

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
BỘ MÔN HỆ THỐNG ĐIỆN - KHOA ĐIỆN

GS TS LÃ VĂN ÚT

NGẮN MẠCH TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

*(Sách được dùng cho sinh viên Đại học Bách khoa Hà Nội
và các trường Đại học khác)*

Xuất bản lần thứ tư, có bổ sung, sửa chữa



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI - 2012

Vertical line of text on the right side of the page.

LỜI TỰA

Từ năm 1969 các sinh viên ngành Hệ thống điện vẫn dùng cuốn sách "Quá trình quá độ điện từ trong hệ thống điện", do thầy Nguyễn Phiệt biên soạn làm tài liệu tham khảo chính khi học môn "Ngắn mạch trong hệ thống điện". Sự tồn tại lâu dài như vậy của một cuốn sách phần nào đã thể hiện chất lượng chuyên môn cao của nó. Cuốn sách không những cung cấp cho sinh viên cơ sở phương pháp tính toán ngắn mạch mà còn có thể tham khảo thêm về lý thuyết phân tích quá trình quá độ điện từ trong hệ thống điện. Năm 1997 bộ môn Hệ Thống Điện cũng đã dịch và xuất bản quyển sách "Ngắn mạch trong hệ thống điện" của tác giả Richard Roeper (CHLB Đức) nhằm làm tài liệu tham khảo bổ sung cho sinh viên và kỹ sư ngành điện về lĩnh vực này (nguyên bản tiếng Anh: "Short-Circuit Currents in Three-Phase Systems").

Mặc dù có những tài liệu trên chúng tôi thấy vẫn cần biên soạn một tài liệu mới cho môn học "Ngắn mạch trong hệ thống điện" với những lý do sau:

- Có những phát triển mới về phương pháp tính ngắn mạch hệ thống điện theo hướng ứng dụng các phần mềm máy tính chuyên dụng.
- Tài liệu cần phải phù hợp hơn với cách đào tạo mới trong nhà trường: chặt chẽ, xúc tích, giúp sinh viên nắm bắt nhanh những vấn đề cốt lõi, đồng thời hiểu được bản chất lý thuyết của các vấn đề.

Tác giả chân thành cảm ơn tất cả các nhận xét góp ý của người đọc về nội dung cuốn sách. Mọi thư từ liên hệ với tác giả xin gửi về địa chỉ thư: Bộ môn Hệ Thống Điện, khoa Điện, Trường ĐHBK Hà Nội, Đường Đại Cồ Việt, Quận Hai Bà Trưng Hà Nội.

Telephone: (84-4) 38692009, E-mail: lavanut-htd@mail.hut.edu.vn

Tác giả

Trong lần xuất bản thứ tư sách có bổ sung và sửa chữa. Các nội dung bổ sung chủ yếu nằm trong chương 7, nhằm làm rõ thêm một số chi tiết lý thuyết. Các sai sót biên soạn và ấn loát phát hiện trong các lần xuất bản trước cũng đã được sửa chữa, loại bỏ.

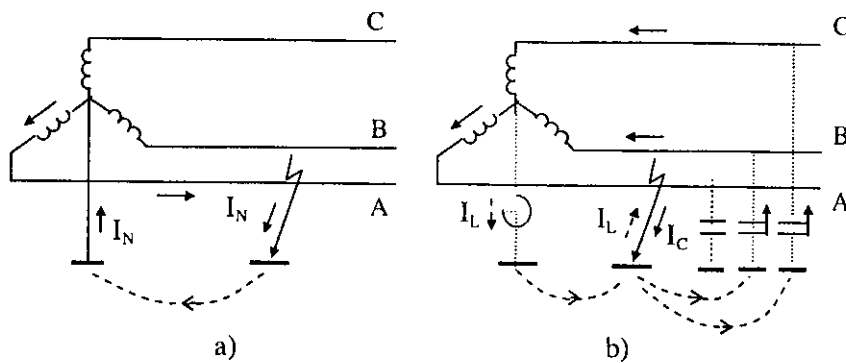
Chương 1

KHÁI NIỆM CHUNG VỀ NGẮN MẠCH VÀ DÒNG ĐIỆN NGẮN MẠCH TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

1.1 NHỮNG KHÁI NIỆM VÀ ĐỊNH NGHĨA CƠ BẢN

1. Ngắn mạch và chạm đất một pha

Ngắn mạch trong hệ thống điện (HTĐ) chỉ hiện tượng các dây dẫn pha chạm nhau, chạm đất (trong HTĐ có trung điểm nối đất) hoặc chạm dây trung tính. Lúc xảy ra ngắn mạch tổng trở của hệ thống giảm đi (giống như mạch điện bị ngắn lại), dòng điện tăng lên đáng kể gọi là dòng điện ngắn mạch.



Hình 1.1 So sánh ngắn mạch và chạm đất một pha

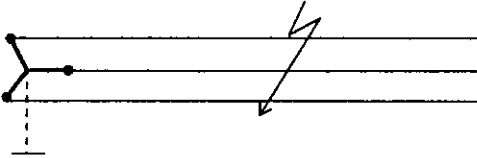
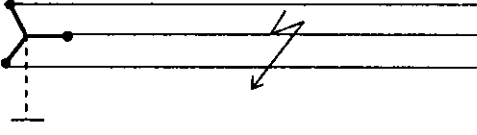
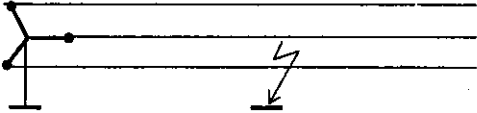
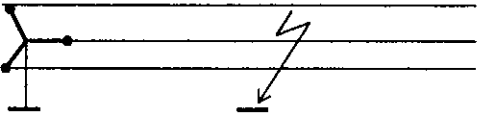
Trên hình 1.1,a biểu thị **ngắn mạch một pha** (chạm đất) trong mạng có trung tính nối đất trực tiếp. Cần phân biệt ngắn mạch một pha với hiện tượng **chạm đất một pha** trong mạng điện có **trung tính không nối đất hoặc nối đất qua cuộn dây dập hồ quang** (hình 1.1,b). Khi chạm đất một pha dòng điện tại nơi chạm đất chỉ xuất hiện rất bé, chạy qua các điện dung ký sinh của các đường dây để trở về điểm ngắn mạch. Về lý thuyết, nếu các dây dẫn cách điện lý tưởng (điện dẫn bằng 0) và không tồn tại các điện dung ký sinh và trung tính không nối đất thì dòng điện chạm đất bằng 0. Khi điện dung ký sinh tương đối lớn, dòng điện chạm đất một pha chạy qua điểm chạm đất có trị số đáng kể, có thể tạo ra hồ quang chạm chèn tại nơi tiếp xúc. Trong trường hợp này, ở một số trung điểm của mạng điện người ta lắp đặt thêm cuộn dây điện cảm (gọi là cuộn dập hồ quang). Cuộn dây tạo ra mạch vòng thứ 2 có dòng điện chạy qua điểm ngắn mạch, ngược chiều với dòng điện điện dung, do đó làm giảm (hoặc triệt tiêu hoàn toàn) dòng điện chạm đất tổng đi qua điểm tiếp xúc (dập tắt được hồ quang chạm chèn). Như vậy, nói chung chạm đất một pha trong mạng có trung tính không nối đất hoặc nối đất qua cuộn dập hồ quang chỉ làm xuất hiện dòng điện rất bé, không được kể là ngắn mạch.

Cũng cần nói thêm về tổng trở trung gian tại chỗ ngắn mạch, còn gọi là **tổng trở ngắn mạch**. Trị số của tổng trở ngắn mạch phụ thuộc vào độ tiếp xúc, mức độ xuất hiện của hồ quang, chất liệu của vật nối trung gian... rất khó xác định. Trường hợp nguy hiểm nhất (theo nghĩa làm dòng điện ngắn mạch lớn) là ngắn mạch qua tổng trở bằng không, được gọi là ngắn mạch trực tiếp. Khi nghiên cứu phương pháp tính toán ngắn mạch ta luôn giả thiết ngắn mạch trực tiếp.

2. Các dạng ngắn mạch

Có các dạng ngắn mạch sau (hình 1.2):

- Ngắn mạch ba pha, tức 3 pha chạm nhau, ký hiệu $N^{(3)}$;
- Ngắn mạch hai pha, tức 2 pha chạm nhau, ký hiệu $N^{(2)}$;
- Ngắn mạch một pha, tức 1 pha chạm đất hoặc chạm dây trung tính, ký hiệu $N^{(1)}$;
- Ngắn mạch hai pha nối đất, tức 2 pha chạm nhau đồng thời chạm đất, ký hiệu $N^{(1,1)}$.

Dạng ngắn mạch	ký hiệu	xác suất xảy ra
	$N^{(3)}$	5%
	$N^{(2)}$	10%
	$N^{(1)}$	65%
	$N^{(1,1)}$	20%

Hình 1.2 Các dạng ngắn mạch

Hai dạng ngắn mạch cuối chỉ tồn tại trong mạng điện có trung tính nối đất hoặc có dây trung tính. Trong các dạng ngắn mạch kể trên thì chỉ có ngắn mạch ba pha là **ngắn mạch đối xứng** vì sau khi ngắn mạch sơ đồ và thông số của mạng vẫn đối xứng. Các dạng ngắn mạch còn lại đều là **ngắn mạch không đối xứng**.

Khả năng xảy ra ngắn mạch theo các dạng kể trên trong mạng điện thực tế không giống nhau. Xác suất xảy ra lớn nhất đối với ngắn mạch 1 pha (65%), ít nhất đối với ngắn mạch 3 pha (5%). Ngắn mạch 3 pha tuy xảy ra ít nhưng lại được quan tâm nhiều nhất. Đó là vì ngắn mạch 3 pha thường nặng nề nhất, ảnh hưởng nhiều đến chế độ hệ thống.

Ngoài ra, còn do ngắn mạch 3 pha là loại ngắn mạch đơn giản nhất (có tính đối xứng), là dạng ngắn mạch cơ sở. Tính toán các dạng ngắn mạch khác đều dựa trên cơ sở đưa về cách tính ngắn mạch 3 pha.

3. Nguyên nhân và hậu quả ngắn mạch

a. Nguyên nhân của ngắn mạch

Nguyên nhân chung và chủ yếu của ngắn mạch là do cách điện bị hỏng. Lý do cách điện bị hỏng có thể là: bị già cỗi khi làm việc lâu ngày, chịu tác động cơ khí gây vỡ nát, bị tác động của nhiệt độ phá huỷ môi chất, xuất hiện điện trường mạnh làm phóng điện chọc thủng vỏ bọc... Những nguyên nhân tác động cơ khí có thể do con người (như đào đất, thả điều...), do loài vật (rắn bò, chim đậu...), hoặc gió bão làm gãy cây, đổ cột, dây dẫn chập nhau... Sét đánh gây phóng điện cũng là một nguyên nhân đáng kể gây ra hiện tượng ngắn mạch (tạo ra hồ quang dẫn điện giữa các dây dẫn). Ngắn mạch còn có thể do thao tác nhầm, ví dụ đóng điện sau sửa chữa quên tháo dây nối đất...

b. Hậu quả của ngắn mạch

Ngắn mạch là một loại sự cố nguy hiểm vì khi ngắn mạch dòng điện đột ngột tăng lên rất lớn, chạy trong các phần tử của HTĐ. Tác dụng của dòng điện ngắn mạch có thể gây ra:

- Phát nóng cục bộ rất nhanh, nhiệt độ lên cao, gây cháy nổ ;
- Sinh ra lực cơ khí lớn giữa các phần của thiết bị điện, làm biến dạng hoặc gãy vỡ các bộ phận (sứ đỡ, thanh dẫn...);
- Gây sụt áp lưới điện làm động cơ ngừng quay, ảnh hưởng đến năng suất làm việc của máy móc, thiết bị ;
- Gây ra mất ổn định HTĐ do các máy phát bị mất cân bằng công suất, quay theo những vận tốc khác nhau dẫn đến mất đồng bộ ;
- Tạo ra các thành phần dòng điện không đối xứng, gây nhiễu các đường dây thông tin ở gần;
- Nhiều phần của mạng điện bị cắt ra để loại trừ điểm ngắn mạch, làm gián đoạn cung cấp điện.

4. Mục đích tính toán ngắn mạch

Tính toán dòng điện ngắn mạch nhằm các mục đích sau:

- Lựa chọn các trang thiết bị điện phù hợp, chịu được dòng điện trong thời gian tồn tại ngắn mạch.
- Tính toán hiệu chỉnh các thiết bị bảo vệ rơ-le, tự động cắt phần tử bị sự cố ngắn mạch ra khỏi hệ thống.
- Lựa chọn sơ đồ thích hợp làm giảm dòng điện ngắn mạch.
- Lựa chọn thiết bị hạn chế dòng điện ngắn mạch (như kháng điện, máy biến áp nhiều cuộn dây...).

- Nghiên cứu các hiện tượng khác về chế độ hệ thống như quá trình quá độ (QTQĐ) điện cơ (phân tích ổn định), QTQĐ điện từ (phân tích hiện tượng cộng hưởng, quá điện áp...).

Những bài toán liên quan đến tính toán dòng điện ngắn mạch:

- Lựa chọn sơ đồ mạng cung cấp điện, nhà máy điện;
- Lựa chọn thiết bị điện và dây dẫn;
- Thiết kế, chỉnh định bảo vệ rơle ;
- Tính toán quá điện áp trong HTĐ;
- Tính toán nối đất ;
- Tính toán ảnh hưởng nhiễu các đường dây thông tin;
- Nghiên cứu ổn định hệ thống.

1.2 DÒNG ĐIỆN NGẮN MẠCH, ĐỘ LỚN VÀ SỰ BIẾN THIÊN THEO THỜI GIAN

I. Ngắn mạch với nguồn áp không đổi (ngắn mạch xa nguồn)

1. Quá trình quá độ khi ngắn mạch 3 pha mạng điện đơn giản

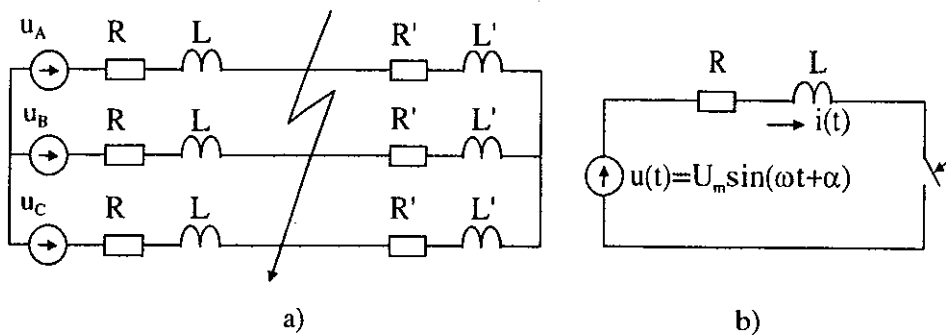
Xét mạch điện đơn giản như hình 1.3. Các nguồn áp có dạng sau :

$$u_A = U_m \sin(\omega t + \alpha) ;$$

$$u_B = U_m \sin(\omega t + \alpha - 120^\circ) ;$$

$$u_C = U_m \sin(\omega t + \alpha + 120^\circ) ;$$

Thời điểm $t = 0$ tương ứng với lúc xảy ra ngắn mạch.



Hình 1.3 Ngắn mạch 3 pha trong mạng điện đơn giản

Các thông số R, L đặc trưng cho phần mạch từ điểm ngắn mạch đến nguồn (điện trở và điện cảm dây dẫn), còn R', L' đặc trưng cho phụ tải các pha. Quá trình quá độ diễn ra phía phụ tải rất đơn giản, dòng điện nhỏ tắt dần vì không có nguồn cung cấp. Ta quan tâm đến phần mạch phía nguồn. Vì mạch là 3 pha đối xứng nên có thể tách riêng từng pha để nghiên cứu. Chẳng hạn xét mạch pha A (hình 1.3,b) với :

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \alpha) ;$$

Phương trình cân bằng áp ở chế độ quá độ :

$$u = Ri + L \frac{di}{dt}.$$

Giải ra ta có :

$$\begin{aligned} i(t) &= \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_N) + C e^{-\frac{R}{L}t} \\ &= i_{CK}(t) + i_a(t) \end{aligned}$$

Trong đó : $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ - là tổng trở của phân mạch phía nguồn (đến điểm ngắn mạch) ;

$$\varphi_N = \arctg\left(\frac{\omega L}{R}\right) - \text{góc pha của tổng trở ;}$$

C - hằng số tích phân cần xác định từ điều kiện đầu của mạch.

Có thể coi dòng điện $i(t)$ gồm 2 thành phần. Thành phần chu kỳ $i_{CK}(t)$, phụ thuộc nguồn (còn gọi là thành phần dòng điện cưỡng bức) và thành phần tự do $i_a(t)$.

$$i_{CK}(t) = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_N) = I_{CKm} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_N) ;$$

$$i_a(t) = C e^{-\frac{R}{L}t} = i_{a0} e^{-\frac{t}{T_a}}.$$

Hằng số thời gian $T_a = L/R$ đặc trưng cho tốc độ suy giảm của thành phần dòng điện tự do.

Để xác định hằng số tích phân C (cũng chính là giá trị ban đầu của thành phần tự do i_{a0}) cần dựa vào điều kiện đầu của mạch. Tại thời điểm $t = 0$, theo tính chất của mạch điện có điện cảm dòng điện (toàn phần) không đột biến: $i(0) = i_0$.

Trong đó i_0 là trị số dòng điện toàn phần trong mạch trước khi xảy ra ngắn mạch (chế độ xác lập trước sự cố). Ta có biểu thức tính dòng điện trước khi xảy ra ngắn mạch :

$$\begin{aligned} i(t) &= \frac{U_m}{Z'} \sin(\omega t + \alpha - \varphi) \\ &= I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi). \end{aligned}$$

với :

$$Z' = \sqrt{(R + R')^2 + (\omega L + \omega L')^2} ;$$

$$\varphi = \arctg \frac{\omega(L + L')}{R + R'}.$$

Tại $t = 0$, theo điều kiện đầu :

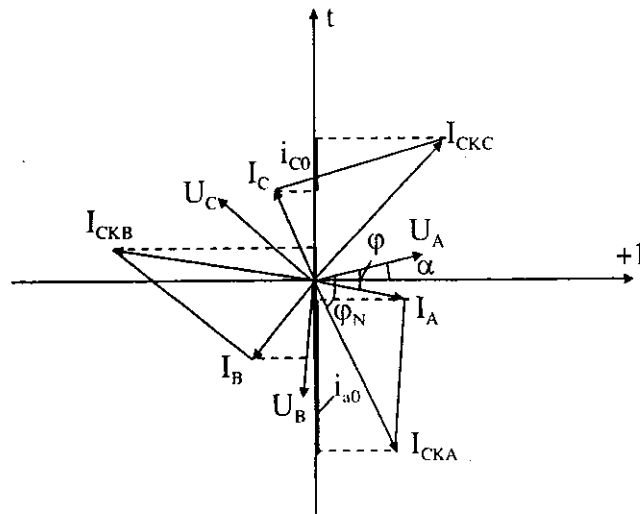
$$\begin{aligned} i(0) &= i_{CK}(0) + i_a(0) = i_0 ; \\ I_{CKm} \sin(\alpha - \varphi_N) + C &= I_m \sin(\alpha - \varphi) ; \end{aligned}$$

Suy ra: $C = I_m \sin(\alpha - \varphi) - I_{CKm} \sin(\alpha - \varphi_N) = i_{a0}$.

Như vậy biểu thức đủ của thành phần tự do có thể viết được:

$$i_a(t) = Ce^{-\frac{R}{L}t} = [I_m \sin(\alpha - \varphi) - I_{CKm} \sin(\alpha - \varphi_N)] e^{-\frac{R}{L}t}$$

Trên hình 1.4 vẽ quan hệ véc-tơ giữa các thành phần dòng điện tại thời điểm $t=0$.



Hình 1.4 Quan hệ thành phần của dòng điện ngắn mạch ban đầu

Trên hình vẽ, trị số ban đầu của thành phần tự do được biểu thị như là hình chiếu (trên trục t) của véc-tơ hiệu: $I_m - I_{CKm}$. Để nhận thấy một số đặc điểm sau đây:

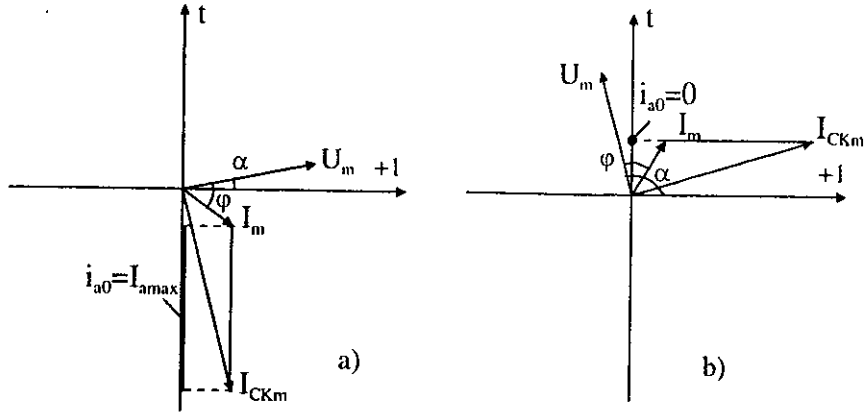
- Trị số ban đầu của thành phần tự do phụ thuộc vào góc pha đầu α , nghĩa là phụ thuộc vào thời điểm xảy ra ngắn mạch. Tồn tại trị số góc pha α để $i_{a0} = 0$ (triệt tiêu) và một góc pha để $|i_{a0}| = I_{amax}$ (cực đại). Trên hình 1.5 vẽ các trường hợp $i_{a0}=0$ và $|i_{a0}| = I_{amax}$.

- Trị số ban đầu của thành phần tự do cực đại I_{amax} phụ thuộc vào tính chất của phụ tải trước khi xảy ra ngắn mạch. Trị số này nhận được lớn nhất khi tải có tính chất điện dung (hình 1.6). Nếu trước khi xảy ra ngắn mạch mạng điện làm việc không tải thì từ biểu thức của $i_a(t)$ để nhận thấy khi $\alpha - \varphi_N = -90^\circ$ trị số ban đầu của nó có trị số cực đại. Hơn nữa, $|i_{a0}| = I_{amax} = I_{CKm}$.

Vì điện trở của mạch khi sự cố có trị số rất nhỏ (không có phụ tải) do đó $\varphi_N \approx 90^\circ$. Khi đó thành phần tự do có trị số lớn nhất ứng với lúc:

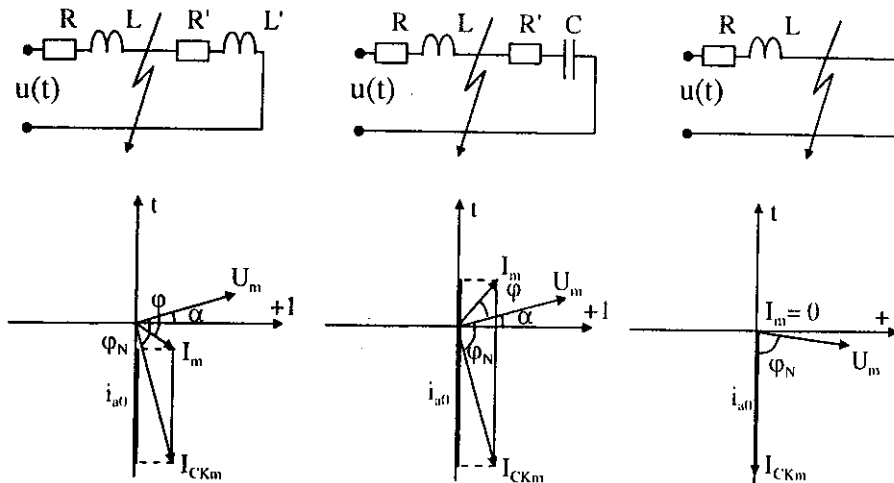
$$\alpha = -90^\circ + \varphi_N \approx 0.$$

Nghĩa là ngắt mạch vào thời điểm điện áp nguồn u xấp xỉ đi qua trị số 0.



Hình 1.5 Thành phần tự do xuất hiện lớn nhất (a) và nhỏ nhất (b)

Về lý thuyết, thành phần tự do có khả năng xuất hiện lớn nhất khi phụ tải điện dung. Tiếp theo là trường hợp không tải. Phụ tải điện cảm ứng với khả năng xuất hiện I_{amax} có trị số nhỏ hơn cả (hình 1.6). Tuy nhiên, trị số tính toán cho i_{a0} lớn nhất lại được lấy ứng với trường hợp không tải trước khi ngắt mạch. Lý do là trong thực tế rất ít khi phụ tải có tính điện dung. Trường hợp không tải hay gặp hơn. Ngoài ra, trong trường hợp không tải còn biết được $|i_{a0}| = I_{amax} = I_{CKm}$.



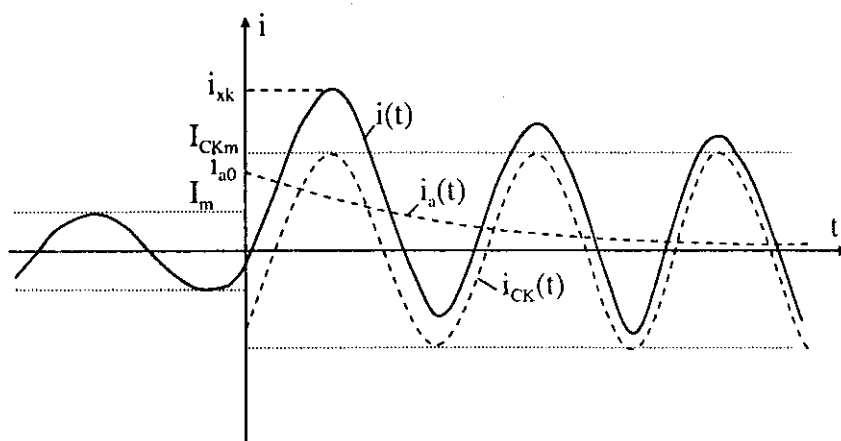
Hình 1.6 Ảnh hưởng của phụ tải đến thành phần tự do

- Trong cùng một tình huống ngắn mạch thành phần dòng điện tự do xuất hiện trên các pha không giống nhau. Chúng không đồng thời triệt tiêu hoặc cùng đạt trị số cực đại (hình 1.4).

Các nhận xét trên rất có ý nghĩa trong các tính toán ứng dụng dòng điện ngắn mạch. Cần chú ý đến một số kết luận chính sau :

- Có thể tính toán dòng điện ngắn mạch theo 2 thành phần: thành phần chu kỳ (hay nói đúng hơn là thành phần xoay chiều) và thành phần tự do (một chiều).
- Thành phần dòng điện chu kỳ hoàn toàn xác định bởi sơ đồ mạch và sức điện động nguồn sau thời điểm xảy ra ngắn mạch.
- Thành phần dòng điện tự do mang đặc tính ngẫu nhiên, phụ thuộc rất nhiều yếu tố không biết trước được: trạng thái mạch tại thời điểm trước khi xảy ra sự cố, tính chất phụ tải, thời điểm xảy ra ngắn mạch (tương ứng với góc pha đầu α bằng bao nhiêu tại $t = 0$)...
- Thành phần tự do xuất hiện mang tính ngẫu nhiên, nhưng có thể biết được dạng hàm biến thiên (tắt dần theo hàm mũ với hằng số thời gian $T_a = L/R$), trị số lớn nhất ở thời điểm đầu trong trường hợp xuất hiện cực đại có thể lấy $i_{a0} = I_{CKm}$ (bằng biên độ của thành phần chu kỳ).

Như vậy, về phương diện phương pháp tính việc xác định thành phần chu kỳ của dòng điện ngắn mạch có ý nghĩa quan trọng hơn.



Hình 1.7 Trị số xung kích của dòng điện ngắn mạch toàn phần

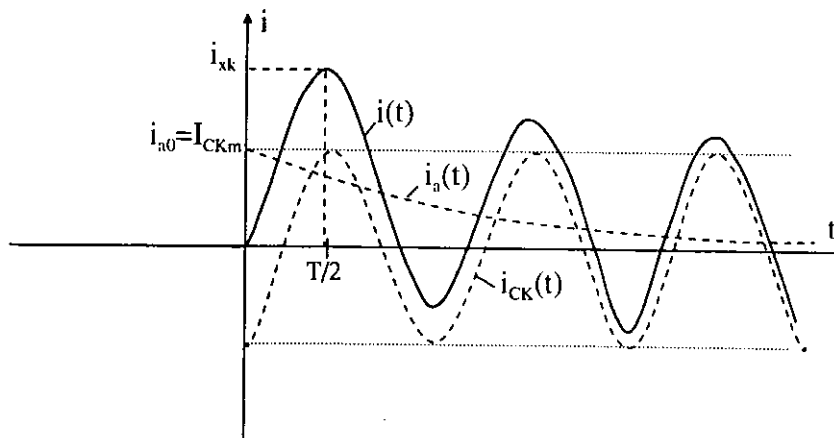
2. Dòng điện ngắn mạch xung kích

Dựa vào biểu thức của các dòng điện ngắn mạch thành phần có thể dễ dàng biểu diễn được dạng biến thiên của dòng điện ngắn mạch toàn phần theo thời gian (hình 1.7). Trong trường hợp đang xét nguồn áp có biên độ không đổi nên biên độ của thành phần chu kỳ dòng điện ngắn mạch cũng không đổi. Thành phần tự do,

trong trường hợp chung xuất hiện với trị số đầu $i_{a0} \neq 0$. Từ hình 1.7, có thể nhận thấy các đặc điểm sau:

- Dòng điện ngắn mạch toàn phần có dạng dao động xoay chiều, nhưng không đối xứng qua trục hoành. Thành phần tự do xuất hiện là nguyên nhân làm cho dòng điện ngắn mạch biến thiên không đối xứng.
- Luôn luôn tồn tại một giá trị cực đại đối với trị số tức thời dòng điện ngắn mạch gọi là trị số xung kích của dòng điện ngắn mạch (ký hiệu là i_{xk}) hay gọi tắt là dòng điện ngắn mạch xung kích.

Dễ thấy, dòng điện ngắn mạch xung kích cũng xuất hiện gắn liền với sự tồn tại của thành phần dòng điện tự do. Khi thành phần tự do xuất hiện cực đại thì dòng điện ngắn mạch xung kích cũng sẽ có giá trị lớn nhất. Hình 1.8 thể hiện tương quan của dòng điện ngắn mạch xung kích với biên độ của thành phần chu kỳ trong trường hợp xuất hiện lớn nhất. Như đã phân tích trong phần trên thành phần dòng điện tự do được coi là xuất hiện lớn nhất ứng với trường hợp mạng điện làm việc không tải trước khi xảy ra ngắn mạch và thời điểm ngắn mạch diễn ra lúc góc pha của điện áp nguồn $\alpha \approx 0$. Khi đó $|i_{a0}| = I_{CKm}$.



Hình 1.8 Trường hợp xuất hiện lớn nhất của dòng điện ngắn mạch xung kích

Hình vẽ cho thấy trị số xung kích xuất hiện ở chu kỳ đầu, vào thời điểm gắn với trị số $t = T/2$ (trong đó T là chu kỳ của dòng điện tần số công nghiệp).

Hãy xác định trị số của i_{xk} ứng với trường hợp thành phần tự do xuất hiện lớn nhất.

Ta có: $i_{a0} = i_{amax} = I_{CKm}$ (ngắn mạch lúc mạch không tải).

Vì i_{xk} xảy ra khi $t = T/2 = 0,01$ giây nên:

$$\begin{aligned} i_{xk} &= i_{CK}(0,01) + i_{a0} e^{-\frac{0,01}{T_a}} \\ &= I_{CKm} + I_{CKm} e^{-\frac{0,01}{T_a}} = I_{CKm} \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right) \end{aligned}$$

Người ta đặt hệ số : $k_{xk} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}$, gọi là hệ số xung kích .

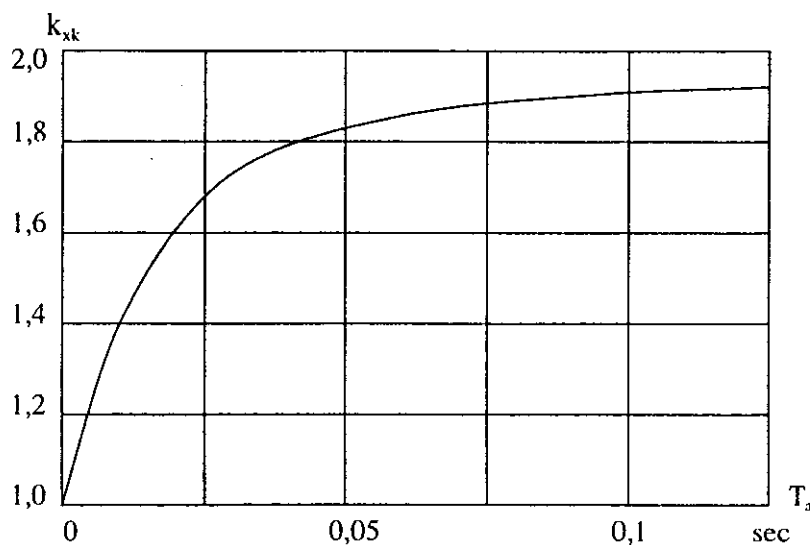
Khi đó : $i_{xk} = k_{xk} \cdot I_{CKM} = \sqrt{2} \cdot k_{xk} \cdot I_{CK}$

Như vậy i_{xk} phụ thuộc vào hằng số thời gian tắt dần T_a .

Tùy theo giá trị của T_a hệ số xung kích nằm trong phạm vi :

$$1 \leq k_{xk} \leq 2 .$$

Dòng điện ngắn mạch xung kích lớn nhất ứng với lúc $k_{xk} = 2$ khi $R = 0$, tức $T_a = \infty$, mạch có tính chất thuần cảm. Với $L = 0$ (mạch thuần trở) hệ số $k_{xk} = 1$. Quan hệ giữa k_{xk} với hằng số T_a của mạch có dạng như trên hình 1.9.



Hình 1.9 Hệ số xung kích phụ thuộc T_a

Khi biết rõ điện trở và điện kháng của mạch có thể tính được $T_a = X/\omega R$ và áp dụng công thức đã biết để tính hệ số xung kích. Trong các tính toán thực dụng, có thể chấp nhận các trị số gần đúng sau để tính toán dòng điện ngắn mạch xung kích:

- Ngắn mạch xa nguồn trong mạng điện điện áp trên 1000 V, lấy $k_{xk} = 1,8$.
- Ngắn mạch gần nguồn (trên các mạch cung cấp trực tiếp từ đầu cực máy phát), lấy $k_{xk} = 1,9$.
- Ngắn mạch phía thứ cấp các máy biến áp giảm áp công suất nhỏ (≤ 1000 KVA) lấy $k_{xk} = 1,3$;

Trị số xung kích của dòng điện ngắn mạch rất cần được quan tâm khi tính toán kiểm tra tác dụng lực của của dòng điện lên các trang thiết bị lúc sự cố.

3. Trị số hiệu dụng của dòng điện ngắn mạch toàn phần

Trị số hiệu dụng của dòng điện ngắn mạch toàn phần tại một thời điểm t nào đó được định nghĩa như sau :

$$I_t = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-T/2}^{t+T/2} i_N^2 dt}$$

Với T là chu kỳ thời gian của dòng điện xoay chiều. Trong trường hợp chung dạng hàm của dòng điện ngắn mạch toàn phần i_N khá phức tạp. Để tính chính xác theo công thức trên cần phân tích hàm i_N thành chuỗi vô hạn các thành phần chu kỳ. Một cách gần đúng người ta coi i_N chỉ có 2 thành phần: thành phần bậc 0 với biên độ không đổi (một chiều) bằng $i_a(t)$, nghĩa là bằng trị số của thành phần tự do tại t, và thành phần bậc 1 (tần số cơ bản) chính là i_{CK} , biên độ là I_{CKm} . Khi đó, theo công thức chung tính trị số hiệu dụng của hàm chu kỳ (nhiều thành phần) ta có:

$$I_t = \sqrt{I_{CK}^2 + I_{at}^2}$$

Trong đó:

$I_{CK} = \frac{I_{CKm}}{\sqrt{2}}$ là trị số hiệu dụng của thành phần dòng điện ngắn mạch chu kỳ;

$I_{at} = i_a(t)$ là trị số hiệu dụng của thành phần bậc 0, lấy bằng trị số của thành phần tự do $i_a(t)$ tại thời điểm tính toán t.

Trị số I_{at} có thể xác định được theo biểu thức của thành phần dòng điện tự do (ứng với lúc xuất hiện lớn nhất):

$$I_{at} = i_a(t) = i_{a0} e^{-\frac{t}{T_a}} = I_{CKm} e^{-\frac{t}{T_a}};$$

Trong trường hợp điện áp nguồn thay đổi, biên độ của thành phần chu kỳ cũng biến thiên theo thời gian. Khi đó công thức tính toán vẫn không có gì thay đổi, tuy nhiên cần lấy trị số hiệu dụng của thành phần chu kỳ ứng với thời điểm tính toán t:

$$I_t = \sqrt{I_{CKt}^2 + I_{at}^2};$$

Người ta cũng quan tâm đến trị số hiệu dụng lớn nhất của dòng điện ngắn mạch. Trị số này ứng với chu kỳ đầu tiên của dòng điện ngắn mạch, nghĩa là cần tính trị số hiệu dụng tại $t = T/2 = 0,01$ sec.

Ta có $i_{sk} = I_{CKm} + i_a(0,01)$,
do đó: $I_{at} = i_a(0,01) = i_{sk} - I_{CKm}$
 $= (k_{sk} - 1)I_{CKm}$
 $= (k_{sk} - 1)\sqrt{2} I_{CK}$

Thay I_{at} vào biểu thức chung tính trị số hiệu dụng I_t ta nhận được biểu thức của trị số hiệu dụng lớn nhất:

$$I_{sk} = \sqrt{I_{CK}^2 + [(k_{sk} - 1)\sqrt{2} I_{CK}]^2}$$

$$= I_{CK} \sqrt{1 + 2(k_{sk} - 1)^2}$$

Người ta cũng ký hiệu trị số này là I_{xk} để có thể hiểu là trị số hiệu dụng xung kích của dòng điện ngắn mạch. Do $1 \leq k_{xk} \leq 2$ ta có:

$$1 \leq \frac{I_{xk}}{I_{CK}} \leq \sqrt{3}$$

Đó chính là phạm vi thay đổi của trị số hiệu dụng cực đại dòng điện ngắn mạch toàn phần.

Trị số hiệu dụng cực đại của dòng điện ngắn mạch toàn phần có ý nghĩa ứng dụng quan trọng trong tính toán kiểm tra phát nóng thiết bị điện và dây dẫn lúc sự cố.

4. Công suất ngắn mạch.

Người ta định nghĩa công suất ngắn mạch là :

$$S_{Nt} = \sqrt{3} U_{tb} \cdot I_{Nt}$$

Trong đó :

U_{tb} - điện áp (dây) trung bình của phần mạng điện có dòng điện ngắn mạch trước khi xảy ra ngắn mạch.

I_{Nt} - trị số hiệu dụng của dòng điện ngắn mạch tính tại thời điểm t .

Công suất ngắn mạch mang các ý nghĩa sau đây:

- Khi tính công suất theo công thức trên cho *dòng điện ngắn mạch chạy qua máy cắt* ta sẽ nhận được trị số công suất lớn nhất có thể sinh ra giữa 2 cực tiếp điểm của máy cắt. (Bởi vì ở cuối quá trình cắt, điện áp giáng trên hồ quang xấp xỉ bằng U_{tb}). Máy cắt cần được chọn sao cho :

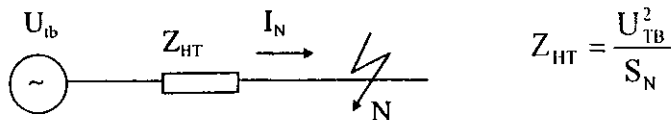
$$S_{cát} \geq S_{Nt} ,$$

trong đó t là thời điểm cắt của máy cắt.

- Khi tính công suất ngắn mạch cho dòng điện ngắn mạch tổng tại điểm ngắn mạch, trị số công suất tính được sẽ là công suất (biểu kiến) tổng của hệ thống ở trạng thái ngắn mạch. Thật vậy nếu điểm ngắn mạch xa nguồn thì có thể coi điện áp các nguồn được giữ không đổi xấp xỉ điện áp trung bình làm việc của mạng điện. Đẳng trị hệ thống thành tổng trở Z_{HT} ta dễ thấy công suất ngắn mạch cũng chính là công suất toàn hệ thống sinh ra trong trạng thái ngắn mạch (hình vẽ). Hơn nữa :

$$S_{HT} = \sqrt{3} U_{tb} I_N = \frac{U_{TB}^2}{Z_{HT}} = S_N .$$

Như vậy khi cho công suất ngắn mạch tính tại một điểm nào đó (ngắn mạch 3 pha) ta có thể xác định được tổng trở đẳng trị của toàn mạng điện, từ điểm ngắn mạch đến các nguồn hệ thống:



II. Ngắn mạch ở gần máy phát điện đồng bộ đang vận hành

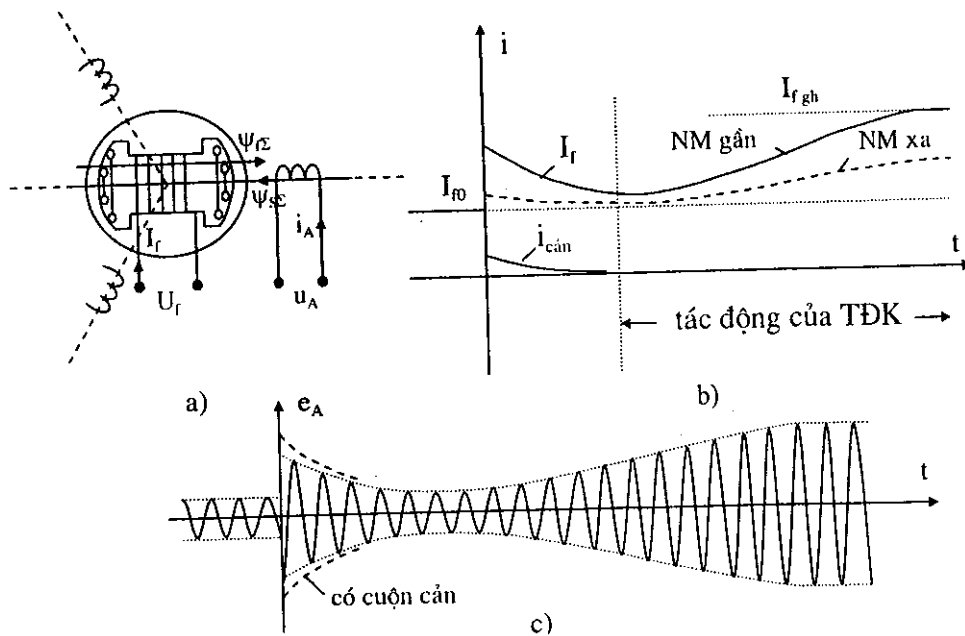
Khi điểm ngắn mạch xảy ra ở gần dòng điện ngắn mạch tăng lên khá lớn bên trong máy phát, quá trình quá độ diễn ra phức tạp hơn (so với nguồn áp không đổi) với các lý do chính sau :

- Ảnh hưởng hỗ cảm giữa stato và roto của dòng điện ngắn mạch làm biến thiên dòng điện kích từ và dòng điện trong các cuộn dây roto của máy phát. Các dòng điện này gây ảnh hưởng ngược trở lại, làm thay đổi sđđ máy phát ở giai đoạn đầu của quá trình quá độ.
- Tác động của thiết bị tự động điều chỉnh kích từ (TĐK) làm thay đổi dòng điện kích từ ở giai đoạn sau của quá trình quá độ.

Do các tác động này biên độ sđđ máy phát bị biến thiên theo thời gian (không còn là nguồn áp với biên độ không đổi nữa). Khi ngắn mạch ở xa ảnh hưởng này nhỏ nên có thể bỏ qua. Hãy xét kỹ hơn ảnh hưởng của các tác động này.

