua các trị số xác suất của máy cắt, khi đó

$$h = q_D' + 2K_f q_D' \cdot f_D \quad (8-15)$$



Hình 8-2. Sơ đồ cung cấp điện bằng đường dây kép

trong đó q_D — xác suất xảy ra sự cố trên 1 lộ đường dây; q_D' — xác suất xảy ra sự cố đồng thời trên cả 2 lộ; f_D — xác suất sửa chữa định kì đường dây; K_f — hệ số bé hơn 1 xét đến những biện pháp được thực hiện nhằm đảm bảo cho đường dây còn lại vận hành tốt hơn khi sửa chữa đường dây kia.

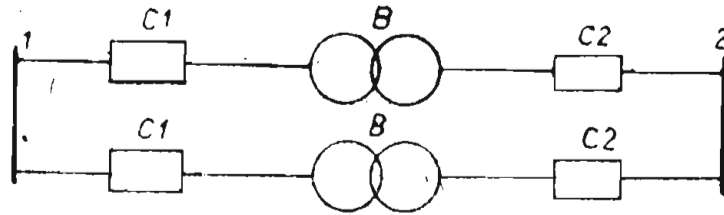
Đối với đường dây kép số liệu thống kê cho xác suất sự cố trên 1 lộ bao gồm cả xác suất sự cố đồng thời trên 2 lộ, trong đó xác suất sự cố đồng thời trên hai lộ chiếm khoảng 12 ÷ 25%, vì thế:

$$q_D' = \frac{[1 - (0,15 \div 0,25)] Q_D t_q}{8760} \cdot \frac{l}{100} \quad (8-16)$$

$$q_D'' = \frac{(0,15 \div 0,25) Q_D t_q}{8760} \cdot \frac{l}{100} \quad (8-17)$$

Tương tự, xác định được xác suất ngừng cung cấp điện cho sơ đồ trạm, máy biến áp (hình 8-3).

$$h = (q_{c1} + q_B + q_{c2})^2 + 2k_{lf_B}(q_{c1} + q_B + q_{c2}) \quad (8-18).$$



Hình 8-3. Sơ đồ trạm hai máy biến áp.

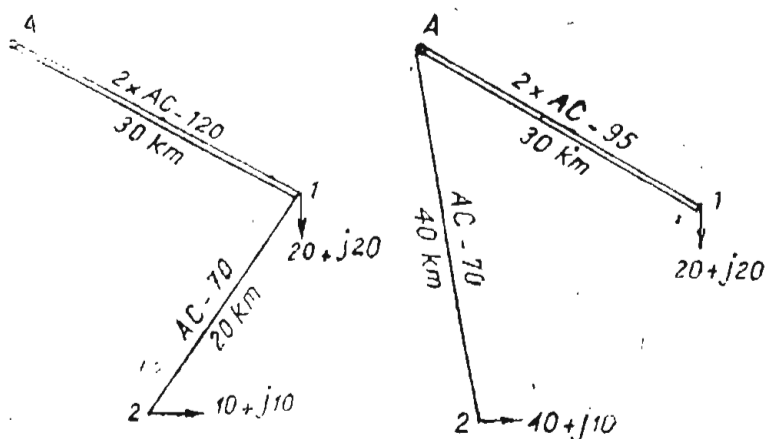
Khi thiết kế cung cấp điện cho hộ tiêu thụ loại hai cần thiết phải xét đến tổn thất nền kinh tế quốc dân để so sánh hai phương án cung cấp điện có dự phòng.

Ví dụ 8-1. Có hai phương án cung cấp điện từ nguồn A đến hai phụ tải 1 và 2 (hình 8-4). Với các tiết diện lựa chọn ghi trên hình vẽ cả hai phương án đều thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật. Yêu cầu tiến hành tính toán kinh tế — kỹ thuật để lựa chọn phương án tối ưu. Biết điện áp mạng điện là 110 kV và $\tau = 4000 h$.

Giải. Với các loại dây như hình vẽ xác định được điện trở suất ứng với AC-70, AC-95, AC-120 là 0,46; 0,33; 0,27 Ω/km và giá tiền 1 km đường dây lấy lần lượt là $50 \cdot 10^3 đ$, $57 \cdot 10^3 đ$, $65 \cdot 10^3 đ$. Do giảm được tiền thăm dò và mua đất, đường dây hai lộ có giá tiền bằng đường dây 1 lộ nhân với 1,8.