1. Sự thay đổi của dòng điện kích từ do ảnh hưởng của hỗ cảm

Sau thời điểm xảy ra ngắn mạch, thành phần chu kỳ của dòng điện ngắn mạch (chạy trong các cuộn dây pha của stato) có biên độ tăng lên đột ngột. Từ thông tổng của các dòng điện này quay cùng tốc độ với roto (còn gọi là từ thông phản ứng) xuyên qua các vòng dây của cuộn kích từ nằm trên roto, ngược chiều với từ thông kích từ. Theo nguyên lý bảo toàn từ thông của cuộn dây điện cảm khép



Hình 1.10 Biến thiên của dòng kích từ và sđđ trong máy phát điện đồng bộ

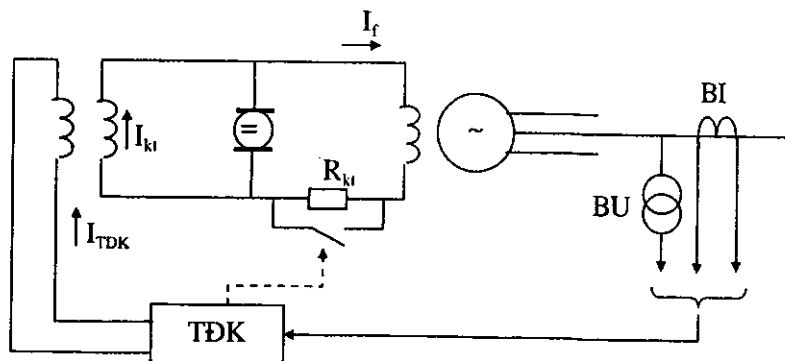
kín, trong cuộn dây roto phải xuất hiện thành phần dòng điện tự do một chiều làm tăng đột ngột thành phần dòng điện kích từ (để chống lại sự giảm từ thông tổng gây ra bởi phản ứng phần ứng ngược chiều). Sức điện động đồng bộ của máy phát được sinh ra tỉ lệ với dòng điện kích từ (hay nói đúng hơn, tỉ lệ với từ thông tổng sinh ra bởi các cuộn dây có dòng điện trên roto) do đó cũng có biên độ tăng đột ngột.

Thành phần dòng điện tự do xuất hiện trong cuộn dây kích từ tất dẫn do tổn hao trên điện trở dây quấn nên nó chỉ có ảnh hưởng ở giai đoạn đầu của quá trình quá độ (hình 1.10).

Kết quả là ở giai đoạn đầu của quá trình quá độ biên độ s_{dd} đồng bộ máy phát đột ngột tăng lên sau đó lại giảm đi. Cũng cần chú ý là, ngoài cuộn kích từ, trên roto còn có các cuộn cản. Đó là các cuộn dây ngắn mạch khép kín đặt trên mặt lõi thép cực từ (nhằm triệt tiêu ảnh hưởng của các thành phần dòng điện tần số cao xuất hiện ở phía stato vào cuộn dây kích từ). Chúng cũng là các cuộn điện cảm khép kín nên có thành phần tự do xuất hiện tương tự như trong cuộn dây kích từ. Do ảnh hưởng từ thông của các dòng điện này biên độ s_{dd} máy phát tăng thêm nhiều hơn ở giai đoạn đầu của quá trình quá độ (hình 1.10).

2- Sự biến thiên của dòng điện kích từ do ảnh hưởng của TĐK

Các máy phát điện đều được trang bị thiết bị tự động điều chỉnh kích từ (gọi tắt là TĐK). Trong chế độ làm việc bình thường TĐK làm nhiệm vụ giữ điện áp đầu cực máy phát trong phạm vi cho phép, gán trị số định mức bằng cách thay đổi dòng điện kích từ. Khi điện áp giảm (do phụ tải tăng) dòng điện kích từ được tăng lên và ngược lại. Ở chế độ ngắn mạch gần, điện áp đầu cực máy phát có thể giảm nhiều (xuống dưới 70% U_{dm}) để tăng cường điện áp, bộ phận TĐK đưa tín hiệu đến nối tắt điện trở kích từ, khi đó dòng điện trong cuộn dây roto tăng mạnh còn gọi là tác động kích thích cưỡng bức, hay kích thích cường hành. Dòng điện kích từ tăng, kéo theo sự tăng trưởng biên độ của s_{dd} đồng bộ. Dòng điện kích từ tăng lên do kích thích cưỡng bức có thể đạt đến giới hạn khi ngắn mạch rất gần, nhưng cũng có thể chưa tới giới hạn khi ngắn mạch xa, điện áp đầu cực máy phát đạt trị số định mức trước khi đến giới hạn điều chỉnh (xem hình 1.10).



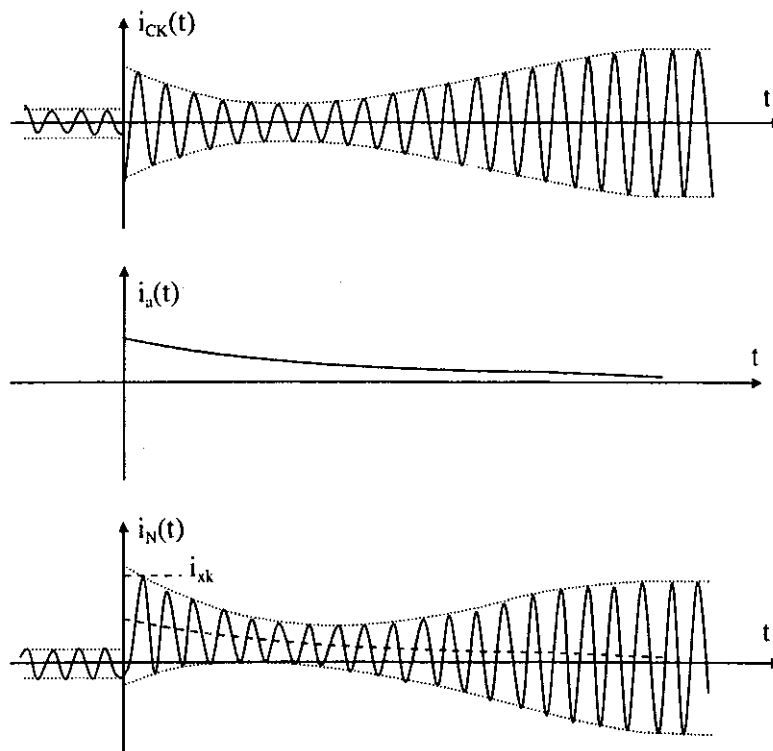
Hình 1.11 Nguyên lý hoạt động của TĐK

Hình 1.11 vẽ nguyên lý cấu tạo của TĐK các máy phát điện đồng bộ. Để đơn giản, vẽ sơ đồ hệ thống kích thích dùng máy phát điện một chiều. Tuy nhiên, hiện nay do công suất máy phát đồng bộ rất lớn người ta đã áp dụng những hệ thống kích thích hiện đại hơn, như hệ thống kích thích dùng máy phát xoay chiều tần số cao chỉnh lưu, hệ thống kích thích bằng thyristor công suất lớn ... Tuy nhiên, nguyên lý làm việc vẫn hoàn toàn tương tự.

Với các ảnh hưởng nêu trên (do ảnh hưởng hồ cảm và do TĐK) dòng điện kích từ trong cuộn dây roto của máy phát có diễn biến phức tạp (hình 1.10,b). Kết quả là biên độ sdd đồng bộ máy phát bị thay đổi mạnh trong quá trình quá độ. Khi kể đến tác động của cuộn cảm, sdd máy phát tăng nhiều hơn ở giai đoạn đầu (xem hình 1.10,c)

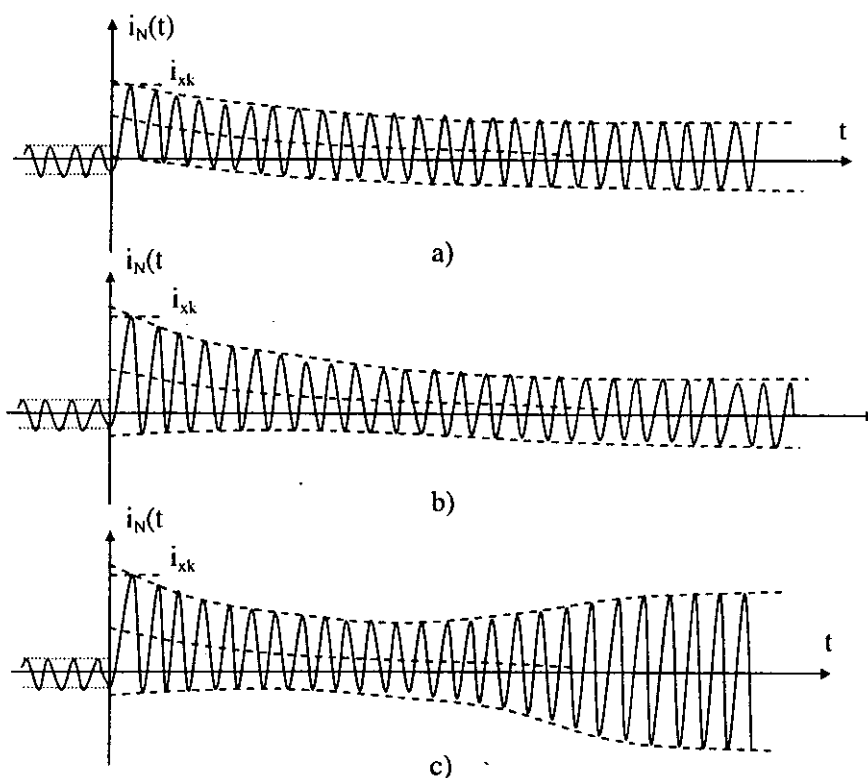
3- Sự biến thiên của dòng điện ngắn mạch (phía stato máy phát)

Trên hình 1.12 vẽ sự biến thiên của dòng điện ngắn mạch trong quá trình quá độ. Thành phần chu kỳ phụ thuộc nguồn nên có dạng tương tự sức điện động của máy phát.



Hình 1.12 Dạng đặc trưng của dòng điện ngắn mạch

Thành phần tự do tắt dần theo hằng số thời gian của mạch stato T_a . Trong trường hợp ngắn mạch gần nguồn thành phần này thường biến thiên chậm hơn nhiều so với ngắn mạch xa vì tỉ số L/R lớn. Dòng điện tổng hợp có diễn biến phức tạp và cũng không đối xứng qua trục hoành (hình 1.12).



Hình 1.12 Dạng đặc trưng của dòng điện ngắn mạch trong các trường hợp khác nhau

- a) nguồn áp không đổi; b) máy phát không có TĐK;
c) máy phát có TĐK

III. Nội dung thực hiện tính toán ngắn mạch

Các phân tích nêu trên xuất phát từ sơ đồ đơn giản nhất của mạch điện xoay chiều ba pha, tuy nhiên các đặc tính chung của dòng điện ngắn mạch có thể mở rộng cho HTĐ phức tạp. Nói chung, dòng điện ngắn mạch toàn phần có diễn biến phức tạp theo thời gian, đặc biệt đối với hệ thống điện nhiều máy phát. Trong bối cảnh đó các tính toán phân tích chế độ ngắn mạch trong HTĐ được thực hiện theo hai hướng chính sau :

a) Phân tích diễn biến đầy đủ QTQĐ điện từ trong HTĐ từ sau thời điểm ngắn mạch, nghĩa là tính toán trị số tức thời của dòng điện và điện áp ngắn mạch. Trong QTQĐ còn có thể có những tác động tiếp theo như cắt các phân tử sự cố, tự động đóng trở lại đường dây... Mục đích của các tính toán này là khảo sát các hiện tượng quá điện áp, cộng hưởng điện từ, đánh giá khả năng dập tắt hồ quang máy cắt...

Thực chất của phương pháp tính trong trường hợp này là giải hệ phương trình vi phân mô tả trạng thái quá độ của mạng điện 3 pha phức tạp. Trị số tức thời của dòng điện và điện áp cần khảo sát được tính ra ở những điểm rời rạc của thời gian (bởi chủ yếu là theo phương pháp tích phân số). Tồn tại những chương trình máy tính chuyên dụng để tính toán QTQĐ điện từ đối với HTĐ (ElectroMagnetic Transients Program - EMTP). Các yếu tố ngẫu nhiên, bất định (như thời điểm ngắn mạch, tác động đóng cắt không đồng đều các tiếp điểm máy cắt...) được xét đến bằng cách giả thiết nhiều lần hoặc lấy mẫu tình huống theo số ngẫu nhiên.

b) Một hướng nghiên cứu tính toán khác chế độ ngắn mạch trong HTĐ là xác định các trị số đặc trưng cần thiết của dòng điện ngắn mạch. Ví dụ, tính toán biên độ của thành phần chu kỳ biến thiên theo thời gian, tính trị số dòng điện ngắn mạch xung kích, xác định trị số hiệu dụng dòng điện ngắn mạch toàn phần ở giai đoạn đầu QTQĐ... Các đặc trưng này đủ thoả mãn đa số các ứng dụng thực tế trong thiết kế và vận hành HTĐ.

Thực hiện tính toán ngắn mạch theo hướng thứ hai nêu trên chính là đối tượng nghiên cứu của giáo trình này. Có thể thấy ngay rằng các phương pháp tính toán ngắn mạch (theo hướng thứ hai) chủ yếu tập trung vào xác định thành phần chu kỳ với sự biến thiên biên độ của nó theo thời gian. Thành phần tự do chỉ được xét đến riêng khi cần thiết.

Cũng cần nói thêm là, chính mục đích ứng dụng và ý nghĩa thực tế của các đại lượng tính toán quyết định việc lựa chọn phương pháp tính. Chẳng hạn, các thiết bị bảo vệ rơle tác động theo tín hiệu dòng điện (bảo vệ quá dòng) nhận tín hiệu dòng điện sự cố ở thứ cấp các máy biến dòng chỉ là thành phần chu kỳ dòng điện ngắn mạch. Khi đó dòng điện tính toán chính định không thể xét đến dòng điện tự do. Ngược lại, khi kiểm tra khả năng chịu nhiệt của các thiết bị điện thì thành phần tự do có tác động đáng kể, không thể bỏ qua trong tính toán (cần xác định trị số hiệu dụng của dòng điện ngắn mạch toàn phần trong suốt thời gian tồn tại ngắn mạch). Lúc kiểm tra lực điện động, dòng điện ngắn mạch xung kích lại có ý nghĩa quyết định hơn. Khi đó theo công thức tính toán, chỉ cần xác định biên độ ban đầu của thành phần chu kỳ I_{CKm} và hệ số xung kích, không cần tính đầy đủ thành phần tự do.

Những điểm cần ghi nhớ trong chương một

1. Ngắn mạch là trạng thái sự cố nặng nề trong hệ thống điện. Hầu hết các bài toán thiết kế và vận hành hệ thống điện đòi hỏi phải tính toán phân tích dòng điện ngắn mạch.
2. Có các dạng ngắn mạch khác nhau, nói chung khi xảy ra chúng đều gây nên dòng điện lớn trong các bộ phận của hệ thống điện. Cần phân biệt ngắn mạch

một pha với chạm đất một pha. Khi chạm đất một pha chỉ có dòng điện nhỏ chạy qua điểm ngắn mạch.

3. Từ sau thời điểm xảy ra ngắn mạch, trong hệ thống điện diễn ra quá trình quá độ điện từ. Dòng điện ngắn mạch có dạng xoay chiều không đối xứng, độ lớn diễn biến phức tạp theo thời gian. Có thể coi dòng điện ngắn mạch gồm hai thành phần: thành phần chu kỳ (xoay chiều) có biên độ biến thiên theo thời gian và thành phần tự do (một chiều) tắt dần theo quy luật hàm mũ.
4. Thành phần chu kỳ hoàn toàn xác định bởi sđđ nguồn, trạng thái mạch sau khi xảy ra sự cố. Do sđđ nguồn thay đổi nên biên độ của thành phần chu kỳ cũng biến thiên theo thời gian. Thành phần tự do xuất hiện mang đặc trưng ngẫu nhiên phụ thuộc nhiều yếu tố bất định, chỉ có thể xác định theo trường hợp riêng: xuất hiện lớn nhất, điển hình ...

Chương 2

THIẾT LẬP SƠ ĐỒ TÍNH TOÁN NGẮN MẠCH HỆ THỐNG ĐIỆN

2.1 NHỮNG GIẢ THIẾT CƠ BẢN

Để thiết lập sơ đồ và tiến hành tính toán ngắn mạch cần có những giả thiết đơn giản hoá. Những giả thiết này làm giảm đáng kể khối lượng tính toán trong khi vẫn đảm bảo độ chính xác cần thiết cho các ứng dụng thực tế. Mỗi nội dung tính toán thường có những giả thiết riêng. Sau đây là những giả thiết cơ bản liên quan đến bước thiết lập sơ đồ thay thế khi tính toán ngắn mạch.

1. Tần số hệ thống không thay đổi

Thực tế sau khi xảy ra ngắn mạch công suất của các máy phát thay đổi đột ngột. Sự thay đổi này dẫn đến mất cân bằng mô men quay (giữa mô men phát động của tua-bin và mô men hãm điện từ của máy phát), tốc độ quay bị thay đổi trong quá trình quá độ. Tuy nhiên ngắn mạch được tính toán ở giai đoạn đầu nên sự biến thiên tốc độ còn chưa đáng kể. Giả thiết tần số hệ thống không đổi không mắc sai số nhiều, đồng thời làm đơn giản đáng kể phép tính, ví dụ các điện kháng sẽ có trị số không đổi.

2. Bỏ qua bão hoà từ

Bình thường lõi thép của nhiều thiết bị điện làm việc ở trạng thái gần bão hoà. Trong trạng thái ngắn mạch mức độ bão hoà từ có thể tăng cao hơn ở một số phần tử. Tuy nhiên để đơn giản vẫn coi mạch từ không bão hoà, khi đó điện cảm của phần tử là hằng số và mạch điện là tuyến tính. Thực tế cho thấy sai số mắc phải không nhiều, bởi số phần tử mang lõi thép chỉ chiếm số lượng ít trong hệ thống điện, ở tình trạng ngắn mạch điện áp đặt vào cuộn dây ít khi bị tăng cao.

3. Thay phụ tải bằng tổng trở hằng

Thực tế phụ tải xác định bởi đặc tính tiêu thụ công suất. Khi thay thế bằng tổng trở hằng đặc tính công suất không hoàn toàn phù hợp. Tuy nhiên sai số mắc phải nằm trong phạm vi cho phép.

4. Bỏ qua các lượng nhỏ trong thông số của một số phần tử

Giả thiết này được áp dụng tùy theo bài toán và mục đích phân tích ngắn mạch. Nói chung trong các bài toán thiết kế, đòi hỏi độ chính xác không cao có thể áp dụng :

- Bỏ qua dung dẫn của các đường dây điện áp thấp.
- Bỏ qua mạch không tải của các máy biến áp.
- Bỏ qua điện trở của cuộn dây máy phát điện, máy biến áp và cả điện trở đường dây trong nhiều trường hợp.

5. Hệ thống sức điện động ba pha của nguồn là đối xứng

Khi ngắn mạch không đối xứng phản ứng phần ứng các pha lên từ trường quay không hoàn toàn giống nhau. Tuy nhiên, từ trường vẫn được giả thiết quay đều với tốc độ không đổi. Khi đó sdd 3 pha luôn đối xứng. Thực tế hệ số không đối xứng của các sdd không đáng kể.

2.2 HỆ ĐƠN VỊ TƯƠNG ĐỐI

1. Trị số tương đối

Khi tính toán ngắn mạch cũng như thực hiện nhiều tính toán khác đối với hệ thống điện người ta hay sử dụng hệ đơn vị tương đối. Sử dụng hệ đơn vị tương đối, trong nhiều trường hợp làm đơn giản được phép tính, ít nhầm lẫn hơn so với dùng đơn vị có tên.

Trị số tương đối của một đại lượng được hiểu là tỉ số giữa trị số của đại lượng đó trong hệ đơn vị có tên với một lượng cơ bản đã chọn tính trong cùng đơn vị.

Trong hệ thống điện có bốn đại lượng cơ bản là điện áp, dòng điện, công suất và tổng trở, do đó cần có 4 lượng cơ bản cho chúng để xác định trị số tương đối. Ta có

$$U_{*(cb)} = \frac{U}{U_{cb}}; E_{*(cb)} = \frac{E}{U_{cb}}; I_{*(cb)} = \frac{I}{I_{cb}}; S_{*(cb)} = \frac{S}{S_{cb}}; P_{*(cb)} = \frac{P}{S_{cb}};$$

$$Q_{*(cb)} = \frac{Q}{S_{cb}}; Z_{*(cb)} = \frac{Z}{Z_{cb}}; R_{*(cb)} = \frac{R}{Z_{cb}}; X_{*(cb)} = \frac{X}{Z_{cb}}.$$

Ở đây U_{cb} , I_{cb} , S_{cb} , Z_{cb} là các lượng cơ bản, còn U , E , I , S , X , R , Z là các đại lượng có tên cần chuyển sang trị số tương đối. Các ký hiệu có đánh dấu "*" biểu thị tính trong hệ đơn vị tương đối, chữ viết trong ngoặc (trong trường hợp này là cb) để chỉ rõ tên của hệ cơ bản chọn.

Cần chú ý rằng 4 đại lượng cơ bản trong hệ thống điện có quan hệ chặt chẽ với nhau. Có 2 biểu thức quan hệ cần đảm bảo :

$$S_{cb} = \sqrt{3}U_{cb}I_{cb}; \quad Z_{cb} = \frac{U_{cb}}{\sqrt{3}I_{cb}}$$

Do đó chỉ có quyền chọn tùy ý 2 lượng cơ bản, 2 lượng còn lại phải xác định từ các quan hệ trên.

Thường người ta hay chọn trước các lượng U_{cb} và S_{cb} . Khi đó cần tính:

$$I_{cb} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}U_{cb}}; \quad Z_{cb} = \frac{U_{cb}^2}{S_{cb}}$$

Ví dụ : điện áp một nút nào đó đo được trong hệ đơn vị có tên là $U = 235,5$ kV, dòng điện trong một nhánh $I = 730$ A cần đổi sang hệ đơn vị tương đối. Giả sử các lượng cơ bản đã chọn là : $S_{cb} = 500$ MVA, $U_{cb} = 220$ kV. Ta có :

$$U_{*(cb)} = \frac{U}{U_{cb}} = \frac{235,5}{220} = 1,07$$

$$I_{*(cb)} = \frac{I}{I_{cb}} = \frac{I\sqrt{3}U_{cb}}{S_{cb}} = \frac{0,73 \cdot \sqrt{3} \cdot 220}{500} = 0,556$$

Nên để ý rằng khi thay số tính toán theo các công thức nêu trên, điện áp tính bằng kV, dòng điện tính bằng kA, công suất bằng MVA, còn tổng trở tính bằng Ω thì kết quả luôn luôn phù hợp.

Khi đã chọn các lượng cơ bản S_{cb} , U_{cb} ta có thể áp dụng ngay các công thức sau để tính các đại lượng trong hệ đơn vị tương đối :

$$I_{*(cb)} = I \cdot \frac{\sqrt{3}U_{cb}}{S_{cb}}$$

$$Z_{*(cb)} = Z \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2}$$

Tất nhiên có thể tính trước I_{cb} , Z_{cb} sau đó tính trị số tương đối của dòng điện và tổng trở. Các lượng cơ bản được chọn với trị số tùy ý không ảnh hưởng gì đến kết quả cuối cùng. Tuy nhiên người ta thường chú ý chọn sao cho phép tính phải thực hiện ít nhất (ví dụ trùng với nhiều lượng cần tính) và trị số tương đối nhận được nằm trong phạm vi dễ biểu diễn (thường từ 0,01 đến 10,0).

Sau khi thực hiện các phép tính trong hệ đơn vị tương đối có thể cần đổi ngược lại sang hệ đơn vị có tên. Khi đó chỉ cần áp dụng công thức chuyển ngược. Ta có:

$$U = U_{*(cb)} \cdot U_{cb}$$

$$E = E_{*(cb)} \cdot U_{cb}$$

$$I = I_{*(cb)} \cdot I_{cb} = I_{*(cb)} \cdot \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}U_{cb}}$$

$$Z = Z_{*(cb)} \cdot Z_{cb} = Z_{*(cb)} \cdot \frac{U_{cb}^2}{S_{cb}}$$

2. Đổi hệ cơ bản

Gặp nhiều trường hợp trị số tương đối được cho theo nhiều hệ cơ bản khác nhau. Khi đó trước khi thực hiện tính toán cần đổi về cùng một hệ cơ bản chọn.

Ví dụ, điện kháng của máy phát điện tra được trong các sổ tay kỹ thuật $X_d'' = 0,375$, $X_d = 1,2$, $X_q = 0,8$; Điện áp ngắn mạch của máy biến áp được cho là $U_N\% = 10,5$. Trong trường hợp này cần phải hiểu các trị số trên là trị số tương đối trong hệ đơn vị cơ bản mà các lượng cơ bản chọn là S_{dm} và U_{dm} của máy phát và máy biến áp. Chẳng hạn, có thể viết như sau :

$$X_d'' = X_{d*(dm)}'' = X_{d(\Omega)}'' \cdot \frac{S_{dm}}{U_{dm}^2}$$

$$X_d = X_{d(\Omega)} \cdot \frac{S_{dm}}{U_{dm}^2}$$

trong đó : S_{dm} và U_{dm} là công suất và điện áp định mức của máy phát điện đang xét. Tương tự có thể viết :

$$U_N \% = \frac{U_N (\text{kV})}{U_{dm} (\text{kV})} \cdot 100$$

chính là trị số tương đối của điện áp ngắn mạch tính bằng phần trăm điện áp định mức máy biến áp. Trước khi tính toán cần chuyển các lượng trên sang cùng hệ cơ bản chọn. Ví dụ cần chuyển X_d'' sang hệ đơn vị tương đối, với S_{cb} và U_{cb} đã chọn. Ta có :

$$X_{d(\Omega)}'' = X_d'' \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} ;$$

Do đó:

$$X_{*(cb)}'' = X_{d(\Omega)}'' \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2} = X_d'' \left(\frac{U_{dm}}{U_{cb}} \right)^2 \cdot \frac{S_{cb}}{S_{dm}}$$

Một cách tương tự ta có công thức chuyển hệ đơn vị tương đối cho các đại lượng còn lại :

$$U_{*(cb)} = U_{*(dm)} \cdot \frac{U_{dm}}{U_{cb}}$$

$$E_{*(cb)} = E_{*(dm)} \cdot \frac{U_{dm}}{U_{cb}}$$

$$I_{*(cb)} = I_{*(dm)} \cdot \frac{I_{dm}}{I_{cb}} = I_{*(dm)} \cdot \frac{S_{dm}}{S_{cb}} \cdot \frac{U_{cb}}{U_{dm}}$$

$$S_{*(cb)} = S_{*(dm)} \cdot \frac{S_{dm}}{S_{cb}}$$

$$Z_{*(cb)} = Z_{*(dm)} \cdot \left(\frac{U_{dm}}{U_{cb}} \right)^2 \cdot \frac{S_{cb}}{S_{dm}}$$

Vì S_{dm} và U_{dm} của các thiết bị là khác nhau nên việc chuyển về hệ đơn vị cơ bản chọn luôn luôn cần thiết.

Một số điểm cần chú ý khác :

- Khi biểu diễn trong hệ đơn vị tương đối, điện áp dây và điện áp pha có trị số bằng nhau. Cũng tương tự công suất ba pha và công suất một pha có cùng trị số. Đó là vì theo định nghĩa U_{cb} và S_{cb} là điện áp dây và công suất ba pha, còn :

$$U_{cb \text{ pha}} = \frac{U_{cb}}{\sqrt{3}} ;$$

$$S_{cb \text{ pha}} = \frac{1}{3} S_{cb} ;$$

- Nhiều đại lượng vật lý khác nhau nhưng biểu diễn trong hệ đơn vị tương đối luôn luôn có trị số bằng nhau. Người ta có thể viết là bằng nhau và sử dụng thay thế

được cho nhau trong các công thức. Chẳng hạn, với giả thiết tần số hệ thống luôn không đổi và bằng trị số định mức, nên nếu mặc định $\omega_{cb} = \omega_{dm}$ thì $\omega_* = 1$ (ở mọi nơi trong tính toán ngắn mạch), do đó: $X = \omega L$ có thể viết thành $X_* = \omega_* L_* = L_*$.

Tương tự: $E_* = \omega_* \psi_* = \psi_*$;
 $\psi_* = L_* I_* = X_* I_*$.

3. Hệ đơn vị tương đối trong tính toán mạng điện có nhiều cấp điện áp

Khi tính toán mạch điện có máy biến áp, để thiết lập sơ đồ tính toán cần qui đổi các thông số mạch điện về cùng một cấp điện áp, cấp điện áp được chọn để qui đổi về gọi là cấp điện áp cơ sở. Nếu tính toán được thực hiện trong hệ có tên ta có các công thức qui đổi quen thuộc sau đây:

$$E_i^{(0)} = k_1 k_2 \dots k_i E_i$$

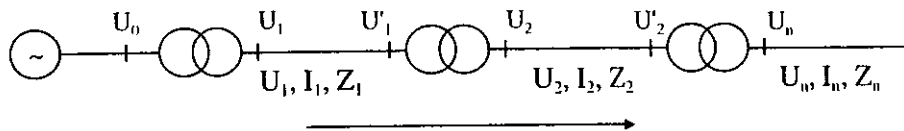
$$U_i^{(0)} = k_1 k_2 \dots k_i U_i$$

$$I_i^{(0)} = \frac{1}{k_1 k_2 \dots k_i} I_i$$

$$Z_i^{(0)} = (k_1 k_2 \dots k_n)^2 Z_i$$

trong đó: E_i, U_i, I_i, Z_i - là các thông số ở cấp điện áp i ;
 $E_i^{(0)}, U_i^{(0)}, I_i^{(0)}, Z_i^{(0)}$ - là thông số sau khi đã qui đổi về cấp cơ sở (cấp 0).
 k_i - tỉ số của máy biến áp thứ i , tính theo một hướng từ điện áp cơ sở về cấp tiếp theo:

$$k_1 = \frac{U_0}{U_1}; k_2 = \frac{U_1}{U_2}; \dots k_n = \frac{U_{n-1}}{U_n}$$



Hình 2.1 Mạng điện nhiều cấp điện áp

Để chuyển sang hệ đơn vị tương đối, về nguyên tắc ta có thể chọn lượng cơ bản cho cấp cơ sở, qui đổi các thông số về cấp cơ sở theo phép qui đổi nêu trên và áp dụng công thức tính như khi có một cấp điện áp. Tuy nhiên, cách thực hiện này khá phức tạp và dễ nhầm lẫn, người ta thường thực hiện theo cách qui đổi lượng cơ bản.

Xét biểu thức thông số mạng của cấp điện áp thứ i đã qui đổi về cấp cơ sở:

$$U_i^{(0)} = k_1 k_2 \dots k_i U_i$$

$$I_i^{(0)} = \frac{1}{k_1 k_2 \dots k_i} I_i$$

$$Z_i^{(0)} = (k_1 k_2 \dots k_n)^2 Z_i$$

Giả thiết đã chọn các lượng cơ bản cho cấp cơ sở là $U_{cb}^{(0)}$ và S_{cb} . Ta có thể đổi sang trị số tương đối như sau:

$$U_{i^{*(cb)}} = \frac{U_i^{(0)}}{U_{cb}^{(0)}} = \frac{k_1 k_2 \dots k_i U_i}{U_{cb}^{(0)}} = \frac{U_i}{U_{cb}^{(0)} / (k_1 k_2 \dots k_i)}$$

$$I_{i^{*(cb)}} = I_i^{(0)} \frac{\sqrt{3} U_{cb}^{(0)}}{S_{cb}} = I_i \frac{\sqrt{3} U_{cb}^{(0)}}{S_{cb}} \frac{1}{k_1 k_2 \dots k_i} = I_i \frac{\sqrt{3} U_{cb}^{(0)} / (k_1 k_2 \dots k_i)}{S_{cb}}$$

$$Z_{i^{*(cb)}} = Z_i^{(0)} \frac{S_{cb}}{(U_{cb}^{(0)})^2} = Z_i \frac{S_{cb}}{(U_{cb}^{(0)})^2} (k_1 k_2 \dots k_i)^2 = Z_i \frac{S_{cb}}{(U_{cb}^{(0)} / (k_1 k_2 \dots k_i))^2}$$

Cũng như khi tính trong hệ đơn vị có tên, phép qui đổi cần đảm bảo nguyên lý bảo toàn công suất, do đó công suất cơ bản S_{cb} phải được chọn duy nhất cho toàn mạng. Từ kết quả biến đổi nêu trên có thể thấy, nếu đặt:

$$U_{cb}^{(i)} = \frac{1}{k_1 k_2 \dots k_i} U_{cb}^{(0)}$$

(gọi là điện áp cơ sở của cấp điện áp i), thay vào ta có các công thức tính toán quen biết (hoàn toàn giống như khi có một cấp điện áp):

$$U_{i^{*(cb)}} = \frac{U_i}{U_{cb}^{(i)}}; \quad I_{i^{*(cb)}} = I_i \cdot \frac{\sqrt{3} U_{cb}^{(i)}}{S_{cb}}; \quad Z_{i^{*(cb)}} = Z_i \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb}^{(i)2}}$$

Chỉ chú ý là phân tử nằm ở cấp điện áp nào thì sử dụng điện áp cơ bản của cấp đó. Việc tính điện áp cơ bản của các cấp theo công thức nêu trên cũng giống như qui đổi $U_{cb}^{(0)}$ từ cấp cơ sở về các cấp tương ứng.

Sau khi có S_{cb} và $U_{cb}^{(i)}$ cũng có thể tính được các lượng cơ bản cho dòng điện $I_{cb}^{(i)}$ và tổng trở $Z_{cb}^{(i)}$ ở cấp điện áp tương ứng:

$$I_{cb}^{(i)} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3} U_{cb}^{(i)}}; \quad Z_{cb}^{(i)} = \frac{(U_{cb}^{(i)})^2}{S_{cb}}$$

Cần chú ý rằng trong tính toán gần đúng có thể lấy xấp xỉ hệ số biến áp như là tỉ số giữa 2 điện áp trung bình ở 2 phía biến áp. Thực chất là coi $U_i \approx U'_i = U_{tb_i}$. Khi đó:

$$k_i = \frac{U_{tb}^{(i-1)}}{U_{tb}^{(i)}}$$

Điện áp trung bình của một số mạng điện thường được dùng như sau:

U_{dm} (kV)	6	10	35	66	110	220	500
U_{tb} (kV)	6,3	10,5	37	69	115	230	525

Trong trường hợp này áp dụng công thức tính điện áp cơ bản cho cấp điện áp thứ i ta có:

$$U_{cb}^{(i)} = \frac{1}{k_1 k_2 \dots k_i} U_{cb}^{(0)}$$

$$= \frac{1}{\frac{U_{tb}^{(0)}}{U_{tb}^{(1)}} \cdot \frac{U_{tb}^{(1)}}{U_{tb}^{(2)}} \dots \frac{U_{tb}^{(i-1)}}{U_{tb}^{(i)}}} U_{tb}^{(0)} = U_{tb}^{(i)}$$

Nghĩa là điện áp cơ bản của cấp nào bằng chính điện áp trung bình của cấp ấy.

Ta cũng có :

$$I_{cb}^{(i)} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3} U_{tb}^{(i)}}; \quad Z_{cb}^{(i)} = \frac{(U_{tb}^{(i)})^2}{S_{cb}}$$

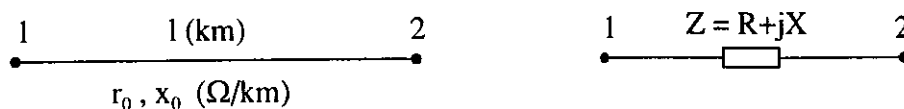
Sau khi có các lượng cơ bản, việc tính các trị số tương đối sẽ được tiến hành theo các công thức thông thường (như một cấp điện áp). Nói chung, cần chú ý sử dụng đúng điện áp cơ bản của cấp đang tính toán. Các thông số tính trong hệ đơn vị tương đối đã tự động qui đổi sơ đồ về cùng một cấp điện áp, do đó các ký hiệu máy biến áp lý tưởng cần được bỏ qua.

2.3 SƠ ĐỒ THAY THẾ VÀ THÔNG SỐ TÍNH TOÁN CỦA CÁC PHẦN TỬ TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

1. Đường dây tải điện

Sơ đồ thay thế của các đường dây tải điện được thiết lập tùy thuộc cấp điện áp và cấu trúc dây dẫn (cáp hay đường dây trên không).

a- Các đường dây trên không điện áp dưới 35 kV



Hình 2.2

Mỗi đoạn đường dây có thể thay thế bằng 1 tổng trở. Trong trường hợp này điện dung ký sinh của đường dây đã được bỏ qua đồng thời coi đường dây như một phần tử có thông số tập trung.

Trong hệ đơn vị có tên, có thể xác định :

$$R = r_0 l \quad (\Omega);$$

$$X = x_0 l \quad (\Omega);$$

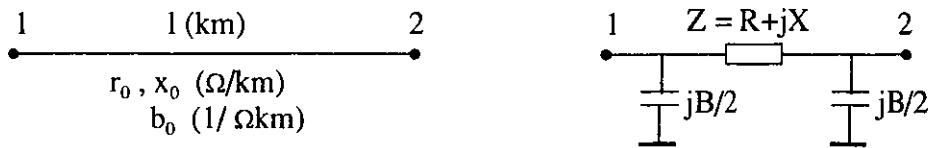
$$Z = R + jX \quad (\Omega).$$

Trong hệ đơn vị tương đối :

$$Z_{*(cb)} = Z \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2} = (r_0 + jx_0)l \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2}$$

U_{cb} cần lấy đúng theo cấp điện áp của mạng có đường dây đang xét.

b. Các đường dây cáp và đường dây trên không $66 \text{ kV} < U_{dm} \leq 330 \text{ kV}$



Hình 2.3

Trong hệ đơn vị có tên :

$$Z = (r_0 + jx_0)l \quad (\Omega)$$

$$B = b_0 l = \omega C_0 l \quad (1/\Omega)$$

Khi tính trong hệ đơn vị tương đối :

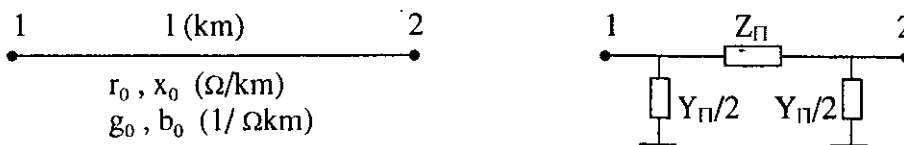
$$Z_{*(cb)} = (r_0 + jx_0)l \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2}$$

$$B_{*(cb)} = b_0 l \cdot \frac{U_{cb}^2}{S_{cb}}$$

c- Đường dây siêu cao áp ($U \geq 400 \text{ kV}$)

Các đường dây siêu cao áp thường là các đường dây dài tải điện đi xa hoặc liên kết giữa các hệ thống. Trong chế độ xác lập (kể cả trạng thái ngắn mạch) các đường dây siêu cao áp vẫn được mô tả theo sơ đồ mạch điện có thông số tập trung. Tuy nhiên các thông số của sơ đồ cần được xác định theo điều kiện tương đương với mô hình đường dây có thông số rải. Có hai cách mô hình đường dây siêu cao áp.

a. Mô hình theo sơ đồ hình Π



Hình 2.4

Phương trình xuất phát của chế độ xác lập đối với đường dây dài có thông số rải có dạng sau (viết dưới dạng ma trận) :

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma l & Z_c \sinh \gamma l \\ Y_c \sinh \gamma l & \cosh \gamma l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix}$$

Trong đó :

Z_c, Y_c là các tổng trở sóng và tổng dẫn sóng :

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}} ; Y_c = \sqrt{\frac{Y_0}{Z_0}}$$

γ - tốc độ lan truyền sóng :

$$\gamma = \sqrt{Z_0 Y_0}$$

với $Z_0 = r_0 + jx_0$ - tổng trở dọc của đường dây tính trên 1 đơn vị dài;
 $Y_0 = g_0 + jb_0$ - tổng dẫn ngang của đường dây tính cho 1 đơn vị dài.

Bây giờ nếu ký hiệu :

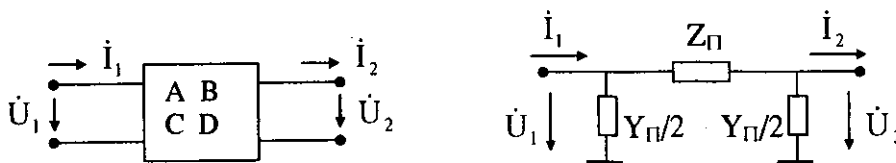
$$Z = r_0 l ; Y = Y_0 l \quad \text{thì } \gamma l = \sqrt{ZY}$$

ta có thể viết lại phương trình của đường dây dài ở dạng sau :

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \sqrt{ZY} & \sqrt{\frac{Z}{Y}} \sinh \sqrt{ZY} \\ \sqrt{\frac{Y}{Z}} \sinh \sqrt{ZY} & \cosh \sqrt{ZY} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix}$$

Đây cũng là cách viết phương trình của mạng hai cửa dạng hỗn hợp tương đương của đường dây dài. Mặt khác theo lý thuyết về mạng hai cửa, luôn luôn có thể tương đương hoá mỗi mạng hai cửa bằng một sơ đồ hình Π hoặc hình T.



Hình 2.5

Với sơ đồ hình II ta có công thức tính :

$$Z_{\Pi} = B = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \sinh \sqrt{ZY} = Z \frac{\sinh \sqrt{ZY}}{\sqrt{ZY}}$$

$$\frac{Y_{\Pi}}{2} = \frac{A-1}{B} = \frac{Y \tanh(\sqrt{ZY}/2)}{\sqrt{ZY}/2}$$

Đó chính là các công thức cho phép tính chính xác thông số của sơ đồ hình II tương đương của mỗi đường dây dài điện áp siêu cao (đúng cho mọi chiều dài l). Cần chú ý là ở đây, $Z_{\Pi} \neq Z$ và $Y_{\Pi} \neq Y$ (với Z và Y tính như đối với các đường dây ngắn).

Công thức cho thấy sự sai khác sẽ càng nhỏ khi khoảng cách đường dây càng ngắn. Thật vậy, khi l nhỏ thì góc $\gamma l = l \sqrt{Z_0 Y_0} = \sqrt{ZY}$ cũng có trị số nhỏ, lúc ấy:

$$\frac{\sinh \sqrt{ZY}}{\sqrt{ZY}} \approx 1 ; \quad \frac{\tanh(\sqrt{ZY}/2)}{(\sqrt{ZY}/2)} \approx 1 . \text{ Do đó: } Z_{\Pi} \approx Z; Y_{\Pi} \approx Y$$

Các số liệu thực tế tính toán cho thấy khi $l = 100$ km thì sai số khoảng 0,2 % nhưng khi $l = 800$ km thì sai số gần 12 %. Sai số sẽ tăng nhanh theo chiều dài l (xấp xỉ tỉ lệ với bình phương khoảng cách).

Khi tính trong hệ đơn vị tương đối ta có :

$$Z_{\Pi(cb)} = Z_{\Pi} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2} ; \quad Y_{\Pi(cb)} = Y_{\Pi} \cdot \frac{U_{cb}^2}{S_{cb}}$$

Nhược điểm của cách mô hình này (bằng một sơ đồ hình II) là công thức tính thông số khá phức tạp. Vì thế, trong thực hành người ta hay áp dụng các công thức gần đúng để xác định Z_{Π} và Y_{Π} .

Khai triển chuỗi công thức các hệ số mạng 4 cực ở trên, ta có :

$$A = 1 + \frac{YZ}{2} + \frac{Y^2 Z^2}{24} + \frac{Y^2 Z^2}{720} + \dots \approx 1 + \frac{YZ}{2} ;$$

$$B = Z \left(1 + \frac{YZ}{6} + \frac{Y^2 Z^2}{120} + \frac{Y^2 Z^2}{5040} + \dots \right) \approx Z \left(1 + \frac{YZ}{6} \right) ;$$

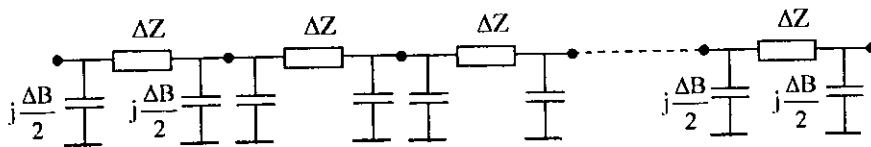
$$C = Y \left(1 + \frac{YZ}{6} + \frac{Y^2 Z^2}{120} + \frac{Y^2 Z^2}{5040} + \dots \right) \approx Y \left(1 + \frac{YZ}{6} \right) ;$$

Thay vào công thức tính Z_{Π} và Y_{Π} sẽ nhận được :

$$Z_{\Pi} \approx Z \left(1 + \frac{YZ}{6} \right); \quad Y_{\Pi} \approx \frac{Y}{\left(1 + \frac{YZ}{6} \right)}$$

Thông thường khi tính toán ngắn mạch có thể bỏ qua g_0 của ĐДСCA vì chúng ít ảnh hưởng đến kết quả.

b- Mô hình đường dây dài bằng một chuỗi các mắt xích hình Π



Hình 2.6

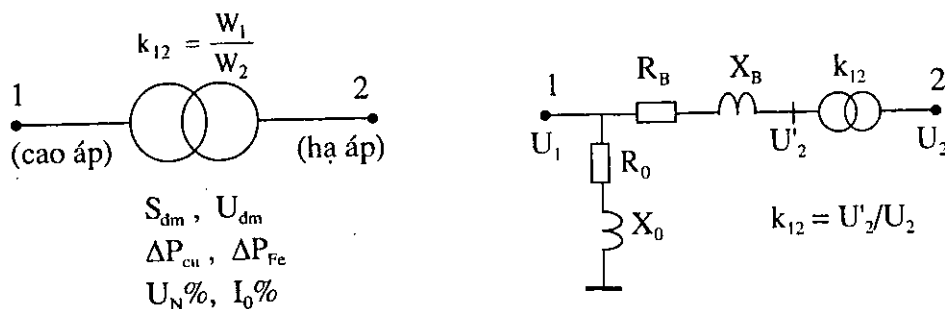
Như đã nhận xét ở trên, khi chiều dài của đoạn đường dây siêu cao áp không lớn lắm ($l < 100$ km), sai số mắc phải khi áp dụng các công thức của đường dây ngắn cho mô hình một mắt xích hình Π đối với cả đoạn đường dây cũng không lớn ($< 0,2\%$). Lợi dụng tính chất này người ta mô hình các đường dây dài điện áp siêu cao bằng một chuỗi các mắt xích hình Π . Nói chung mỗi mắt xích cần đảm bảo chiều dài $\Delta l \leq 100$ km.

Ưu điểm chính của phương pháp này là có thể tính các thông số sơ đồ theo công thức đơn giản: $\Delta Z = (r_0 + jx_0) \Delta l$; $\Delta B = jb_0 \Delta l$;

Tuy nhiên nhược điểm của phương pháp này là số nút, số nhánh của sơ đồ tăng lên đáng kể.

2. Các máy biến áp

a- Máy biến áp 2 cuộn dây



Hình 2.7

Trong hệ đơn vị có tên mỗi máy biến áp 2 cuộn dây được thay thế bằng một sơ đồ hình Γ (hoặc T) có máy biến áp lý tưởng nối giữa 2 cấp điện áp. Về nguyên tắc, sơ đồ hình Γ có thể nằm ở phía điện áp bất kỳ của máy biến áp lý tưởng. Tuy nhiên để

thuận lợi cho tính toán các thông số của hình Γ thường được tính ở phía điện áp cao (do các thông số định mức được cho trong lý lịch máy ứng với phía điện áp cao). Các công thức quen biết (xem trong giáo trình mạng điện) cũng đã được thiết lập theo quy ước này. Chẳng hạn, điện kháng dọc:

$$X_B = \frac{U_N \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \quad (\Omega)$$

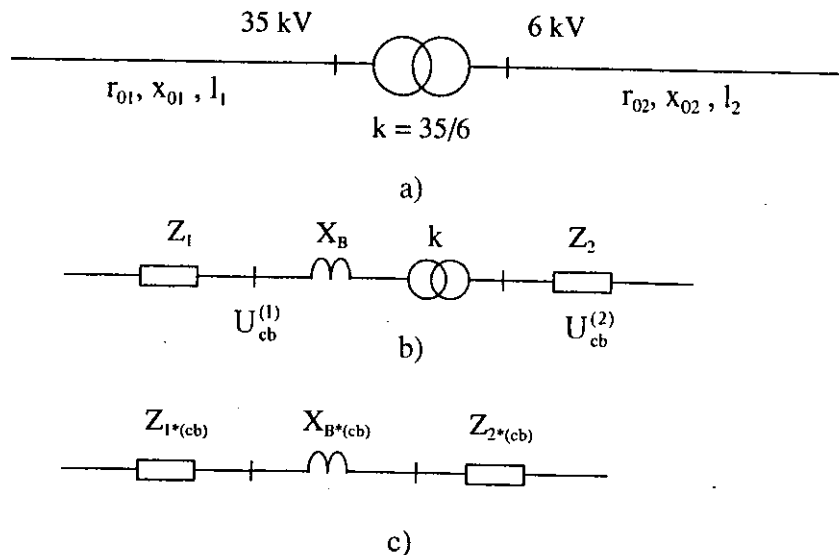
Theo công thức trên trị số điện kháng được tính trong hệ đơn vị có tên ứng với phía điện áp cao của máy biến áp. Tương tự các thông số khác của sơ đồ máy biến áp cũng tính ở phía điện áp cao (trong hệ đơn vị có tên):

$$R_B = \Delta P_{cu} \left(\frac{U_{dm}}{S_{dm}} \right)^2$$

$$X_0 = \frac{U_{dm}^2}{\Delta Q_{Fe}}; \quad Z_0 = \frac{100}{I_0 \%} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}}; \quad R_0 = \sqrt{Z_0^2 - X_0^2}$$

Trong tính toán ngắn mạch các thông số ứng với tổn hao máy biến áp (R_B, R_0, X_0) thường được bỏ qua vì chúng có ảnh hưởng nhỏ đến dòng điện ngắn mạch. Khi đó, sơ đồ chỉ còn một điện kháng X_B và máy biến áp lý tưởng (hình 2.8,b).

Như đã biết khi mạng có nhiều cấp điện áp, để tính toán luôn phải quy đổi các thông số sơ đồ về một cấp điện áp. Bước quy đổi này thường được thực hiện ngay lúc áp dụng công thức tính toán. Chính vì vậy máy biến áp lý tưởng ít khi được vẽ vào sơ đồ. Hãy lấy ví dụ đơn giản nhất, sơ đồ mạng điện hình 2.8,a. Bỏ qua tổn hao trong máy biến áp và dung dẫn các đường dây ta có sơ đồ thay thế ban đầu như trên hình 2.8,b.



Hình 2.8

Thông số đường dây tính ứng với từng cấp điện áp của mạng:

$$Z_1 = (r_{01} + j x_{01}) l_1 ; \quad Z_2 = (r_{02} + j x_{02}) l_2$$

Thông số máy biến áp tính trong hệ đơn vị có tên (phía điện áp cao) :

$$X_B = \frac{U_N \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}}$$

Sau khi quy đổi về một cấp điện áp sơ đồ sẽ có dạng hình 2.8,c. Trị số các thông số phụ thuộc vào hệ đơn vị tính và cấp điện áp cơ sở.

Nếu tính trong hệ đơn vị có tên, quy đổi về điện áp cao (35 kV), chỉ cần quy đổi Z_2 thành Z'_2 :

$$Z'_2 = (r_{02} + j x_{02}) l_2 k^2$$

Nếu tính trong hệ đơn vị có tên nhưng quy đổi về phía hạ áp (6 kV), cần quy đổi Z_1 và X_B :

$$Z_1 = (r_{01} + j x_{01}) l_1 / k^2$$

$$X'_B = \frac{U_N \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{1}{k^2}$$

Khi tính trong hệ đơn vị tương đối ta có :

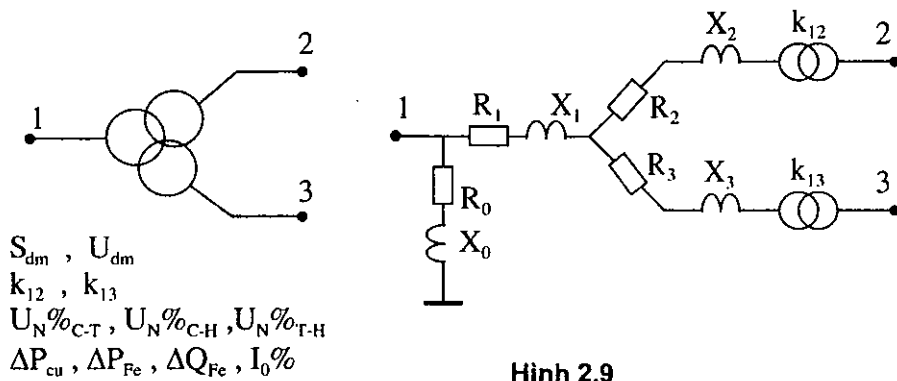
$$Z_{1*(cb)} = (r_{01} + j x_{01}) l_1 \frac{S_{cb}}{(U_{cb}^{(1)})^2}$$

$$Z_{2*(cb)} = (r_{02} + j x_{02}) l_2 \frac{S_{cb}}{(U_{cb}^{(2)})^2}$$

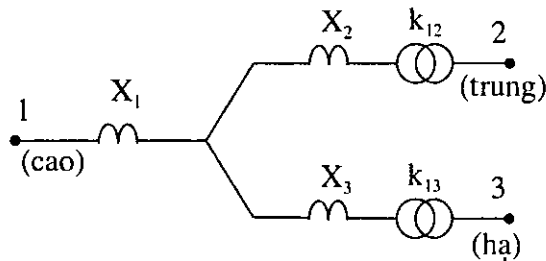
$$X_{*B(cb)} = \frac{U_N \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{S_{cb}}{(U_{cb}^{(1)})^2} = \frac{U_N \%}{100} \cdot \left(\frac{U_{dm}}{U_{cb}^{(1)}} \right)^2 \cdot \frac{S_{cb}}{S_{dm}}$$

Cần để ý rằng, khi tính trong hệ đơn vị tương đối không sử dụng đến hệ số biến áp k là vì nó đã được xét đến khi xác định điện áp cơ bản $U_{cb}^{(1)}$ và $U_{cb}^{(2)}$. Hơn nữa, sau khi tính các thông số trong hệ đơn vị tương đối sơ đồ đã mặc nhiên ở cùng một cấp điện áp nên cũng không cần sử dụng đến bước thiết lập sơ đồ hình 2.8,b. Tuy nhiên, để xác định rõ thông số nằm ở cấp điện áp nào, về nguyên tắc phải thiết lập sơ đồ hình 2.8,b, đặc biệt là các máy biến áp.

b. Máy biến áp 3 cuộn dây



Khi bỏ qua tổn hao sơ đồ thay thế có dạng đơn giản như hình 2.10. Để ý rằng các thông số X_1, X_2, X_3 đều được xác định ở phía điện áp cao.



Để tính trị số các điện kháng, trước hết cần xác định điện áp ngắn mạch đối với mỗi cuộn dây:

$$U_N\%_C = (U_N\%_{C-T} + U_N\%_{C-H} - U_N\%_{T-H})/2 ;$$

$$U_N\%_T = (U_N\%_{C-T} + U_N\%_{T-H} - U_N\%_{C-H})/2 ;$$

$$U_N\%_H = (U_N\%_{C-H} + U_N\%_{T-H} - U_N\%_{C-T})/2 .$$

Sau đó áp dụng các công thức tương tự như máy biến áp 2 cuộn dây (đơn vị có tên và đơn vị tương đối):

$$X_C = \frac{U_N\%_C}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} ; \quad X_{*C(cb)} = \frac{U_N\%_C}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb(C)}^2}$$

$$X_T = \frac{U_N\%_T}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} ; \quad X_{*T(cb)} = \frac{U_N\%_T}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb(C)}^2}$$

$$X_H = \frac{U_N\%_H}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} ; \quad X_{*H(cb)} = \frac{U_N\%_H}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb(C)}^2}$$

Thông số đường dây tính ứng với từng cấp điện áp của mạng:

$$Z_1 = (r_{01} + j x_{01}) l_1 ; \quad Z_2 = (r_{02} + j x_{02}) l_2$$

Thông số máy biến áp tính trong hệ đơn vị có tên (phía điện áp cao) :

$$X_B = \frac{U_N \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}}$$

Sau khi quy đổi về một cấp điện áp sơ đồ sẽ có dạng hình 2.8,c. Trị số các thông số phụ thuộc vào hệ đơn vị tính và cấp điện áp cơ sở.

Nếu tính trong hệ đơn vị có tên, quy đổi về điện áp cao (35 kV), chỉ cần quy đổi Z_2 thành Z'_2 :

$$Z'_2 = (r_{02} + j x_{02}) l_2 k^2$$

Nếu tính trong hệ đơn vị có tên nhưng quy đổi về phía hạ áp (6 kV), cần quy đổi Z_1 và X_B :

$$Z_1 = (r_{01} + j x_{01}) l_1 / k^2$$

$$X'_B = \frac{U_N \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{1}{k^2}$$

Khi tính trong hệ đơn vị tương đối ta có :

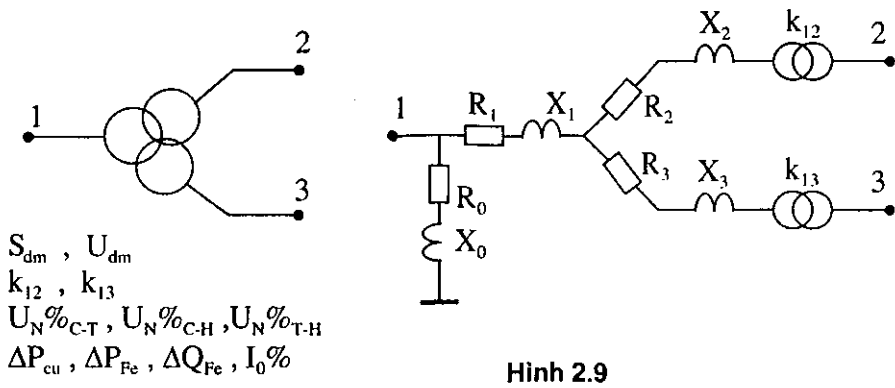
$$Z_{1*(cb)} = (r_{01} + j x_{01}) l_1 \frac{S_{cb}}{(U_{cb}^{(1)})^2}$$

$$Z_{2*(cb)} = (r_{02} + j x_{02}) l_2 \frac{S_{cb}}{(U_{cb}^{(2)})^2}$$

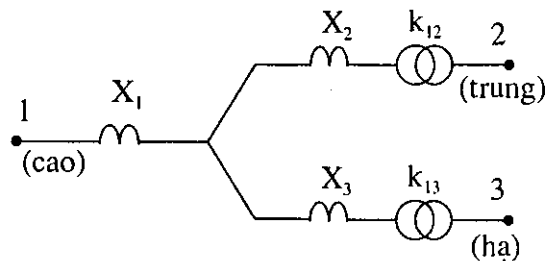
$$X_{*B(cb)} = \frac{U_N \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{S_{cb}}{(U_{cb}^{(1)})^2} = \frac{U_N \%}{100} \cdot \left(\frac{U_{dm}}{U_{cb}^{(1)}} \right)^2 \cdot \frac{S_{cb}}{S_{dm}}$$

Cần để ý rằng, khi tính trong hệ đơn vị tương đối không sử dụng đến hệ số biến áp k là vì nó đã được xét đến khi xác định điện áp cơ bản $U_{cb}^{(1)}$ và $U_{cb}^{(2)}$. Hơn nữa, sau khi tính các thông số trong hệ đơn vị tương đối sơ đồ đã mặc nhiên ở cùng một cấp điện áp nên cũng không cần sử dụng đến bước thiết lập sơ đồ hình 2.8,b. Tuy nhiên, để xác định rõ thông số nằm ở cấp điện áp nào, về nguyên tắc phải thiết lập sơ đồ hình 2.8,b, đặc biệt là các máy biến áp.

b. Máy biến áp 3 cuộn dây



Khi bỏ qua tổn hao sơ đồ thay thế có dạng đơn giản như hình 2.10. Để ý rằng các thông số X_1, X_2, X_3 đều được xác định ở phía điện áp cao.



Để tính trị số các điện kháng, trước hết cần xác định điện áp ngắn mạch đối với mỗi cuộn dây:

$$U_N\%_C = (U_N\%_{C-T} + U_N\%_{C-H} - U_N\%_{T-H})/2 ;$$

$$U_N\%_T = (U_N\%_{C-T} + U_N\%_{T-H} - U_N\%_{C-H})/2 ;$$

$$U_N\%_H = (U_N\%_{C-H} + U_N\%_{T-H} - U_N\%_{C-T})/2 .$$

Sau đó áp dụng các công thức tương tự như máy biến áp 2 cuộn dây (đơn vị có tên và đơn vị tương đối):

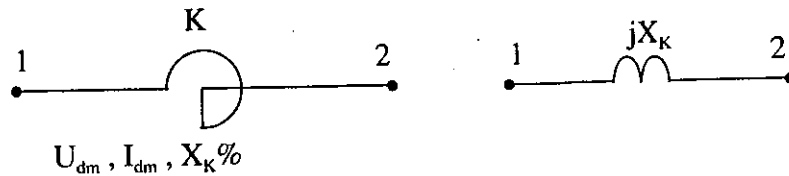
$$X_C = \frac{U_N\%_C}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} ; \quad X_{C(cb)} = \frac{U_N\%_C}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb(C)}^2}$$

$$X_T = \frac{U_N\%_T}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} ; \quad X_{T(cb)} = \frac{U_N\%_T}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb(C)}^2}$$

$$X_H = \frac{U_N\%_{Hl}}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} ; \quad X_{H(cb)} = \frac{U_N\%_{Hl}}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb(C)}^2}$$

3- Kháng điện và tụ điện

a- Kháng điện phân đoạn



Hình 2.11

Cho $X_K\%$, I_{dm} , U_{dm} . Theo định nghĩa :

$$X_K \% = X_K (\Omega) \cdot \frac{\sqrt{3} I_{dm}}{U_{dm}} \cdot 100 ,$$

thực chất là điện kháng tương đối (tính theo %) với lượng cơ bản là các trị số định mức.

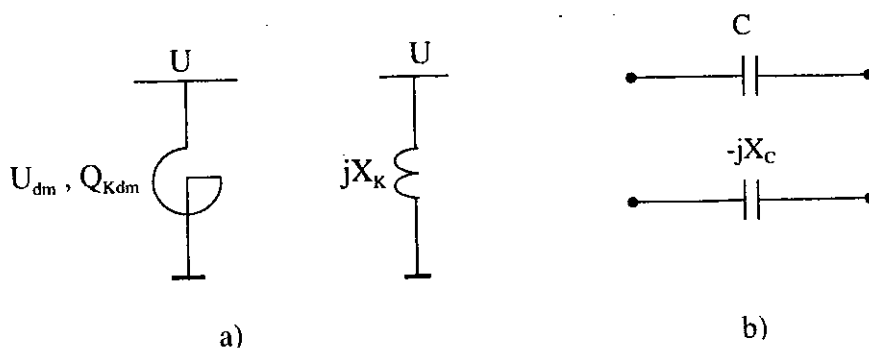
Suy ra :

$$X_K (\Omega) = \frac{X_K \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}}{\sqrt{3} I_{dm}} ;$$

Trong hệ đơn vị tương đối :

$$\begin{aligned} X_{K(cb)} &= \frac{X_K \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}}{\sqrt{3} I_{dm}} \cdot \frac{\sqrt{3} I_{cb}}{U_{cb}} \\ &= \frac{X_K \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}}{U_{cb}} \cdot \frac{I_{cb}}{I_{dm}} \end{aligned}$$

b- Kháng bù ngang



Hình 2.12 Thay thế kháng bù ngang (a) và tụ bù dọc (b)

Đối với kháng điện bù ngang thường được cho U_{dm} , Q_{Kdm} . Trong hệ đơn vị có tên tính được:

$$X_K (\Omega) = \frac{U_{dm}^2}{Q_{Kdm}}$$

chuyển sang hệ tương đối:

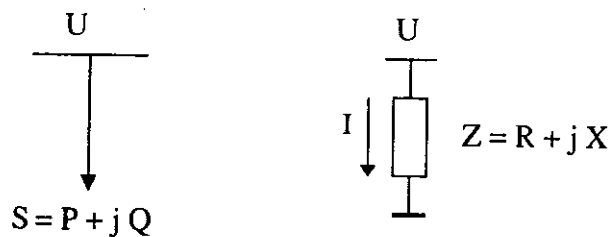
$$X_{K*(cb)} = \frac{U_{dm}^2}{Q_{Kdm}} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2}$$

c - Tụ bù dọc

Đối với tụ bù dọc, thông số cho trước là điện kháng X_c trong đơn vị Ω . Đó đó sơ đồ thay thế chỉ đơn giản như một tụ điện. Khi tính trong hệ đơn vị tương đối:

$$X_{c*(cb)} = X_c \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2}$$

4. Phụ tải điện



Hình 2.13

Phụ tải được thay thế bằng tổng trở cố định sao cho khi điện áp thanh cái bằng U thì công suất tiêu thụ trên tổng trở bằng $S = P + jQ$. Theo công thức tính công suất phức trên một nhánh tổng trở ta có:

$$\begin{aligned} \hat{S} &= \sqrt{3} \hat{U} \hat{I} = \sqrt{3} \hat{U} \frac{\hat{U}}{\hat{Z} \sqrt{3}} = \frac{U^2}{\hat{Z}} \\ \hat{Z} &= R - jX = \frac{U^2}{\hat{S}} = \frac{U^2}{S^2} (P - jQ) \\ &= \frac{U^2}{S} (\cos \varphi - j \sin \varphi) \end{aligned}$$

Suy ra:

$$R = \frac{U^2}{S} P = \frac{U^2}{S} \cos \varphi$$

$$X = \frac{U^2}{S} Q = \frac{U^2}{S} \sin \varphi$$

$$Z = \frac{U^2}{S} (\cos \varphi + j \sin \varphi)$$

Trong hệ đơn vị tương đối cơ bản:

$$Z_{*(cb)} = \frac{U^2}{S} (\cos \varphi + j \sin \varphi) \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2}$$

Khi không có số liệu của phụ tải đang làm việc người ta sử dụng công suất định mức của phụ tải để tính toán. Khi đó nếu tính trong hệ tương đối định mức của phụ tải, nghĩa là $S_{cb} = S_{dm\ t} \approx S$, $U_{cb} = U_{dm\ t} \approx U$, ta có :

$$Z_{*(dm\ t)} = \cos \varphi + j \sin \varphi$$

Có một số điểm cần lưu ý khi mô hình phụ tải:

- Cách mô hình phụ tải nêu trên còn gọi là mô hình tĩnh, nó chỉ đúng khi phụ tải ở trạng thái gần với CĐXL, ví dụ chế độ ngắn mạch duy trì, phụ tải xa điểm ngắn mạch... Trong chế độ quá độ cần sử dụng các mô hình và các tính toán khác.
- Phụ tải thực chất bao gồm các thiết bị dùng điện khác nhau. Mô hình trên là cách mô tả gần đúng cho phụ tải tổng hợp (ứng với công suất tổng tại một nút hệ thống, như thanh cái các trạm 6-110 kV). Trong trường hợp phụ tải cá biệt: động cơ lớn, lò điện, thiết bị điện phân... cần mô hình phụ tải theo đặc trưng của thiết bị cụ thể.
- Nói chung trong CĐXL phụ tải có tỉ lệ lớn công suất tác dụng, tuy nhiên trong tính toán gần đúng người ta vẫn cho phép mô tả phụ tải bằng phần tử thuần kháng nhằm đơn giản phép tính (khi tất cả các phần tử khác đã thay thế thuần kháng). Sai số mắc phải cũng sẽ không lớn nếu thay thế hợp lý.

Khi lấy xấp xỉ phụ tải thuần kháng bằng riêng phần ảo (bỏ qua hoàn toàn R): $X_{pt} = X$ hoặc bằng mô đun tổng trở toàn phần (coi góc pha bằng 90°):

$$X_{pt} = Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

sai số mắc phải đều tương đối lớn. Cần lấy cao hơn một ít theo trị số sau (xem giải thích trong chương 3):

$$X_{pt} = 1,2 Z, \text{ hay } X_{pt*(dm)} = 1,2$$

Trong hệ đơn vị tương đối định mức phụ tải có trị số bằng 1,2 là do đã coi $\cos \varphi = 0,8$ và $\sin \varphi = 0,6$ (khi đó $Z = 1$).

5. Điện kháng hệ thống

Rất thường gặp các tính toán ngắn mạch, trong đó các kết quả cần quan tâm chỉ giới hạn trong một phần lưới điện, có khi chỉ trong phạm vi lưới thuộc một trạm biến áp khu vực. Rõ ràng khi đó mong muốn có được một sơ đồ đẳng trị đơn giản nhất cho phần hệ thống phía trên. Chẳng hạn ở dạng một tổng trở hay một điện kháng đẳng trị (gọi là điện kháng hệ thống). Điện kháng này có thể nhận được theo cách đơn giản hơn, không cần biến đổi đẳng trị sơ đồ (phần lưới phía trên).

Như đã biết, từ biểu thức công suất ngắn mạch có thể xác định (bỏ qua điện trở tác dụng):

$$X_{HT} (\Omega) = \frac{U_{tb}^2}{S_N}$$

U_{tb} - điện áp trung bình làm việc của phần lưới chứa thanh cái bị ngắn mạch.

Hãy xét biểu thức tính điện kháng hệ thống trong hệ đơn vị tương đối cơ bản tùy chọn với S_{cb} và $U_{cb} = U_{tb}$. Trong trường hợp này lấy U_{cb} bằng điện áp trung bình làm việc của phần lưới chứa thanh cái là hoàn toàn hợp lý (bởi đang thực hiện các tính toán gần đúng). Ta có:

$$X_{HT*(cb)} = \frac{U_{tb}^2}{S_N} \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2} = \frac{S_{cb}}{S_N}$$

Nguồn sdd đẳng trị của hệ thống có thể lấy là $E_{*HT} = 1$, bởi trong hệ đơn vị có tên:

$$E_{HT} \approx U_{tb} \approx U_{cb}$$

Có trường hợp người ta cho trước điện kháng ngắn mạch tương đối của hệ thống X_{*N} và công suất hệ thống S_{HT} . Khi đó có thể hiểu X_{*N} là điện kháng đẳng trị của hệ thống tính đến điểm ngắn mạch trên thanh cái trạm. Trường hợp này X_{*N} thường nhận được nhờ các tính toán ngắn mạch trước đó và đổi về lượng cơ bản là công suất tổng hệ thống. Từ ý nghĩa đó ta có công thức tính:

$$X_{HT*(cb)} = X_{*N} \frac{S_{cb}}{S_{HT}}$$

6. Các máy phát điện



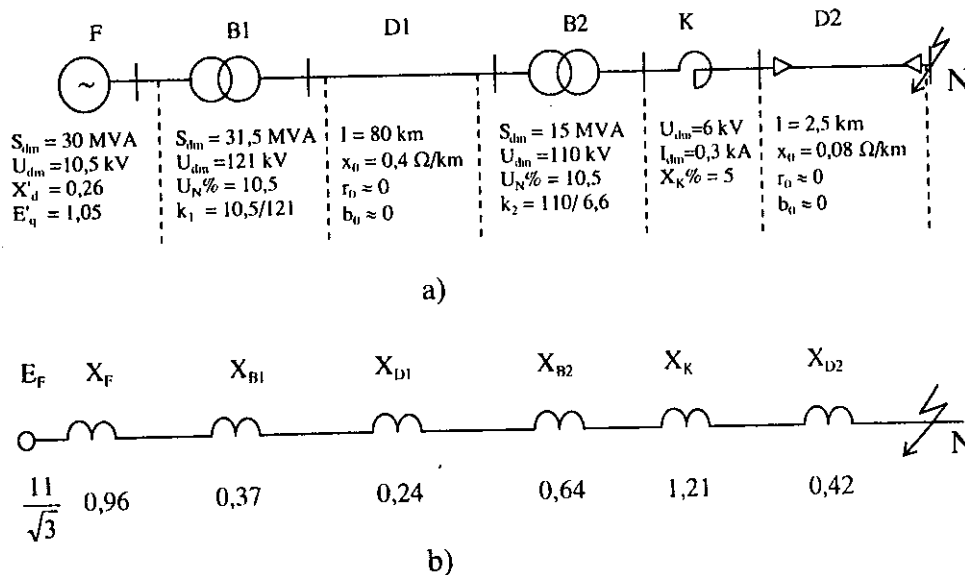
Hình 2.14

Máy phát điện được đề cập đến sau cùng mặc dù là phần tử quan trọng nhất trong tính toán ngắn mạch. Đó là vì không thể nói đơn giản đầy đủ ngay được sơ đồ thay

thế của các máy phát điện. Khi thay thế trên sơ đồ tính toán, máy phát có thể được biểu thị bằng một nguồn sđđ E_F nối tiếp với một điện kháng X_F (hình 2.14). Tuy nhiên, E_F và X_F nhận giá trị nào, còn phụ thuộc vào trạng thái máy phát khi ngắn mạch và thời điểm khảo sát. Các nội dung này sẽ được xét đến cụ thể trong các chương sau.

Khi đưa ra các ví dụ tính toán trong chương này sđđ và điện kháng máy phát được cho trước trị số, là lấy theo các trường hợp tính toán thường gặp. (Sinh viên chưa cần tìm hiểu ngay).

Ví dụ 2.1 Cho sơ đồ hệ thống như trên hình 2.3,a. Hãy vẽ sơ đồ thay thế, xác định trị số của các phần tử trên sơ đồ và tính dòng điện ngắn mạch tại điểm N.



Hình 2.15 Sơ đồ hệ thống (a) và sơ đồ thay thế tính toán (b) của ví dụ 2.1

Việc tính toán được tiến hành trong hệ đơn vị có tên và đơn vị tương đối. Khi sử dụng hệ đơn vị tương đối sẽ được áp dụng cả 2 cách tính : tính chính xác và tính gần đúng.

a- Tính chính xác trong hệ đơn vị có tên.

Chọn cấp điện áp cơ sở là 10,5 kV (của điện áp máy phát). Các thông số được tính qui đổi về cấp này, kết quả ghi trực tiếp vào sơ đồ hình 2.3,b.
Sức điện động của máy phát điện đổi về trị số có tên :

$$E'_q \text{ (kV)} = E'_q \cdot U_{dm} = 1,05 \cdot 10,5 = 11 \text{ kV.}$$

Tính với sơ đồ 1 pha nên cần xác định trị số sđđ pha:

$$E'_q = \frac{11}{\sqrt{3}}, \text{ kV}$$

Điện kháng máy phát :

$$X_F = X'_d \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} = 0,26 \cdot \frac{10,5^2}{30} = 0,96 \ \Omega$$

Điện kháng máy biến áp B_1 (qui đổi về cấp cơ sở) :

$$\begin{aligned} X_{B1} &= \frac{U_N \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot k_1^2 \\ &= \frac{10,5}{100} \cdot \frac{121^2}{31,5} \cdot \left(\frac{10,5}{121}\right)^2 = 0,37 \ \Omega \end{aligned}$$

Điện kháng đường dây D_1 (qui đổi qua B_1) :

$$X_{D1} = x_0 \cdot l \cdot k_1^2 = 0,4 \cdot 80 \cdot \left(\frac{10,5}{121}\right)^2 = 0,24 \ \Omega$$

Điện kháng máy biến áp B_2 (qui đổi qua B_1) :

$$\begin{aligned} X_{B2} &= \frac{U_N \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot k_1^2 \\ &= \frac{10,5}{100} \cdot \frac{110^2}{15} \cdot \left(\frac{10,5}{121}\right)^2 = 0,64 \ \Omega \end{aligned}$$

Điện kháng của kháng điện (qui đổi qua B_2, B_1) :

$$\begin{aligned} X_K &= \frac{X_K \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}}{\sqrt{3} I_{dm}} \cdot k_1^2 \cdot k_2^2 \\ &= \frac{5}{100} \cdot \frac{6}{\sqrt{3} \cdot 0,3} \cdot \left(\frac{10,5}{121}\right)^2 \cdot \left(\frac{110}{6,6}\right)^2 = 1,21 \ \Omega \end{aligned}$$

Điện kháng đường dây cấp D_2 (qui đổi qua B_2, B_1) :

$$X_{D2} = x_0 \cdot l \cdot k_2^2 \cdot k_1^2 = 0,08 \cdot 2,5 \cdot \left(\frac{110}{6,6}\right)^2 \cdot \left(\frac{10,5}{121}\right)^2 = 0,42 \ \Omega$$

Để xác định dòng điện ngắn mạch, cần tính điện kháng tổng hợp của mạch :

$$\begin{aligned} X_\Sigma &= X_F + X_{B1} + X_{D1} + X_{B2} + X_K + X_{D2} \\ &= 0,96 + 0,37 + 0,24 + 0,64 + 1,21 + 0,42 = 3,84 \ \Omega \end{aligned}$$

Dòng điện ngắn mạch :

$$I_N = \frac{E_F}{X_\Sigma} = \frac{11}{\sqrt{3} \cdot 3,84} = 1,65 \ \text{kA}$$

Cần chú ý rằng, sơ đồ tính toán được qui về cấp cơ sở là cấp điện áp máy phát, nên trị số dòng điện ngắn mạch vừa xác định được là dòng điện chạy trong máy phát. Để tính dòng điện ngắn mạch tại điểm N, cần qui đổi dòng điện qua B₁ và B₂ :

$$\begin{aligned} I_{N(6kV)} &= I_N^{(10)} k_1 k_2 \\ &= 1,65 \cdot \frac{10,5}{121} \cdot \frac{110}{6,6} = 2,4 \text{ kA} \end{aligned}$$

Đây cũng là trị số dòng điện chạy qua kháng điện và cuộn hạ áp của máy biến áp B₂. Dòng điện chạy trên đường dây D₁ (và cuộn cao áp các máy biến áp B₁ và B₂) cần xác định là :

$$\begin{aligned} I_{N(110kV)} &= I_N^{(10)} k_1 \\ &= 1,65 \cdot \frac{10,5}{121} = 0,143 \text{ kA} \end{aligned}$$

b. Tính chính xác trong hệ đơn vị tương đối

Khi tính trong hệ đơn vị tương đối sơ đồ thay thế vẫn hoàn toàn giống như trên hình 2.3b chỉ cần tính lại trị số các phần tử của sơ đồ.

Giả sử chọn : $S_{cb} = 100 \text{ MVA}$, $U_{cbl} = 10,5 \text{ kV}$.

Điện áp cơ bản đã chọn ứng với cấp điện áp máy phát, được coi là cấp cơ sở (I). Điện áp cơ bản của các cấp còn lại cần phải được tính ra từ U_{cbl} . Theo công thức qui đổi ta có :

$$\begin{aligned} U_{cbII} &= \frac{1}{k_1} U_{cbl} \\ &= \frac{1}{10,5/121} \cdot 10,5 = 121 \text{ kV} \\ U_{cbIII} &= \frac{1}{k_1 k_2} U_{cbl} = \frac{1}{k_2} U_{cbII} \\ &= \frac{1}{110/6,6} \cdot 121 = 7,26 \text{ kV} \end{aligned}$$

Ta cũng tính được dòng điện cơ bản trên các đoạn :

$$\begin{aligned} I_{cbl} &= \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}U_{cbl}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ kA} \\ I_{cbII} &= \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}U_{cbII}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 121} = 0,48 \text{ kA} \\ I_{cbIII} &= \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}U_{cbIII}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 7,26} = 7,95 \text{ kA} \end{aligned}$$

Áp dụng các công thức tính toán, ta xác định trị số các phần tử trên sơ đồ trong hệ tương đối đã chọn.

Sức điện động máy phát :

$$E_F = E_q' \frac{U_{dm}}{U_{cbl}} = 1,05 \frac{10,5}{10,5} = 1,05$$

Điện kháng máy phát :

$$X_F = X_d' \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cbl}^2} = 0,26 \cdot \frac{10,5^2}{30} \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,87$$

Điện kháng máy biến áp B₁ :

$$\begin{aligned} X_{B1} &= \frac{U_N \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cbII}^2} = \\ &= \frac{10,5}{100} \cdot \frac{121^2}{31,5} \cdot \frac{100}{121^2} = 0,33 \end{aligned}$$

Điện kháng đường dây D₁ :

$$X_{D1} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cbII}^2} = 0,4 \cdot 80 \cdot \frac{100}{121^2} = 0,22$$

Điện kháng máy biến áp B₂ :

$$\begin{aligned} X_{B2} &= \frac{U_N \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cbl}^2} = \\ &= \frac{10,5}{100} \cdot \frac{110^2}{15} \cdot \frac{100}{121^2} = 0,58 \end{aligned}$$

Điện kháng đường dây cáp D₂ :

$$X_{D2} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cbIII}^2} = 0,08 \cdot 2,5 \cdot \frac{100}{7,26^2} = 0,38$$

Điện kháng của kháng điện :

$$\begin{aligned} X_K &= \frac{X_K \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}}{I_{dm}} \cdot \frac{I_{cbIII}}{U_{cbIII}} = \\ &= \frac{5}{100} \cdot \frac{6}{0,3} \cdot \frac{7,95}{7,26} = 1,09 \end{aligned}$$

Điện kháng tổng hợp :

$$X_{\Sigma} = 0,87 + 0,33 + 0,22 + 0,58 + 1,09 + 0,38 = 3,47$$

Trị số tương đối của dòng điện ngắn mạch :

$$I_{N^{*(cb)}} = \frac{E_F}{X_{\Sigma}} = \frac{1,05}{3,47} = 0,302$$

Dòng điện ngắn mạch tại điểm N tính đổi sang đơn vị có tên :

$$I_{N(10kV)} = I_{N^{*(cb)}} \cdot I_{cbIII}$$

$$= 0,302 \cdot 7,95 = 2,4 \text{ kA}$$

Nếu tính dòng điện ngắn mạch trong máy phát và trên đường dây 110 kV ta có :

$$I_{N(10kV)} = I_{N(cb)} \cdot I_{cbl} = 0,302 \cdot 5,5 = 1,65 \text{ kA}$$

$$I_{N(110kV)} = I_{N(cb)} \cdot I_{cbII} = 0,302 \cdot 0,48 = 0,143 \text{ kA}$$

Như vậy nếu cùng áp dụng các công thức chính xác thì tính toán trong hệ đơn vị có tên hoặc đơn vị tương đối đều cho kết quả như nhau.

c- Tính gần đúng trong hệ đơn vị tương đối

Vấn chọn $S_{cb} = 100 \text{ MVA}$, khi tính gần đúng thì $U_{cb} = U_{tb}$, do đó ta có ngay :

$$U_{cbl} = U_{tbl} = 10,5 \text{ kV}$$

$$U_{cbII} = U_{tbII} = 115 \text{ kV}$$

$$U_{cbIII} = U_{tbIII} = 6,3 \text{ kV}$$

Các dòng điện cơ bản có thể xác định được :

$$I_{cbl} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}U_{cbl}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ kA}$$

$$I_{cbII} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}U_{cbII}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,5 \text{ kA}$$

$$I_{cbIII} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}U_{cbIII}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,2 \text{ kA}$$

Để thấy rằng, khi tính gần đúng trong hệ đơn vị tương đối, bước xác định các điện áp cơ bản đơn giản hơn nhiều. Không phụ thuộc vào sơ đồ (phức tạp tùy ý), không cần chọn cấp điện áp cơ sở ta có thể viết được ngay các trị số điện áp cơ bản (dựa vào điện áp định mức của mạng). Ngoài ra, khi áp dụng cách tính gần đúng người ta còn cho phép coi xấp xỉ điện áp định mức của các thiết bị (ví dụ máy phát, máy biến áp, kháng điện) bằng điện áp trung bình của mạng. Khi đó ta có các công thức tính đơn giản sau.

Điện kháng máy phát :

$$X_F = X'_d \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{tb}^2} = X'_d \cdot \frac{S_{cb}}{S_{dm}}$$

Điện kháng máy biến áp :

$$X_B = \frac{U_N \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{tb}^2} = \frac{U_N \%}{100} \cdot \frac{S_{cb}}{S_{dm}}$$

Điện kháng của kháng điện :

$$X_K = \frac{X_K \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}}{I_{dm}} \cdot \frac{I_{cb}}{U_{tb}} = \frac{U_K \%}{100} \cdot \frac{I_{cb}}{I_{dm}}$$

Với ví dụ trên theo các công thức vừa nêu ta tính được như sau .

Điện kháng máy phát :

$$X_F = X'_d \cdot \frac{S_{cb}}{S_{dm}} = 0,26 \cdot \frac{100}{30} = 0,87$$

Điện kháng máy biến áp B₁:

$$X_{B1} = \frac{U_N \%}{100} \cdot \frac{S_{cb}}{S_{dm}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{31,5} = 0,33$$

Điện kháng đường dây 110 kV :

$$X_{D1} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cbII}^2} = 0,4 \cdot 80 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,24$$

Điện kháng máy biến áp B₂:

$$X_{B2} = \frac{U_N \%}{100} \cdot \frac{S_{cb}}{S_{dm}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{15} = 0,7$$

Điện kháng của kháng điện :

$$X_K = \frac{X_K \%}{100} \cdot \frac{I_{cb}}{I_{dm}} = \frac{5}{100} \cdot \frac{9,2}{0,3} = 1,53$$

Điện kháng đường dây cáp :

$$X_{D2} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cbIII}^2} = 0,08 \cdot 2,5 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,51$$

Điện kháng tổng hợp :

$$X_{\Sigma} = 0,87 + 0,33 + 0,24 + 0,7 + 1,53 + 0,51 = 4,18$$

Dòng điện ngắn mạch:

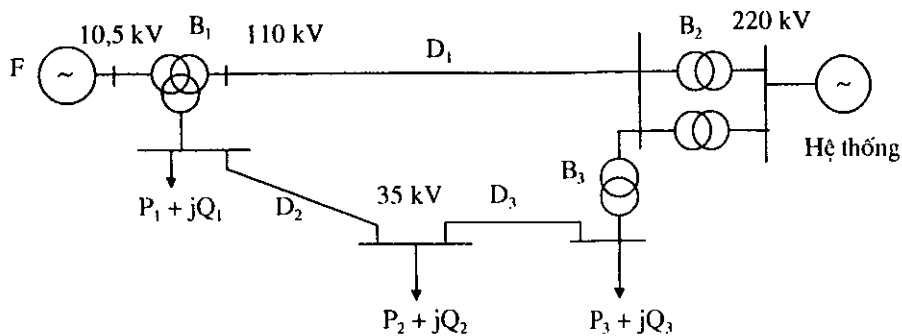
$$I_{N*(cb)} = \frac{E_F}{X_{\Sigma}} = \frac{1,05}{4,18} = 0,25$$

$$I_{N(6kV)} = I_{N*(cb)} \cdot I_{cbIII} = 0,25 \cdot 9,2 = 2,3 \text{ kA}$$

Sai số mắc phải khoảng 4 % so với lúc áp dụng các công thức tính chính xác.

Ví dụ 2.2 (sinh viên tự thực hiện). Cho sơ đồ hệ thống điện như trên hình 2.16. Hãy thiết lập sơ đồ thay thế đầy đủ và tính thông số các phần tử của sơ đồ. Thực hiện theo các nội dung sau:

- Thiết lập sơ đồ thay thế đầy đủ, tính thông số các phần tử của sơ đồ trong hệ đơn vị có tên không quy đổi (ứng với sơ đồ có nhiều cấp điện áp).
- Chọn cấp điện áp 110 kV làm cơ sở, tính quy đổi thông số các phần tử về cùng cấp điện áp này. Vẽ lại sơ đồ (một cấp điện áp) và ghi kết quả tính toán sau khi quy đổi vào sơ đồ.
- Tính thông số các phần tử trong hệ đơn vị tương đối theo các công thức chính xác, ghi kết quả vào sơ đồ (vẽ lại). Chọn $S_{cb} = 500 \text{ MVA}$, $U_{cb(110)} = 115 \text{ kV}$.
- Tính lại thông số các phần tử của sơ đồ theo các công thức gần đúng (hệ đơn vị tương đối $S_{cb} = 500 \text{ MVA}$, $U_{cb} = U_{10}$).



Hình 2.16. Sơ đồ hệ thống điện

Thông số các phần tử được cho như sau:

Máy phát điện:

$$S_{dm} = 75 \text{ MVA}; U_{dm} = 10,5 \text{ KV}$$

$$E_F = 1,5; X_F = 0,7$$

Máy biến áp B₁:

$$S_{dm} = 120 \text{ MVA}; U_{dm} = 115 \text{ kV}$$

$$U_N\%_{C-T} = 17; U_N\%_{C-H} = 8; U_N\%_{T-H} = 10$$

$$k_{C-T} = 121/10,5; k_{C-T} = 121/35$$

Máy biến áp B₂ (mỗi máy):

$$S_{dm} = 60 \text{ MVA}; U_{dm} = 230 \text{ kV}$$

$$U_N\% = 11; k_2 = 225/110$$

Máy biến áp B₃:

$$S_{dm} = 45 \text{ MVA}; U_{dm} = 110 \text{ kV}$$

$$U_N\% = 10,5; k_3 = 121/35$$

Đường dây D₁:

$$l_1 = 50 \text{ km}; r_0 = 0,25 \Omega/\text{km}; x_0 = 0,4 \Omega/\text{km}$$

Đường dây D₂:

$$l_2 = 25 \text{ km}; r_0 = 0,35 \Omega/\text{km}; x_0 = 0,32 \Omega/\text{km}$$

Đường dây D₃:

$$l_3 = 30 \text{ km}; r_0 = 0,35 \Omega/\text{km}; x_0 = 0,32 \Omega/\text{km}$$

Phụ tải :

$$S_1 = (10 + j 6) \text{ MVA}; S_2 = (8 + j 5) \text{ MVA}$$

$$S_3 = (15 + j 7) \text{ MVA}$$

Hệ thống 220 kV:

$$U_H = 230 \text{ kV}; S_N = 1200 \text{ MVA}$$

Câu hỏi phụ: nếu cho lại $k_3 = 115/35$ thì có gì khó khăn khi giải bài toán ?