Coi phần trạm của hai phương án giống hệt nhau, không cần xét tới khi thành lập hàm chi phí tính toán. Đồng thời độ tin cậy cung cấp điện hai phương án xấp xỉ bằng nhau, cũng có thể bỏ qua. Tiến hành mọi tính toán cần thiết cho phương án I.

$$\Delta A_I = \left[\frac{10^2 + 10^2}{110^2} \cdot 0,46 \cdot 20 + \frac{30^2 + 30^2}{110^2} \cdot \frac{30}{2} \cdot 0,27 \right] 4000 \cdot 10^3 = 3 \cdot 10^6 kWh$$



Hình 8-4

$$K_I = 1,8 \cdot 65 \cdot 10^3 \cdot 30 + 50 \cdot 20 \cdot 10^3 = 4,5 \cdot 10^6 đ$$

nếu lấy $a_{vh} = 0,04$; $a_{tc} = 0,2$, $C_o = 0,1 đ/kWh$, chi phí tính toán phương án I bằng

$$Z_I = (0,04 + 0,2) 4,5 \cdot 10^6 + 0,1 \cdot 3 \cdot 10^6 = 1,38 \cdot 10^6 đ$$

Tương tự cũng tính được các chỉ tiêu kinh tế của phương án II, cuối cùng thành lập được bảng so sánh hai phương án (bảng 8-1)

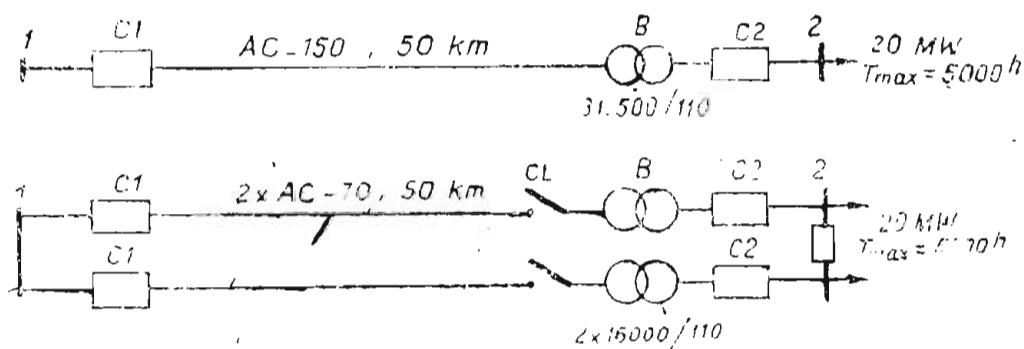
Qua bảng kết quả tính toán nhận thấy phương án I

kinh tế hơn, vậy được chọn làm phương án thiết kế mạng điện.

Kết quả tính toán kinh tế – kỹ thuật hai phương án

Các chỉ tiêu kinh tế	Phương án I	Phương án II
$K, 10^6 đ$	4,5	5,1
$\Delta, 10^6 kWh$	3,0	2,54
$Z, 10^6 đ$	1,38	1,55

Ví dụ 8-2. So sánh hai phương án cung cấp điện cho một hộ tiêu thụ loại 2 (hình 8-5). Biết rằng $U_{dm} = 100kV$, $\tau = 3000h$ các số liệu còn lại trên hình vẽ



Hình 8-5

Giải. Trước hết tính toán cho phương án đường dây 1 lộ.

Lấy $t_{qD} = 175h$, $Q_D = 0,5$ lần/năm, $t_{qD} = 10h$, $Q_B = 0,02$, $t_{qB} = 60$; $Q_{C1} = 0,03$; $t_{qC1} = 40$; $Q_{C2} = 0,005$, $t_{qC2} = 2$, xác suất sự cố của đường dây đó xác định được theo công thức (8-13)