2.4 BIẾN ĐỔI ĐẲNG TRỊ SƠ ĐỒ

Khi thực hiện tính toán ngắn mạch thường phải biến đổi sơ đồ về dạng đơn giản nhất (gồm chỉ một sức điện động đẳng trị và một điện kháng tổng hợp) nhằm tính

được dòng ngắn mạch tổng. Dòng điện ngắn mạch phân bố trong các nhánh cũng như điện áp các nút được thực hiện ở bước tiếp theo.

Khi tính toán bằng tay, phổ biến nhất vẫn là áp dụng các phép biến đổi đơn giản.

1- Ghép song song các nhánh có nguồn

Ta có công thức tính toán chung như sau :

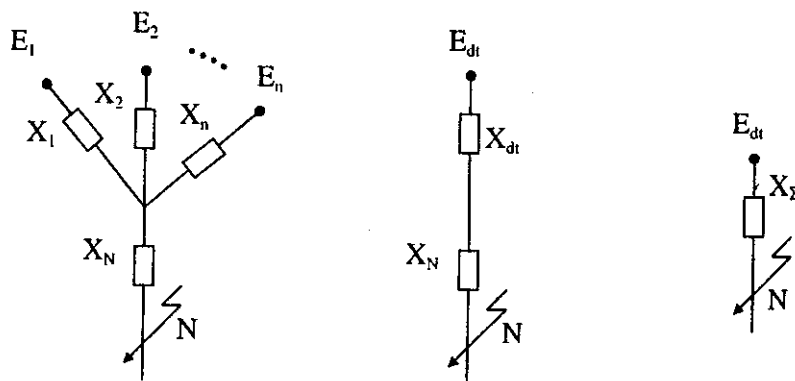
$$E_{dt} = \frac{E_1 Y_1 + E_2 Y_2 + \dots + E_n Y_n}{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i Y_i}{\sum_{i=1}^n Y_i}$$

$$Y_{dt} = Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n = \sum_{i=1}^n Y_i$$

Khi cho các điện kháng (hoặc tổng trở) cần xác định trước : $Y_i = 1/X_i$ để áp dụng công thức, cuối cùng tính $X_{dt} = 1/Y_{dt}$.

Nếu mạng chỉ có 2 nhánh ta có :

$$E_{dt} = \frac{E_1 X_2 + E_2 X_1}{X_1 + X_2} ; X_{dt} = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2}$$

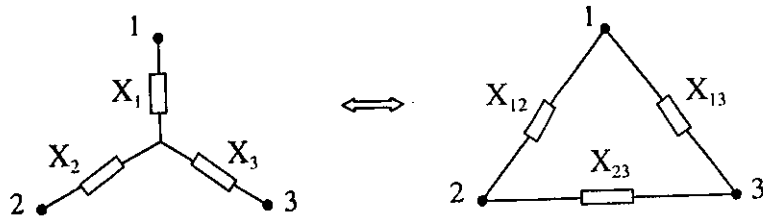


Hình 2.17

Điều đáng chú ý là các công thức trên áp dụng được cả đối với các nhánh có sdd bằng 0. Nghĩa là có thể ghép chung nhánh nguồn với nhánh phụ tải trong sơ đồ thay thế. Lúc đó, trong công thức các số hạng tương ứng với $E_i = 0$ sẽ triệt tiêu (nhưng Y_i vẫn tồn tại trong biểu thức tính Y_{dt}).

2. Biến đổi sao - tam giác

a- Biến đổi sơ đồ hình sao thành tam giác :



Hình 2.18

$$X_{12} = X_1 + X_2 + \frac{X_1 X_2}{X_3}$$

$$X_{13} = X_1 + X_3 + \frac{X_1 X_3}{X_2}$$

$$X_{23} = X_2 + X_3 + \frac{X_2 X_3}{X_1}$$

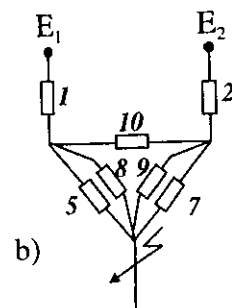
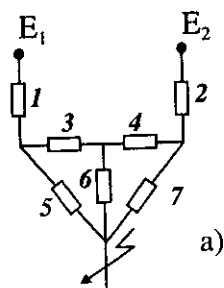
a- Biến đổi sơ đồ tam giác thành sao :

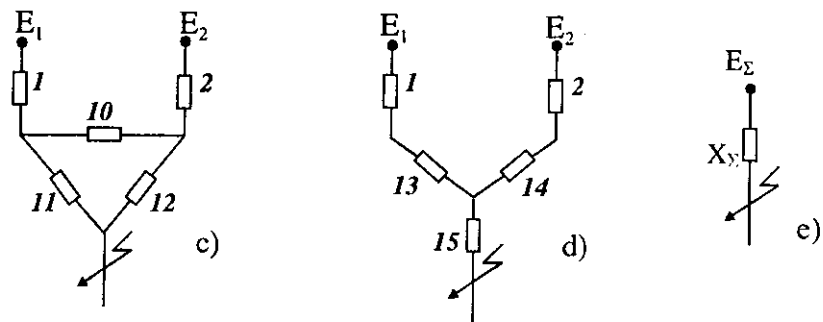
$$X_1 = \frac{X_{12} X_{13}}{X_{12} + X_{13} + X_{23}}$$

$$X_2 = \frac{X_{12} X_{23}}{X_{12} + X_{13} + X_{23}}$$

$$X_3 = \frac{X_{13} X_{23}}{X_{12} + X_{13} + X_{23}}$$

Ví dụ : Làm đơn giản sơ đồ trên hình 2.19,a về dạng một nguồn nối với điểm ngắn mạch qua điện kháng tổng hợp. Sau 4 bước biến đổi nhận được sơ đồ tối giản.

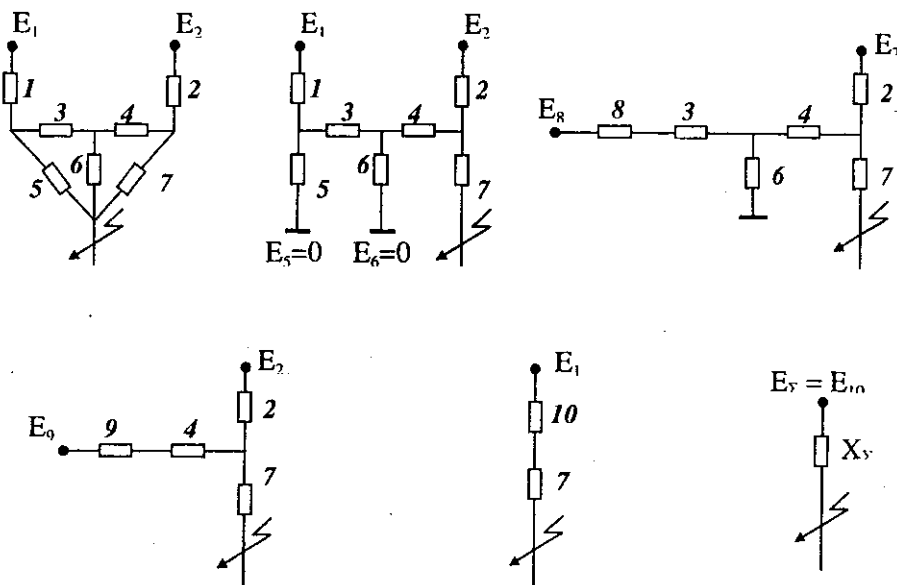




Hình 2.19

c- Tách nhập các nhánh có nguồn

Với các nhánh song song có nguồn ta có thể nhập các sđđ nguồn thành một sđđ đẳng trị, ngược lại, một nguồn nằm tại đỉnh sơ đồ tam giác ta có thể tách sđđ ra, tạo thành các nhánh có nguồn độc lập (bằng nhau) .

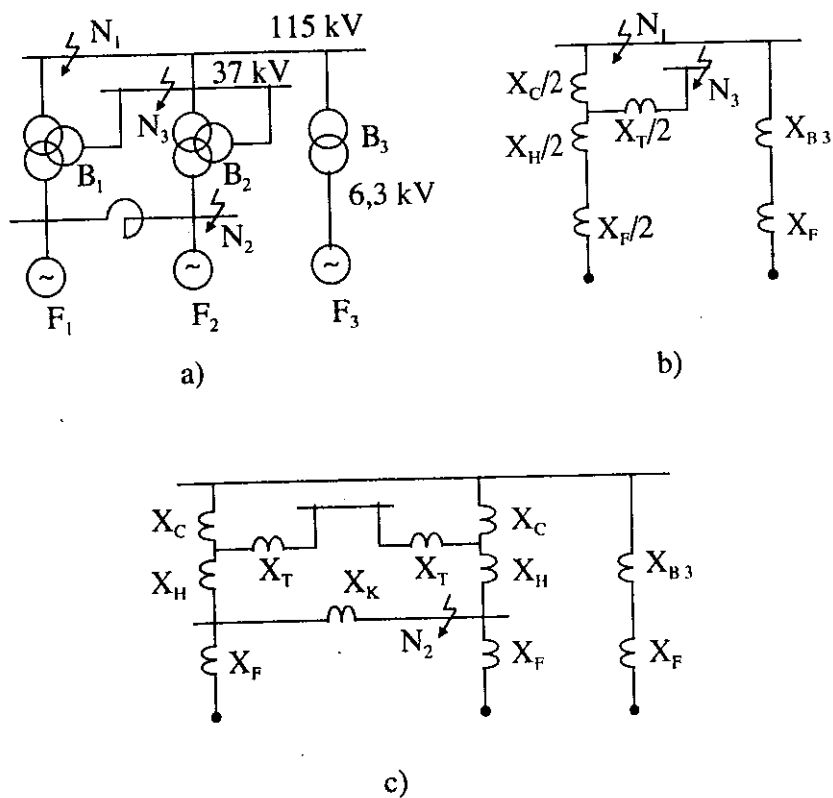


Hình 2.20

Phép tách nguồn như vậy đôi khi rất thuận lợi cho phép biến đổi. Hãy lấy lại sơ đồ hình 2.19,a làm ví dụ. Giả sử cần tìm dòng điện ngắn mạch trên các nhánh nối với điểm ngắn mạch. Mỗi dòng nhánh có thể nhận được khá đơn giản theo phép biến đổi trên hình 2.20.

d) Gập đôi sơ đồ đối xứng

Nếu sơ đồ có tính chất đối xứng qua điểm ngắn mạch thì điện áp của các điểm đối xứng bằng nhau. Có thể chập chúng với nhau không làm thay đổi trạng thái của mạch. Cũng vậy, có thể bỏ đi các nhánh nối 2 nút có điện áp bằng nhau. Bằng cách ấy (giống như gập đôi sơ đồ) sơ đồ đơn giản đi đáng kể. Ví dụ sơ đồ hình 2.21,a khi ngắn mạch tại N_1 , và N_3 sơ đồ đối xứng. " Gập đôi sơ đồ " qua điểm ngắn mạch ta có sơ đồ tương đương hình 2.21,b. Khi ngắn mạch tại N_2 không có sự đối xứng nào, cần tính theo sơ đồ đầy đủ (hình 2.21,c).



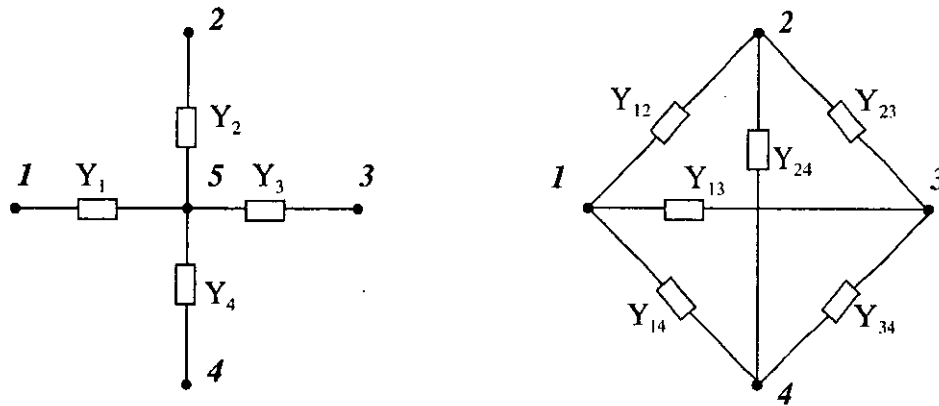
Hình 2.21

e) *Phép biến đổi sao - lưới*

Phép biến đổi sơ đồ hình sao nhiều cánh thành sơ đồ lưới có ý nghĩa quan trọng đặc biệt:

- Nó bao trùm phép biến đổi sao-tam giác.
- Có thể biến đổi tương đương sơ đồ dạng chung (phức tạp bất kỳ) về dạng đơn giản nhất chỉ chứa các nút nguồn và điểm ngắn mạch. Nếu điện áp thanh cái các nguồn bằng nhau thì sơ đồ nhận được cuối cùng có dạng chỉ gồm một sdd nối với điểm ngắn mạch qua điện kháng. Nếu chỉ áp dụng phép biến đổi sao-tam giác thì không phải bao giờ cũng nhận được kết quả như mong muốn.
- Công thức biến đổi sao-lưới có dạng tổng quát nên rất thuận lợi thiết lập các chương trình máy tính biến đổi sơ đồ.

Hãy xét các biểu thức biến đổi sao-lưới sơ đồ trên hình 2.22.



$$Y_{12} = \frac{Y_1 Y_2}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4};$$

$$Y_{13} = \frac{Y_1 Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4};$$

.....

Hình 2.22

Có thể viết công thức chung cho trường hợp hình sao (n-1) cánh. Các nhánh nối nút đỉnh n với (n-1) nút còn lại. Phép biến đổi tạo ra sơ đồ lưới (n-1) nút. Nhánh nối nút i và k bất kỳ của sơ đồ lưới đẳng trị có tổng dẫn :

$$Y_{ik} = \frac{Y_i Y_k}{\sum_{j=1}^{n-1} Y_j}$$

Trị số $Y_{nn} = \sum_{j=1}^{n-1} Y_j$ cũng chính là tổng dẫn riêng của nút n.

Những điểm cần ghi nhớ trong chương hai

1. Khi tính toán ngắn mạch tần số hệ thống được giả thiết không thay đổi (vẫn xấp xỉ bằng tần số định mức) do đó sơ đồ thay thế tính toán của các phần tử hệ thống vẫn giống như trong CDXL. Nguồn và phụ tải cần được biểu diễn riêng trên sơ đồ, phụ thuộc thời gian tính toán ngắn mạch.
2. Thông số của các phần tử trên sơ đồ tính toán có thể biểu thị trong hệ đơn vị có tên hoặc tương đối. Khi tính trong hệ đơn vị có tên cần tính đổi thông số của mọi phần tử về cấp điện áp cơ sở (tùy chọn). Sau khi thực hiện tính toán cần đổi các kết quả về cấp điện áp ban đầu. Khi thực hiện trong hệ đơn vị tương đối việc quy đổi điện áp được thực hiện cho các lượng cơ bản: chọn tùy ý lượng cơ bản cho cấp cơ sở, sau đó chuyển đổi điện áp cơ bản các cấp về cấp cơ sở. Trị số tương đối khi đó đã ở cùng một cấp điện áp.
3. Khi tính gần đúng có thể coi hệ số biến áp bằng tỉ số giữa 2 điện áp làm việc trung bình của lưới. Khi đó nhiều công thức tính toán trở nên đơn giản hơn.
4. Có các phép biến đổi đẳng trị cho phép làm đơn giản sơ đồ khi thực hiện tính toán ngắn mạch.

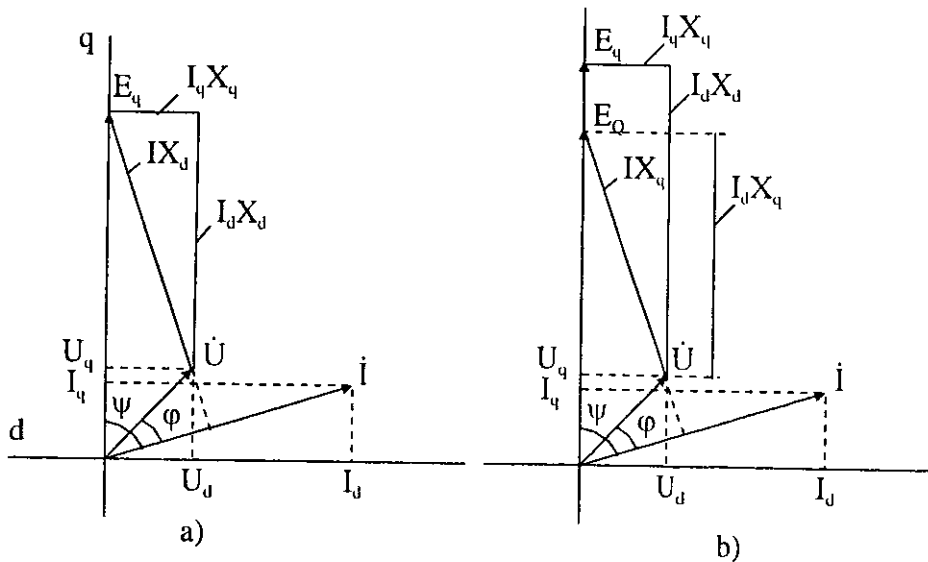
Chương 3

TÍNH TOÁN NGẮN MẠCH BA PHA DUY TRÌ

3.1 KHÁI NIỆM CHUNG

Tình trạng ngắn mạch 3 pha duy trì được định nghĩa là tình trạng ngắn mạch lâu dài, khi mà tất cả các thành phần tự do xuất hiện trong quá trình quá độ đã tắt đến gần giá trị 0. Như vậy tính toán dòng điện ngắn mạch duy trì thực chất là tính thành phần chu kỳ của dòng điện ngắn mạch ở giai đoạn cuối của quá trình quá độ.

Thường thì rất ít xảy ra tình trạng ngắn mạch duy trì, bởi khi có ngắn mạch các thiết bị tự động bảo vệ sẽ cắt phần lưới có điểm ngắn mạch ra. Tuy nhiên, vẫn cần tính ngắn mạch duy trì để đánh giá trạng thái ngắn mạch nặng nề nhất và xác định khả năng đảm bảo ổn định nhiệt của các trang thiết bị trong tình trạng sự cố bị kéo dài.



Hình 3.1 Đồ thị vec-tơ CDXL máy phát điện cực ẩn (a) và cực lồi (b)

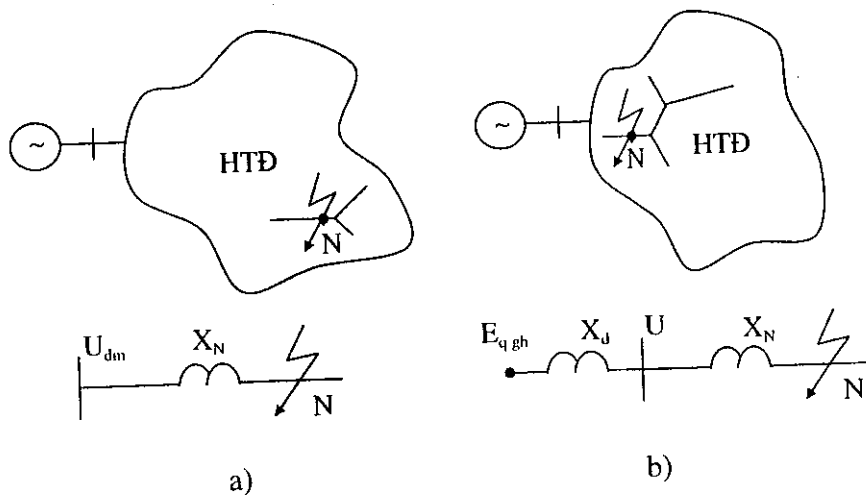
Quan hệ điện từ trong các máy phát điện đồng bộ khi ngắn mạch ba pha duy trì hoàn toàn giống như trong chế độ xác lập (CDXL): dòng điện xoay chiều 3 pha đối xứng chạy trong các cuộn dây stato tạo nên từ trường không đổi; quay đồng bộ với từ trường của roto (cũng không đổi). Chính vì thế có thể sử dụng đồ thị vec-tơ như trong CDXL để biểu diễn quan hệ giữa các đại lượng bên trong máy phát cho chế độ ngắn mạch duy trì (hình 3.1).

3.2 MÁY PHÁT ĐIỆN TRONG TRẠNG THÁI NGẮN MẠCH DUY TRÌ

Sự khác nhau cơ bản về trạng thái của máy phát điện ở chế độ ngắn mạch duy trì so với CĐXL chỉ là ở trị số dòng điện kích từ (đương nhiên, cả dòng điện ngắn mạch ở stato cũng lớn lên nhiều). Dưới tác động của TĐK dòng điện kích từ trong chế độ ngắn mạch duy trì, nói chung bị tăng lên đáng kể. Có 2 tình huống xảy ra cần phân biệt:

- Ngắn mạch ở xa, TĐK giữ được điện áp đầu cực máy phát ở trị số định mức.
- Ngắn mạch ở gần, TĐK tăng dòng điện kích từ đến trị số giới hạn, trong khi điện áp đầu cực máy phát vẫn thấp hơn giá trị định mức.

Giới hạn của 2 trường hợp trên là trạng thái điện áp đầu cực máy phát bằng trị số định mức khi dòng điện kích từ cũng vừa tăng đến trị số giới hạn (tối đa).



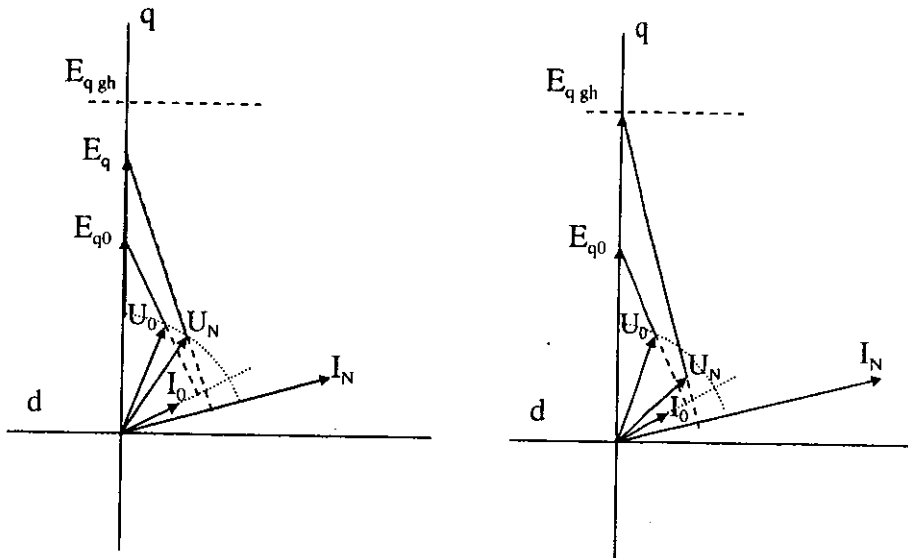
Hình 3.2 Ngắn mạch ở xa (a) và ở gần (b)

Khi tính toán ngắn mạch duy trì cần mô tả máy phát điện theo 1 trong 2 trạng thái nói trên. Để thấy rằng, ở trường hợp đầu có thể mô tả máy phát như 1 thanh cái điện áp không đổi $U = U_{dm}$. Không cần quan tâm đến điện kháng và sức điện động bên trong. Trạng thái sau cần mô tả máy phát bằng sđđ $E_{q_{gh}}$ nằm sau điện kháng đồng bộ X_d .

Đồ thị véc tơ mô tả quan hệ các đại lượng bên trong máy phát khi xảy ra ngắn mạch duy trì được thể hiện trên hình 3.3. Để so sánh giữa 2 trạng thái (ngắn mạch ở gần và ở xa) trên đồ thị có vẽ thêm các đại lượng véc tơ CĐXL trước sự cố (giống nhau trong hai trường hợp).

Ở CĐXL trước sự cố điện áp đầu cực máy phát được duy trì ở trị số $U_0 = U_{dm}$, dòng điện làm việc I_0 lệch so với U_0 một góc φ , và với E_q một góc ψ nào đó phụ thuộc tính chất phụ tải. Ở tình trạng ngắn mạch góc pha chậm sau của I_N lớn lên do mạng điện khi ngắn mạch thường có điện trở nhỏ ($\psi_N \approx 90^\circ$). Khi ngắn mạch ở xa,

dòng điện ngắn mạch có trị số không lớn lắm, sụt áp trên X_d nhỏ, dòng điện kích từ có thể tăng lên đến trị số đủ lớn để sđđ E_q đảm bảo được điện áp đầu cực $U_N = U_{dm}$. Lúc ngắn mạch gần, dòng điện ngắn mạch I_N rất lớn, TĐK tác động tăng dòng kích từ đến hết giới hạn, tương ứng với sđđ E_{qgh} nhưng điện áp đầu cực vẫn ở trị số $U_N < U_{dm}$. Điện áp U_N còn giữ được phụ thuộc điện kháng mạch ngoài và các thông số E_{qgh} , X_d của máy phát. Trị số E_{qgh} và X_d xác định bởi cấu tạo máy phát, có thể tìm thấy trong lý lịch máy.



Hình 3.3

Đôi khi thay cho điện kháng X_d người ta cho giá trị tỉ số ngắn mạch. Tỉ số ngắn mạch TN được định nghĩa là tỉ số giữa dòng điện ngắn mạch đầu cực máy phát khi giữ dòng điện kích từ định mức với trị số định mức của dòng điện kích từ:

$$TN = \frac{I_{I_f = I_{fdm}}}{I_{fdm}}$$

Đó cũng là hệ số góc của đặc tính ngắn mạch (xác định theo thí nghiệm ngắn mạch). Khi $I_f = I_{fdm}$ thì sđđ đồng bộ $E_q = E_{qdm}$ (bằng điện áp đầu cực máy phát trong thí nghiệm không tải).

Xét trạng thái ngắn mạch đầu cực máy phát ta có:

$$E_q = I \cdot X_d$$

Điện kháng đồng bộ X_d có thể tính được :

$$X_d = \frac{E_q}{I}$$

Mặt khác, theo đặc tính không tải của máy phát ta có :

$$E_q = C I_f$$

Với C là một hệ số tỉ lệ. Theo đặc tính ngắn mạch ta cũng có:

$$I = TN \cdot I_f$$

Do đó :

$$X_d = \frac{E_q}{I} = \frac{C}{TN}$$

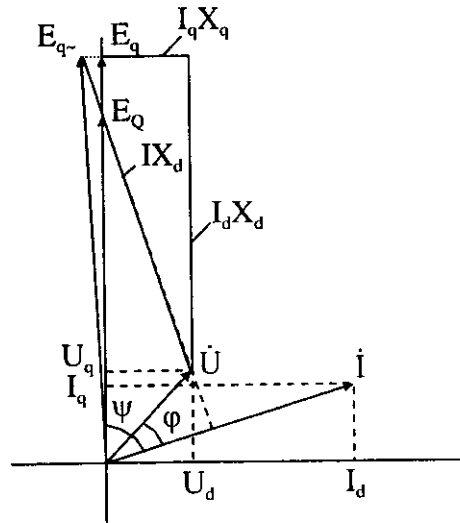
Khi xét đến đặc tính bão hoà, C bị thay đổi theo I_f . Tuy nhiên gần đúng có thể coi C không đổi (lấy trị số ứng với lúc $I_{fđm}$ và $E_{qđm}$ của thí nghiệm không tải). Trung bình có thể lấy (trong hệ đơn vị tương đối định mức) như sau:

Với máy phát điện tua bin hơi $C \approx 1,2$; $TN \approx 0,7$; $X_d \approx 1,7$.

Với máy phát điện tua bin nước $C \approx 1,6$; $TN \approx 1,1$; $X_d \approx 1,45$.

Tính theo các giá trị trên nói chung mắc sai số nhiều, cần sử dụng các số liệu trong lý lịch máy hay theo các sổ tay kỹ thuật.

Cần chú ý là đối với máy phát điện cực lỗi ta có $X_d \neq X_q$. Nhưng trong các tính toán ngắn mạch thường lấy $X_q \approx X_d$. Thực chất khi đó đã lấy xấp xỉ véc-tơ E_{q-} thay cho E_q như trên hình 3.4. Sai số mắc phải không lớn khi góc pha giữa E_q và I gần với 90° , nghĩa là $I_N \approx I_d$. Hơn nữa sai số về hướng làm dòng ngắn mạch lớn lên.



Hình 3.4

3.3 TÍNH TOÁN DÒNG ĐIỆN NGẮN MẠCH DUY TRÌ KHI MÁY PHÁT KHÔNG CÓ TĐK

Khi không có TĐK sđd của máy phát ở trước và sau thời điểm ngắn mạch không thay đổi (bởi E_q tỉ lệ với I_f). Khi đó sđd của máy phát ở chế độ ngắn mạch duy trì và CĐXL trước sự cố có trị số hoàn toàn bằng nhau. Có thể tính được sđd máy phát, thông qua các thông số CĐXL trước sự cố. Từ đồ thị véc-tơ ta có:

$$E_q = \sqrt{(U_0 \cos \varphi)^2 + (U_0 \sin \varphi + I_0 X_d)^2}$$

Trong đó U_0 , I_0 , $\cos \varphi$ là trị số điện áp, dòng điện và hệ số công suất máy phát ở CĐXL trước sự cố. Với máy phát điện cực lõi kết quả tính toán theo công thức trên có mắc sai số nhỏ (do $X_q < X_d$).

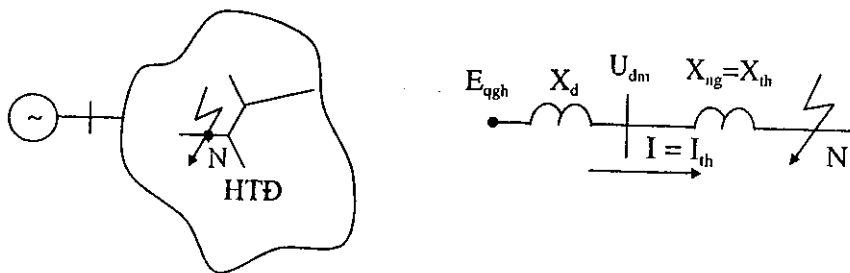
Sau khi mô tả các máy phát điện bằng sdd và điện kháng X_d như trên (giả thiết đều không có TĐK) ta có thể tính được dòng điện ngắn mạch dựa vào biến đổi đẳng trị sơ đồ. Nếu sơ đồ hệ thống biến đổi về được dạng đơn giản nhất gồm sdd E_Σ và Z_Σ , ta có :

$$I_N = \frac{E_\Sigma}{Z_\Sigma} = \frac{E_\Sigma}{\sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}}$$

Như vậy thực chất tính toán ngắn mạch duy trì chỉ là giải mạch điện tuyến tính thông thường, tương ứng với sơ đồ HTĐ lúc có sự cố.

3.4 TÍNH DÒNG ĐIỆN NGẮN MẠCH DUY TRÌ XÉT ĐẾN ẢNH HƯỞNG CỦA TĐK

Như đã phân tích ở trên, khi có TĐK máy phát điện trong tình trạng ngắn mạch duy trì có thể ở 1 trong 2 trạng thái : làm việc với điện áp định mức hoặc với dòng điện kích từ giới hạn. Để phân biệt giữa 2 trạng thái cần xác định trạng thái tới hạn. Hãy xét trường hợp đơn giản khi sơ đồ hệ thống chỉ có một máy phát điện. Điện kháng đẳng trị phân lưới từ đầu cực máy phát đến điểm ngắn mạch là X_{ng} . Điện kháng đồng bộ máy phát là X_d .



Hình 3.5 Trạng thái tới hạn

Giả thiết lúc đầu điểm ngắn mạch ở xa, X_{ng} lớn, máy phát làm việc ở trạng thái định mức. Giảm dần X_{ng} (điểm ngắn mạch gần hơn) dòng điện ngắn mạch tăng, độ sụt áp trên X_d bên trong máy phát cũng tăng. Để giữ điện áp đầu cực, TĐK tác động tăng dòng điện kích từ (tương ứng với nâng cao trị số E_q). Lúc đầu với $E_q < E_{qgh}$ (chưa hết giới hạn kích từ) điện áp đầu cực máy phát đã bằng định mức. Đến một lúc, khi $X_{ng} = X_{th}$ nào đó, để giữ được điện áp định mức cần tăng sdd đến trị số

giới hạn $E_q = E_{qgh}$. Đó chính là trạng thái tới hạn của điện kháng ngoài: nếu giảm nữa X_{ng} (điểm ngắn mạch trở thành gần) điện áp đầu cực máy phát sẽ thấp hơn định mức.

Từ sơ đồ trạng thái giới hạn, xét toàn hệ thống ta có :

$$I = \frac{E_{qgh}}{X_d + X_{th}}$$

Cũng lúc, nếu xét phần mạch phía hệ thống thì:

$$I = \frac{U_{dm}}{X_{th}}$$

Ta có :

$$I = \frac{E_{qgh}}{X_d + X_{th}} = \frac{U_{dm}}{X_{th}} = I_{th}$$

suy ra :

$$X_{th} = \frac{X_d \cdot U_{dm}}{E_{qgh} - U_{dm}}$$

Trong hệ đơn vị tương đối (định mức) ta có :

$$X_{th} = \frac{X_d}{E_{qgh} - 1}$$

Ngoài ra cũng xác định được trị số dòng ngắn mạch ở trạng thái tới hạn:

$$I_{th} = \frac{U_{dm}}{X_{th}} \quad \text{hay} \quad I_{*th} = \frac{1}{X_{th}}$$

Như vậy, sau khi tính toán, căn cứ vào X_{th} và X_{ng} có thể kết luận về chế độ của máy phát điện khi có ngắn mạch duy trì như bảng sau :

Bảng 3-1

Trạng thái kích từ giới hạn (ngắn mạch gần)	Trạng thái điện áp định mức (ngắn mạch ở xa)
$X_{ng} < X_{th}$ $E_q = E_{qgh}$ $U < U_{dm}$ $I = \frac{E_{qgh}}{X_d + X_{ng}} > I_{gh}$	$X_{ng} > X_{th}$ $E_q < E_{qgh}$ $U = U_{dm}$ $I = \frac{U_{dm}}{X_{ng}} < I_{gh}$

Sau khi xác định được trạng thái của máy phát điện, để tính dòng điện ngắn mạch ta chỉ việc sử dụng các sơ đồ mô tả tương ứng.

Chẳng hạn nếu biết điểm ngắn mạch ở xa, cần mô tả máy phát bằng thanh cái điện áp không đổi, ta tính :

$$I_N = \frac{U_{dm}}{X_{ng}}$$

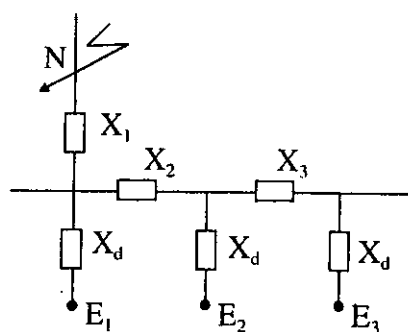
Khi biết máy phát điện ở trạng thái kích từ giới hạn cần mô tả theo sơ đồ gồm sdd E_{qgh} sau điện kháng X_d , ta tính :

$$I_N = \frac{E_{qgh}}{X_d + X_{ng}}$$

Với hệ thống điện phức tạp (nhiều máy phát), về nguyên tắc nếu biết được trạng thái của mỗi máy phát ta thay chúng bằng sơ đồ tương ứng như trên. Việc tính toán dòng điện ngắn mạch sau đó, cũng như khi không xét TĐK, thực chất là giải mạch điện tuyến tính xác lập.

Tuy nhiên đối với hệ thống điện nhiều máy ta không có cách xác định được X_{th} như vừa nêu, bởi không có khái niệm chính xác về X_{ng} . Cách thực hiện duy nhất là áp dụng phép tính lặp và dựa vào phán đoán chủ quan. Có thể mô tả các bước thực hiện như sau.

Trước tiên căn cứ vào sơ đồ và điểm ngắn mạch, phán đoán và giả thiết trạng thái của các máy phát điện. Những máy phát xa điểm ngắn mạch (ước lượng theo điện kháng) cần giả thiết làm việc ở trạng thái định mức. Những máy phát gần điểm ngắn mạch - trạng thái kích từ giới hạn. Khi không khẳng định được thì có thể áp đặt tùy ý (máy phát ở trạng thái kích từ giới hạn hay trạng thái định mức). Sau đó mô tả máy phát theo các sơ đồ tương ứng và thực hiện tính toán dòng điện ngắn mạch. Lần đầu có thể chưa hoàn toàn đúng (khi còn có những máy phát bị giả thiết áp đặt trạng thái sai), do đó cần phải kiểm tra. Dòng điện ngắn mạch trong các máy phát và điện áp đầu cực của chúng thường được dùng làm thông số kiểm tra. Nếu các tiêu chuẩn phù hợp theo bảng (3.1) thì trạng thái máy phát đã giả thiết đúng. Khi không phù hợp cần phải giả thiết ngược lại. Việc tính toán ngắn mạch lần thứ 2 thường cho ngay kết quả phù hợp, rất ít khi phải tính lặp nhiều lần. Đương nhiên, khi giả thiết lần đầu cần phải phân tích phán đoán tương đối chính xác trạng thái của mỗi máy phát. Hãy xét ví dụ với sơ đồ trên hình 3.6.



Hình 3.6

Trước hết ta phân tích trạng thái của máy phát F_1 . Giả sử nhận thấy $X_1 < X_{th1}$, trong đó :

$$X_{th1} = \frac{X_{d1}}{E_{qgh1} - 1}$$

Khi đó chắc chắn F_1 làm việc ở chế độ kích từ giới hạn. Lý do là F_1 ở gần điểm ngắn mạch hơn so với F_2 và F_3 . Sự có mặt của F_2 và F_3 không có tác dụng nâng cao thêm điện áp đầu cực F_1 khi nó gần tới U_{dm} (đó là vì U_2 và U_3 chỉ có thể nhận giá trị cao nhất bằng U_{dm} , trong khi luôn tồn tại sụt áp trên kháng điện X_2 và X_3).

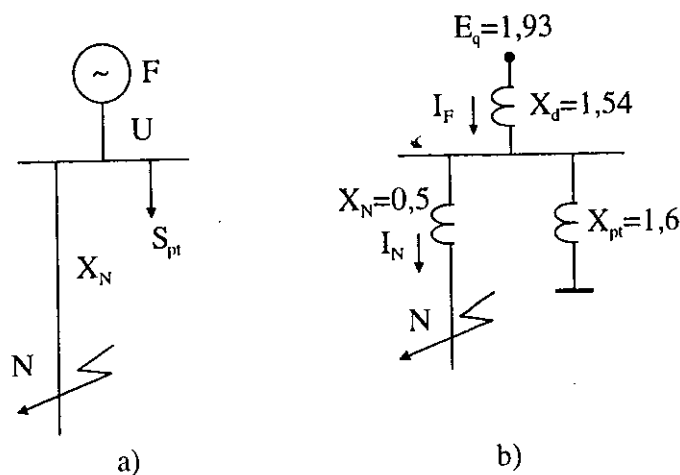
Trong trường hợp ngược lại, thì chỉ khi $X_1 \gg X_{th1}$ mới có khả năng F_1 làm việc ở điện áp định mức và khi đó cả F_2 và F_3 cũng có điện áp đầu cực bằng định mức. Để xét máy phát F_2 ta có thể so sánh tổng $(X_1 + X_2)$ với X_{th2} (coi như bỏ qua F_1 và F_3). Nếu $(X_1 + X_2)$ gần bằng hoặc lớn hơn X_{th2} thì có thể kết luận chắc chắn F_2 làm việc ở trạng thái định mức. Đó là vì có thêm F_1 điện áp của F_2 được nâng lên cao hơn (do F_1 ở gần điểm ngắn mạch). Nếu tổng nhỏ hơn nhiều so với X_{th2} thì F_2 làm việc ở trạng thái kích từ giới hạn. Riêng máy phát F_3 có thể giả thiết ngay làm việc ở chế độ điện áp định mức vì ở khá xa điểm ngắn mạch.

Ví dụ 3.1. Cho sơ đồ HTĐ như hình 3.7,a. Máy phát cực ẩn, $X_d = 1,54$. Giả thiết ngắn mạch xảy ra vào lúc phụ tải bằng 75% công suất máy phát, điện áp đầu cực máy phát $U = U_{dm}$, $\cos \varphi = 0,8$. Ngắn mạch xảy ra tại điểm N trên đường dây xuất phát từ đầu cực máy phát, với điện kháng $X_N = 0,5$ (trong hệ đơn vị tương đối định mức của máy phát). Trước khi ngắn mạch đường dây làm việc không tải. Không xét ảnh hưởng của TĐK tính dòng điện ngắn mạch tại điểm N và chạy trong máy phát.

Giải : Trước hết cần xác định sơ đồ thay thế của máy phát. Do máy phát không có TĐK nên sdd của nó không đổi bằng bằng trị số sdd trước khi xảy ra ngắn mạch. Tính tất cả trong hệ đơn vị tương đối định mức của máy phát, ta có :

$$E_q = \sqrt{(U \cos \varphi)^2 + (U \sin \varphi + I X_d)^2}$$

$$= \sqrt{(1.0,8)^2 + (1.0,6 + 0,75.1,54)^2} = 1,93$$



Hình 3.7

Để đơn giản ta dùng mô hình phụ tải thuần kháng. Biết rằng, khi tính trong hệ đơn vị tương đối định mức của tải có thể $X_{pt} = 1,2$. Trường hợp này, trước khi ngắn mạch tải chỉ bằng 75% công suất máy phát nên cần phải tính đổi (về lượng định mức của máy phát):

$$X_{pt} = 1,2 \cdot \frac{1}{0,75} = 1,6$$

Ta có sơ đồ thay thế hệ thống như trên hình 3.7,b.

Điện kháng đẳng trị tổng hợp tính đến điểm ngắn mạch N :

$$\begin{aligned} X_{\Sigma} &= (X_d // X_{pt}) + X_N \\ &= (1,54 // 1,6) + 0,5 \\ &= 0,79 + 0,5 = 1,29 \end{aligned}$$

Sức điện động đẳng trị :

$$\begin{aligned} E_{\Sigma} &= \frac{E_q \cdot X_{pt} + 0 \cdot X_d}{X_{pt} + X_d} \\ &= \frac{1,93 \cdot 1,6 + 0}{1,54 + 1,6} = 0,98 \end{aligned}$$

Dòng điện ngắn mạch tổng tại điểm ngắn mạch :

$$I_N = \frac{E_{\Sigma}}{X_{\Sigma}} = \frac{0,98}{1,29} = 0,76$$

Điện áp đầu cực máy phát :

$$U = I_N \cdot X_N = 0,76 \cdot 0,5 = 0,38$$

Dòng điện chạy trong máy phát :

$$I_F = \frac{E_q - U}{X_d} = \frac{1,93 - 0,38}{1,54} = 1,01$$

Như vậy dòng điện ngắn mạch duy trì chạy trong máy phát, trong trường hợp này chỉ cao hơn dòng điện định mức một chút. Tuy nhiên đầu cực của máy phát (cũng là điện áp cung cấp cho phụ tải) bị giảm xuống quá thấp (chỉ bằng 38 % U_{dm}). Muốn duy trì được điện áp cao hơn phải có biện pháp để X_N lớn lên, chẳng hạn đặt kháng điện vào đầu đường dây. Ta hãy tính X_N để $U = 0,7 U_{dm}$ (điện áp tối thiểu cần duy trì cho phụ tải).

$$\begin{aligned} I_N &= I_F - I_{pt} \\ &= \frac{E_q - U}{X_d} - \frac{U}{X_{pt}} \\ &= \frac{1,93 - 0,7}{1,54} - \frac{0,7}{1,6} = 0,38 \end{aligned}$$

Tương ứng ta có :
$$X_N = \frac{U}{I_N} = \frac{0,7}{0,38} = 1,84$$

Ví dụ 3.2 Vẫn xét sơ đồ như trong ví dụ 3.1 nhưng giả thiết máy phát có TĐK với điện áp kích từ giới hạn cho trước $E_{qgh} = 3,8$. Vì chỉ có 1 máy phát, ta có thể tìm được điện kháng tới hạn :

$$X_{th} = \frac{X_d}{E_{qgh} - 1} = \frac{1,54}{3,8 - 1} = 0,55$$

Bình thường để nhận biết được máy phát ở trạng thái nào cần tính điện kháng ngoài X_{ng} mới có thể so sánh. Tuy nhiên, trường hợp này có thể nhận xét ngay $X_{ng} < X_{th}$ bởi vì $X_{ng} < X_N = 0,5 < X_{th}$. Như vậy, máy phát ở trạng thái kích từ giới hạn : cần sử dụng sơ đồ thay thế gồm E_{qgh} nối với X_d .