$$\begin{aligned}
 h_1 &= \frac{0,03 \cdot 40}{8760} + \frac{0,5 \cdot 10}{8760} \cdot \frac{50}{100} + \frac{0,02 \cdot 60}{8760} + \frac{0,0052}{8760} + \frac{175}{8760} = \\
 &= 0,137 \cdot 10^{-3} + 0,285 \cdot 10^{-3} + 0,137 \cdot 10^{-3} + 0,01 \cdot 10^{-3} + 20 \cdot 10^{-3} = \\
 &= 20,56 \cdot 10^{-3}
 \end{aligned}$$

ki vọng thiếu hụt điện năng 1 năm do ngừng cung cấp điện

$$W_1 = P_{\max} T_{\max} h_1 = 20 \cdot 10^3 \cdot 5000 \cdot 20,56 \cdot 10^{-3} = 2,06 \cdot 10^6 kWh.$$

Nếu lấy giá liên tổn thất kinh tế quốc dân là $3đ/kWh$, xác định được ki vọng tổn thất do ngừng cung cấp điện

$$H_1 = a \cdot W_1 = 3 \cdot 2,06 \cdot 10^6 = 6,18 \cdot 10^6 đ.$$

với những số liệu cho trên hình vẽ có thể coi gần đúng hai phương án có tổn thất điện năng bằng nhau, khi đó hàm chi phí tính toán bằng

$$Z_1 = (a_{vhc} + a_{tc})K_c + H_1$$

Lấy $a_{tc} = 0,2$; $a_{vhd} = 0,04$; $a_{vhd} = a_{vbc} = 0,1$
 giá tiền dây là $85 \cdot 10^3 đ/km$; $K_B = 500 \cdot 10^3 đ$; $K_{c1} = 285 \cdot 10^3 đ$; $K_{c2} = 50 \cdot 10^3 đ$;
 chỉ tính tính toán của phương án đường dây 1 lộ bằng

$$Z_1 = (0,04 + 0,2)85 \cdot 10^3 \cdot 50 + (0,1 + 0,2)500 \cdot 10^3 + \\ + (0,1 + 0,2)(285 \cdot 10^3 + 50 \cdot 10^3) + 6,18 \cdot 10^6 = 7,45 \cdot 10^6 đ$$

Đối với phương án đường dây kép, bỏ qua xác suất rất nhỏ của dao cách li tự động và máy cắt hạ áp, xác suất ngừng cung cấp điện gần đúng bằng tổng xác suất đồng thời xảy ra sự cố trên hai đường dây, đồng thời xảy ra sự cố trên hai máy cắt cao áp, lúc sửa chữa đường dây này xảy ra sự cố trên các phần tử của đường dây kia. Lúc đó:

$$h_2 = q_D^2 + q_{c1}^2 + q_B^2 + 2K_{fd}(q_D + q_{c1} + q_B) = \\ = \frac{0,2 \cdot 0,5 \cdot 10}{8760} \cdot \frac{50}{100} + \left(\frac{0,03 \cdot 40}{8760} \right)^2 + \left(\frac{0,02 \cdot 60}{8760} \right)^2 + \\ + 2 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \left[\frac{(1 - 0,2) \cdot 0,5 \cdot 10}{8760} \cdot \frac{50}{100} + \frac{0,03 \cdot 40}{8760} + \frac{0,02 \cdot 60}{8760} \right] = \\ = 0,055 \cdot 10^{-3} + 0,019 \cdot 10^{-3} + 0,019 \cdot 10^{-3} + 7,2 \cdot 10^{-3} \approx 7,3 \cdot 10^{-3}$$

Lấy giá tiền đường dây AC-70 là $50 \cdot 10^3 đ/km$; dao cách li tự động là $2 \times 40 \cdot 10^3 đ$, máy biến áp là $2 \times 350 \cdot 10^3 đ$, chỉ phí tính toán phương án đường dây hai lộ bằng:

$$Z_2 = 0,24 \cdot 1,8 \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 50 + 0,3(2 \cdot 285 \cdot 10^3 + 2 \cdot 40 \cdot 10^3 + 2 \cdot 350 \cdot 10^3 + \\ + 3 \cdot 50 \cdot 10^3) + 3 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 5000 \cdot 7,3 \cdot 10^{-3} = 5,23 \cdot 10^6 đ$$

So sánh trị số Z_1 và Z_2 nhận thấy, với điều kiện sửa chữa đường dây có cắt điện và với những số liệu lấy ở trên, phương án đường dây kép kinh tế hơn

8.3. LỰA CHỌN ĐIỆN ÁP ĐỊNH MỨC CỦA MẠNG ĐIỆN

Lựa chọn hợp lý cấp điện áp định mức là một trong những nhiệm vụ quan trọng nhất khi thiết kế mạng điện, bởi vì trị số điện áp ảnh hưởng trực tiếp và quan trọng đến các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật của mạng điện thiết kế: vốn đầu tư, tổn thất điện năng, phí tổn kim loại màu, phí tổn vận hành v.v. Xuất phát từ trị số phụ tải đã cho và điện áp lựa chọn người ta tiến hành lựa chọn tất cả các phần tử của mạng điện. Trị số điện áp định mức nếu lựa chọn lớn sẽ nâng cao khả năng tải của đường dây, làm giảm tổn thất điện áp và điện năng, giảm phí tổn kim loại màu, song lại làm tăng cao giá thành công trình đường dây và các thiết bị điện khác.

Trị số điện áp định mức hợp lý nhất là trị số làm cho mạng điện có chi phí tính toán nhỏ nhất. Có thể sử dụng phương pháp so sánh phương án để xác định trị số điện áp định mức bằng cách vạch ra một số phương án điện áp, từ đó lựa chọn các phần tử của mạng và tiến hành tính toán kinh tế — kỹ thuật để xác định chi phí tính toán của mỗi phương án. Tuy nhiên, phương pháp này cũng gặp khó khăn khi mạng điện có nhiều nguồn, nhiều điểm phụ tải.

Trong thực tế tính toán, để sơ bộ xác định trị số điện áp người ta thường sử dụng một số công thức kinh nghiệm. Biết rằng trị số điện áp chủ yếu phụ thuộc vào chiều dài l và công suất S cần chuyển tải qua chiều dài đó, các nhà thiết kế đã tìm ra một số công thức đơn giản rất tiện lợi cho người dùng. Trước hết phải kể đến công thức của Stih (Mĩ).

$$U = 4,34 \sqrt{l + 16P} \text{ kV} \quad (8-18)$$

trong đó P — công suất cần chuyển tải, MW; l — khoảng cách chuyển tải, km. Công thức Stih cho kết quả khá tin cậy ứng với $l \leq 250 \text{ km}$ và $S \leq 60 \text{ MW}$. Với những khoảng cách lớn hơn và công suất chuyển tải lớn hơn nên dùng công thức Zalesski (Liên xô)

$$U = \sqrt{l(0,1 + 0,015 \sqrt{l})} \text{ kV} \quad (8-19)$$

trong đó công suất tính bằng kW

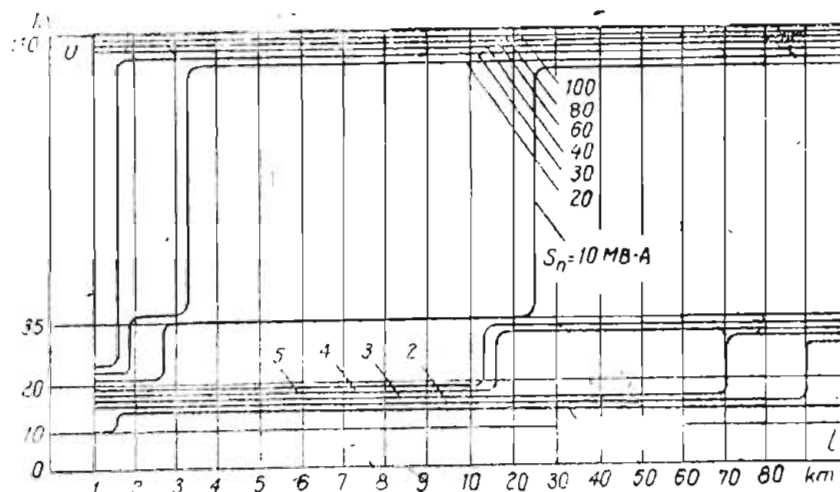
Ngoài ra, có thể dùng công thức của Vaykert (Đức)

$$U = 3 \sqrt{S} + 0,5l \text{ kV} \quad (8-20)$$

trong đó $S[\text{MVA}]$ và $l[\text{km}]$

Đôi vi điện áp phụ thuộc rất nhiều yếu tố khác ngoài S và l , vì thế cần nhắc lại là các trị số điện áp xác định được theo các công thức trên chỉ là sơ bộ, gần đúng.