Tương tự với cách tính trong ví dụ 3.1, ta có:

$$E_{\Sigma} = \frac{3,8 \cdot 1,6}{1,54 + 1,6} = 1,94$$

$$X_{\Sigma} = 1,29 \quad (\text{nghư ví dụ trên})$$

$$I_N = \frac{E_{\Sigma}}{X_{\Sigma}} = \frac{1,94}{1,29} = 1,5$$

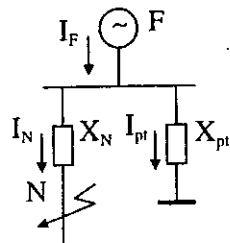
$$U_F = I_N \cdot X_N = 1,5 \cdot 0,5 = 0,75$$

$$I_F = \frac{E_{qgh} - U_F}{X_d} = \frac{3,8 - 0,75}{1,54} = 1,98$$

Như vậy khi có TĐK điện áp đầu cực máy phát sẽ duy trì được trị số đến 75 % U_{dm} . Tuy nhiên dòng điện ngắn mạch trong máy phát tăng lên nhiều so với khi không có TĐK.

3.5 ẢNH HƯỞNG CỦA PHỤ TẢI ĐẾN DÒNG ĐIỆN NGẮN MẠCH DUY TRÌ

Trong tình trạng ngắn mạch duy trì phụ tải có ảnh hưởng đáng kể đến trị số của dòng điện ngắn mạch. Một mặt, phụ tải càng lớn thì ở chế độ trước khi xảy ra sự cố dòng điện kích từ của máy phát càng phải cao để giữ điện áp, các sdd sẽ có trị số lớn làm tăng dòng điện ngắn mạch. Mặt khác, phụ tải có ảnh hưởng đến phân bố của dòng điện ngắn mạch: các nhánh phụ tải song song với điện kháng ngắn mạch, do đó nó làm tăng dòng điện ngắn mạch trong nguồn và làm giảm dòng điện ngắn mạch tổng tại nơi xảy ra ngắn mạch. Có thể thấy rõ điều này qua sơ đồ đẳng trị đơn giản hình 3.8.



$$I_F = I_N + I_{pt}$$

$$X_{ng} = X_N // X_{pt}$$

Hình 3.8

Ngoài ra cũng nhận thấy rằng ảnh hưởng của phụ tải nhiều hay ít còn phụ thuộc vào vị trí ngắn mạch. Ngắn mạch càng xa nguồn thì ảnh hưởng của phụ tải càng lớn, còn ngắn mạch càng gần nguồn thì ảnh hưởng của phụ tải càng ít. Khi ngắn mạch ở gần ngay đầu cực máy phát thì phụ tải hầu như không còn liên quan gì, vì điện áp cung cấp cho nó giảm xuống đến 0. Do ảnh hưởng đáng kể của phụ tải, khi tính toán ngắn mạch duy trì, nói chung không bỏ qua được sơ đồ phụ tải. Đôi khi để đơn giản cho tính toán (nhất là lúc thực hiện bằng tay) người ta thay thế gần đúng phụ tải bằng tổng trở thuần kháng.

Hãy xét trường hợp phụ tải biểu diễn trong hệ đơn vị tương đối định mức của nó. Nếu tải có trị số định mức, ta có :

$$Z_{*pt} = \cos \varphi + j \sin \varphi$$

(chú ý: khi $S \neq S_{dm}$ ta có : $Z_{*pt} = \frac{S_{dm}}{S} (\cos \varphi + j \sin \varphi)$)

Nếu thay Z_{pt} bằng tổng trở thuần kháng X_{pt} cần đảm bảo điều kiện tương đương về sdd và điện áp đầu cực máy phát làm việc trước khi xảy ra sự cố. Giả thiết với tải định mức, $\cos \varphi = 0,8$, $\sin \varphi = 0,6$ khi làm việc bình thường điện áp đầu cực máy phát bằng định mức. Khi thay tải bằng $j X_{pt}$ ta có:

$$\dot{U}_{dm} = \dot{E}_q - j \dot{I} X_d$$

$$\dot{U}_{dm} = j \dot{I} X_{pt} \quad (*)$$

$$\text{suy ra } X_{pt} = X_d \frac{U_{dm}}{E_q - U_{dm}}$$

Mặt khác trong cùng điều kiện, khi phụ tải được thay thế đầy đủ theo tổng trở phức, thì :

$$\dot{U}_{dm} = \dot{E}_q - j \dot{I} X_d$$

$$\dot{U}_{dm} = \dot{I} Z_{pt}$$

Suy ra :

$$\begin{aligned} \dot{E}_q &= \dot{I} Z_{pt} + j \dot{I} X_d \\ &= \dot{I} (Z_{pt} + j X_d) \end{aligned} \quad (**)$$

Sử dụng (*) và (**) để xác định trị số X_{pt} tương đương. Trong tính toán lấy phụ tải định mức là $Z_{pt} = \cos \varphi + j \sin \varphi = 0,8 + j 0,6$ và cho X_d giá trị của các máy phát thông dụng. Thay Z_{pt} và X_d vào (**) để xác định E_q , sau đó thay E_q vào (*) xác định X_{pt} tương đương. Cụ thể :

- máy phát tua bin hơi : $TN = 0,7$; $X_d = 1,43$ ta có $E_q \approx 2,8$

- máy phát tua bin nước: $TN = 1,1$; $X_d = 0,91$ ta có $E_q \approx 1,8$

Thay X_d và E_q vào (*) ta nhận được $X_{pt} \approx 1,2$.

Đó cũng chính là lý do để lấy gần đúng trị số phụ tải khi thay thế bằng tổng trở thuần kháng (đã nhắc đến trong chương 2). Cần chú ý là khi $S_{pt} \neq S_{pt\ dm}$, nếu chọn S_{cb} tùy ý còn $U_{cb} = U_{th}$ ta có :

$$X_{pt(cb)} = 1,2 \frac{S_{cb}}{S_{pt}}$$

Trong đơn vị có tên ta có :

$$X_{pt} (\Omega) = 1,2 \frac{U_{dm}^2}{S_{pt}}$$

Ví dụ 3.3 Cũng các số liệu và sơ đồ như trong ví dụ 3.2 nhưng cho $X_N = 1,0$. Hãy tính dòng điện ngắn mạch duy trì tại điểm ngắn mạch N.

Qua các ví dụ trước ta biết rõ trường hợp này máy phát phải làm việc ở chế độ điện áp định mức. Tuy nhiên, ta thực hiện bài toán như khi làm ví dụ riêng biệt. Trước hết cần xác định điện kháng tới hạn và điện kháng ngoài :

$$X_{th} = \frac{X_d}{E_{qgh} - 1} = 0,55$$

$$X_{ng} = \frac{X_{pt} X_N}{X_{pt} + X_N} = \frac{1,6 \cdot 1,0}{1,6 + 1,0} = 0,615$$

Vì $X_{ng} > X_{th}$ nên máy phát có điện áp đầu cực định mức.

Dòng điện ngắn mạch tại điểm N :

$$I_N = \frac{U_{dm}}{X_N} = \frac{1}{1,0} = 1,0$$

Dòng điện ngắn mạch chạy trong máy phát :

$$I_F = \frac{U_{dm}}{X_{ng}} = \frac{1}{0,615} = 1,63$$

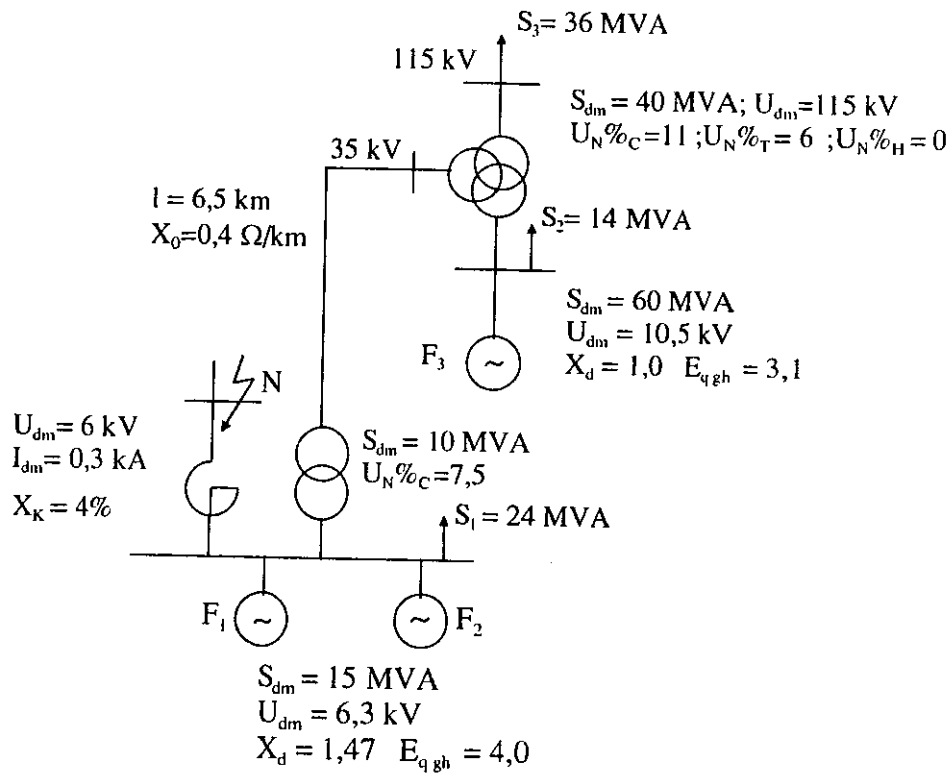
Ta hãy tính sđđ của máy phát trong trường hợp này, mặc dù biết chắc chắn phải có $E_q < E_{qgh} = 3,8$. Theo công thức chung (đúng cho cả CĐXL và chế độ ngắn mạch duy trì) ta có :

$$E_q = \sqrt{(U \cos \varphi)^2 + (U \sin \varphi + I X_d)^2}$$

Ở đây, trong chế độ ngắn mạch chấp nhận bỏ qua điện trở nên thực chất là đã coi gần đúng $\cos \varphi \approx 0$, $\sin \varphi \approx 1$. Do đó :

$$\begin{aligned} E_q &= U + I X_d \\ &= 1 + 1,63 \cdot 1,54 = 3,26 \end{aligned}$$

Ví dụ 3.4 Sơ đồ hệ thống điện như hình 3.6 . Các thông số phần tử ghi trên sơ đồ .
 Tính dòng điện ngắn mạch duy trì tại điểm N (sau kháng điện).



H×nh 3.6

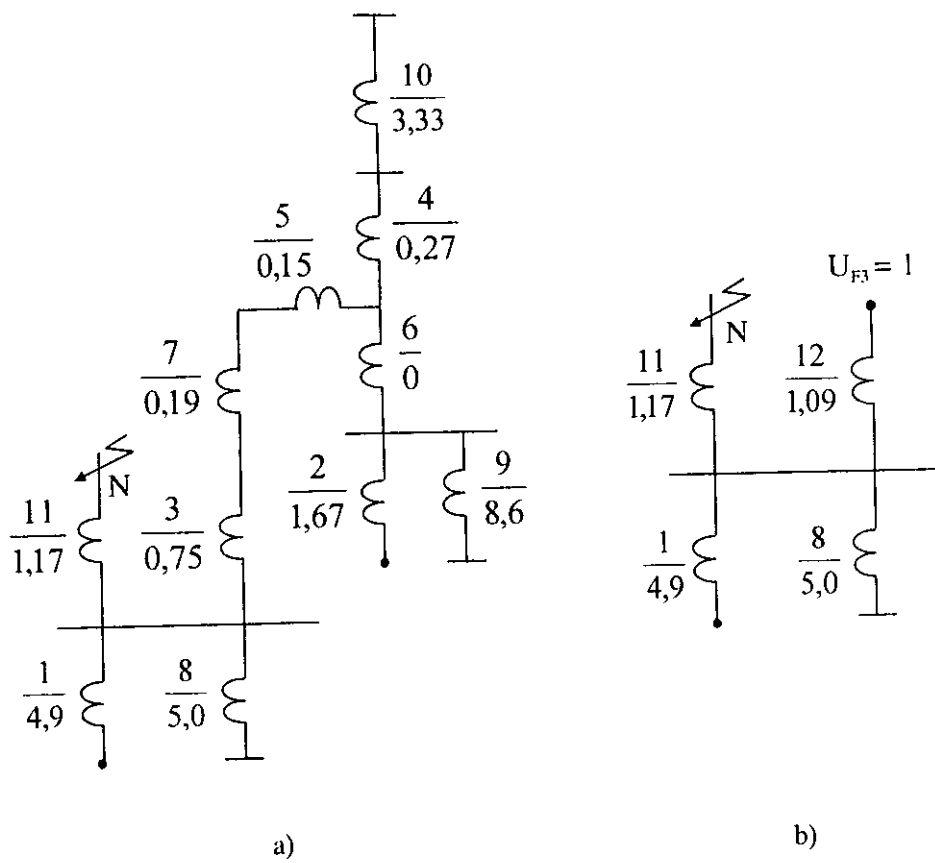
Giải . Chọn $S_{cb} = 100 \text{ MVA}$, $U_{cb} = U_{tb}$.

Ta có các sđđ giới hạn $E_{qgh1} = 4$; $E_{qgh2} = 3,1$

Điện kháng máy phát :

$$X_1 = X_{F1} / 2 = X_d \cdot \frac{S_{cb}}{2 \cdot S_{dm}} = 1,47 \cdot \frac{100}{15 \cdot 2} = 4,9$$

$$X_2 = X_{F3} = X_d \cdot \frac{S_{cb}}{S_{dm}} = 1,0 \cdot \frac{100}{60} = 1,67$$



Hình 3.7

Điện kháng máy biến áp :

$$X_3 = X_{B1} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{10} = 0,75$$

$$X_4 = X_C = \frac{11}{100} \cdot \frac{100}{40,5} = 0,27$$

$$X_5 = X_T = \frac{6}{100} \cdot \frac{100}{40,5} = 0,15$$

$$X_6 = X_{H1} = 0$$

Điện kháng đường dây 35 kV :

$$X_7 = X_D = 0,4.6,5. \frac{100}{37^2} = 0,19$$

Điện kháng các phụ tải :

$$X_8 = X_{11} = 1,2. \frac{S_{cb}}{S_1} = 1,2. \frac{100}{24} = 5,0$$

$$X_9 = X_{12} = 1,2. \frac{S_{cb}}{S_2} = 1,2. \frac{100}{14} = 8,6$$

$$X_{10} = X_{13} = 1,2. \frac{S_{cb}}{S_3} = 1,2. \frac{100}{36} = 3,33$$

Kháng điện :

$$X_{11} = X_K = \frac{X_K \%}{100} \cdot \frac{I_{cb}}{I_{dm}} \cdot \frac{U_{dm}}{U_{tb}} = \frac{4}{100} \cdot \frac{9,2}{0,3} \cdot \frac{6}{6,3} = 1,17$$

Trước hết để xác định trạng thái của các máy phát ta tính các điện kháng giới hạn của chúng :

$$X_{th1} = \frac{X_d}{E_{qgh} - 1} = \frac{4,9}{4 - 1} = 1,63$$

$$X_{th2} = \frac{X_d}{E_{qgh} - 1} = \frac{1,67}{3,1 - 1} = 0,8$$

Ở đây có một chú ý nhỏ khi so sánh X_{th} và X_{ng} . Chúng phải cùng được tính trong một hệ đơn vị tương đối. Tuy nhiên, thường vẫn chọn $U_{cb}=U_{tb}=U_{dm}$ (như trong ví dụ này) nên các sdd giới hạn và điện áp định mức máy phát trong công thức tính toán X_{th} vẫn có trị số ban đầu (trị số tương đối định mức). Ngoài ra, khi có các máy phát đẳng trị của nhiều máy phát song song, lúc tính toán phải lấy theo thông số của máy phát đẳng trị.

Các dòng điện tới hạn cũng xác định được :

$$I_{th} = \frac{U_{dm}}{X_{th}}$$

$$I_{th1} = \frac{1}{1,63} = 0,62$$

$$I_{th2} = \frac{1}{0,8} = 1,25$$

Các máy phát F_1 và F_2 (tương đương bằng E_1 và X_1) làm việc ở chế độ kích từ giới hạn bởi vì có tương quan : $X_{11} < X_{th1}$. Các tính toán đã bỏ qua phân hệ thống. Tuy nhiên nếu có xét thêm vào cũng không có khả năng nâng điện áp đầu cực F_1 và F_2 lên đến định mức, đó là vì hệ thống nằm xa điểm ngắn mạch.

Đối với máy phát điện F_3 ta cũng có thể tính gần đúng X_{ng} , bằng cách bỏ qua F_1 và F_2 . Khi đó :

$$X_{ng} = [(X_{11} // X_8) + X_3 + X_7 + X_5] // (X_4 + X_{10}) // X_9 \\ = [(1,17 // 5) + 1,09] // 2,54 = 1,13$$

Điện kháng này lớn hơn $X_{th2} = 0,8$, do đó máy phát F_3 làm việc ở trạng thái điện áp đầu cực định mức. Khi xét thêm máy phát F_1 và F_2 vào, chế độ điện áp còn được cải thiện hơn bởi F_1 và F_2 ở gần điểm ngắn mạch hơn. Cũng có thể nhận xét theo dòng I_{th} . Chẳng hạn giả thiết F_1 và F_2 làm việc ở chế độ điện áp định mức. Khi đó dòng điện ngắn mạch chạy trong nó sẽ phải là :

$$I_F = \frac{1}{X_{11}} + \frac{1}{X_8}$$

Nhánh $(X_3 + X_7 + X_5)$ nối 2 điện áp cân bằng không có dòng điện chạy qua. Như thế :

$$I_F = \frac{1}{1,17} + \frac{1}{5} = 1,05 > I_{th1} = 0,62$$

Mâu thuẫn này dẫn đến phải coi F_1 và F_2 làm việc ở trạng thái kích từ giới hạn. Sau khi biết trạng thái của máy phát ta chính xác hoá lại sơ đồ và xác định dòng điện ngắn mạch. Máy phát F_1 và F_2 vẫn giữ nguyên: tương đương bằng nhánh (E_1, X_1) với $E_1 = E_{qgh1} = 4,0$.

Máy phát F_3 làm việc với điện áp đầu cực định mức nên được mô tả bằng thanh cái với $U = 1$. Ngoài ra, điện kháng $X_6 = 0$ nên điểm M cũng có điện áp $U = U_{F3} = 1$. Khi đó để tính dòng điện ngắn mạch ta có thể sử dụng sơ đồ hình 3.7,b. Phần sơ đồ ở phía xa hơn điểm M (tính đến điểm ngắn mạch) không cần xét đến. Ta có :

$$X_{12} = X_3 + X_5 + X_7 = 0,75 + 0,15 + 0,17 = 1,09$$

Cuối cùng ta tính sdd đẳng trị của toàn sơ đồ đối với điểm ngắn mạch :

$$E_{\Sigma} = \frac{1 \times \frac{1}{1,09} + 4,0 \times \frac{1}{4,9} + 0}{\frac{1}{1,09} + \frac{1}{4,9} + \frac{1}{5}} = 1,31$$

Điện kháng đẳng trị tổng hợp :

$$X_{\Sigma} = 1,17 + \frac{1}{\frac{1}{1,09} + \frac{1}{4,9} + \frac{1}{5}} = 1,93$$

Dòng điện ngắn mạch tại điểm ngắn mạch :

$$I_N = \frac{E_{\Sigma}}{X_{\Sigma}} = \frac{1,31}{1,93} = 0,68$$

Trong hệ đơn vị có tên :

$$I_N = 0,68 \cdot 9,2 = 6,25 \text{ kA}$$

Điện áp đầu cực của máy phát F_1 và F_2 :

$$U = I_N \cdot X_{11} = 0,68 \cdot 1,17 = 0,8$$

Dòng điện chạy trong mỗi máy phát F_1 và F_2 :

$$I_F = \frac{14 - 0,8}{2 \cdot 4,9} = 0,33$$

$$\text{hay } I_F = 0,33 \times 9,2 \approx 3 \text{ kA}$$

Những điểm cần ghi nhớ trong chương ba

1. Tính toán ngắn mạch duy trì thực chất là tính dòng điện ở cuối quá trình quá độ sau khi xảy ra ngắn mạch, khi mà mọi thành phần tự do đã tắt dần hết (xấp xỉ 0). Ở chế độ này dòng điện ngắn mạch rất phụ thuộc vào trạng thái kích từ của máy phát.
2. Có hai trạng thái : máy phát có điện áp đầu cực bằng định mức (khi đó dòng điện kích từ nhỏ hơn trị số giới hạn) và trạng thái kích từ ở giới hạn điều chỉnh. Trong trường hợp sau sdd máy phát nằm ở giới hạn, với trị số $E_{q,gh}$ đã biết.
3. Cần phân biệt được trạng thái của máy phát để mô hình nó khi tính ngắn mạch duy trì: nếu máy phát làm việc với U_{dm} chỉ cần mô tả máy phát bằng một thanh cái điện áp không đổi (không cần xét đến các thông số bên trong). Nếu máy phát ở trạng thái kích từ giới hạn cần mô tả bằng sdd $E_{q,gh}$ nối với điện kháng X_d .
4. Trong trường hợp sơ đồ đơn giản, dựa vào tương quan điện kháng mạch ngoài với X_d để phân biệt trạng thái máy phát trong chế độ ngắn mạch duy trì. Với sơ đồ phức tạp cần giả thiết gần đúng trạng thái máy phát và thực hiện tính lặp để xác định dòng điện ngắn mạch duy trì.
5. Phụ tải có ảnh hưởng đáng kể đến trạng thái ngắn mạch duy trì. Khi tính toán có thể thay thế phụ tải bằng tổng trở hoặc điện kháng cố định.

Chương 4

QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ ĐIỆN TỬ VÀ CÁC THÔNG SỐ CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN KHI NGẮN MẠCH BA PHA

4.1. VẤN ĐỀ TÍNH TOÁN DÒNG ĐIỆN NGẮN MẠCH QUÁ ĐỘ

Như đã phân tích trong chương 1, từ sau thời điểm xảy ra ngắn mạch quá trình quá độ (QTQĐ) điện tử diễn ra trong máy phát điện khá phức tạp. Ngoài thành phần tự do xuất hiện trên stato, trong cuộn dây roto cũng có thành phần tự do, sinh ra bởi tác dụng hồ cảm của từ trường phản ứng. Kết quả là biên độ sdd thay đổi, kéo theo biên độ thành phần chu kỳ của dòng điện ngắn mạch biến thiên theo thời gian.

Một trong những yếu tố làm phức tạp phương pháp tính toán dòng điện ngắn mạch quá độ đó là sự biến thiên nhảy vọt dòng điện kích từ tại thời điểm $t = 0$ (hình 1.10). Với khái niệm sdd đồng bộ E_q (do từ thông dòng kích từ sinh ra), thì biên độ của sdd máy phát cũng biến thiên nhảy vọt tại $t = 0$. Hơn nữa độ nhảy vọt của sdd phụ thuộc vào chính trị số dòng điện ngắn mạch chu kỳ xuất hiện trong các cuộn dây pha phản ứng, đang cần tính toán. Như vậy, về nguyên tắc không thể tính toán được dòng điện ngắn mạch quá độ nếu vẫn dựa vào khái niệm sdd đồng bộ E_q .

Để khắc phục khó khăn trên, người ta đưa ra khái niệm mới về sức điện động gọi là sdd quá độ. Sức điện động quá độ được định nghĩa do từ thông tổng trong cuộn dây kích từ sinh ra. Nghĩa là ngoài từ thông của dòng kích từ còn kể đến từ thông của dòng điện phản ứng móc vòng sang cuộn dây kích từ và từ thông của các cuộn cản (nếu có). Trong trường hợp đơn giản nhất, máy phát không cuộn cản, từ thông tổng trong cuộn dây kích từ :

$$\psi_{\Sigma} = \psi_r - \psi_{sd}$$

Tại thời điểm $t = 0$, dòng phản ứng tăng đột biến (dòng ngắn mạch) từ thông phản ứng ψ_{sd} cũng tăng đột biến xuyên sang cuộn dây kích từ, ngược chiều với từ thông ψ_r do dòng kích từ sinh ra. Theo định luật cảm ứng điện từ, trong cuộn dây kích từ cũng xuất hiện một từ thông cùng trị số và ngược chiều nhằm triệt tiêu đột biến từ thông trong lòng cuộn dây. Nói khác đi, từ thông tổng ψ_{Σ} không thay đổi tại $t = 0$. Như vậy, nếu định nghĩa sdd quá độ (kí hiệu E'_q) tỉ lệ với ψ_{Σ} thì nó cũng không thay đổi đột biến tại $t = 0$. Điều này sẽ cho phép dựa vào thông số của máy phát trước sự cố để xác định trị số của $E'_q(0)$, trong khi không thể xác định được $E_q(0)$. Khi máy phát có cuộn cản, khái niệm sdd quá độ được đưa ra phức tạp hơn nhưng cũng dựa trên các từ thông tổng không thay đổi đột biến.

Ngoài khái niệm sdd quá độ, để mô hình máy phát, người ta cũng đưa ra khái niệm điện kháng quá độ. Các điện kháng này gắn liền với mạch từ của các từ thông tổng đã đưa ra.

Để có các biểu thức tính toán cụ thể chương này đi sâu nghiên cứu mô hình máy phát, diễn biến các loại từ thông trong QTQĐ, từ đó xác định quan hệ giữa dòng điện và điện áp đầu cực máy phát với các sdd và điện kháng quá độ.

4.2 QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ ĐIỆN TỬ TRONG MÁY PHÁT ĐIỆN PHÂN TÍCH THEO HỆ TOẠ ĐỘ QUAY VUÔNG GÓC

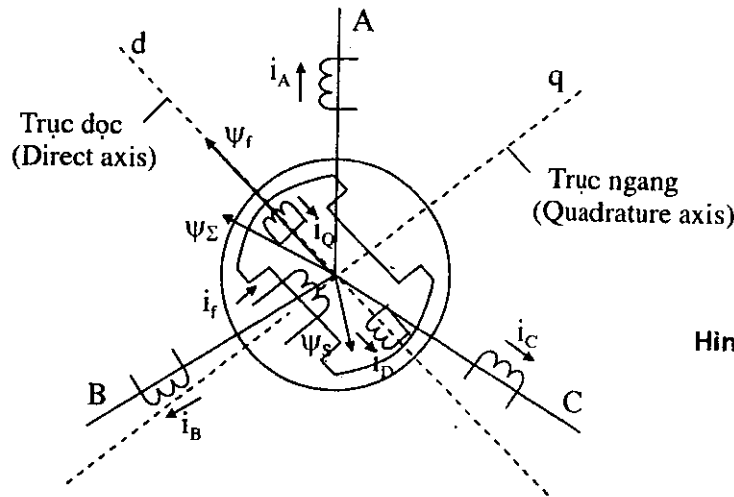
1. Một số giả thiết đơn giản hoá

Khi nghiên cứu quá trình quá độ điện tử ở giai đoạn đầu xảy ra ngắn mạch (trạng thái ngắn mạch) người ta chấp nhận các giả thiết đơn giản hoá sau :

- Tần số hệ thống giữ không đổi bằng định mức ;
- Bỏ qua bão hoà từ của lõi sắt các bộ phận mạch từ thiết bị điện.

Giả thiết đầu có thể chấp nhận trong các tính toán gần đúng, bởi vì quán tính quay của roto các máy phát khá lớn, trong thời gian diễn ra ngắn mạch (từ vài chu kỳ đến vài chục chu kỳ tần số công nghiệp) tần số hệ thống hầu như chưa biến thiên. Trong khi đó với giả thiết tần số không đổi nhiều biểu thức tính toán (trở kháng, dung kháng) và hệ phương trình quá trình quá độ đơn giản hơn rất nhiều. Nói riêng, từ trường quay trong máy điện sẽ có thể coi là quay cùng tốc độ với chuyển động của roto. Nhờ đó có thể áp dụng hệ toạ độ quay để phân tích quá trình quá độ gần giống như trong chế độ xác lập.

Giả thiết thứ hai về sự không bão hoà các mạch từ có thể gây sai số, tuy nhiên sai số vẫn trong phạm vi nhỏ cho phép. Giả thiết này cũng làm đơn giản đáng kể phương pháp nghiên cứu. Thật vậy, khi mạch từ bão hoà, các thông số mạch sẽ là phi tuyến rất khó áp dụng các phương pháp giải. Trong khi với giả thiết trên mạch điện trở thành tuyến tính, có thể áp dụng các phương pháp xếp chồng, các phép biến đổi tuyến tính hệ phương trình mạch. Đó cũng còn là cơ sở để áp dụng phép biến đổi toạ độ từ các đại lượng pha thành các đại lượng vuông góc giúp cho hệ phương trình vi phân QTQĐ đơn giản hơn rất nhiều.



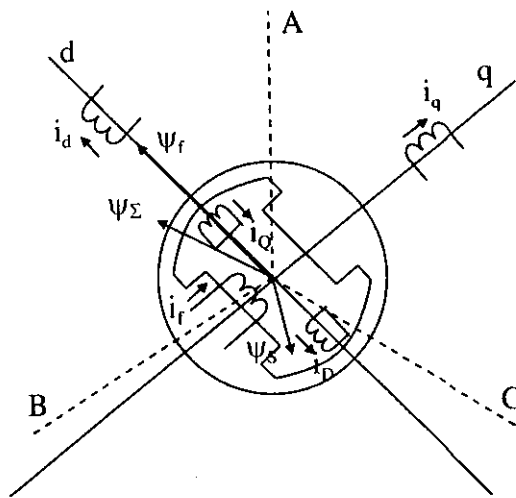
Hình 4.1

2. Mô hình máy phát điện đồng bộ trong hệ toạ độ vuông góc

Trước hết cần xét hệ toạ độ pha mô tả máy phát điện đồng bộ theo lý thuyết mạch thông thường (hình 4.1)

Các cuộn dây pha đặt trên stato lệch so với nhau 120° có các dòng điện pha i_A, i_B, i_C chạy qua tạo nên các từ thông riêng, khi tổng hợp lại được từ thông tổng phản ứng ψ_s . Ở chế độ xác lập i_A, i_B, i_C có biên độ bằng nhau không đổi, lệch pha 120° , do đó véc tơ từ thông tổng ψ_s có trị số không đổi, quay đều cùng tốc độ chuyển động của ro to. Khi đó từ thông của ro to chỉ do dòng kích từ i_f sinh ra cũng có trị số không đổi ψ_f . Các cuộn cảm trong CĐXL có dòng bằng 0 nên không tham gia vào từ thông tổng. Véc tơ từ thông ψ_f quay cùng tốc độ ro to (theo phương trục dọc) do đó đứng yên so với ψ_s . Từ thông tổng hợp trong máy sẽ là $\psi_\Sigma = \psi_s + \psi_f$ (cộng đại số các véc tơ). Trong chế độ quá độ, ngoài các thành phần từ thông chính nói trên còn có từ thông của các cuộn cảm. Do ảnh hưởng hồ cảm giữa các cuộn dây dòng điện và từ thông đều biến thiên phức tạp, như đã xét trong chương 1.

Để nghiên cứu quá trình quá độ và trị số tức thời của dòng điện ngắn mạch, theo mô hình tọa độ pha cần viết các phương trình vi phân mô tả quá trình quá độ điện từ cho mỗi cuộn dây (xem phụ lục 2). Mạch từ móc vòng giữa các cuộn dây luôn bị thay đổi trong quá trình ro to chuyển động (thay đổi cả hướng cuộn dây lẫn kết cấu mạch dẫn từ qua lõi thép) do đó hệ phương trình vi phân rất phức tạp. Giải trực tiếp hệ phương trình này rất khó khăn, chỉ có thể thực hiện được theo các phương pháp tích phân số (như trong phần mềm EMTP chẳng hạn).



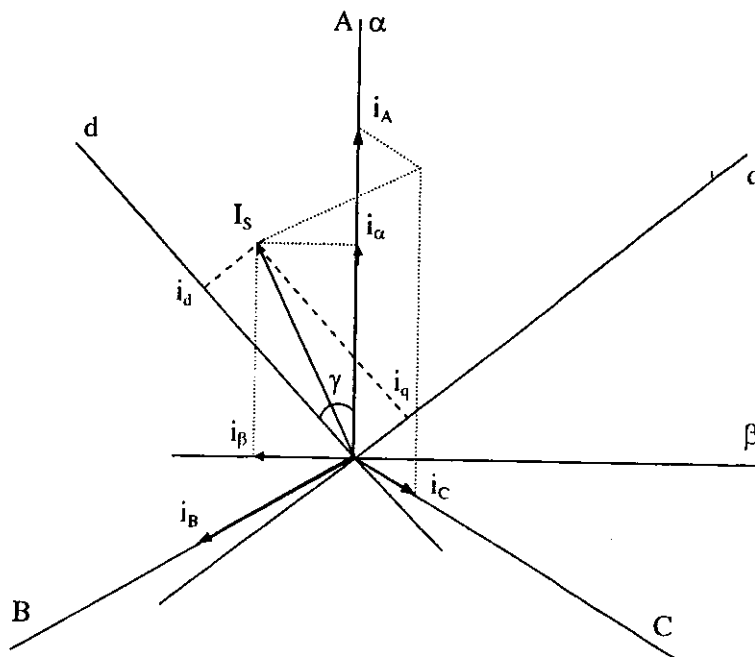
Hình 4.2

Để có thể nghiên cứu đơn giản và hiệu quả hơn QTQĐ người ta thường chuyển các phương trình sang hệ tọa độ quay vuông góc. Thực chất, đó là cách thực hiện đổi biến thông qua phép biến đổi tuyến tính hệ phương trình. Đơn giản hơn, người ta thường mô tả như phép biểu diễn tương đương máy phát điện đồng bộ 3 pha sang mô hình máy điện có 2 cuộn dây phản ứng vuông góc (Hình 4.2).

Chẳng hạn, dễ dàng chứng minh được rằng vẫn đảm bảo từ thông ψ_s trong máy nếu coi phân ứng chỉ có 2 cuộn dây vuông góc (nằm theo các trục α và β). Khi đó để có trị số tương đương, cần đảm bảo quan hệ (xem hình 4.3) :

$$i_\alpha = i_A - \frac{1}{2}i_B - \frac{1}{2}i_C$$

$$i_\beta = -\frac{\sqrt{3}}{2}i_B + \frac{\sqrt{3}}{2}i_C$$



Hình 4.3

Đáng chú ý hơn nữa, còn có thể coi ψ_s sinh ra bởi 2 dòng điện i_d và i_q vuông góc với nhau quay theo roto. i_d sinh ra từ thông theo phương trục dọc còn i_q sinh ra từ thông theo phương trục ngang của roto. Để đảm bảo sự tương đương về từ thông lúc roto quay cần có quan hệ (cân bằng các hình chiếu) :

$$i_d = i_\alpha \cos \gamma - i_\beta \sin \gamma$$

$$i_q = i_\alpha \sin \gamma + i_\beta \cos \gamma$$

Từ đó suy ra quan hệ giữa i_d , i_q với các dòng điện pha :

$$i_d = i_A \cos \gamma + i_B \cos(\gamma - 120^\circ) + i_C \cos(\gamma + 120^\circ)$$

$$i_q = i_A \sin \gamma + i_B \sin(\gamma - 120^\circ) + i_C \sin(\gamma + 120^\circ)$$

Đó là các phép biến đổi tuyến tính các biến i_A, i_B, i_C thành i_d, i_q thông qua ma trận biến đổi phụ thuộc góc $\gamma = \omega t + \gamma_0$. Trong trường hợp này ω không đổi nhưng phép biến đổi còn đúng cả khi ω thay đổi. Khi đó hệ phương trình nhận được cho phép nghiên cứu cả quá trình quá độ kéo dài hơn, xét đến dao động góc lệch của roto của máy phát. Các nội dung này có thể tham khảo thêm trong phần phụ lục.

Cần chú ý rằng khi thực hiện biến đổi hệ phương trình bằng toán học người ta sử dụng phép biến đổi sai khác với phép biến đổi trên một hệ số là $2/3$.

$$i_d = \frac{2}{3} [i_A \cos \gamma + i_B \cos(\gamma - 120^\circ) + i_C \cos(\gamma + 120^\circ)]$$

$$i_q = \frac{2}{3} [i_A \sin \gamma + i_B \sin(\gamma - 120^\circ) + i_C \sin(\gamma + 120^\circ)]$$

Ngoài ra khi các dòng điện pha không cân bằng, nghĩa là có thành phần dòng điện $i_A + i_B + i_C \neq 0$ chạy trong dây trung tính người ta còn đưa thêm vào hệ tọa độ vuông góc thành phần thứ tự không :

$$i_0 = 1/3(i_A + i_B + i_C).$$

Lúc đó ma trận biến đổi có dạng :

$$[A] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \gamma & \cos(\gamma - 120^\circ) & \cos(\gamma + 120^\circ) \\ \sin \gamma & \sin(\gamma - 120^\circ) & \sin(\gamma + 120^\circ) \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix}$$

Có thể viết :

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix}$$

Phép biến đổi ngược :

$$\begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} = [A]^{-1} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{bmatrix}$$

hay ở dạng khai triển của phép biến đổi ngược:

$$\begin{aligned}
i_A &= i_d \cos \gamma + i_q \sin \gamma + i_0 \\
i_B &= i_d \cos(\gamma - 120^\circ) + i_q \sin(\gamma - 120^\circ) + i_0 \\
i_C &= i_d \cos(\gamma + 120^\circ) + i_q \sin(\gamma + 120^\circ) + i_0
\end{aligned}$$

Các biến mới của điện áp U_d, U_q, U_0 của từ thông Ψ_d, Ψ_q, Ψ_0 , và các sức điện động E_d, E_q, E_0 cũng nhận được qua phép biến đổi tương tự.

Khi nghiên cứu quá trình quá độ điện từ thành phần thứ tự không thường được bỏ qua vì chúng có quan hệ độc lập với các thành phần khác.

Việc thay đổi tỉ lệ xích của phép biến đổi không gây ảnh hưởng gì đối với mô hình (tương tự như sử dụng hệ đơn vị tương đối) trong khi đó kết quả tính toán sử dụng thuận lợi hơn nhiều. Hãy xét ví dụ sau. Trong hệ tọa độ pha có các dòng điện :

$$\begin{aligned}
i_A &= I_m \cos(\omega t + \alpha_0) \\
i_B &= I_m \cos(\omega t + \alpha_0 - 120^\circ) \\
i_C &= I_m \cos(\omega t + \alpha_0 + 120^\circ)
\end{aligned}$$

Hãy tính các dòng điện i_d, i_q qua phép biến đổi. Trong trường hợp này $i_0 = 0$, còn :

$$\begin{aligned}
i_d &= \frac{2}{3} [I_m \cos(\omega t + \alpha_0) \cos \gamma + I_m \cos(\omega t + \alpha_0 - 120^\circ) \cos(\gamma - 120^\circ) \\
&\quad + I_m \cos(\omega t + \alpha_0 + 120^\circ) \cos(\gamma + 120^\circ)] \\
i_q &= \frac{2}{3} [I_m \cos(\omega t + \alpha_0) \sin \gamma + I_m \cos(\omega t + \alpha_0 - 120^\circ) \sin(\gamma - 120^\circ) \\
&\quad + I_m \cos(\omega t + \alpha_0 + 120^\circ) \sin(\gamma + 120^\circ)]
\end{aligned}$$

Thay $\gamma = \omega t + \gamma_0$ và thực hiện biến đổi ta có :

$$\begin{aligned}
I_d &= I_m \cos(\gamma_0 - \alpha_0) \\
I_q &= I_m \sin(\gamma_0 - \alpha_0)
\end{aligned}$$

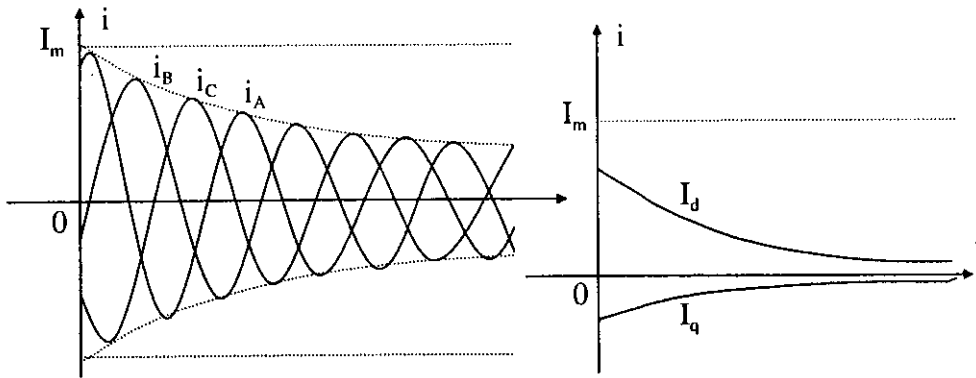
Nếu coi $I = \sqrt{I_d^2 + I_q^2}$ ta nhận được $I = I_m$.

Như vậy nếu xuất phát từ trị số biên độ (hay hiệu dụng) của các đại lượng pha, sau phép biến đổi và tính toán trong hệ tọa độ vuông góc ta nhận được các thành phần dọc trục và ngang trục với đại lượng tổng hợp trùng với biên độ (hay hiệu dụng) của đại lượng pha. Còn nếu giữ tỉ lệ xích ban đầu ta nhận được :

$$I = \sqrt{I_d^2 + I_q^2} = \frac{3}{2} I_m$$

Như vậy, việc chọn lại tỉ lệ xích làm cho kết quả sử dụng được thuận lợi hơn. Đặc biệt do I_d và I_q là những thành phần vuông góc nên có thể coi một thành phần là thực, thành phần kia là trục ảo. Khi đó mô hình máy điện trong hệ tọa độ vuông góc đồng nhất với mô hình phức số. Đồ thị vectơ của máy phát trong CĐXL là một ví dụ (xem chương 3).

Ở đây, việc quy ước chọn trục mặc dù tùy ý vẫn cần có sự thống nhất. Trục dọc d được chọn gắn liền với phương dọc trục của roto, cùng chiều với từ thông của dòng kích từ. Trục ngang q vuông góc với trục dọc, chiều chậm sau trục dọc một góc là 90° (góc độ điện). Các thành phần của các đại lượng như sđđ, từ thông, dòng điện ... được phân tích trên trục nào thì lấy tên trục ấy và dấu của chúng tùy thuộc hình chiếu vectơ tổng (cùng hay ngược chiều với trục). Theo quy ước này từ thông của cuộn kích từ ψ_d (dọc trục) sinh ra sđđ E_q (chứ không phải E_d) bởi sđđ được sinh ra chậm pha sau từ thông một góc là 90° (do $e = -d\psi/dt$).



Hình 4.4

Ta cũng để ý rằng khi các dòng điện pha là chu kỳ với biên độ không đổi thì khi chuyển sang hệ tọa độ vuông góc sẽ nhận được các thành phần dòng điện một chiều (dọc trục và ngang trục) có trị số không đổi. Nếu dòng điện các pha vẫn là xoay chiều nhưng biên độ thay đổi thì trong hệ tọa độ vuông góc các thành phần i_d và i_q vẫn là một chiều nhưng trị số biến thiên. Chẳng hạn nếu :

$$i_A = I_m e^{-kt} \cos(\omega t + \alpha_0)$$

$$i_B = I_m e^{-kt} \cos(\omega t + \alpha_0 - 120^\circ)$$

$$i_C = I_m e^{-kt} \cos(\omega t + \alpha_0 + 120^\circ)$$

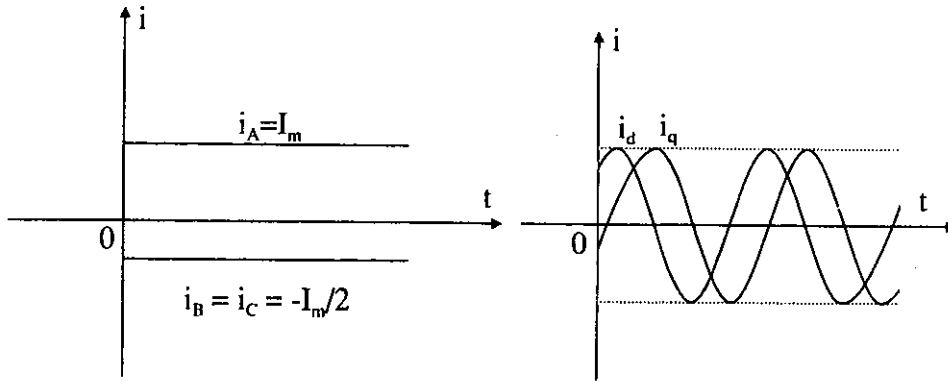
thì sau khi biến đổi (giả thiết $\gamma_0 = 0$):

$$I_d = I_m e^{-kt} \cos \alpha_0$$

$$I_q = -I_m e^{-kt} \sin \alpha_0$$

đồ thị biểu diễn như trên hình 4.4 :

Ngược lại nếu cho vào các cuộn dây pha các thành phần dòng điện một chiều, biểu diễn trong hệ tọa độ quay vuông góc sẽ là thành phần xoay chiều dao động trong thời gian (hình 4.5).