Trong bước sơ bộ cũng có thể tham khảo các khoảng chia kinh tế của điện áp theo S và l cho bằng đồ thị (hình 8-6) hoặc bằng bảng (bảng 8-2).



Hình 8-6. Đồ thị xác định giữa đường điện áp theo công suất và khoảng cách chuyển tải.

Bảng 8-2

Quan hệ giữa điện áp với công suất và chiều dài chuyển tải

U, kV	S, MW	l, km
35	5 — 10	30 — 15
110	30 — 40	150 — 120
220	100 — 120	250 — 200

Trên một mạng điện thường dùng nhiều cấp điện áp. Ví dụ, mạng điện Liên xô có những cấp điện áp sau: 3 — 6 — 10 — 35 — 110 — 154 — 220 — 330 — 500 kV; mạng điện Pháp: 3,2 — 5,5 — 10 — 15 — 20 — 30 — 45 — 60 — 90 — 110 — 150 — 380 kV; mạng điện Mỹ: 2,4 — 4,8 — 12 — 14,4 — 23 — 31,5 — 46 — 69 — 115 — 161 kV, mạng điện Đức: 1 — 3 — 6 — 10 — 15 — 20 — 30 — 45 — 90 — 110 — 150 kV. Mạng điện Anh: 6 — 11 — 12 — 33 — 66 — 88 — 110 — 165 kV.

Trị số điện áp của cấp này sẽ ảnh hưởng đến chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật của cấp kia và ngược lại. Vì vậy lời giải kinh tế của mạng điện về mặt điện áp là lời giải ứng với hệ cấp điện áp tối ưu. Hệ cấp điện áp tối ưu cho mỗi nước, mỗi khu vực phụ thuộc rất nhiều yếu tố mật độ dân cư, trình độ kinh tế, phân bố công, nông nghiệp, chính sách giá cả, điều kiện khí hậu, địa hình v.v... Bài toán xác định hệ cấp điện áp tối ưu nói chung rất phức tạp, ở đây không đề cập tới.

8.4 KIỂM TRA CÂN BẰNG CÔNG SUẤT, BÀI TOÁN BÙ KỸ THUẬT

Đặc biệt của sản xuất điện năng là tại mọi thời điểm đều có sự cân bằng: tổng số điện năng phát ra bằng dung lượng điện năng yêu cầu. Vì vậy trước khi bắt tay vào thiết kế mạng điện cần kiểm tra điều kiện cân bằng công suất để sơ bộ đánh giá khả năng cung cấp của nguồn trước yêu cầu của phụ tải. Sau này, khi công việc thiết kế ở vào giai đoạn hoàn chỉnh cũng cần phải kiểm tra lại.

Khả năng phát ra công suất của nguồn cần phải lớn hơn tổng công suất tiêu thụ kể cả tự dùng, nghĩa là:

$$\Sigma P_N > \Sigma P_{pt} + \Sigma \Delta P + \Sigma P_{td} \quad (8-21)$$

$$\Sigma Q_N > \Sigma Q_{pt} + \Sigma \Delta Q + \Sigma Q_{td} - \Sigma Q_c \quad (8-22)$$

trong đó

ΣP_{pt} , ΣQ_{pt} — tổng công suất tác dụng và phản kháng của phụ tải lấy tại thời điểm cực đại, nếu phụ tải tác dụng và phản kháng không đồng thời cực đại phải tiến hành cân bằng ở các thời điểm khác nhau.

$\Sigma \Delta P$, $\Sigma \Delta Q$ — tổn thất công suất tác dụng và phản kháng cực đại trên toàn mạng điện

ΣP_{td} , ΣQ_{td} — tổng công suất tự dùng lớn nhất của các nhà máy điện.

ΣQ_c — tổng công suất phản kháng do các đường dây của mạng điện sinh ra.