Hình 4.5

Các đặc điểm trên cũng có thể suy ra từ mô hình máy điện đồng bộ trong hệ tọa độ quay vuông góc.

4.3 CÁC THÀNH PHẦN TỪ THÔNG TRONG MÁY PHÁT ĐIỆN PHÂN TÍCH THEO MÔ HÌNH TRONG HỆ TOẠ ĐỘ VUÔNG GÓC

Mô hình máy phát điện trong hệ tọa độ quay vuông góc là sản phẩm của phép biến đổi tọa độ vì thế nó có thể sử dụng để xét quan hệ giữa các đại lượng trong hệ tọa độ quay vuông góc. Do trong hệ tọa độ vuông góc vị trí của các cuộn dây không bị thay đổi trong quá trình roto chuyển động, mạch từ theo các trục dọc và trục ngang cũng không thay đổi nên các trị số điện cảm và hồ cảm của các cuộn dây là hằng số. Các quan hệ viết ra sẽ đơn giản hơn nhiều so với hệ tọa độ pha (mặc dù đang vẫn xét trong QTQĐ).

Cần chú ý rằng khi phân tích từ thông trong mục này ta luôn sử dụng hệ đơn vị tương đối, do đó có thể viết các quan hệ theo các cách khác mà trong hệ đơn vị có tên không dùng được (xem chương 2). Ví dụ :

$$\begin{aligned} E &= \omega \psi \quad \text{hay} \quad E = \psi && (\text{vì } \omega_* = 1) \\ \psi &= LI \quad \text{hay} \quad \psi = XI && (\text{vì } X = \omega L = L) \\ E &= XI \dots && (\text{vì } E = \psi, X = L) \end{aligned}$$

Ta hãy viết quan hệ của tất cả các loại từ thông trong máy phát điện đồng bộ:

1. Từ thông có ích ψ_d : là từ thông do dòng điện kích từ i_f chạy trong cuộn dây roto sinh ra xuyên qua khe hở không khí và móc vòng được với các cuộn dây stato (có 2 cuộn dây vuông góc):

$$\psi_d = i_f X_{ad}$$

trong đó : X_{ad} - Điện kháng hồ cảm giữa stato và roto theo phương dọc trục.

2. Từ thông tản của cuộn kích từ

$$\Psi_{\sigma f} = I_f X_{\sigma f}$$

trong đó : $X_{\sigma f}$ - điện kháng tản của cuộn dây kích từ.

3. Từ thông toàn phần do dòng điện kích từ sinh ra

$$\Psi_f = \Psi_d + \Psi_{\sigma f} = I_f (X_{ad} + X_{\sigma f}) = I_f X_f$$

trong đó : $X_f = (X_{ad} + X_{\sigma f})$ điện kháng toàn phần của cuộn dây kích từ.

4. Từ thông phản ứng phần ứng (do dòng điện trong các cuộn dây stator sinh ra móc vòng sang các cuộn dây rotor) :

Dọc trục : $\Psi_{ad} = I_d X_{ad}$

Ngang trục : $\Psi_{aq} = I_q X_{aq}$

Trong đó : I_d và I_q chạy trong các cuộn dây vuông góc của mô hình, chính là thành phần dọc trục và ngang trục của dòng điện phần ứng (stato).

X_{aq} - điện kháng hồ cảm giữa cuộn dây stato và roto theo hướng ngang trục.

5. Các từ thông tản của stato

Dọc trục : $\Psi_{\sigma d} = I_d X_{\sigma}$

Ngang trục : $\Psi_{\sigma q} = I_q X_{\sigma}$

Do tính đối xứng của stato nên theo các hướng điện kháng tản X_{σ} đều như nhau.

Từ thông tổng của dòng stator : $\Psi_{sd} = \Psi_{ad} + \Psi_{\sigma d}$; $\Psi_{sq} = \Psi_{aq} + \Psi_{\sigma q}$

6. Từ thông tổng hợp móc vòng với cuộn kích thích

(theo hướng dọc trục) :

$$\Psi_{f\Sigma} = \Psi_f + \Psi_{ad} = I_f X_f + I_d X_{ad}$$

7. Khi máy phát có các cuộn cản (dọc trục và ngang trục) còn phải kể đến các từ thông sinh ra bởi các cuộn dây này:

- Cuộn cản dọc trục : $\Psi_{1d} = I_{1d} X_{ad}$ (từ thông chính)

$$\Psi_{\sigma 1d} = I_{1d} X_{\sigma 1d}$$
 (từ thông tản)

- Cuộn cản ngang trục : $\Psi_{1q} = I_{1q} X_{aq}$ (từ thông chính)

$$\Psi_{\sigma 1q} = I_{1q} X_{\sigma 1q}$$
 (từ thông tản)

Trong đó : I_{1d} và I_{1q} - là các dòng điện chạy trong cuộn cản dọc trục và ngang trục

$X_{\sigma 1d}$ và $X_{\sigma 1q}$ là các điện kháng tản của các cuộn cản dọc trục và ngang trục

Trong chế độ xác lập I_{1d} và I_{1q} bằng 0 nên không có các thành phần từ thông cuộn cảm. Trong chế độ quá độ từ thông cuộn cảm xuất hiện và có ảnh hưởng hỗ cảm sang các cuộn dây khác.

Trong các biểu thức kể trên quy ước chiều các dòng điện như sau :

- Chiều dương của thành phần dòng điện phần ứng dọc trục I_d là chiều mà từ thông do nó sinh ra cùng chiều với từ thông của dòng điện kích từ (chiều của trục d).

- Chiều dương của thành phần dòng điện phần ứng ngang trục I_q là chiều mà từ thông của nó sinh ra chậm sau 90° so với từ thông dọc trục (chiều của trục q). Chiều dương dòng điện trong các cuộn cảm cũng được lấy tương tự.

Người ta cũng áp dụng cả cách chọn chiều dương ngược lại cho từ thông và dòng điện phần ứng. Khi đó cần đổi dấu trong các biểu thức tính từ thông tổng hợp và điện áp rơi trên điện kháng (theo hướng trục dọc và trục ngang) do các thành phần dòng điện phần ứng sinh ra. Cách chọn này phù hợp với định luật cảm ứng điện từ, thuận tiện hơn khi xét chiều của từ thông, tuy nhiên lại phức tạp hơn khi quan tâm đến cả dấu của dòng điện và điện áp phần ứng.

4.4 CÁC SỨC ĐIỆN ĐỘNG VÀ ĐIỆN KHÁNG CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Các thành phần từ thông kể trên (mục 4-3) đều quay trong không gian với cùng tốc độ roto. Như vậy về nguyên tắc, khi móc vòng qua cuộn dây phần ứng chúng đều tạo ra một thành phần sức điện động. Mô tả máy phát điện theo sđđ nào trên sơ đồ thay thế tính toán phụ thuộc vào khả năng xác định nó và sự tiện lợi sử dụng.

1. Phân bố từ thông và sđđ của máy phát trong chế độ xác lập

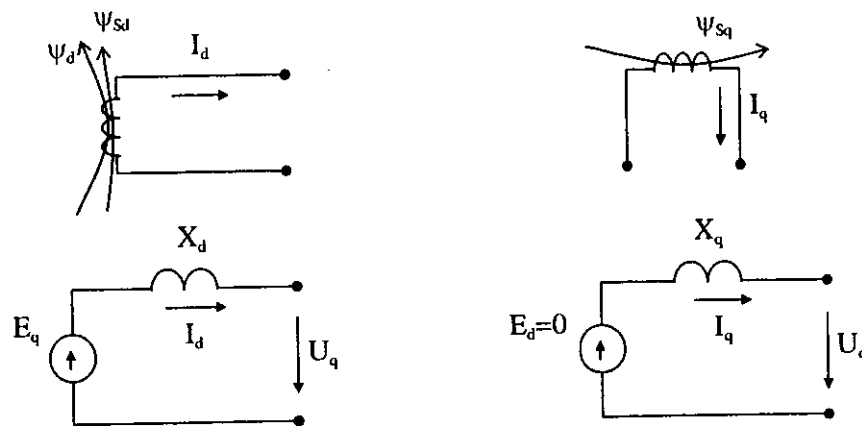
Ta xét trong chế độ xác lập, khi mà các cuộn cảm không có dòng điện, từ thông tổng hợp móc vòng qua các cuộn dây phần ứng bao gồm :

$$\begin{aligned}\psi_{sd} &= \psi_d + \psi_{ad} + \psi_{\sigma d} \\ &= I_f X_{ad} + I_d (X_{ad} + X_\sigma) \\ &= I_f X_{ad} + I_d X_d = U_q \\ \psi_{sq} &= 0 + \psi_{aq} + \psi_{\sigma q} \\ &= I_q (X_{aq} + X_\sigma) \\ &= I_q X_q = -U_d\end{aligned}\tag{4-1}$$

Với các thành phần từ thông móc vòng kể trên thì hợp lý nhất là coi thành phần ψ_d gây ra sức điện động cho máy phát. Đó là vì ψ_d hoàn toàn xác định bởi dòng điện kích từ có nhiệm vụ tạo ra sđđ. Các thành phần còn lại tỉ lệ với chính dòng điện phần ứng nên có thể coi là các điện áp rơi (sụt áp trên các điện kháng tản).

Khi bỏ qua điện trở của các cuộn dây thì có thể mô tả sơ đồ mạch cho phần ứng theo hướng dọc trục và ngang trục như hình vẽ 4.5. Ở đây cần chú ý là sức điện động do ψ_d sinh ra biến thiên chậm pha so với ψ_d một góc 90° do đó cần biểu diễn bằng véc tơ quay có chiều trùng với trục q. Cũng chính vì vậy được ký hiệu là E_q

(và được gọi là sđđ đồng bộ ngang trục). Ở chế độ xác lập không có thành phần sđđ dọc trục E_d hay nói khác đi $E_d = 0$. Ngoài ra, trong trường hợp chung $X_d \neq X_q$ do đó sơ đồ mạch theo 2 trục không giống nhau. Chỉ với máy phát cực ẩn $X_d \approx X_q$ có thể mô tả máy phát điện bằng sơ đồ mạch duy nhất.



Hình 4.5

Ta hãy xét các phương trình cân bằng điện áp theo các trục. Ứng với (4-1) ta có:

$$\begin{aligned} U_q &= E_q + I_d X_d \\ U_d &= -I_q X_q \end{aligned} \quad (4-2)$$

Ở đây, $E_q = \dot{\psi}_d = I_f X_{ad}$ (trong hệ đơn vị tương đối).

Đặt các đại lượng tổng hợp dưới dạng số phức :

$$\begin{aligned} \dot{I} &= I_q + jI_d \\ \dot{U} &= U_q + jU_d \\ \dot{E} &= E_q \end{aligned}$$

Với máy phát cực ẩn $X_q = X_d$, ta có :

$$\dot{U} = \dot{E}_q - j\dot{I}X_q \quad (4-3)$$

Biểu thức này tương đương với (4-2), thực chất thể hiện quan hệ giữa các đại lượng tổng hợp thuộc hệ tọa độ quay nhưng đồng thời lại cũng là quan hệ biên độ (hoặc trị số hiệu dụng) của các đại lượng pha dạng phức. Chính đồ thị vectơ và sơ

đồ mạch phức số biểu diễn CDXL của máy phát điện (kể cả chế độ ngắn mạch duy trì) đều dựa trên cơ sở này.

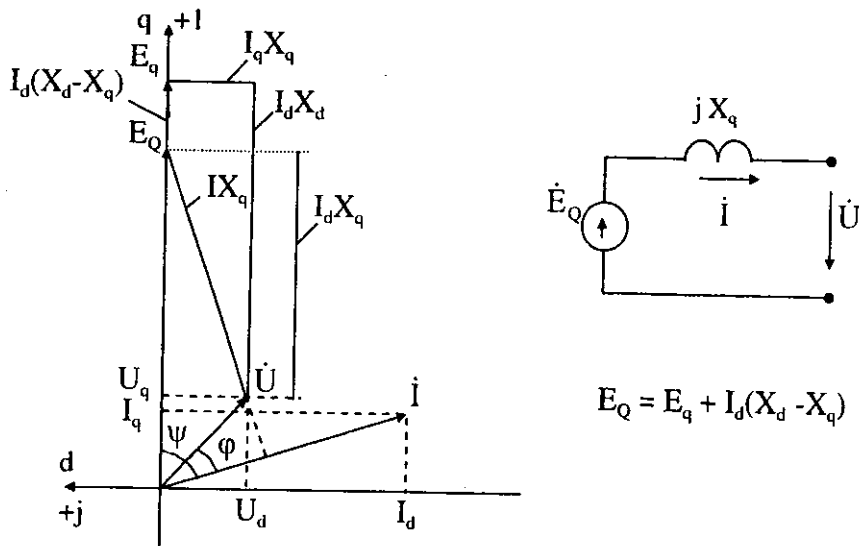
Cũng cần nhắc lại rằng, với máy phát điện cực lõi không thể mô tả quan hệ giữa các đại lượng tổng hợp đơn giản như trên. Khi $X_d \neq X_q$ thì (4-2) và (4-3) không tương đương. Để có thể mô tả được máy phát theo mô hình mạch và phức số người ta sử dụng một ký hiệu sdd $E_Q = E_q + I_d(X_d - X_q)$ gọi là sdd giả tưởng. Khi đó ta cũng có:

$$\dot{U} = \dot{E}_Q - jI X_q$$

Tuy nhiên quan hệ này chưa đủ, cần kèm theo biểu thức quan hệ:

$$E_Q = E_q + I_d(X_d - X_q)$$

Sơ đồ mạch và đồ thị véc tơ của máy phát đồng bộ trong CDXL được thể hiện như hình 4.6 (máy phát cực lõi). Với chiều dương từ thông như đã chọn (ψ_{sd} cùng chiều dương với ψ_f) trị số U_d và I_d nhận được luôn luôn âm (hình 4.6). Để thuận tiện cho tính toán người ta cũng chọn chiều dương cho ψ_{sd} ngược lại. Tuy nhiên khi đó phải đổi dấu trong các biểu thức cộng từ thông.



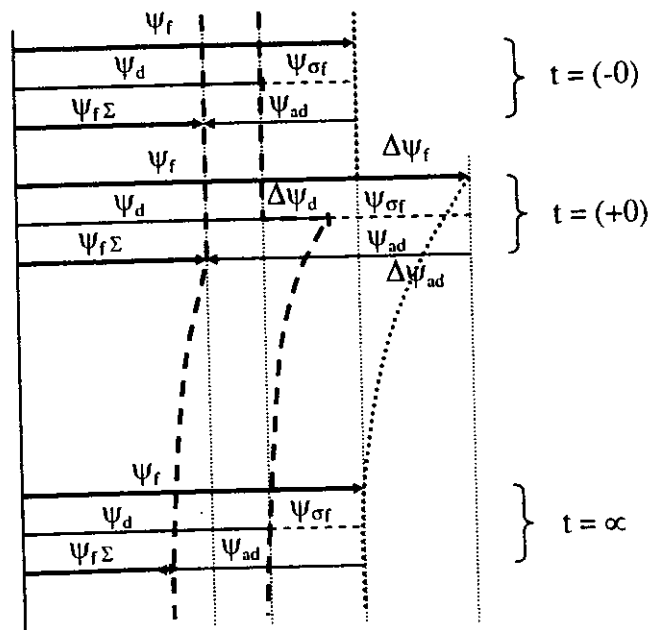
Hình 4.6

2- Phân bố từ thông và sdd máy phát trong thời gian quá độ (với máy phát điện không cuộn cảm)

Hình 4.7 biểu diễn một số thành phần từ thông cơ bản trong máy phát điện đồng bộ. Ở CDXL từ thông toàn phần của dòng kích từ ψ_f , bao gồm thành phần từ thông có ích ψ_d và từ thông tản $\psi_{\sigma f}$, đều móc vòng qua cuộn dây kích thích. Ngoài ra nếu xét mọi thành phần từ thông móc vòng qua cuộn dây này (trong trường hợp không có cuộn cảm) thì còn phải kể đến từ thông phản ứng dọc trục ψ_{ad} . Nói chung ψ_{sd} ngược chiều với ψ_f (có tính chất khử từ khi tải mang tính cảm). ψ_d chính là thành phần từ thông sinh ra sdd đồng bộ E_q như đã phân tích trong phần trên. Tuy nhiên

từ sau thời điểm xảy ra ngắn mạch $t = +0$, từ thông có sự phân bố lại đột biến và thay đổi theo thời gian, trong đó có thành phần ψ_d . Do đó nếu vẫn biểu diễn máy phát bằng sđd E_q thì E_q (do ψ_d sinh ra) cũng thay đổi và đột biến, rất khó xác định.

Sự đột biến của từ thông trong cuộn kích từ có thể giải thích như sau. Theo tính chất của các cuộn dây điện cảm khép kín thì lượng từ thông tổng móc vòng qua các cuộn dây này không đột biến. Mạch cuộn dây roto (cuộn kích thích của máy phát) khép kín qua nguồn kích từ có điện trở nhỏ nên ở thời điểm ngắn mạch từ thông tổng móc vòng qua nó $\psi_{r\Sigma}$ phải không đột biến. Trong khi đó, do xảy ra ngắn mạch dòng điện phản ứng máy phát tăng lên đột ngột. Từ thông phản ứng phần ứng ψ_{ad} chắc chắn phải tăng lên đột biến (một lượng là $\Delta\psi_{ad}$). Từ thông ψ_{ad} ngược chiều với ψ_r đi vào cuộn dây kích thích, do đó để cho $\psi_{r\Sigma}$ không đổi ψ_r cũng phải tăng lên một lượng tương ứng: $\Delta\psi_r = \Delta\psi_{ad}$ (về trị tuyệt đối). Thực tế là dòng điện trong cuộn dây kích từ đã phải đột ngột tăng lên một lượng ΔI_r . Kết quả là $\psi_{r\Sigma}$ không thay đổi đột biến ở bất kì thời điểm nào (hình 4.7). Trong khi đó từ thông tổng do dòng kích từ sinh ra tăng lên đột ngột, kéo theo ψ_d và $\psi_{\sigma r}$ đều tăng. Sự thay đổi nhảy vọt của từ thông hữu ích ψ_d (một lượng $\Delta\psi_d$) làm cho E_q tăng nhảy vọt. Xác định $E_q(+0)$ hết sức khó khăn bởi phải phân tích mạch của máy phát kích thích xét đến điện trở và điện cảm của toàn bộ mạch vòng. Diễn biến tiếp theo của ψ_d và E_q cũng rất phức tạp không thể xác định.



Hình 4.7

Cũng chính vì lý do trên, để phân tích quá trình quá độ điện từ và tính toán ngắn mạch người ta đưa ra khái niệm mới về sđđ của máy phát - sức điện động quá độ ký hiệu là E'_q , sinh ra bởi thành phần từ thông có ích của $\psi_{f\Sigma}$. Sức điện động này chỉ có ý nghĩa tính toán (không đo được trực tiếp) nhưng sử dụng rất thuận tiện vì không đột biến tại $t = 0$: có thể xác định theo thông số chế độ của máy phát trước khi xảy ra ngắn mạch (tại $t = - 0$).

Thành phần từ thông có ích đối với $\psi_{f\Sigma}$ có thể xác định như sau:

$$\psi'_d = (1 - \sigma_f) \psi_{f\Sigma}$$

trong đó : $\sigma_f = \frac{X_{\sigma f}}{X_f}$ là hệ số tản của cuộn dây kích thích máy phát.

Hệ số σ_f là hằng số nên ψ'_d tỉ lệ với $\psi_{f\Sigma}$. Nói cách khác ψ'_d cũng là một lượng từ thông không đột biến. Như vậy trong hệ đơn vị tương đối có thể viết :

$$E'_q = \psi'_d = (1 - \sigma_f) \psi_{f\Sigma}$$

E'_q không đột biến tại $t = 0$.

Vấn đề còn lại là xác định trị số của E'_q tại thời điểm $t = 0$. Do E'_q không đột biến ta xác định theo các thông số máy phát trước khi xảy ra ngắn mạch ($t = - 0$). Từ đây để thuận tiện (theo thói quen) ta lấy lại chiều dương của dòng điện phản ứng là chiều dòng điện gây ra phản ứng phản ứng ngược chiều với từ thông kích từ, sẽ có dấu dương). Khi đó: $\psi_{f\Sigma} = (\psi_f - \psi_{ad})$. Ta có :

$$\begin{aligned} \psi'_d &= (1 - \sigma_f) \psi_{f\Sigma} = (1 - \sigma_f)(\psi_f - \psi_{ad}) \\ &= \left(1 - \frac{X_{\sigma f}}{X_{ad} + X_{\sigma f}}\right) [I_f(X_{ad} + X_{\sigma f}) - I_d X_{ad}] \\ &= I_f X_{ad} - I_d \frac{X_{ad}^2}{X_{ad} + X_{\sigma f}} = E'_q \end{aligned}$$

Ở đây I_f và I_d đều tính tại thời điểm trước khi xảy ra ngắn mạch.

Mặt khác, để ý rằng ở CDXL trước sự cố :

$$I_f X_{ad} = \psi_d = E_q = U_q + I_d X_d \quad (\text{đổi dấu } I_d \text{ so với 4.2})$$

Do đó có thể viết :

$$E'_q = E_q - I_d \frac{X_{ad}^2}{X_{ad} + X_{\sigma f}} = U_q + I_d X_d - I_d \frac{X_{ad}^2}{X_{ad} + X_{\sigma f}}$$

Đặt: $X'_d = X_d - \frac{X_{ad}^2}{X_{ad} + X_{\sigma f}}$ - gọi là điện kháng quá độ, ta có :

$$E'_q = U_q + I_d X'_d \quad (4-4)$$

Đó chính là phương trình cân bằng điện áp theo phương ngang trục của máy phát tại $t = 0$, với khái niệm mới về sđđ và điện kháng quá độ.

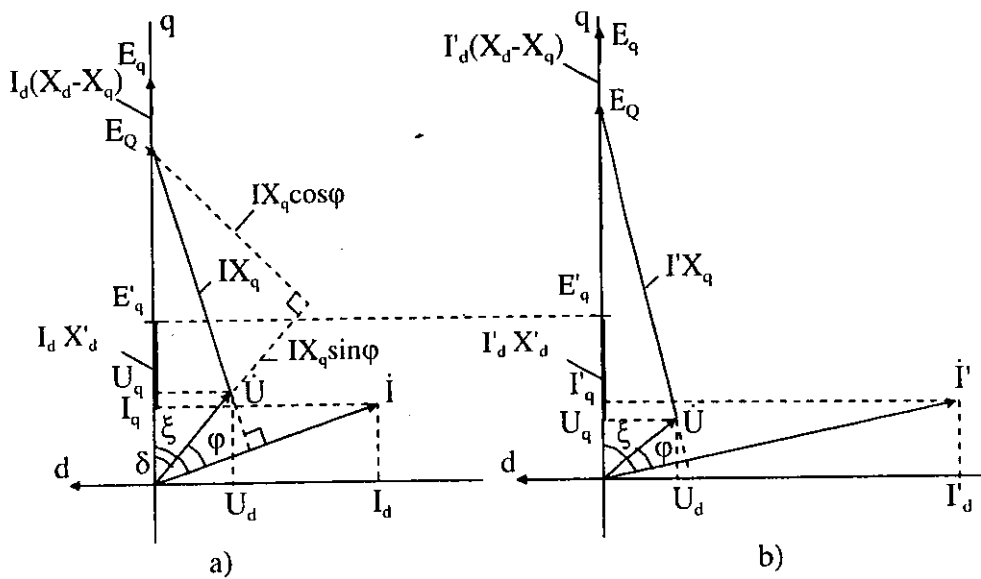
Chú ý là $X_d = X_\sigma + X_{ad}$, ta còn có biểu thức điện kháng quá độ dọc trục:

$$X'_d = X_\sigma + \frac{1}{\frac{1}{X_\sigma} + \frac{1}{X_{ad}}} \quad (4-4,a)$$

Theo phương ngang trục không có từ thông kích từ, nên được coi là $E'_d = E_d = 0$. Điện áp rơi gây ra do phản ứng phần ứng ngang trục (gây ra bởi I_q) sẽ cân bằng với điện áp U_d :

$$E'_d = U_d - I_q X_q = 0 \quad (\text{đổi dấu } U_d \text{ so với 4.2}) \quad (4-5)$$

Vì cả E'_q và E'_d đều không đột biến nên các phương trình (4-4) và (4-5) đều đúng với cả thời điểm sau khi xảy ra ngắn mạch (hình 4.8). Nói khác đi có thể dựa vào (4-4) và (4-5) để xác định $E'_q(+0)$ và $E'_d(+0)$. Đó là các số liệu cần thiết để mô tả máy phát điện ở thời điểm đầu sau khi xảy ra ngắn mạch.



Hình 4.8

Trên hình 4.8 thể hiện đồ thị véc tơ quan hệ giữa các đại lượng của máy phát (không cuộn cảm) tại $t = 0$ (trước và sau ngắn mạch). Đồ thị véc tơ vẽ cho trường hợp chung của máy phát điện cực lồi. Khi máy phát có cực ẩn thì $X_d = X_q$ và $E_Q = E_q$.

Từ đồ thị véc tơ ta có thể suy ra cách tính E'_q cụ thể hơn, bởi trong (4-4) và (4-5) còn chứa các dòng điện và điện áp thành phần. Theo hình 4.8,a ta có:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \xi &= \frac{IX_q + U \sin \varphi}{U \cos \varphi} \\ \operatorname{tg} \delta &= \frac{IX_q \cos \varphi}{U + IX_q \sin \varphi} \end{aligned} \quad (4-6)$$

Từ các biểu thức trên xác định được ξ và δ . Sau đó tính :

$$I_d = I \sin \xi$$

$$U_d = U \cos \delta$$

Thay vào biểu thức (4-4) sẽ xác định được trị số của E'_q :

$$E'_q = U_d + I_d X'_d$$

Cách tính trên đúng cho trường hợp chung (cả máy phát điện cực lõi). Chú ý, trong các công thức (4-6) điện kháng tính toán luôn luôn phải là X_q (xem đồ thị véc tơ).

3. Phân bố từ thông và sdd của máy phát có cuộn cản.

Khi máy phát có thêm các cuộn cản thì sự biến thiên từ thông trong máy vẫn diễn ra tương tự như trường hợp không có cuộn cản. Tuy nhiên, khác nhau cơ bản là có sự tham gia của từ thông cuộn cản trong biểu thức bảo toàn từ thông tại thời điểm xảy ra ngắn mạch.

Ta có từ thông tổng móc vòng qua các cuộn dây như sau:

$$\text{Cuộn kích thích : } \psi_{f\Sigma} = \psi_f + \psi_{1d} - \psi_{ad} = \psi_d + \psi_{\sigma f} + \psi_{1d} - \psi_{ad}$$

$$\text{Cuộn cản dọc trục : } \psi_{1d\Sigma} = \psi_{1d} + \psi_{\sigma 1d} + \psi_{ad}$$

$$\text{Cuộn cản ngang trục : } \psi_{1q\Sigma} = \psi_{1q} + \psi_{\sigma 1q} + \psi_{aq}$$

Trước hết xét từ thông của cuộn kích thích, tại thời điểm $t = 0$. Do xuất hiện đột biến từ thông phản ứng phần ứng dọc trục $\Delta\psi_{ad}$ dòng điện trong cuộn dây kích từ vẫn phải tăng đột biến để bảo toàn từ thông tổng móc vòng $\psi_{f\Sigma}$. Tuy nhiên, trong trường hợp này sự có mặt của ψ_{1d} (từ thông của cuộn cản dọc trục) làm cho ΔI_f xuất hiện nhỏ hơn. Ta có :

$$\Delta\psi_{f\Sigma} = 0 = \Delta\psi_d + \Delta\psi_{\sigma f} + \Delta\psi_{1d} - \Delta\psi_{ad}$$

$$\Delta\psi_{1d\Sigma} = 0 = \Delta\psi_{1d} + \Delta\psi_{\sigma 1d} + \Delta\psi_d - \Delta\psi_{ad}$$

Chuyển về biểu thức dòng điện :

$$\Delta I_f (X_{ad} + X_{\sigma f}) + \Delta I_{1d} X_{ad} - \Delta I_d X_{ad} = 0$$

$$\Delta I_{1d} (X_{ad} + X_{\sigma 1d}) + \Delta I_f X_{ad} - \Delta I_d X_{ad} = 0$$

Kết hợp 2 phương trình có thể tìm được quan hệ :

$$\Delta I_f X_{\sigma f} = \Delta I_{1d} X_{\sigma 1d} \quad (4-7)$$

Nghĩa là độ tăng dòng điện trong các cuộn dây tỉ lệ nghịch với điện kháng tản của nó. Kết hợp với 1 trong 2 phương trình trên ta tính được ΔI_f và ΔI_{1d} (khi cho ΔI_d).

Tuy nhiên, cũng như trường hợp máy phát không cuộn cảm ta không quan tâm xác định ΔE_q (tỉ lệ với ΔI_d) vì rất phức tạp, mà cũng sử dụng khái niệm sđđ mới, trong trường hợp này gọi là sđđ siêu quá độ E''_q . Ký hiệu mới ở đây chỉ có ý nghĩa phân biệt để kể đến ảnh hưởng của cuộn cảm. Thực ra do ảnh hưởng của cuộn cảm, E''_q chỉ khác E'_q ở giai đoạn ngắn ban đầu. Dòng điện trong cuộn cảm tắt rất nhanh nên giai đoạn sau E''_q và E'_q không còn sai khác.

Sức điện động siêu quá độ E''_q cũng được định nghĩa do thành phần có ích của từ thông tổng móc vòng qua cuộn dây kích từ sinh ra:

$$\psi''_d = (1 - \sigma_f) \psi_{f\Sigma} = E''_q$$

Dựa vào biểu thức $\psi_{f\Sigma}$ và quan hệ (4-7) ta cũng suy ra được biểu thức của E''_q theo cách tương tự như với E'_q :

$$E''_q = U_q + I_d X''_d \quad (4-8)$$

Trong trường hợp này :

$$X''_d = X_\sigma + \frac{1}{\frac{1}{X_{ad}} + \frac{1}{X_{\sigma f}} + \frac{1}{X_{\sigma ld}}}$$

X''_q được gọi là điện kháng siêu quá độ dọc trục.

Xét theo hướng ngang trục, ta có từ thông tổng móc vòng qua cuộn cảm :

$$\psi_{lq\Sigma} = \psi_{lq} + \psi_{\sigma lq} + \psi_{aq}$$

Thành phần có ích (móc vòng được sang cuộn dây phản ứng ngang trục) cũng xác định theo công thức:

$$\psi''_q = (1 - \sigma_{lq}) \psi_{lq\Sigma} = E''_d \quad (4-9)$$

Trong đó, hệ số tản của cuộn cảm ngang trục :

$$\sigma_{lq} = \frac{X_{\sigma lq}}{X_{aq} + X_{\sigma lq}}$$

Thay biểu thức của $\psi_{lq\Sigma}$ và σ_{lq} vào (4-9), thực hiện biến đổi ta nhận được biểu thức của sđđ siêu quá độ ngang trục :

$$E''_d = U_d - I_q X''_q \quad (4-10)$$

Trong đó :

$$X''_q = X_\sigma + \frac{1}{\frac{1}{X_{aq}} + \frac{1}{X_{\sigma lq}}}$$

Điện kháng X''_q được gọi là điện kháng siêu quá độ ngang trục.

Tóm lại, trong trường hợp máy phát điện có cuộn cảm ta cũng tìm được 2 phương trình (4-8) và (4-10) thể hiện quan hệ giữa sức điện động và điện áp máy phát. Vì các sđđ siêu quá độ E''_d và E''_q đều không đột biến tại $t = 0$, do đó nó đúng cho cả chế độ trước khi xảy ra ngắn mạch. Nói riêng các quan hệ này cho phép xác định được trị số của E''_d và E''_q tại thời điểm $t = 0$ theo thông số của máy phát trước khi xảy ra sự cố (CĐXL).

Để thuận tiện người ta cũng hay sử dụng đồ thị véc tơ. Hình 4.9 vẽ đồ thị véc tơ cho chế độ trước khi xảy ra ngắn mạch trong đó có mặt của sđđ E''_d và E''_q . Ở chế độ sau khi xảy ra ngắn mạch E''_d và E''_q không thay đổi về trị số, các đại lượng khác (dòng, áp) đều bị thay đổi.

Người ta cũng định nghĩa sđđ quá độ toàn phần $E'' = \sqrt{E''_q{}^2 + E''_d{}^2}$ (xem hình vẽ). Do $X''_d \neq X''_q$ nên mút của véc tơ E'' không nằm trên đường thẳng ứng với điện áp rơi jIX_q hay jIX_d (cộng vào với vectơ điện áp).

Cách xác định E''_q và E''_d cụ thể như sau.

Trước hết xác định góc ξ tương tự như máy phát không cuộn cảm :

$$\operatorname{tg} \xi = \frac{U \sin \varphi + IX_q}{U \cos \varphi}; \quad \text{suy ra trị số } \xi$$

Xác định góc lệch : $\delta = \xi - \varphi$ theo góc ξ và φ đã biết.

Từ đó có :

$$\begin{aligned} U_q &= U \cos \delta & ; & & U_d &= U \sin \delta \\ I_d &= I \sin \xi & ; & & I_q &= I \cos \xi \end{aligned}$$

Thay vào biểu thức tính các thành phần của sđđ :

$$\begin{aligned} E''_q &= U_q + I_d X''_d \\ E''_d &= U_d - I_q X''_q \end{aligned}$$

Tuy được tính theo các thông số chế độ của máy phát trước khi sự cố nhưng các trị số trên được hiểu là giá trị đầu của sđđ sau khi xảy ra ngắn mạch bởi sđđ quá độ không có đột biến.

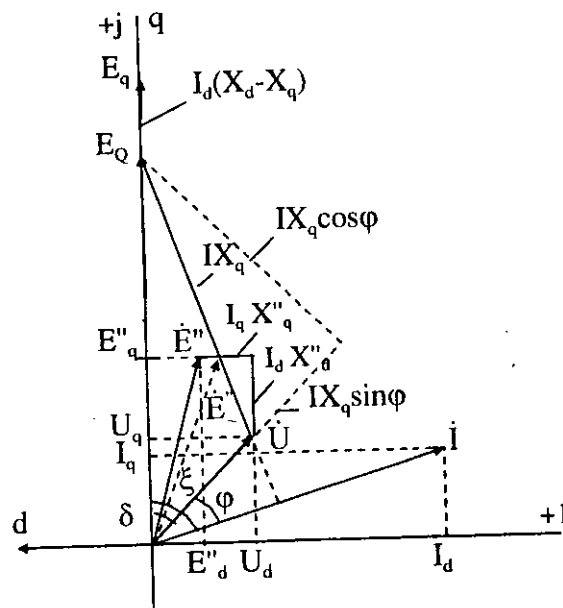
Trong trường hợp máy phát điện cực ẩn ta có $X''_d = X''_q$. Lúc đó mút của véc tơ E'' nằm trên đường thẳng vuông góc với véc tơ dòng điện I , với :

$$\dot{E}'' = \dot{U} + jI X''_d \quad (4-11)$$

Do đó có thể tính :

$$E'' = \sqrt{(U \cos \varphi)^2 + (U \sin \varphi + IX''_d)^2}$$

Ở đây $U, I \cos \varphi$ là trị số điện áp, dòng điện và hệ số công suất của máy phát ở chế độ trước khi xảy ra ngắn mạch.



Hình 4.9

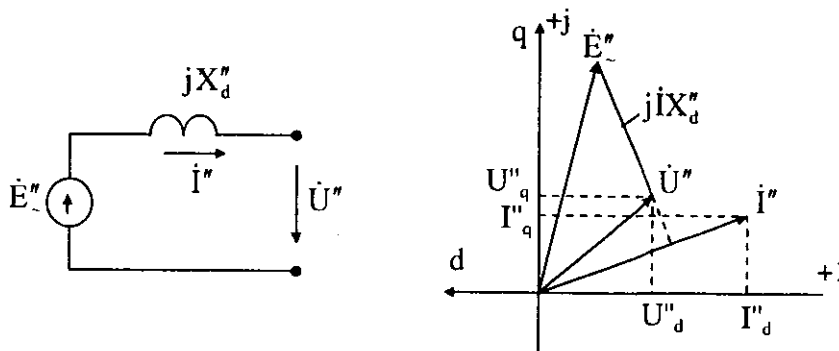
Đối với máy phát điện cực lõi thì $X''_d \neq X''_q$. Tuy nhiên sự sai khác cũng không lớn. Hơn nữa $X''_d < X''_q$ nên người ta thường coi gần đúng $X''_q = X''_d$ (lấy nhỏ đi).

Khi đó ta cũng xác định được :

$$E'' = \sqrt{(U \cos \varphi)^2 + (U \sin \varphi + I X''_d)^2}$$

Véc tơ E'' có thể hiện trên hình 4.9 (véc tơ nét đứt).

Một điểm đáng chú ý khác là khi đã coi $X''_d = X''_q$ thì máy phát điện còn có thể được mô tả bằng sơ đồ mạch duy nhất với các đại lượng phức (hình 4.10).



Hình 4.10

Ở đây, theo cách chọn lại chiều dương dòng điện phần ứng (gây ra từ thông ngược chiều với các trục d,q) biểu diễn phức của các đại lượng sẽ như sau:

$$\dot{E}'' = E''_d + j E''_q$$

$$\dot{U}'' = U''_d + j U''_q$$

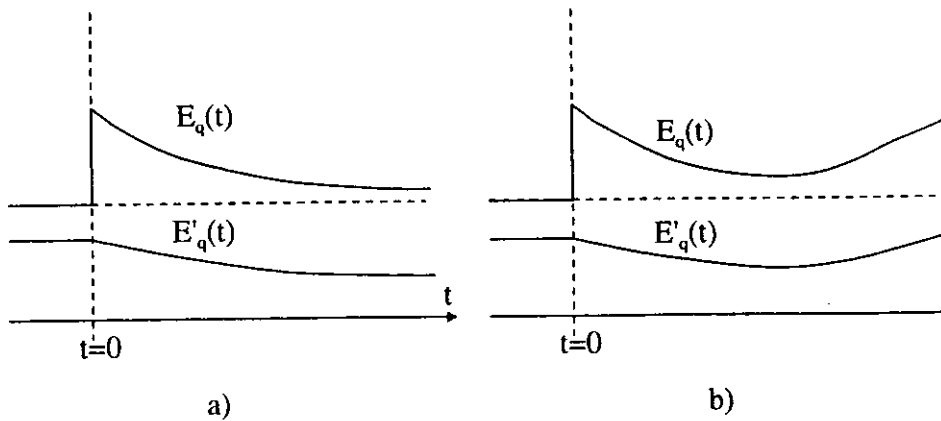
$$\dot{I}'' = I''_d + j I''_q$$

Để kiểm tra được sự tương đương của (4-11) với các quan hệ (4-8) và (4-10) khi coi gần đúng $X''_q = X''_d$.

4.5 SỰ BIẾN THIÊN CỦA SỨC ĐIỆN ĐỘNG VÀ ĐIỆN KHÁNG MÁY PHÁT TRONG THỜI GIAN QUÁ ĐỘ SAU NGẮN MẠCH

1. Sự biến thiên của sức điện động

Để đơn giản ta xét sự biến thiên của $E'_q(t)$ trong trường hợp không có tự động điều chỉnh kích từ. Ở giai đoạn đầu, sự xuất hiện của thành phần dòng điện tự do trong cuộn dây kích từ làm từ thông ψ_d tăng đột biến (một lượng $\Delta\psi_d$) nhằm cân bằng với độ tăng phản ứng phần ứng (ngược chiều với ψ_d). Từ thông móc vòng tổng $\psi_{f\Sigma}$ giữ được không đổi tại $t = 0$. Tuy nhiên do tổn hao trong cuộn dây kích thích ($r_f \neq 0$) nên thành phần tự do giảm dần, trong khi dòng phần ứng vẫn lớn (phản ứng phần ứng khử từ lớn). Kết quả là ở cuối quá trình quá độ từ thông tổng $\psi_{f\Sigma}$ giảm trị số. Sức điện động E'_q tỉ lệ với từ thông này nên cũng giảm (Hình 4.10,a). Nếu xét sdd E_q (tỉ lệ với ψ_d) thì tại $t = 0$ nhảy vọt sau đó giảm về trị số ban đầu do dòng điện kích từ vẫn giữ nguyên (không có TĐK).



Hình 4.10

Khi có TĐK tác động, dòng kích từ cưỡng bức tăng lên, cuối quá trình quá độ E_q tăng, E'_q cũng tăng theo (hình 4.10,b). Khi máy phát có cuộn cảm hiện tượng diễn biến cũng tương tự. Về trị số E'_q và E''_q chỉ có sai khác nhỏ ở giai đoạn đầu.

2. Sự thay đổi của điện kháng quá độ.

Trước hết cần nhắc lại rằng điện kháng của cuộn dây tỉ lệ với độ dẫn từ của mạch từ mà từ thông do dòng điện cuộn dây sinh ra phải đi qua. Do đó khi từ thông đi qua 2 mạch dẫn từ song song (qua lõi thép và qua mạch tản ra không khí) thì điện kháng chung bằng tổng 2 điện kháng. Ví dụ, điện kháng của cuộn dây phản ứng dọc trục trong chế độ xác lập:

$$X_d = X_{ad} + X_\sigma$$

X_{ad} đặc trưng cho độ dẫn từ mạch từ đi qua lõi thép;

X_σ đặc trưng cho độ dẫn từ mạch tản ra không khí .

Ta hãy theo dõi mạch từ của dòng điện I_d (và của I'_d trong CDQĐ). Trong CĐXL dòng I_d (chạy trong cuộn dọc trục) sinh ra từ thông $\psi_{sd} = I_d X_d$. Đường đi của từ thông này gồm 2 mạch khép kín : vòng qua roto tương ứng với X_{ad} và vòng ra ngoài không khí (từ thông tản) với X_σ . Vì thế :

$$X_d = X_{ad} + X_\sigma \quad (2 \text{ mạch song song})$$

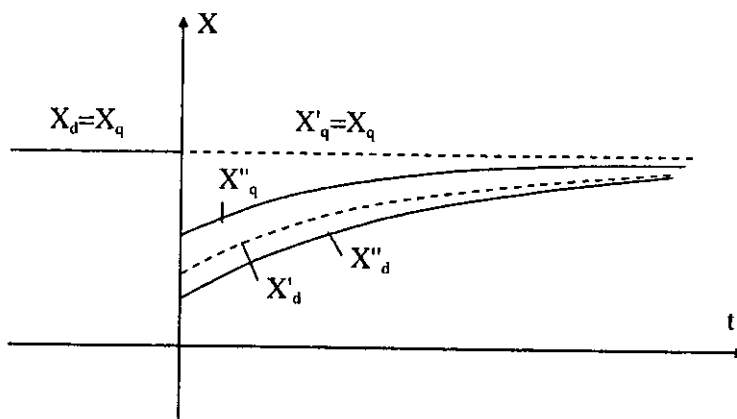
Ở chế độ quá độ dòng I''_d (chạy cũng trong cuộn dọc trục) sinh ra từ thông:

$$\psi'_{sd} = I''_d X'_d \quad (\text{ký hiệu trong chế độ quá độ})$$

Mạch từ của ψ'_{sd} bị thay đổi mạnh ở thời điểm $t=0$. Ngoài thành phần từ thông tản vẫn như cũ (tương ứng với X_σ), thành phần móc vòng vào roto bị chia làm 2:

phần từ thông ban đầu của ψ_{ad} đi theo đường cũ (ứng với X_{ad}) còn phần tăng thêm $\Delta\psi_{ad}$ đi ra ngoài không khí cạnh cuộn kích từ (ứng với $X_{\sigma r}$). Nguyên nhân là do từ thông trong lòng cuộn dây không thể tăng thêm. Như vậy độ dẫn từ chung mạch vòng ψ'_{sd} giảm đi và X'_d giảm so với X_d . Biểu thức (4-4,a) của X'_d thể hiện rõ cấu trúc mạch từ nói trên.

Ở thời điểm đầu có thể coi phần từ thông $\Delta\psi_{ad}$ đi ra ngoài không khí hoàn toàn, tương ứng với X'_d nhỏ nhất. Cuối quá trình quá độ mạch từ của Ψ_{ad} lại đi hoàn toàn vào lòng cuộn dây roto, do đó $X'_d \rightarrow X_d$ (hình 4.11).



Hình 4.11

Khi có cuộn cản dọc trục, từ trở của mạch từ còn có thể coi tăng lên nhiều hơn (do bị đẩy ra ngoài không khí mạnh hơn), từ trở tăng nên $X''_d < X'_d$. Sự biến thiên của X''_d cũng tương tự và $X''_d \rightarrow X_d$ ở cuối QTQĐ.