Vì ở mọi lúc điều kiện cân bằng, các nhà máy không phát toàn bộ công suất có thể mà chỉ phát ra một lượng nhất định theo yêu cầu của từng thời điểm

$$\Sigma P_F = \Sigma P_{pt} + \Sigma \Delta P + \Sigma P_{td} \quad (8-23)$$

$$\Sigma Q_F = \Sigma Q_{pt} + \Sigma \Delta Q + \Sigma Q_{td} - \Sigma Q_c \quad (8-24)$$

Lượng công suất không phát ra gọi là công suất dự trữ của mạng điện hay hệ thống điện

$$P_{dt} = \Sigma P_N - \Sigma P_F \quad (8-25)$$

$$Q_{dt} = \Sigma Q_N - \Sigma Q_F \quad (8-26)$$

Khi bắt đầu thiết kế mạng điện, chưa thể có số liệu chính xác về các lượng tổn thất và tự dùng có thể lấy gần đúng theo thống kê hoặc kinh nghiệm như sau

$$\Sigma \Delta P = (5 \div 15\%) \Sigma P_{pt}$$

$$\Sigma P_{td} = (5 \div 10\%) (\Sigma P_{pt} + \Sigma \Delta P) \text{ với các nhà máy nhiệt điện và}$$

$$\Sigma P_{td} = 1\% (\Sigma P_{pt} + \Sigma \Delta P) \text{ với nhà máy thủy điện.}$$

Đối với mạng điện 110—150 kV trong bước gần đúng đầu tiên có thể coi tổn thất công suất phản kháng tổn thất trên mạng điện được bù lại bằng công suất phản kháng do đường dây sinh ra, còn tổn thất công suất phản kháng trong các máy biến áp xác định gần đúng theo công thức

$$\Sigma \Delta Q_B = n \Delta Q_B + \Sigma Q_{pt} \quad (8-26)$$

trong đó n — số cấp biến áp, ví dụ mạng điện 110/110/35/10 có $n = 3$.

ΔQ_B — tổn thất tương đối của máy biến áp, $\Delta Q_B \approx 0,1$.

Lượng công suất dự trữ tác dụng của hệ thống thường không được bé hơn công suất của máy phát lớn nhất và lấy bằng

$$\Sigma P_{pt} = (10 \div 15\%) (\Sigma P_{pt} + \Sigma \Delta P) \quad (8-27)$$

$$\text{và} \quad \Sigma Q_{dt} = (7 \div 8\%) (\Sigma Q_{qt} + \Sigma \Delta Q) \quad (8-28)$$

Nếu như điều kiện (8-21) và (8-27) không thỏa mãn thì hệ thống thiếu công suất tác dụng cần đặt thêm máy phát hay xây dựng thêm nhà máy điện mới.

Nếu điều kiện (8-22) và (8-28) không thỏa mãn, hệ thống chỉ thiếu công suất phản kháng, tốt nhất là đặt thiết bị bù tại các hệ tiêu thụ để phát ra lượng công suất phản kháng thiếu hụt. Ở bước sơ bộ, dung lượng bù xác định như sau:

$$\Sigma Q_b \geq \Sigma Q_{pt} + \Sigma \Delta Q_B + \Sigma Q_{td} + \Sigma Q_{dt} - \Sigma Q_N \quad (8-29)$$

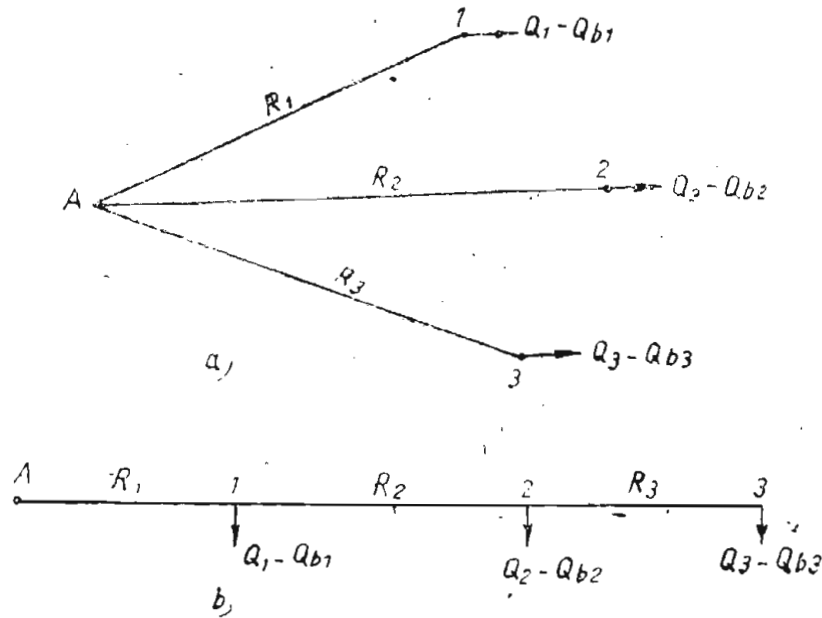
Do chưa có sơ đồ cung cấp điện, chưa biết các thông số của mạng điện ở bước sơ bộ dung lượng ΣQ_b được phân bố trực tiếp cho các điểm phụ tải theo nguyên tắc bù cho những hộ ở xa và có cosφ thấp, công việc đó gọi là bù sơ bộ. Ở giai đoạn thiết kế hoàn chỉnh, sẽ xác định được chính xác tổng dung lượng công suất thiếu hụt trên cơ sở tính toán chính xác các lượng tổn thất trên mạng điện.

$$\Sigma Q_b \geq \Sigma Q_{pt} + \Sigma \Delta Q_D + \Sigma \Delta Q_B + \Sigma Q_{td} + \Sigma Q_{dt} - \Sigma Q_N \quad (8-30)$$

Dung lượng ΣQ_b nếu phân bố trong mạng điện theo những phương án khác nhau sẽ gây nên tổn thất điện năng khác nhau trên mạng điện. Cần tìm một phương án phân bố ΣQ_b kinh tế nhất, nghĩa là với nó có chi phí tính toán bé nhất, đó chính là nội dung của bài toán bù kỹ thuật. Bài toán bù kỹ thuật được phát biểu như sau: Hãy tìm các trị số dung lượng bù đặt tại các phụ tải $Q_{b1}, Q_{b2}, \dots, Q_{bn}$ làm cực tiểu hàm chi phí tính toán $Z(Q_{bi})$ với điều kiện ràng buộc

$$\left. \begin{aligned} \Sigma Q_{bi} &= Q_{b1} + Q_{b2} + \dots + Q_{bn} = \Sigma Q_b \\ Q_{bi} &\geq 0 \end{aligned} \right\} \quad (8-31)$$

Cũng giống như bài toán bù kinh tế, với những mạng điện đơn giản có thể giải bài toán bù kĩ thuật bằng cách trực tiếp lấy đạo hàm hàm $Z(Q_{bi})$ theo n biến số, cho bằng không, rồi giải hệ thống phương trình đó kết hợp với điều kiện ràng buộc (8-31) sẽ xác định được vị trí và dung lượng bù tối ưu. Trong bài toán này khi thành lập hàm chi phí tính toán không cần quan tâm đến thành phần liên quan đến vốn đầu tư, bởi vì mọi phương án đều phải bù với một dung lượng tổng bằng nhau, vốn đầu tư và tiền lắp đặt thiết bị bù coi như bằng nhau với mọi phương án.



Hình 8-7

Đối với mạng điện hình tia (hình 8-7, a) hàm $Z(Q_{bi})$ bằng

$$Z(Q_{bi}) = \frac{C_o \tau}{U^2} [(Q_1 - Q_{b1})^2 R_1 + (Q_2 - Q_{b2})^2 R_2 + (Q_3 - \Sigma Q_b + Q_{b1} + Q_{b2})^2 R_3]$$

Lấy đạo hàm hàm $Z(Q_{bi})$ theo Q_{b1} và Q_{b2} cho bằng không, giải ra được Q_{b1} , Q_{b2} và $Q_{b3} = \Sigma Q_b - Q_{b1} - Q_{b2}$.

Đối với mạng điện có một số phụ tải hàm $Z(Q_{bi})$ bằng

$$Z(Q_{bi}) = \frac{C_o \tau}{2} [(Q_3 - Q_{b3})^2 R_3 + (Q_2 + Q_3 - Q_{b3} - Q_{b2})^2 R_2 + (Q_1 + Q_2 + Q_3 - \Sigma Q_b + Q_{b1} + Q_{b2})^2 R_1]$$

Các trị số Q_{b1} , Q_{b2} , Q_{b3} cũng tìm được tương tự như trên.