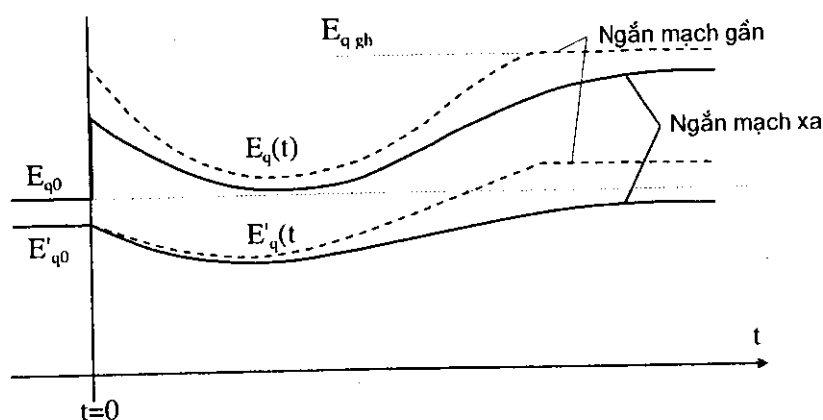
Đối với điện kháng phía ngang trục, khi không có cuộn cản $X'_q = X_q = \text{const}$ vì mạch từ không có cuộn dây nào khép kín. Khi có cuộn cản ngang trục, từ trở mạch từ quá độ cũng tăng lên do cuộn cản khép kín đẩy từ thông ngang trục ra ngoài không khí, nên $X''_q < X_q$. Tuy nhiên do phía ngang trục chỉ có duy nhất cuộn cản, chỉ ảnh hưởng ít đến từ trở quá độ mạch từ, vì thế $X''_q > X''_d$.

Trên hình 4.11 biểu thị sự biến thiên điện kháng siêu quá độ dọc trục và ngang trục của máy phát điện cực ẩn. Khi không có cuộn cản các điện kháng quá độ biến thiên theo đường chấm chấm.

3. Ảnh hưởng của vị trí ngắn mạch

Sự biến thiên của sdd và điện kháng máy phát như vừa nêu có mức độ rất khác nhau phụ thuộc vào khoảng cách từ máy phát đến điểm ngắn mạch. Khi ngắn mạch gần, dòng điện ngắn mạch chạy trong các cuộn dây stato máy phát tăng nhiều, phản ứng phân ứng ảnh hưởng mạnh hơn đến từ thông của cuộn dây roto, dòng điện kích từ nhảy vọt nhiều, tăng cao ở thời điểm đầu kéo theo sự biến thiên nhiều của sdd. Mặt

khác, khi ngắn mạch gần, điện áp đầu cực máy phát giảm xuống rất thấp, bộ phận kích thích cường hành của TĐK tác động mạnh hơn, tăng cao dòng điện kích từ. Vì thế các sđđ có trị số lớn hơn ở giai đoạn cuối. Khi ngắn mạch gần dòng kích từ máy phát có thể tăng đến trị số giới hạn, như đã xét trong chương 3. Khi ngắn mạch xa, mức độ ảnh hưởng của phản ứng phần ứng và tác động của TĐK ít hơn - sđđ và điện kháng không thay đổi nhiều.



Hình 4.12

Hình 4.12 minh họa các dạng biên thiên khác nhau của sđđ máy phát tùy theo vị trí của điểm ngắn mạch. Để thấy rằng, khi các điểm ngắn mạch tương đối xa nguồn, có thể tính toán dòng điện ngắn mạch như với nguồn áp không đổi.

Những điểm cần ghi nhớ trong chương bốn

1. Sự xuất hiện thành phần tự do trong dòng điện kích từ đã làm cho biên độ của sđđ đồng bộ E_q do từ thông kích từ sinh ra có diễn biến nhảy vọt tại $t = 0$, rất khó xác định trong tính toán ngắn mạch. Để mô hình máy phát điện, phân tích quá trình quá độ và tính toán ngắn mạch người ta sử dụng khái niệm sđđ quá độ E'_q và E''_q . Các sđđ này có biên độ không thay đổi đột biến tại $t = 0$ do được sinh ra bởi từ thông tổng móc vòng qua các cuộn điện cảm khép kín qua điện trở bé.
2. Quan hệ giữa các sđđ quá độ E'_q và E''_q với các đại lượng dòng, áp, hệ số công suất máy phát đã cho phép xác định được trị số của chúng tại $t = 0$, theo chế độ làm việc của máy phát trước sự cố. Nhờ đó có thể mô hình máy phát và tính

toán dòng điện ngắn mạch tại thời điểm đầu. Khi sử dụng khái niệm sốđ quá độ E'_q và E''_q điện kháng của máy phát cũng thể hiện bằng trị số mới: các điện kháng quá độ dọc trục và ngang trục: X'_d, X'_q và X''_d, X''_q . Chúng cũng hoàn toàn xác định bởi cấu trúc máy phát.

3. Có sự khác nhau về trị số sốđ và điện kháng quá độ giữa máy phát điện cực ẩn và máy phát điện cực lộ, dẫn đến những cách mô hình mạch khác nhau cho máy phát trong chế độ quá độ và tính toán ngắn mạch. Khi coi gần đúng $X'_q \approx X'_d$ hoặc $X''_q \approx X''_d$ thì mô hình máy phát là đồng nhất và có sơ đồ mạch phức số tương đương.

Chương 5

TÍNH TOÁN DÒNG ĐIỆN NGẮN MẠCH QUÁ ĐỘ

5.1 CÁC TRƯỜNG HỢP TÍNH TOÁN

Trước hết cần nhắc lại rằng các phương pháp tính toán dòng điện ngắn mạch 3 pha quá độ trong chương này thuộc về các phương pháp thực dụng, chủ yếu là xác định biên độ (hay trị số hiệu dụng) của dòng điện ngắn mạch chu kỳ. Thành phần tự do, như đã biết (chương 1) xuất hiện mang đặc trưng ngẫu nhiên, trị số phụ thuộc vào nhiều yếu tố bất định: thời điểm xảy ra ngắn mạch, góc lệch pha của dòng điện phụ tải, chế độ làm việc hệ thống trước khi xảy ra ngắn mạch ... Vì vậy thành phần tự do được xác định riêng theo tình huống điển hình nguy hiểm nhất. Thành phần chu kỳ của dòng điện ngắn mạch, ngược lại, hoàn toàn xác định bởi trạng thái mạch sau sự cố và sức điện động máy phát. Vì thế có thể xác định tương đối chính xác. Tuy nhiên cần mô tả đúng các thông số của máy phát điện (sdd và điện kháng quá độ) trong quá trình quá độ. Có các trường hợp khác nhau cần phân biệt khi mô tả thông số máy phát bởi chúng liên quan chặt chẽ với phương pháp tính:

- Máy phát điện cực ẩn có cuộn cản;
- Máy phát điện cực lõi có cuộn cản;
- Máy phát điện cực ẩn không cuộn cản;
- Máy phát điện cực lõi không cuộn cản

Bảng 5-1 thể hiện các đặc trưng của 4 loại máy phát kể trên

Bảng 5-1

Phân loại	Roto	Cuộn cản	Sdd quá độ	Điện kháng
1	Cực ẩn	có	$E''_q \neq 0$ $E''_d \neq 0$	$X''_d \approx X''_q$ $X_d = X_q$
2	Cực lõi	có	$E''_q \neq 0$ $E''_d \neq 0$	$X''_d < X''_q$ $X_d \neq X_q$
3	Cực ẩn	không	$E'_q \neq 0$ $E'_d = 0$	$X'_d < X'_q = X_q$ $X_d = X_q$
4	Cực lõi	không	$E'_q \neq 0$ $E'_d = 0$	$X'_d < X'_q = X_q$ $X_d \neq X_q$

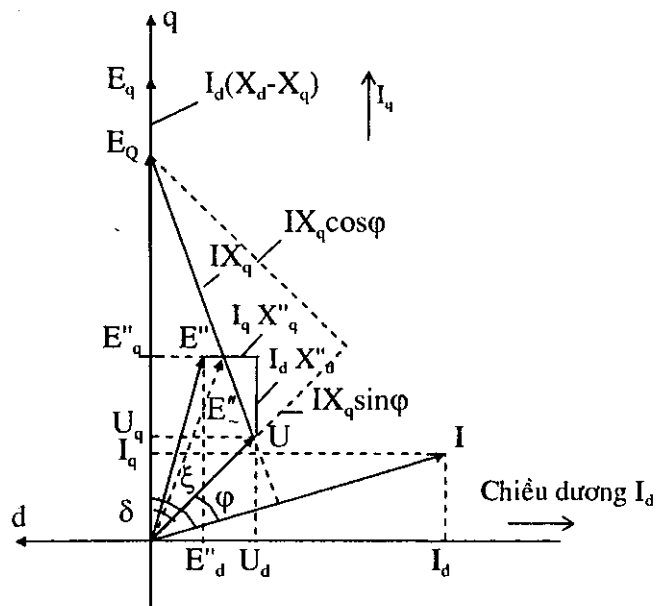
Về phương diện phương pháp tính, có thể chia ra 2 trường hợp: tính gần đúng theo dòng điện tổng hợp và tính chính xác theo dòng điện thành phần (dọc trục và ngang trục). Lựa chọn trường hợp nào trong ứng dụng là tùy thuộc yêu cầu về độ chính xác và điều kiện thực hiện tính toán. Nói chung, với các loại máy phát điện có điện kháng $X''_d \approx X''_q$ hoặc $X'_q \approx X'_d$ (xem bảng) thì có thể áp dụng trường hợp đầu (tính dòng điện tổng hợp), phương pháp tính toán sẽ đơn giản hơn so với cách tính chính xác theo dòng điện thành phần.

5.2 TÍNH TRỊ SỐ BAN ĐẦU CỦA DÒNG ĐIỆN NGẮN MẠCH CHU KỲ

1. Tính toán dòng điện ngắn mạch theo các thành phần dọc trục và ngang trục (tính chính xác)

Trị số ban đầu của dòng điện ngắn mạch chịu ảnh hưởng nhiều bởi tác động của cuộn cảm. Vì thế cần phân biệt hai loại máy có và không có cuộn cảm. Các máy phát thủy điện công suất lớn nói chung đều đặt cuộn cảm, trừ một số ít máy công suất nhỏ. Máy phát tuabin hơi của các nhà máy nhiệt điện có roto hình trụ tròn, cực ẩn, tuy không đặt cuộn cảm nhưng hiệu ứng bề mặt của lõi thép lại giống như có cuộn cảm: do bản thân lõi thép dẫn điện tốt tự xuất hiện dòng điện xoáy khép kín trên mặt cực từ, tác dụng giống như cuộn cảm. Chính vì thế các máy phát tua bin hơi luôn được coi là có cuộn cảm. Với máy phát không có cuộn cảm, trị hiệu dụng của thành phần chu kỳ tại thời điểm $t = 0$ được gọi là dòng điện ngắn mạch quá độ ban đầu $I''(0)$. Khi có cuộn cảm - gọi là dòng điện ngắn mạch siêu quá độ ban đầu $I''(0)$. Để đơn giản cách viết trong mục này ta bỏ qua các ký hiệu thời gian (0) khi viết các đại lượng (dòng điện, điện áp và sdd).

Ta xét bắt đầu từ trường hợp chung nhất - máy phát điện cực lõi có cuộn cảm. Đồ thị véc tơ thể hiện trạng thái của máy phát tại $t = +0$ được vẽ trên hình 5-1. Để tính được dòng điện ngắn mạch bước đầu tiên cần xác định trị số của các sdd E''_q và E''_d tại $t = 0$. Các đại lượng này như đã biết (chương 4) không nhảy vọt tại thời điểm $t = 0$, do đó có thể xác định theo thông số máy phát ở thời điểm trước khi xảy ra sự cố.



Hình 5.1

Từ đồ thị véc tơ ta có :

$$\operatorname{tg} \xi = \frac{U \sin \varphi + I X_q}{U \cos \varphi}$$

Từ đó ta tính được góc ξ , suy ra góc lệch: $\delta = \xi - \varphi$. Với các góc δ và ξ đã biết có thể xác định ngay:

$$U_q = U \cos \delta \quad ; \quad U_d = U \sin \delta \quad ;$$

$$I_q = I \cos \xi \quad ; \quad I_d = I \sin \xi \quad ;$$

Thay vào các công thức sẽ tính được E''_q và E''_d tại $t = -0$:

$$\left. \begin{aligned} E''_q &= U_q + I_d X''_d \\ E''_d &= U_d - I_q X''_q \end{aligned} \right\}$$

Các trị số sdd này được áp dụng cho mạch điện sau sự cố (tại $t = +0$).

Để minh họa phương pháp ta xét sơ đồ đơn giản nhất, máy phát nối với điểm ngắn mạch qua tổng trở $Z_{ng} = R_{ng} + j X_{ng}$.

Sau khi xảy ra ngắn mạch, phía bên trong máy phát ta vẫn có quan hệ:

$$\left. \begin{aligned} E''_q &= U''_q + I''_d X''_d \\ E''_d &= U''_d - I''_q X''_q \end{aligned} \right\} \quad (5-1)$$

Phía mạch ngoài ta có:

$$\left. \begin{aligned} U''_q &= I''_q R + I''_d X \\ U''_d &= I''_d R - I''_q X \end{aligned} \right\} \quad (5-2)$$

Ở đây, các định luật Kirchoff I và II thực chất là cân bằng dòng và áp theo các trục ngang và trục dọc. Chú ý rằng điện áp rơi trên điện trở cùng trục với dòng điện (cùng pha), điện áp rơi trên điện cảm vượt trước pha so với dòng điện là 90° , do đó I_d (có chiều dương ngược chiều với trục d) tạo ra điện áp rơi cùng chiều trục q, còn I_q tạo ra điện áp rơi cùng chiều với trục d (ngược với chiều dương U_d), thể hiện qua dấu trong biểu thức (5.2).

Các phương trình thuộc (5-1) và (5-2) tạo thành hệ đủ để giải mạch.

Giải ra ta có:

$$\left. \begin{aligned} I''_d &= \frac{E''_d R_{ng} + E''_q (X''_q + X_{ng})}{R_{ng}^2 + (X''_d + X_{ng})(X''_q + X_{ng})} \\ I''_q &= \frac{E''_q R_{ng} - E''_d (X''_d + X_{ng})}{R_{ng}^2 + (X''_d + X_{ng})(X''_q + X_{ng})} \end{aligned} \right\} \quad (5-3)$$

Cuối cùng tính được dòng điện tổng hợp:

$$I'' = \sqrt{I_q''^2 + I_d''^2}$$

$$= \frac{\sqrt{E_d''^2 [R_{ng}^2 + (X_d'' + X_{ng})^2] + E_q''^2 [R_{ng}^2 + (X_q'' + X_{ng})^2]}}{R_{ng}^2 + (X_d'' + X_{ng})(X_q'' + X_{ng})}$$

Đây cũng chính là trị số hiệu dụng ban đầu của dòng điện ngắn mạch chu kỳ (dòng điện ngắn mạch siêu quá độ).

Hãy xét các trường hợp riêng.

a) Khi coi gần đúng $X_q'' = X_d''$

Từ biểu thức của dòng điện ngắn mạch tổng hợp ta thay $X_q'' \approx X_d''$ sẽ nhận được :

$$I'' \approx \frac{\sqrt{E_d''^2 + E_q''^2}}{\sqrt{R_{ng}^2 + (X_d'' + X_{ng})^2}} = \frac{E''}{\sqrt{R_{ng}^2 + (X_d'' + X_{ng})^2}}$$

Nghĩa là có thể tính ngay theo trị số sdd tổng hợp E'' và tổng trở đẳng trị toàn mạch.

b. Máy phát không cuộn cảm :

Ta có thể trực tiếp suy ra công thức tính dòng điện quá độ I_d' , I_q' bằng cách thay đổi các ký hiệu E_q'' , E_d'' , X_d'' , X_q'' thành E_q' , E_d' , X_d' , X_q' với chú ý thêm là $E_d' = 0$ còn $X_q' = X_q$. Ta có :

$$I_d' = \frac{E_q' (X_q + X_{ng})}{R_{ng}^2 + (X_d' + X_{ng})(X_q + X_{ng})}$$

$$I_q' = \frac{E_q' R_{ng}}{R_{ng}^2 + (X_d' + X_{ng})(X_q + X_{ng})}$$

$$I' = \sqrt{I_d'^2 + I_q'^2}$$

$$= \frac{E_q' \sqrt{R_{ng}^2 + (X_q + X_{ng})^2}}{R_{ng}^2 + (X_d' + X_{ng})(X_q + X_{ng})}$$

Nếu cũng coi xấp xỉ $X_q' = X_d'$ ta nhận được:

$$I' = \frac{E''}{\sqrt{R_{ng}^2 + (X_d' + X_{ng})^2}}$$

c. Bỏ qua điện trở mạch ngoài

Thay $R_{ng} = 0$ vào các biểu thức ta có :

$$I_d'' = \frac{E_q''}{X_d'' + X_{ng}} ; \quad I_q'' = \frac{E_d''}{X_q'' + X_{ng}} \quad (5-4)$$

Với máy phát không cuộn cảm mà $R_{ng} = 0$, ta có :

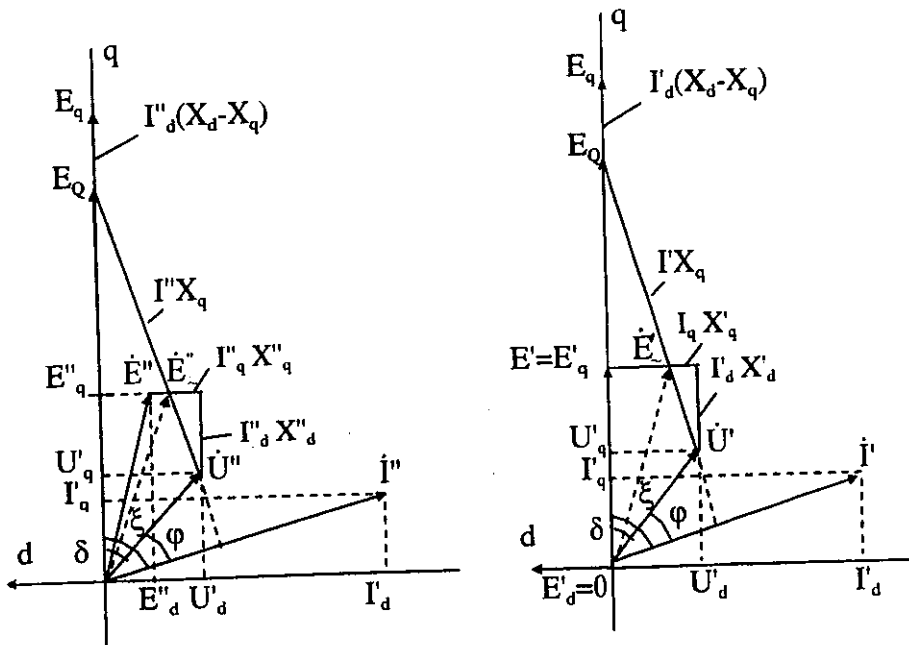
$$I_d' = \frac{E_q'}{X_d' + X_{ng}} ; \quad I_q' = 0 \quad (5-5)$$

Như vậy:
$$I' = I_d' = \frac{E_q'}{X_d' + X_{ng}}$$

không phụ thuộc vào sự sai khác giữa X_d' và $X_q' = X_q$.

Về nguyên tắc phương pháp chính xác vừa nêu có thể để áp dụng tính trị số ban đầu của thành phần dòng điện ngắn mạch chu kỳ đối với sơ đồ hệ thống phức tạp (cần thiết lập hệ phương trình mạch ngoài theo từng trục). Tuy nhiên, các ứng dụng thực tế cho thiết kế vận hành HTĐ ít khi yêu cầu áp dụng phương pháp tính chính xác như trên. Các lý do chủ yếu là :

- Đa số các ứng dụng không yêu cầu độ chính xác thật cao.
- Nếu coi $X_q'' = X_d''$ và $X_q' = X_d'$ sai số mắc phải đủ nhỏ. Đó là vì sự sai khác giữa E'' và E''_q cũng như giữa E_q' và E'_d không nhiều, nhất là xét về biên độ. Điều này rất dễ giải thích được khi trong trạng thái ngắn mạch giữa I và E lệch nhau gần 90° (điện trở mạch ngoài bé). Hình 5-2 thể hiện các sdd gần đúng trong 2 trường hợp : máy phát có và không có cuộn cảm.



Hình 5.2

2 - Tính gần đúng dòng điện ngắn mạch theo các đại lượng tổng hợp

Các bước thực hiện như sau :

a- Xác định trị số hiệu dụng (gần đúng) của các sức điện động máy phát

Theo các công thức đã đưa ra trong chương 4, ta có :

$$\begin{aligned} E_{\Sigma}'' &= \sqrt{(U \cos \varphi)^2 + (U \sin \varphi + IX_d'')^2} \\ E_{\Sigma}' &= \sqrt{(U \cos \varphi)^2 + (U \sin \varphi + IX_d')^2} \end{aligned} \quad (5-6)$$

trong đó U, I, $\cos \varphi$ là điện áp, dòng điện và hệ số công suất ở đầu cực máy phát trong chế độ xác lập trước khi xảy ra ngắn mạch.

Đối với hệ thống điện phức tạp, để tính toán dòng, áp phân bố (trong đó có dòng điện và điện áp đầu cực các máy phát) tương ứng với một chế độ xác lập nào đó, hiện nay thường sử dụng các chương trình tính toán trên máy tính. Khi đó điện áp đầu cực máy phát còn được xác định cả về góc lệch pha. Ví dụ, điện áp đầu cực máy phát thứ i nào đó:

$$\dot{U}_i = U_i \angle \theta$$

Khi đó sau khi tính biên độ (hay hiệu dụng) của sdd cho máy phát này, có thể xác định được góc pha:

$$\begin{aligned} \psi_E &= \theta + \delta \\ &= \xi - \varphi + \theta \end{aligned}$$

Trong đó góc ξ xác định từ biểu thức: (xem đồ thị véc tơ) :

$$\operatorname{tg} \xi = \frac{U \sin \varphi + IX_q}{U \cos \varphi}$$

Gần đúng, người ta còn coi góc pha của các sdd xấp xỉ bằng nhau và bằng 0. Sai số mắc phải cũng không lớn. Ngoài ra, khi thiếu số liệu về trạng thái làm việc của máy phát trước khi xảy ra ngắn mạch, có thể lấy $I = I_{dm}$, $U = U_{dm}$ và $\cos \varphi = \cos \varphi_{dm} = 0,8$ để tính toán. Khi đó trong hệ đơn vị tương đối định mức của mỗi máy phát ta có:

$$\begin{aligned} E_{\Sigma}'' &= \sqrt{(\cos \varphi)^2 + (\sin \varphi + X_d'')^2} \\ E_{\Sigma}' &= \sqrt{(\cos \varphi)^2 + (\sin \varphi + X_d')^2} \end{aligned} \quad (5-6,a)$$

b. Thiết lập sơ đồ tính toán của HTĐ tại thời điểm $t = 0$ sau khi xảy ra ngắn mạch

Do coi tần số hệ thống không thay đổi (kể cả suốt thời gian xảy ra ngắn mạch) nên sơ đồ phân lưới điện không có gì thay đổi so với khi tính toán chế độ xác lập (xem chương 2).

Riêng máy phát điện được thay thế bởi sơ đồ mạch gần đúng như nêu trên. Với máy phát có cuộn cảm, sơ đồ bao gồm sdd siêu quá độ $\dot{E}_{\Sigma}'' = E_{\Sigma}'' \angle \psi_E$ nối tiếp

với điện kháng siêu quá độ X''_d . Khi máy phát không cuộn cảm, cần thay thế bằng E'_d và X'_d .

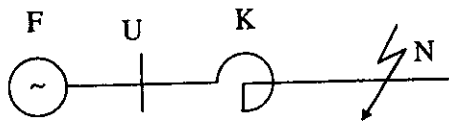
Phụ tải tại thời điểm đầu của QTQĐ được thay thế trong sơ đồ theo những cách khác nhau phụ thuộc vào tính chất phụ tải và vị trí của điểm ngắn mạch.

- Phụ tải là các động cơ lớn nằm gần điểm ngắn mạch cần thay thế bằng sđđ siêu quá độ E''_d và điện kháng siêu quá độ X''_d (của bản thân động cơ).
- Phụ tải tổng hợp ở xa điểm ngắn mạch có thể xét đến như đối với ngắn mạch duy trì (thay bằng tổng trở cố định).
- Bỏ qua (không đưa vào sơ đồ) các phụ tải tổng hợp (xem mục 3).

c. *Biến đổi sơ đồ và thực hiện tính toán dòng điện ngắn mạch*

Có thể thực hiện tính toán bằng tay (với sơ đồ tương đối đơn giản) hoặc sử dụng các chương trình máy tính (đối với HTĐ phức tạp).

Ví dụ 5-1. Một máy phát điện đồng bộ có $X''_d = 0,2$; $X''_q = 0,35$; $X_d = 1,00$; $X_q = 0,65$ đang làm việc với dòng điện và điện áp định mức, $\cos \varphi = 0,85$.



Hình 5.3

Hãy xác định trị số ban đầu của dòng điện ngắn mạch chu kỳ $I''(0)$ tại điểm ngắn mạch N sau kháng điện đặt tại đầu đường dây nối đến phụ tải. Biết máy phát có $S_{dm} = 30$ MVA; $U_{dm} = 10,5$ kV. Kháng điện có $U_{dm} = 10,5$ kV, $I_{dm} = 185$ A, $X_K\% = 6$.

Giải. Chọn hệ đơn vị tương đối với $S_{cb} = 30$ MVA, $U_{cb} = 10,5$ kV, khi đó điện

kháng máy phát vẫn có trị số như đã cho. Điện kháng của kháng điện:

$$X_K = \frac{X_K\%}{100} \cdot \frac{U_{dm}}{I_{dm}} \cdot \frac{I_{cb}}{U_{cb}}$$

$$= \frac{6}{100} \cdot \frac{1,65}{0,185} = 0,53$$

Trong đó:
$$I_{cb} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}U_{cb}} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 1,65 \text{ kA}$$

a. *Tính chính xác theo các dòng điện thành phần*

Theo đồ thị vector hình 5-1:

$$\operatorname{tg} \xi = \frac{U \sin \varphi + IX_q}{U \cos \varphi}$$

$$= \frac{1,0,53 + 1,0,65}{1,0,85} = 1,39$$

Từ đó tính được góc: $\xi = 54,3^\circ$.

Biết $\cos \varphi = 0,85$ suy ra $\varphi = 32^\circ$. Như vậy:

$$\delta = \xi - \varphi = 54,3 - 32 = 22,3^\circ.$$

Tiếp theo tính các thành phần của sdd :

$$U_q = U \cos \delta = 1 \cdot \cos 22,3^\circ = 0,93$$

$$U_d = U \sin \delta = 1 \cdot \sin 22,3^\circ = 0,38$$

$$I_q = I \cos \xi = 1 \cdot \cos 54,3^\circ = 0,58$$

$$I_d = I \sin \xi = 1 \cdot \sin 54,3^\circ = 0,81$$

$$E_q'' = U_q + I_d X_d'' = 0,93 + 0,81 \cdot 0,2 = 1,09$$

$$E_d'' = U_d - I_q X_q'' = 0,38 - 0,58 \cdot 0,35 = 0,18$$

Thay E_q'' và E_d'' vào biểu thức (5-4) với chú ý là $X_{ng} = X_K = 0,53$, $R_{ng} = 0$ ta có :

$$I_d'' = \frac{E_q''}{X_d'' + X_K} = \frac{1,09}{0,2 + 0,53} = 1,49$$

$$I_q'' = \frac{E_d''}{X_q'' + X_K} = \frac{0,18}{0,35 + 0,53} = 0,2$$

$$I_N'' = \sqrt{1,49^2 + 0,2^2} = 1,5$$

$$U_N = I_N'' X_K = 1,5 \cdot 0,53 = 0,8$$

b. Tính gần đúng theo E'' .

Áp dụng công thức tính :

$$E'' = \sqrt{(U \cos \varphi)^2 + (U \sin \varphi + I X_d'')^2}$$

$$= \sqrt{(1 \cdot 0,85)^2 + (1 \cdot 0,53 + 1 \cdot 0,2)^2} = 1,12$$

$$I_N'' = \frac{E''}{X_d'' + X_K} = \frac{1,12}{0,2 + 0,53} = 1,53$$

Sai số 2% (lớn lên) so với cách tính chính xác. Như vậy, sai số khi dùng phương pháp gần đúng lấy $X_q'' = X_d''$ là đủ nhỏ, trong khi phép tính đơn giản hơn nhiều. Chính vì thế hiện nay các tính toán thực tế đều áp dụng phương pháp tính gần đúng theo đại lượng tổng hợp. Ngoài ra theo thông số thực tế của các máy phát đã chế tạo ($X_d'' = 0,15 \div 0,25$), nếu trước khi sự cố máy phát làm việc ở chế độ gần định mức ($U = 1,0$; $I = 1,0$), tính theo (5-6,a) ta có trị số $E'' = (1,0 \div 1,2)$. Vì thế, người ta còn lấy gần đúng $E'' = 1,1$ không cần tính toán. Trong ví dụ trên $E'' = 1,12$ cũng xấp xỉ với trị số này. Hơn nữa, thực tế các máy phát làm việc thường non tải, trị số E'' tính được nhỏ hơn một chút, do đó lấy $E'' \approx 1,0$ cũng hợp lý. Khi đó phép tính

trị số ban đầu của dòng điện ngắn mạch chu kỳ chỉ đơn giản như phép lấy nghịch đảo của điện kháng ngắn mạch tổng hợp (coi sđđ của tất cả các máy phát đều bằng 1):

$$I_{*N}^*(0) = \frac{E_{dt}}{X_{*\Sigma}} = \frac{1}{X_{*\Sigma}} \quad (\text{trong hệ đơn vị tương đối})$$

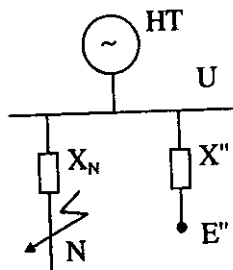
hay :
$$I_N^* = \frac{I_{cb}}{X_{*\Sigma}} \quad (\text{khi dùng hệ đơn vị có tên})$$

3. Ảnh hưởng của phụ tải đến trị số của dòng điện ngắn mạch quá độ

Trong thành phần phụ tải có thể bao gồm các động cơ điện (đồng bộ và không đồng bộ), các thiết bị chiếu sáng, dụng cụ đốt nóng, bình điện phân ... các thiết bị này có ảnh hưởng khác nhau đến trị số của dòng điện ngắn mạch (tại thời điểm ban đầu).

a. Các động cơ đồng bộ :

Về cấu tạo các động cơ điện đồng bộ hoàn toàn giống như máy phát điện đồng bộ. Khi xảy ra ngắn mạch, ở thời điểm đầu $t = 0$ động cơ vẫn tiếp tục quay theo quán tính nên ảnh hưởng của nó giống hệt như máy phát điện đồng bộ. Nghĩa là ta có thể thay thế động cơ điện đồng bộ bằng sđđ siêu quá độ E'' nối tiếp với điện kháng siêu quá độ X'' . Tuy nhiên không phải lúc nào động cơ cũng đóng vai trò nguồn cung cấp dòng điện đến điểm ngắn mạch.



Hình 5.4

- Nếu ngắn mạch ở rất gần thanh cái cung cấp điện cho động cơ (X_N nhỏ) thì sau khi xảy ra ngắn mạch điện áp dư trên thanh cái giảm xuống rất thấp, khi đó $E'' > U$, động cơ sẽ giống như các máy phát cung cấp thêm dòng điện đến điểm ngắn mạch. Trường hợp ngắn mạch ngay trên thanh cái $U = 0$, động cơ sẽ cung cấp nhiều nhất dòng điện vào điểm ngắn mạch, không thể bỏ qua được ảnh hưởng của nó trong tính toán.

- Nếu ngắn mạch tương đối xa thanh cái cung cấp thì điện áp dư $U \approx E''$, nghĩa là điện áp cân bằng với sđđ, động cơ hầu như không phát ra dòng điện cũng

không tiêu thụ. Khi đó có thể bỏ qua động cơ trên sơ đồ tính toán.

- Lúc ngắn mạch ở rất xa, động cơ có $E'' < U$. Động cơ vẫn tiêu thụ dòng điện như một phần tử tải thụ động ở thời điểm đã xảy ra ngắn mạch. Khi đó có thể coi động cơ như tổng trở cố định tính theo công suất tiêu thụ (giống như trong chế độ ngắn mạch duy trì).

b. Động cơ động không đồng bộ

Bình thường động cơ làm việc với hệ số trượt rất bé ($s = 2\% \div 5\%$), do đó về phương diện tính toán dòng điện ngắn mạch ban đầu có thể coi động cơ không đồng bộ giống như động cơ đồng bộ. Hơn nữa, dòng kích từ bằng không, không có

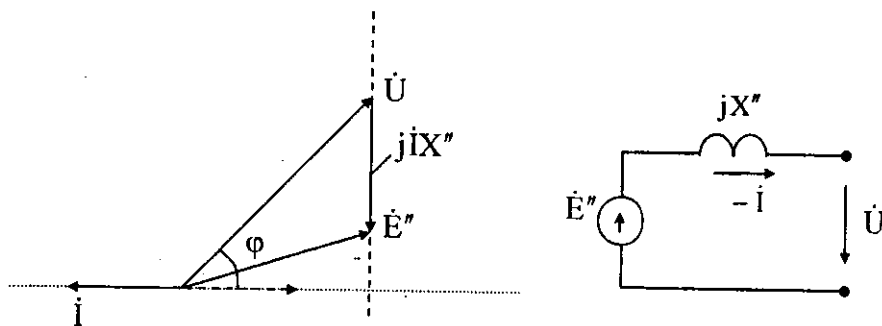
dây quấn kích thích mà chỉ có các dây quấn cản. Dây quấn ro to của động cơ không đồng bộ thường là loại lồng sóc đối xứng theo các trục nên chỉ cần xác định một trị số điện kháng $X'' = X''_d = X''_q$. Thực chất X'' của động cơ không đồng bộ chính là điện kháng ngắn mạch, do đó trị số tương đối của nó có thể tính theo dòng điện mở máy :

$$X'' = X_{*N} = \frac{1}{I_{*mm}} \quad (5-7)$$

Dòng điện mở máy I_{*mm} thường được cho trong lý lịch động cơ bởi nhà chế tạo. Khi biết dòng điện và điện áp làm việc của động cơ trước khi xảy ra ngắn mạch ta tính được sdd :

$$E'' = \sqrt{(U \cos \varphi)^2 + (U \sin \varphi - IX'')^2} \quad (5-8)$$

Ở đây dòng điện mang dấu trừ vì lấy chiều dương như máy phát trong sơ đồ thay thế (hình 5-5).



Hình 5.5

Cũng giống như trong máy phát điện đồng bộ, tại thời điểm đầu, ảnh hưởng của động cơ không đồng bộ đến điểm ngắn mạch rất khác nhau, phụ thuộc vào vị trí của điểm ngắn mạch.

Thực tế, ta chỉ xét riêng các động cơ không đồng bộ (như máy phát) khi động cơ có công suất rất lớn (từ 500 kW trở lên) với ngắn mạch xảy ra ở rất gần thanh cái cung cấp. Đó là vì dòng điện do các động cơ không đồng bộ cung cấp bị giảm rất nhanh và có trị số cũng nhỏ.

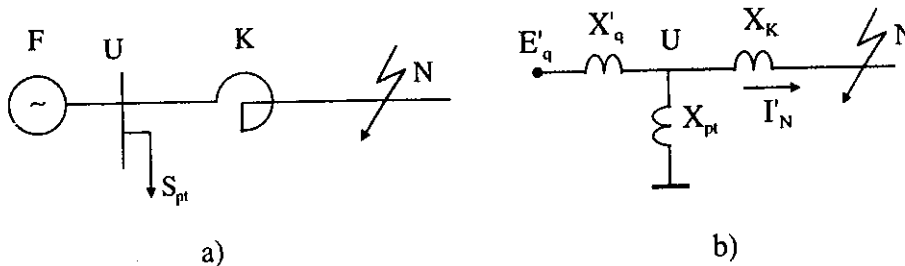
c. Phụ tải tổng hợp

Phụ tải tổng hợp có thể chứa các động cơ (nằm trong thành phần các thiết bị dùng điện). Tuy nhiên, khả năng cung cấp dòng điện từ phụ tải ngược về điểm ngắn mạch thường ít. Khi tính toán trị số ban đầu của thành phần chu kỳ dòng điện ngắn mạch có thể lấy gần đúng $E'' = 0,8$ và $X'' = 0,35$ để đưa vào sơ đồ thay phụ tải tổng hợp. Các trị số trên được tính trong hệ đơn vị tương đối, với điện áp cơ bản là trị số

trung bình của thanh cái cung cấp. Công suất cơ bản là tổng phụ tải (tính bằng MVA) nối vào nút tính toán. Nói chung, trong các tính toán gần đúng dòng điện ngắn mạch quá độ ban đầu phụ tải tổng hợp có thể bỏ qua (nghĩa là coi phụ tải không có ảnh hưởng tăng cường thêm cũng không làm giảm dòng điện ngắn mạch).

Ví dụ 5.2. Sơ đồ hệ thống điện như hình vẽ 5-6,a. Máy phát điện không cuộn cảm có các thông số sau : $S_{dm} = 30$ MVA ; $U_{dm} = 6,3$ kV ; $X'_d = 0,21$; $X'_q = X_q = 1,72$; kháng điện đầu đường dây : $U_{dm} = 6,3$ kV $I_{dm} = 330$ A ; $X_c\% = 6\%$. Trước khi xảy ra ngắn mạch, đường dây ở trạng thái không tải. Máy phát làm việc ở chế độ định mức cung cấp cho phụ tải S_1 với $\cos \varphi = 0,8$.

Tính dòng điện ngắn mạch xảy ra tại đầu đường dây (sau kháng điện) trong 3 trường hợp: phụ tải được giả thiết như phân tử thuận kháng $X_{pt} = 1,2$; coi phụ tải như máy phát với $E'' = 0,8$; $X'' = 0,35$ và bỏ qua phụ tải.



Hình 5.6

a- Coi phụ tải ở xa, thay bằng điện kháng $X_{pt} = 1,2$

Sơ đồ thay thế hệ thống như hình vẽ 5-6,b. Chọn các lượng cơ bản là công suất và điện áp định mức của máy phát. Khi đó các điện kháng máy phát và phụ tải giữ nguyên trị số.

$$\text{Dòng điện cơ bản: } I_{cb} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3} U_{dm}} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 2,75 \text{ kA}$$

Điện kháng của kháng điện :

$$X_K = \frac{X_K \%}{100} \cdot \frac{I_{cb}}{I_{dm}} = \frac{6}{100} \cdot \frac{2,75}{0,33} = 0,5$$

Về mô hình máy phát, ta cũng có thể biểu diễn chính xác hoặc gần đúng. Khi tính chính xác ta áp dụng đồ thị véc tơ hình 5-1 để tính :

$$\begin{aligned} \text{tg} \xi &= \frac{U \sin \varphi + I X_q}{U \cos \varphi} \\ &= \frac{1,0,6 + 1,1,72}{1,0,8} = 2,9 \end{aligned}$$

Suy ra: $\xi = 71^\circ$

Ở đây $U = 1$, $I = 1$ vì ở chế độ xác lập trước khi xảy ra sự cố máy phát làm việc với U_{dm} , I_{dm} trùng với các lượng cơ bản. Vì $\cos\varphi = 0,8$ nên $\varphi = 36,8^\circ$. Suy ra: $\delta = \xi - \varphi = 71 - 36,8 = 34,2^\circ$

Từ đó ta tính được:

$$U_q = U \cos\delta = 1 \cdot \cos 34,2^\circ = 0,83$$

$$I_d = I \sin\xi = 1 \cdot \sin 71^\circ = 0,94$$

$$E'_q = U_q + I_d X'_d = 0,83 + 0,94 \cdot 0,21 = 1,03$$

Theo công thức (5-5), lúc $R_{ng} = 0$, thì:

$$I'_d = \frac{E'_q}{X'_d + X_{ng}}; \quad I'_q = 0$$

và dòng điện chạy trong máy phát:

$$I'_{NF}(0) = \frac{E'_q}{X'_d + X_{ng}}$$

Trong trường hợp này:

$$X_{ng} = X_K // X_{pt} = \frac{0,5 \cdot 1,2}{0,5 + 1,2} = 0,356$$

$$I'_{NF}(0) = \frac{1,03}{0,21 + 0,356} = 1,82$$

Dòng điện ngắn mạch chạy qua máy cắt:

$$I'_N = I'_{NF} \cdot \frac{X_{pt}}{X_K + X_{pt}} = 1,82 \cdot \frac{1,2}{0,5 + 1,2} = 1,29$$

$$I'_N (\text{kA}) = I'_N \cdot I_{cb} = 1,29 \cdot 2,75 = 3,55 \text{ kA}$$

Khi mô hình gần đúng máy phát điện ta có:

$$E'_- = \sqrt{(U \cos\varphi)^2 + (U \sin\varphi + I X'_d)^2}$$
$$= \sqrt{0,8^2 + (0,6 + 0,21)^2} = 1,138$$

$$I'_{NF} = \frac{E'_-}{X'_d + X_{ng}} = \frac{1,138}{0,21 + 0,356} = 2,01$$

Tăng lên 10% so với lúc tính chính xác. Nguyên nhân có sai số nhiều là do sự khác nhau đáng kể giữa X'_d và $X'_q = X_q$.

Ta cũng có nhận xét là khi $R_{ng} = 0$ thì mô hình máy phát theo E'_q và X'_d là hoàn toàn chính xác. Do đó, kể cả khi R_{ng} nhỏ, người ta hay mô hình máy phát không cuộn cân bằng E'_q và X'_d (thay cho E'_-) để có độ chính xác cao hơn. Lúc đó vẫn áp dụng

được sơ đồ mạch để tính theo dòng điện ngắn mạch tổng hợp. (Việc xác định E'_q có phức tạp hơn một chút so với E'_d).

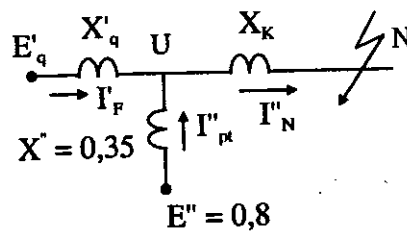
Ta hãy so sánh kết quả với trường hợp bỏ qua ảnh hưởng phụ tải (nghĩa là coi phụ tải không cung cấp dòng điện ngắn mạch đến điểm ngắn mạch, cũng không tiêu thụ dòng điện nào). Khi đó :

$$I''_{NF} = I'_N = \frac{E'_q}{X'_d + X_K} = \frac{1,03}{0,21 + 0,5} = 1,45$$

Trị số này sai số với dòng điện bên trong máy phát là 20 % (giảm đi) và sai số với dòng điện cung cấp đến điểm ngắn mạch là 12 % (tăng lên).

Trong trường hợp này thực ra chưa thể kết luận được kết quả nào đúng hơn bởi còn phụ thuộc vào trạng thái thực phụ tải. Nếu phụ tải chứa thành phần các động cơ nhiều, lại tương đối gần điểm ngắn mạch thì việc coi tải là thuần kháng và bằng 1,2 sẽ có sai số nhiều bởi khi đó phụ tải tính toán sẽ làm giảm dòng ngắn mạch chạy đến điểm ngắn mạch và làm tăng dòng ngắn mạch chạy trong nguồn nhiều hơn là thực tế. Ngược lại nếu tải ở xa và chứa chủ yếu là các thành phần tải thụ động thì việc bỏ qua phụ tải, sai số sẽ nhiều hơn.

b. Coi phụ tải như nguồn sdd với $E'' = 0,8$ và $X'' = 0,35$



Hình 5.8

Dòng điện cung cấp đến điểm ngắn mạch dễ dàng tính được bằng cách biến đổi song song 2 nhánh có nguồn :

$$E_{dt} = \frac{E'_q X''_{pt} + E'' X'_d}{X''_{pt} + X'_d} = \frac{1,03 \cdot 0,35 + 0,8 \cdot 0,21}{0,35 + 0,21} = 0,944$$

$$X_{dt} = \frac{X'_d X''_{pt}}{X'_d + X''_{pt}} = \frac{0,21 \cdot 0,35}{0,21 + 0,35} = 0,131$$

$$I''_N = \frac{E_{dt}}{X_{\Sigma}} = \frac{0,944}{0,5 + 0,131} = 1,496$$

Để thấy, trong trường hợp này phụ tải cung cấp dòng điện đến điểm ngắn mạch:

$$I''_{pt} = \frac{0,8 - 0,748}{0,35} = 0,149$$

Cách mô tả phụ tải như trên có ưu điểm là nó tự động phản ánh tương quan vị trí của phụ tải trên sơ đồ (gần điểm ngắn mạch sẽ cung cấp dòng điện như máy phát, xa điểm ngắn mạch và cạnh nguồn thì vẫn tiêu thụ dòng điện như phụ tải. Tuy nhiên nhược điểm của cách mô tả này là khá phức tạp bởi trong sơ đồ có một số lượng lớn phụ tải tổng hợp.