Ví dụ 8-3. Mạng điện phân nhánh 10kV cung cấp điện cho 3 xí nghiệp công nghiệp (hình 8-8). Tính toán cho biết là mạng điện thiếu hụt một lượng công suất phản kháng là 1000 kVAR. Hãy phân bố hợp lý nhất dung lượng bù đó trên thanh cái 10kV của 3 trạm biến áp xí nghiệp.

Giải. Đặt $Q_{b1} = \sum Q_b - Q_{b2} - Q_{b3}$
 $= 1000 - Q_{b2} - Q_{b3}$. Với trị
 số điện trở đã cho trên hình vẽ
 hàm chi phí tính toán của mạng
 điện bằng:

$$Z(Q_{b2}, Q_{b3}) = \frac{C_0 \tau}{U^2} [(1000 - Q_{b2})^2 \cdot 2 +$$

$$+ (500 - Q_{b3})^2 \cdot 4 +$$

$$+ (2000 - 1000 + Q_{b2} + Q_{b3})^2 \cdot 0,5]$$

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{b2}} = -4(1000 - Q_{b2}) +$$

$$+ 1(1000 + Q_{b2} + Q_{b3}) = 0$$

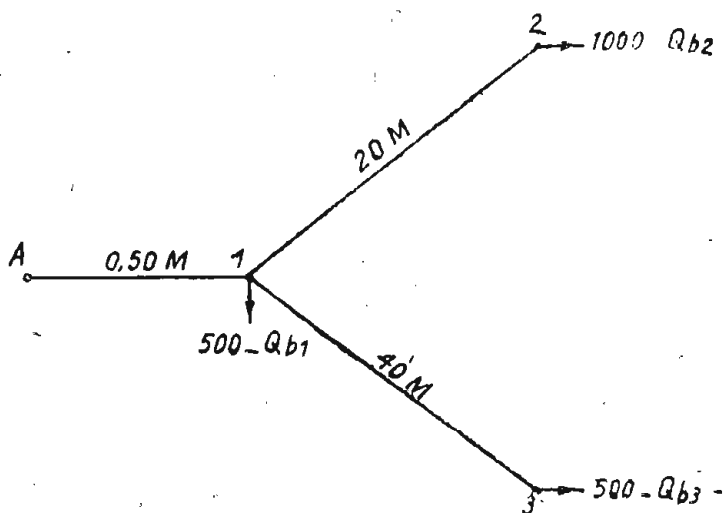
$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{b3}} = -8(500 - Q_{b3}) + 1(1000 + Q_{b2} + Q_{b3}) = 0$$

Giải hệ phương trình trên nhận được

$$Q_{b2} = 550 \text{ kVAR}, Q_{b3} = 250 \text{ kVAR}$$

Cuối cùng xác định được dung lượng bù tại xí nghiệp 1

$$Q_{b1} = 1000 - (550 + 250) = 200 \text{ kVAR}.$$



Hình 8-8

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Мельников. Н.А. Электрические сети и системы, «Энергия», 1969.
- [2] Мельников Н.А Матричный метод анализа электрических цепей «энергия» 1966.
- [3] Веников В.А. и другие, электрические системы. «Высшая школа», 1970.
- [4] Bùi Ngọc Thư, giáo trình Mạng điện, Đại học Bách khoa Hà Nội, 1970.
- [5] Bộ môn Phát dẫn điện, Hướng dẫn thiết kế mạng và hệ thống điện, giáo trình Đại học Bách khoa Hà Nội, 1974
- [6] Đặng Ngọc Đình, Ngô Hồng Quang, Bùi Ngọc Thư, Nguyễn Hiền, Một số vấn đề qui hoạch và thiết kế mạng điện địa phương, NXB «Khoa học kỹ thuật», 1971
- [7] Trần Văn Hãn, Đại số tuyến tính trong kỹ thuật, NXB Đại học và Trung học chuyên nghiệp, 1978.
- [8] Edwin F.Beckenbach, Toán học hiện đại cho kỹ sư, tập I, NXB Đại học và Trung học chuyên nghiệp, 1978.