Trong thực tế khi tính trị số dòng điện ngắn mạch ban đầu, phổ biến nhất vẫn là cách bỏ qua phụ tải. Kết quả cho sai số có thể chấp nhận được, đồng thời phép tính lại đơn giản nhất. Tuy nhiên, cũng không được quên các trường hợp đặc biệt như ngắn mạch cạnh những động cơ lớn (nối với thanh cái tự dùng của nhà máy điện chẳng hạn) hoặc cạnh những phụ tải lớn hoàn toàn thụ động (lò luyện kim, xưởng mạ điện...). Khi đó bỏ qua phụ tải chắc chắn sẽ mắc phải sai số lớn.

5.3 TÍNH TOÁN DÒNG ĐIỆN NGẮN MẠCH BẰNG CÁC CHƯƠNG TRÌNH MÁY TÍNH

Bên cạnh việc thực hiện tính toán dòng điện ngắn mạch bằng tay, hiện nay người ta sử dụng phổ biến các chương trình máy tính. Các chương trình này, chủ yếu thực hiện các tính toán xác định trị số hiệu dụng ban đầu của dòng điện ngắn mạch chu kỳ hoặc trị số hiệu dụng của dòng điện ngắn mạch duy trì. Cần nói thêm là việc sử dụng các chương trình máy tính không làm thay đổi bản chất của phương pháp tính. Sai số của dòng điện ngắn mạch tính toán so với thực tế vẫn phụ thuộc chủ yếu vào cách lựa chọn mô hình. Để tính chính xác người ta thiết lập các chương trình tính toán dòng điện ngắn mạch theo mô hình các đại lượng thành phần (dọc trục và ngang trục) của máy phát. Theo mô hình gần đúng (với E''_d hoặc E'_d) người ta xây dựng các chương trình tính toán trực tiếp dòng điện ngắn mạch tổng hợp (trị số hiệu dụng). Nói chung, yêu cầu về độ chính xác của các tính toán ngắn mạch thực tế không cao lắm nên đa số các chương trình tính toán dòng điện ngắn mạch đều thực hiện theo mô hình gần đúng. Kết quả nhận được sẽ là các đại lượng tổng hợp (trùng với trị số hiệu dụng) của dòng điện ngắn mạch chu kỳ.

Như đã nêu trong chương một, cũng tồn tại các chương trình tính toán trị số tức thời của dòng điện ngắn mạch toàn phần (biến thiên trong một khoảng thời gian cần khảo sát). Tuy nhiên mục đích của các chương trình này thường thuộc về các nghiên cứu tổng hợp hơn: khảo sát quá trình quá độ điện từ. Các ứng dụng của các chương trình này là phân tích các hiện tượng quá áp, hiện tượng cộng hưởng điện từ... khi ngắn mạch và đóng cắt các phần tử. Nội dung này nằm ngoài khuôn khổ của giáo trình (có thể xem thêm trong phần phụ lục). Chương này chủ yếu xem xét cách mô hình và thuật toán giải bằng chương trình máy tính nhằm xác định trị số hiệu dụng ban đầu của dòng điện ngắn mạch (thành phần chu kỳ) theo cách tính gần đúng.

1. Mô hình hệ thống điện và hệ phương trình trạng thái ngắn mạch

Trong mô hình hệ thống ở trạng thái ngắn mạch ban đầu các máy phát và phụ tải được mô tả gần đúng theo các đại lượng sau :

- Máy phát điện có cuộn cảm E''_d , X''_d .
- Máy phát điện không cuộn cảm E'_g , X'_g .
- Các động cơ điện đồng bộ ở gần điểm ngắn mạch : E''_d , X''_d .

- Các động cơ điện không đồng bộ ở gần điểm ngắn mạch : E'' , X'' với trị số xác định theo (5-7) và (5-8)
- Các phụ tải tổng hợp : $E'' = 0,8$ và $X'' = 0,35$ hoặc bỏ qua.

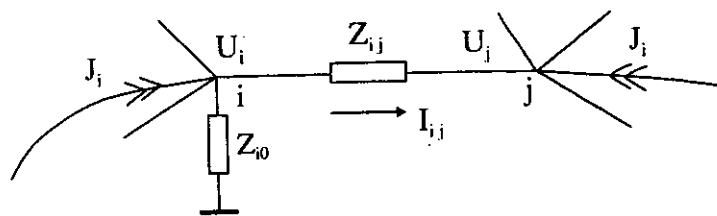
Nói chung có thể bỏ qua phụ tải tổng hợp, sai số mắc phải không lớn. Nếu biết rõ phụ tải ở xa điểm ngắn mạch và chứa chủ yếu các thiết bị dùng điện thụ động, có thể thay thế phụ tải bằng tổng trở thuần kháng, nghĩa là coi $E'' = 0$, $X'' = X_\infty = 1,2$. Các phần tử khác thuộc lưới điện được mô tả hoàn toàn giống như trong chế độ làm việc bình thường (bởi khi ngắn mạch tần số vẫn được coi là không đổi). Thông số tính toán của các phần tử có thể biểu thị ở đơn vị tương đối hoặc có tên. Khi lưới có nhiều cấp điện áp, nếu dùng hệ đơn vị có tên cần qui về một cấp điện áp hoặc sử dụng mô hình nhánh tổng quát, chứa máy biến áp lý tưởng (xem PL-3).

Khi thiết lập hệ phương trình trạng thái chế độ ngắn mạch trong các chương trình máy tính người ta giả thiết lưới điện có dạng tổng quát. Giả thiết lưới bao gồm $N + 1$ (nút kể cả nút đất với số hiệu là 0). Giữa nút i và nút j là nhánh có tổng trở Z_{ij} . Hệ thống bao gồm F nút nguồn với các sđđ E_i'' đã biết. Để tiện lợi trong mô tả, các sđđ nguồn cũng được ký hiệu chung là U_1, U_2, \dots, U_F (với các số hiệu nút nguồn sắp xếp đầu tiên trong thứ tự số hiệu các nút). Cũng cần chú ý là các nút nguồn được hiểu là các phần tử chứa sđđ E'' như đã nêu trên (kể cả các động cơ và phụ tải tổng hợp). Giữa nút i và nút j nào đó thực tế không tồn tại nhánh, được hiểu như vẫn có nhánh nhưng với $Z_{ij} = \infty$ hay tổng dẫn $y_{ij} = 0$. Với cách mô tả hệ thống như trên ta có thể dễ dàng thiết lập hệ phương trình thế nút.

Xét nút i bất kỳ, theo định luật Kirchhof 1 :

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N I_{ij} = J_i \quad i = 1, 2, \dots, N$$

Đối với nút nguồn, J_i là dòng điện chạy trong nguồn bơm vào nút, còn với các nút trung gian còn lại $J_i = 0$. Vì các phụ tải tổng hợp hoặc được bỏ qua hoặc đã thay thế bằng tổng trở cố định (có khi bằng sđđ E'' và X'') nên các nút không nguồn luôn luôn là các nút có $J = 0$.



Hình 5.9

Áp dụng định luật Ôm cho tổng trở nhánh, ta có :

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N \frac{\dot{U}_i - \dot{U}_j}{Z_{ij}} = \dot{J}_i \quad i = 1, 2, \dots, N$$

hay

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N \frac{1}{Z_{ij}} \dot{U}_i - \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N \frac{1}{Z_{ij}} \dot{U}_j = \dot{J}_i \quad i = 1, 2, \dots, N$$

Đặt : $Y_{ii} = \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N \frac{1}{Z_{ij}}$ - gọi là tổng dẫn riêng của nút i ;

$Y_{ij} = -\frac{1}{Z_{ij}}$ - gọi là tổng dẫn tương hỗ giữa nút i và nút j ,

ta có thể viết lại hệ phương trình ở dạng khai triển :

$$\begin{aligned} Y_{11}\dot{U}_1 + Y_{12}\dot{U}_2 + \dots + Y_{1N}\dot{U}_N &= \dot{J}_1 \\ Y_{21}\dot{U}_1 + Y_{22}\dot{U}_2 + \dots + Y_{2N}\dot{U}_N &= \dot{J}_2 \\ &\dots \\ Y_{F1}\dot{U}_1 + Y_{F2}\dot{U}_2 + \dots + Y_{FN}\dot{U}_N &= \dot{J}_F \\ Y_{F+11}\dot{U}_1 + Y_{F+12}\dot{U}_2 + \dots + Y_{F+1N}\dot{U}_N &= 0 \\ &\dots \\ Y_{N1}\dot{U}_1 + Y_{N2}\dot{U}_2 + \dots + Y_{NN}\dot{U}_N &= 0 \end{aligned} \quad (5-9)$$

Hệ bao gồm N phương trình. Ta không viết cho nút đất vì nó là hệ quả cân bằng dòng của N nút còn lại.

Hệ phương trình trên có F nút với các điện áp đã biết $U_1 = E''_1, U_2 = E''_2, \dots, U_F = E''_F$, nhưng lại chứa F dòng điện trong nguồn chưa biết nên vẫn có đủ N ẩn số.

2 - Thuật toán loại trừ Gauss

Thuật toán giải hệ phương trình (5-9) trên máy tính thường được áp dụng là phép loại trừ Gauss. Thuật toán có độ tin cậy cao bởi các phần tử trên đường chéo của ma trận tổng dẫn luôn luôn khác 0. Các bước thực hiện như sau :

a- Quá trình thu hẹp sơ đồ

Đó là quá trình làm giảm dần số biến và số phương trình hay cũng chính là quá trình loại dần các nút trung gian. Trước hết, để loại trừ biến ẩn U_N và phương trình cuối cùng theo thuật toán loại trừ Gauss, cần chia 2 vế phương trình này cho hệ số Y_{NN} . Nhân phương trình nhận được lần lượt với hệ số cuối cùng của mỗi phương

trình còn lại và trừ vào phương trình tương ứng. Vì phép trừ hai phương trình có số hạng cuối giống nhau nên biến cuối U_N triệt tiêu. Hệ phương trình tương đương nhận được chỉ chứa $N-1$ phương trình với $N-1$ ẩn số :

$$\begin{aligned} Y'_{11} \dot{U}_1 + Y'_{12} \dot{U}_2 + \dots + Y'_{1N-1} \dot{U}_{N-1} &= \dot{J}_1 \\ Y'_{21} \dot{U}_1 + Y'_{22} \dot{U}_2 + \dots + Y'_{2N-1} \dot{U}_{N-1} &= \dot{J}_2 \\ &\dots \\ Y'_{F1} \dot{U}_1 + Y'_{F2} \dot{U}_2 + \dots + Y'_{FN-1} \dot{U}_{N-1} &= \dot{J}_F \\ Y'_{F+11} \dot{U}_1 + Y'_{F+12} \dot{U}_2 + \dots + Y'_{F+1N-1} \dot{U}_{N-1} &= 0 \\ &\dots \\ Y'_{N-11} \dot{U}_1 + Y'_{N-12} \dot{U}_2 + \dots + Y'_{N-1N-1} \dot{U}_{N-1} &= 0 \end{aligned} \quad (5-10)$$

Các nguồn dòng J_1, \dots, J_F không bị thay đổi vì về phải phương trình cuối bằng 0. Để thấy, phép biến đổi cho mỗi phần tử của ma trận như sau:

$$Y'_{ij} = Y_{ij} - \frac{Y_{Nj} Y_{iN}}{Y_{NN}} ;$$

Phép biến đổi có thể thực hiện liên tiếp để loại trừ tất cả các phương trình ứng với các nút trung gian (về phải bằng 0). Kết quả nhận được hệ phương trình tối giản chỉ bao gồm F phương trình của các nút nguồn :

$$\begin{aligned} Y''_{11} \dot{E}''_1 + Y''_{12} \dot{E}''_2 + \dots + Y''_{1F} \dot{E}''_F &= \dot{J}_1 \\ Y''_{21} \dot{E}''_1 + Y''_{22} \dot{E}''_2 + \dots + Y''_{2F} \dot{E}''_F &= \dot{J}_2 \\ &\dots \\ Y''_{F1} \dot{E}''_1 + Y''_{F2} \dot{E}''_2 + \dots + Y''_{FF} \dot{E}''_F &= \dot{J}_F \end{aligned} \quad (5-11)$$

Để nhận được hệ (5-11) cần thực hiện liên tiếp $(N-F)$ bước. Ta gọi bước thứ k là bước thực hiện phép biến đổi tương đương hệ phương trình chứa k điện áp nút về hệ phương trình chỉ gồm $(k-1)$ nút với $(k-1)$ phương trình, $(k-1)$ ẩn số. Khi đó, phép biến đổi mỗi số hạng của ma trận có dạng tổng quát sau :

$$Y_{ij}^{(k-1)} = Y_{ij}^{(k)} - \frac{Y_{kj}^{(k)} Y_{ik}^{(k)}}{Y_{kk}^{(k)}} .$$

Ở đây ký hiệu chỉ số (k) và $(k-1)$ cho các điện dẫn để chỉ các phần tử của ma trận tương ứng với hệ phương trình chứa k và $(k-1)$ áp nút.

b- Quá trình mở rộng sơ đồ xác định điện áp các nút

Nếu chỉ cần xác định dòng điện trong các nguồn thì có thể dùng ngay (5-11) để tính toán, trong đó điện áp các nút nguồn đều đã biết (chính là các sdd E''). Tuy nhiên cần tính dòng điện ngắn mạch tổng và dòng điện ngắn mạch phân bố trên các nhánh của sơ đồ ban đầu. Do đó cần thực hiện quá trình ngược để tính điện áp của các nút trung gian của sơ đồ ban đầu.

Xét hệ phương trình nhận được ở bước F+1, nghĩa là sơ đồ còn tương ứng chỉ một nút trung gian thứ F+1 (cùng với F nút nguồn) :

$$\begin{aligned} Y_{11}^{(F+1)}\dot{U}_1 + Y_{12}^{(F+1)}\dot{U}_2 + \dots + Y_{1F}^{(F+1)}\dot{U}_F + Y_{1F+1}^{(F+1)}\dot{U}_{F+1} &= j_1 \\ Y_{21}^{(F+1)}\dot{U}_1 + Y_{22}^{(F+1)}\dot{U}_2 + \dots + Y_{2F}^{(F+1)}\dot{U}_F + Y_{2F+1}^{(F+1)}\dot{U}_{F+1} &= j_2 \\ \dots & \\ Y_{F1}^{(F+1)}\dot{U}_1 + Y_{F2}^{(F+1)}\dot{U}_2 + \dots + Y_{FF}^{(F+1)}\dot{U}_F + Y_{FF+1}^{(F+1)}\dot{U}_{F+1} &= j_F \\ Y_{F+11}^{(F+1)}\dot{U}_1 + Y_{F+12}^{(F+1)}\dot{U}_2 + \dots + Y_{F+1F}^{(F+1)}\dot{U}_F + Y_{F+1F+1}^{(F+1)}\dot{U}_{F+1} &= 0 \end{aligned}$$

Trong phương trình cuối cùng có F điện áp nút nguồn đã biết nên có thể tính được ngay điện áp nút trung gian :

$$\dot{U}_{F+1} = -\frac{\sum_{j=1}^F Y_{F+1j}^{(F+1)}\dot{U}_j}{Y_{F+1F+1}^{(F+1)}}$$

Quá trình mở rộng sơ đồ xác định điện áp nút như trên được thực hiện liên tiếp. Ở mỗi bước thứ k bất kỳ ta có :

$$\dot{U}_k = -\frac{\sum_{j=1}^{k-1} Y_{kj}^{(k)}\dot{U}_j}{Y_{kk}^{(k)}}$$

Khi xác định được U_N thì toàn bộ điện áp các nút trong sơ đồ ban đầu đã hoàn toàn xác định.

c- *Xác định dòng điện ngắn mạch phân bố trên các nhánh*

Dòng điện ngắn mạch trên nhánh nối giữa nút i và nút j :

$$I_{ij} = \frac{\dot{U}_i - \dot{U}_j}{Z_{ij}}$$

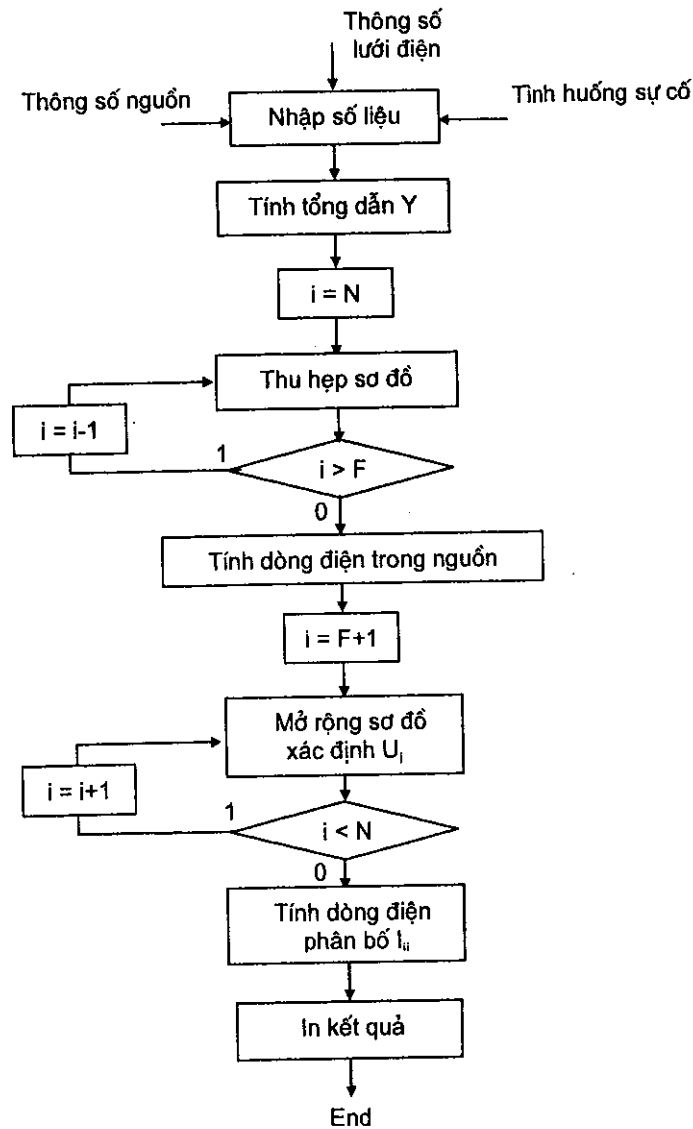
Có thể mô tả sơ đồ khối các bước thực hiện tính toán trong chương trình xác định ngắn mạch như trên hình 5-10.

3. Tính toán dòng điện ngắn mạch duy trì bằng chương trình

Chương trình tính toán ngắn mạch xây dựng để tính trị số hiệu dụng ban đầu $I''(0)$ cho dòng điện ngắn mạch chu kỳ cũng đồng thời áp dụng để tính trị số hiệu dụng của dòng điện ngắn mạch duy trì I_∞ . Khi tính ngắn mạch duy trì cần thay thế các nguồn bằng điện áp thanh cái không đổi U_{dm} hoặc sđd giới hạn E_{qgh} như đã nêu trong chương 3.

Với chương trình, việc thực hiện tính lặp theo giả thiết trạng thái nguồn (làm việc với điện áp định mức hoặc chế độ kích từ giới hạn) sẽ rất thuận lợi (bởi mỗi lần tính có kết quả rất nhanh). Cần chú ý là, với máy phát cực lõi làm việc ở chế độ kích từ giới hạn mô hình mạch của nó cũng chỉ có thể gần đúng bằng cách coi $X_q = X_d$. Ở

đây cần lấy trị số của X_q theo X_d (mặc dù $X_q < X_d$) bởi khi góc pha dòng điện lệch với sđđ gần 90° thì sử dụng X_d sẽ chính xác hơn (xem đồ thị véc tơ hình 3-4).



Hình 5.10

Ngoài ra, trong chế độ ngắn mạch góc pha của các sđđ được coi là không đổi, khi đó có thể tính góc pha sđđ theo chế độ xác lập trước sự cố. Tuy nhiên, gần đúng có thể lấy góc pha của các sđđ đều bằng nhau (do đó cũng có thể lấy bằng 0) để tính toán. Sai số đủ nhỏ (về phía tăng cao dòng ngắn mạch) có thể chấp nhận được.

5.4 TÍNH TOÁN DÒNG ĐIỆN NGẮN MẠCH TẠI THỜI ĐIỂM BẤT KỲ THEO THỜI GIAN QUÁ ĐỘ

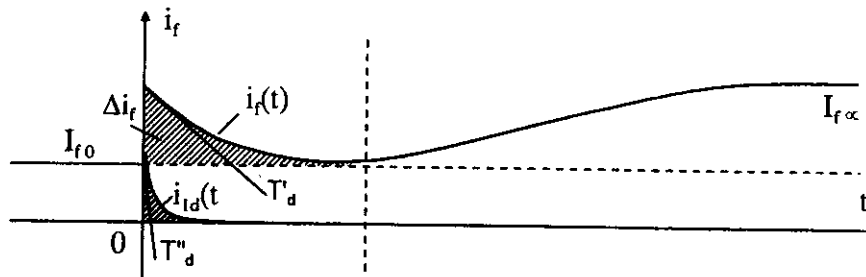
1. Tính dòng điện ngắn mạch quá độ ở giai đoạn đầu theo các hằng số thời gian tắt dần

Như đã phân tích trong chương 1 thành phần chu kỳ (cưỡng bức) của dòng điện ngắn mạch có biên độ biến thiên theo thời gian là do các thành phần từ thông sinh ra sđđ của máy phát thay đổi trong quá trình quá độ.

- Ở giai đoạn đầu sự thay đổi của sđđ máy phát là do ảnh hưởng của các thành phần dòng điện tự do xuất hiện trong các cuộn dây nằm trên ro to (cuộn kích từ và các cuộn cản).

- Ở giai đoạn sau, các thành phần tự do đã tắt dần nhưng sđđ của máy phát lại bị biến thiên do TĐK (làm tăng dòng điện kích từ). Thường thì bộ phận kích thích cường hành của TĐK tác động làm tăng đột ngột điện áp kích từ vào hai cực của cuộn dây kích thích, dòng điện kích từ trong cuộn dây roto tăng lên theo quy luật hàm mũ (có thể tới giới hạn hoặc không, phụ thuộc vào vị trí của điểm ngắn mạch).

Hình 5-11 minh họa sự biến thiên của dòng điện kích từ $i_f(t)$ và dòng điện trong cuộn cản $i_{1d}(t)$ trong QTQĐ sau ngắn mạch. Có thể thấy ở giai đoạn đầu các dòng điện trên roto chưa chịu ảnh hưởng tác động của bộ phận TĐK.



Hình 5.11

Trong khi đó, đa số các trường hợp cần xét, thời gian tồn tại ngắn mạch có thể coi là đủ ngắn khi mà TĐK các máy phát chưa kịp tác động. Mặc dù thời gian cắt ngắn mạch phụ thuộc vào nhiều yếu tố: sự chậm trễ tác động của máy cắt, thời gian chỉnh định của các loại bảo vệ ... nhưng thường thời gian cắt chỉ nằm trong phạm vi $t_c = (0,06 \div 0,3)$ sec. Trong những trường hợp đặc biệt còn có thể nhỏ hơn. Khi đó dòng điện ngắn mạch quá độ tính toán có thể coi là không có ảnh hưởng của TĐK. Biết hằng số thời gian suy giảm của các thành phần tham gia vào dòng điện quá độ ta có thể tính được $I''(t)$ một cách gần đúng.

Ý tưởng chính của phương pháp là coi thành phần chu kỳ của dòng điện ngắn mạch (phụ thuộc nguồn sđđ) được tạo ra với ảnh hưởng của 3 thành phần dòng điện trên roto I_0 , $\Delta i_f(t)$ và $i_{1d}(t)$ vì chúng tham gia tạo nên từ thông tổng (hình vẽ).

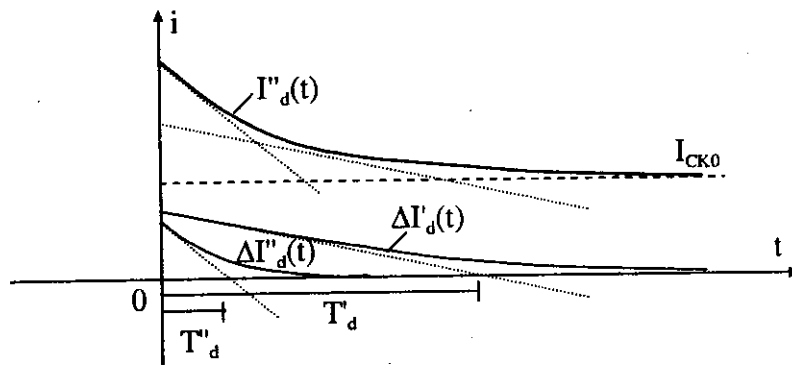
Xét mạch điện đơn giản gồm một máy phát nối đến điểm ngắn mạch qua điện kháng ngoài X ta có thể tính gần đúng:

Thành phần duy trì không thay đổi theo thời gian: $I_{CK0} = \frac{E_{q0}}{X_d + X}$;

Thành phần quá độ $\Delta I'(t)$, biến thiên và suy giảm theo hằng số thời gian của cuộn kích từ. Trị số ban đầu : $\Delta I' = \frac{E'_q}{X'_d + X} - \frac{E_{q0}}{X_d + X}$;

Thành phần siêu quá độ $\Delta I''(t)$, biến thiên và suy giảm theo hằng số thời gian của cuộn cảm dọc trục. Trị số ban đầu : $\Delta I'' = \frac{E''_q}{X''_d + X} - \frac{E'_q}{X'_d + X}$.

Hình 5-12 thể hiện sự biến thiên của các thành phần này của dòng điện siêu quá độ dọc trục. Phía ngang trục diễn biến cũng tương tự nhưng không có thành phần $\Delta I'(t)$.



Hình 5.12

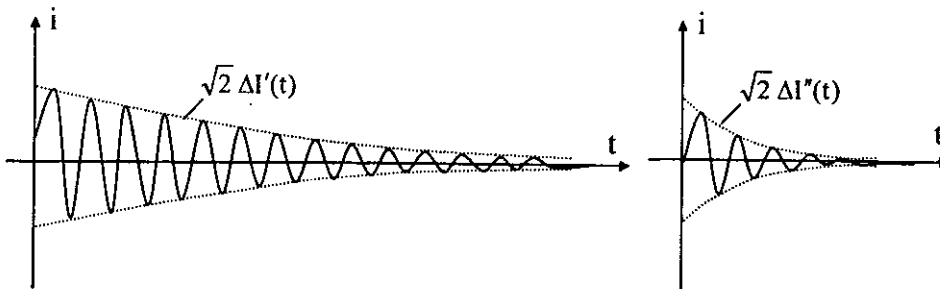
Sự biến thiên của dòng điện kích từ ở giai đoạn sau phụ thuộc hoàn toàn vào quá trình quá độ trong hệ thống kích thích và hằng số thời gian của cuộn dây roto. Quy luật biến thiên phức tạp, nói chung tác động làm tăng dòng điện kích từ theo thời gian. Khi bộ phận kích thích cường hành tác động dòng kích từ tăng lên gần như theo quy luật hàm mũ (nếu không đến giới hạn). Đó cũng chính là quy luật biến thiên của sđđ trong thời gian quá độ.

a. Hằng số thời gian của cuộn kích từ

Cuộn dây kích từ có điện cảm rất lớn nên hằng số thời gian riêng của nó khá to, có thể tính được như sau:

$$T_{d0} = \frac{X_f}{R_f} = \frac{X_{ad} + X_{\sigma f}}{R_f}$$

Chú ý rằng công thức trên tính trong hệ đơn vị tương đối nên $L = X$. Hằng số thời gian này tương ứng với tốc độ tắt dần thành phần dòng điện tự do xuất hiện trong cuộn dây kích từ khi nó làm việc độc lập (máy phát ở trạng thái không tải).



Hình 5.13 Thành phần quá độ và siêu quá độ

Khi máy phát bị ngắn mạch đầu cực cuộn dây phản ứng có điện trở nhỏ quan hệ hỗ cảm với cuộn kích từ làm hằng số thời gian của nó giảm đi đáng kể. Có thể coi như có thêm $X_{\sigma} // X_{ad}$ trong mạch thay thế tương đương, do đó tính được hằng số thời gian:

$$T'_d = \frac{X_{\sigma f} + (X_{\sigma} // X_{ad})}{R_f} = \frac{X'_f}{R_f}$$

trong đó : $X'_f = X_{\sigma f} + (X_{\sigma} // X_{ad})$ - là điện kháng tương của cuộn kích từ khi stato bị ngắn mạch.

Từ các biểu thức của T_{d0} và T'_d còn có thể viết $T'_d = T_{d0} \frac{X'_d}{X_d}$

Nếu ngắn mạch xảy ra cách đầu cực máy phát một đoạn là X thì :

$$T'_d = T_{d0} \cdot \frac{X'_d + X}{X_d + X}$$

Trị số T_{d0} được cho bởi nhà chế tạo, nó có trị số trong khoảng từ (5 ÷ 10) sec. Từ đó tính được T'_d theo tình huống ngắn mạch.

b- Hằng số thời gian của cuộn cảm.

Hằng số thời gian của cuộn cảm dọc trục là T''_d và ngang trục T''_q cũng có ý nghĩa tương tự như đối với cuộn kích từ. Nghĩa là nó cũng phụ thuộc vào khoảng cách X từ đầu cực máy phát đến điểm ngắn mạch. Tuy nhiên, do T''_d và T''_q rất nhỏ và thay đổi theo điểm ngắn mạch không nhiều nên trong thực tế người ta thường lấy gần đúng theo thông số của các máy phát điển hình (không tính toán):

- Với máy phát điện tua bin hơi $T''_d \approx T''_q \approx 0,1$ sec ;
- Với máy phát điện tua bin nước $T''_d \approx T''_q \approx 0,05$ sec .

c- Hằng số thời gian của cuộn dây stato

Khi ngắn mạch đầu cực máy phát :

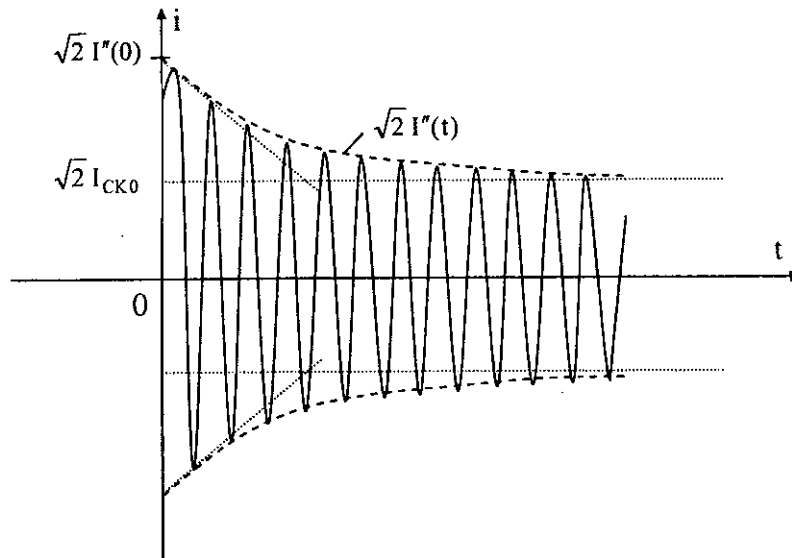
$$T_a = \frac{X_2}{R_s},$$

trong đó: X_2 - điện kháng thứ tự nghịch của máy phát (xem chương 6);
 R_s - điện trở dây quấn stato.

Khi ngắn mạch cách đầu cực máy phát một tổng trở $Z = R + jX$ thì

$$T_a = \frac{X_2 + X}{R_s + R}$$

Trị số của T_a thay đổi trong phạm vi rộng. Do R_s rất nhỏ nên thường khi ngắn mạch càng xa thì T_a càng giảm. Hằng số thời gian T_a liên quan chủ yếu đến các tính toán thành phần tự do (một chiều) của dòng điện ngắn mạch.



Hình 5.14 Dòng điện ngắn mạch quá độ chu kỳ ở giai đoạn đầu

d- Tính toán dòng điện ngắn mạch quá độ ở thời gian đầu

Biết các giá trị của hằng số thời gian có thể tính được gần đúng dòng điện quá độ biến thiên theo thời gian ở giai đoạn đầu :

$$I''(t) = (I''(0) - I'(0)) e^{-\frac{t}{T_a}} + (I'(0) - I_{CK0}) e^{-\frac{t}{T_a}} + I_{CK0}$$

Trong đó $I''(0)$, $I'(0)$ tương ứng là trị số ban đầu của các dòng điện ngắn mạch quá độ và siêu quá độ, tính được theo $E''(0)$ và $E'(0)$ như đã trình bày ở phần trên.

Thành phần I_{CK0} là dòng điện ngắn mạch duy trì tính toán cho máy phát với giả thiết là không có tác động của TĐK.

Để ý rằng thành phần tự do trong dòng điện ngắn mạch (thành phần không chu kỳ), trong trường hợp xuất hiện lớn nhất có thể tính được theo công thức :

$$i_a(t) = \sqrt{2}I''(0)e^{-\frac{t}{T_a}}$$

Từ đó, ta còn có thể tính được sự biến thiên theo thời gian của trị số hiệu dụng dòng điện ngắn mạch toàn phần :

$$I_N(t) = \sqrt{[I''(t)]^2 + [i_a(t)]^2}$$

$$= \sqrt{\left[(I''(0) - I'(0))e^{-\frac{t}{T_a}} + (I'(0) - I_{CK0})e^{-\frac{t}{T_a}} + I_{CK0} \right]^2 + 2 \left[I''(0)e^{-\frac{t}{T_a}} \right]^2}$$

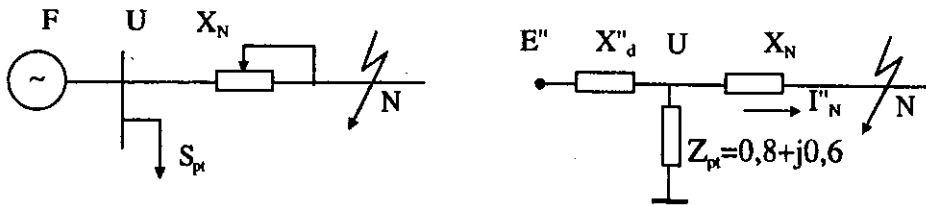
Khi ngắn mạch ở rất xa ta có : $I''(0) = I'(0) = I_{CK0}$, khi đó :

$$I_N(t) = \sqrt{[I''(0)]^2 + 2 \left[I''(0)e^{-\frac{t}{T_a}} \right]^2}$$

2. Phương pháp đường cong tính toán.

Thực chất của phương pháp đường cong tính toán là xác định thành phần chu kỳ của dòng điện ngắn mạch (biến thiên theo thời gian) trong hệ thống điện phức tạp nhiều máy trên cơ sở kết quả tính toán đối với sơ đồ đơn giản một máy.

Tuy có sai số nhưng là phương pháp duy nhất đơn giản có thể áp dụng để tính toán dòng điện ngắn mạch quá độ đối với HTĐ phức tạp trong khoảng thời gian tương đối dài (kể đến tác động của TĐK). Độ chính xác nói chung thoả mãn cho những ứng dụng cơ bản thực tế (chọn trang thiết bị, chỉnh định bảo vệ rơ le...). Muốn tính chính xác hơn, cần áp dụng cách tính rất phức tạp.



Hình 5.15

Trước hết cần xét cách xây dựng họ đường cong tính toán xuất phát từ sơ đồ đơn giản - hệ thống gồm một máy phát nối đến điểm ngắn mạch qua điện kháng X_N . Đầu cực máy phát có phụ tải bằng công suất định mức của máy phát, $\cos \varphi = 0,8$. Trước khi xảy ra ngắn mạch nhánh điện kháng X_N để hở mạch (không tải).

Giả thiết có thể thay đổi X_N và tính được $I''_N(t)$ cho mỗi trường hợp trị số của X_N . Đường cong tính toán được xây dựng là quan hệ hàm :

$$I''_N(t) = f(X_{11}, t)$$

trong đó $X_{11} = X''_d + X_N$ cùng được tính trong hệ đơn vị tương đối định mức của máy phát như đối với dòng điện $I''_N(t)$. Xây dựng nhiều đường cong (biến thiên theo X_{11}), ứng với các giá trị rời rạc của t ($t=0; t=0,1; t=0,2; \dots; t=\infty$) ta có họ các đường cong tính toán. Thường số đường cong cũng không nhiều lắm: ứng với những giá trị rời rạc của thời gian chỉ trong phạm vi vài giây.

Người ta thường xây dựng hai loại đường cong tính toán sau đây :

- Đường cong tính toán của máy phát điện tua bin hơi.
- Đường cong tính toán của máy phát tua bin nước.

Các máy phát đều được giả thiết có TĐK. Các máy phát không có TĐK hiện nay nói chung không tồn tại. Với cùng một loại máy phát (tuabin hơi hoặc tuabin nước) thì thông số của các máy phát gần giống nhau (bảng 5-1), do đó có thể coi là xây dựng được một họ đường cong chung cho mỗi loại máy phát (theo thông số điển hình chế tạo như trong bảng).

Máy phát điện tua bin nước so với máy phát điện tua bin hơi có thông số khác nhau nhiều, do đó họ đường cong tính toán khác nhau và được xây dựng riêng. Cần chú ý rằng, tính đồng nhất về thông số đối với mỗi loại máy phát điện chỉ tồn tại khi tính trong hệ đơn vị tương đối định mức của máy phát. Vì thế đường cong tính toán cũng cần được xây dựng trong hệ đơn vị tương đối định mức của máy phát. Với các giả thiết đã nêu thì trong sơ đồ tính toán $Z_{pt} = 0,8+j0,6$, còn ở chế độ xác lập trước khi xảy ra sự cố $U_{dm} = 1, I_{dm} = 1$. Sơ đồ hoàn toàn xác định nên có thể thực hiện các bước tính toán. Ở đây cần phải quan tâm đến quá trình quá độ diễn ra trong mạch của hệ thống kích từ. Việc tính toán nói chung khá dễ dàng và có thể thực hiện chính xác bởi sơ đồ rất đơn giản. Có thể áp dụng các phương pháp giải tích hoặc các phương pháp số khác nhau, kể cả thực nghiệm.

Hình (5-16) minh họa dạng của đường cong tính toán. Số liệu chính xác và sử dụng được của các đường cong này thường được cho trong các sổ tay thiết kế (xem trong phụ lục 1). Chúng được xây dựng cho từng điểm rời rạc của thời gian. Để sử dụng chỉ cần tính được $X_{11} = X''_d + X_N$ của sơ đồ. Theo thời điểm cần tính toán chọn đường cong cần tra, sau đó dựa vào X_{11} để xác định trị số dòng điện ngắn mạch. Người ta cũng tạo các phần mềm lưu trữ đường cong trong máy tính và tạo các khả năng tra cứu thuận tiện hơn.

Cần chú ý các đặc điểm sau của đường cong tính toán:

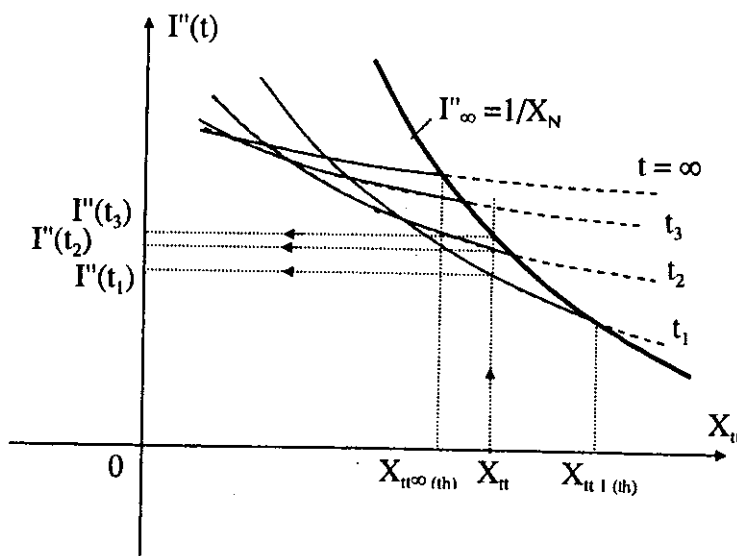
1. Các đường cong tính toán chỉ vẽ đến $X_{11} = 3$. Đó là vì khi $X_{11} > 3$ sự biến thiên biên độ theo thời gian của thành phần dòng điện ngắn mạch chu kỳ sẽ rất ít (ngắn mạch rất xa), thực tế coi là không đổi và có thể lấy bằng trị số tại thời điểm ban đầu (hoặc vô cùng).

2. Khi X_{tt} tăng lên thì sự khác nhau giữa các kiểu máy rất ít (do X''_a chỉ chiếm tỷ lệ nhỏ trong X_{tt}), vì vậy khi $X_{tt} > 1$ đường cong tính toán của các kiểu máy gần giống nhau.

3. Các đường cong tính toán ứng với các thời điểm thời gian khác nhau có thể cắt nhau (trên họ đường cong). Đó là do tác dụng của TĐK làm tăng dòng điện ngắn mạch lên rất nhiều (ở những thời gian lớn). Thời gian t càng lớn thì đường cong dòng ngắn mạch càng nằm trên cao. Điều này có thể không đúng với thực tế trong một số điều kiện cụ thể. Nguyên nhân là vì khi xây dựng đường cong tính toán người ta không xét đến giới hạn của dòng điện kích từ (coi tăng tự do theo quy luật hàm mũ). Thực tế khi điện áp đầu cực máy phát bằng định mức (ngắn mạch xa) dòng điện kích từ không tăng thêm nữa. Điều này có nghĩa là đường cong tính toán của mọi máy phát không bao giờ được vượt lên trên đường cong giới hạn (ứng với điện áp đầu cực máy phát bằng định mức):

$$I''_{\infty} = \frac{1}{X_N}$$

Trên hình (5-16) có vẽ các đường cong tính toán và đường cong $I''_{\infty} = \frac{1}{X_N}$. Khi tra theo đường cong tính toán nào đó, nếu thấy giá trị cần tìm nằm vượt trên đường cong I''_{∞} (ở đoạn chấm chấm) thì cần lấy $I''(t) = \frac{1}{X_N}$ (không lấy giá trị tra).



Hình 5.16

Về ý nghĩa có thể hiểu đường cong $I''_{\infty} = 1/X_N$ như là đường giới hạn tương ứng với điện kháng X_{tt} tới hạn. Trường hợp riêng khi $t = \infty$ thì:

$$X_{ii \infty (ih)} = X'_d + X_{ih}$$

Trong đó X_{ih} - điện kháng tới hạn của ngắn mạch duy trì (đã xét trong chương 3). Khi đó máy phát luôn có $U < U_{dm}$ trong suốt QTQĐ và ở giới hạn khi $t = \infty$ mới đạt đến $U = U_{dm}$.

Với những trị số khác, chẳng hạn $X_{ii} = X_{ii \infty (ih)}$ (trên đường cong ứng với t_1) thì đầu tiên máy phát có $U < U_{dm}$ cho đến thời điểm $t = t_1$, tiếp sau có $U = U_{dm}$ và giữ nguyên điện áp này cho đến khi $t = \infty$ bởi vì TĐK tác động nâng điện áp đạt định mức ngay từ thời điểm t_1 .

1. Ứng dụng đường cong tính toán để xác định dòng điện ngắn mạch quá độ

a- Phương pháp một biến đổi

Khi khoảng cách giữa các máy phát đến điểm ngắn mạch gần như nhau, các máy phát cùng loại thì diễn biến của thành phần chu kỳ dòng điện ngắn mạch cũng phải gần như nhau. Lúc đó ta có thể nhập chung các máy phát lại thành một máy phát đẳng trị. Nếu dịch chuyển phụ tải về đầu cực máy phát và tính các điện kháng trong hệ đơn vị tương đối với lượng cơ bản là :

$$S_{cb} = \sum_{i=1}^n S_{dmi} = S_{dm \Sigma}$$

$$U_{cb} = U_{dm}$$

thì ta có sơ đồ hoàn toàn giống như khi chỉ có một máy phát cùng loại (hình 5-15). Thật vậy, nếu giả thiết phụ tải xấp xỉ bằng công suất định mức của máy phát trước khi xảy ra sự cố, $\cos \varphi = 0,8$ thì với lượng cơ bản đã chọn ta có $Z_{*(cb)pt} = 0,8 + j 0,6$. Điện áp đầu cực máy phát biến thiên như nhau ta có thể nhập chung thành một nút, các máy phát giống nhau nên sdd đẳng trị vẫn là E''_d , còn trị có điện kháng đẳng trị xác định theo công thức :

$$\frac{1}{X_{dt*(cb)}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{X_{di*(cb)}}$$

Trong hệ cơ bản đã chọn ta có :

$$X_{di*(cb)} = X''_{di} \frac{S_{dm \Sigma}}{S_{dmi}}$$

Do đó :

$$\begin{aligned} \frac{1}{X_{dt*(cb)}} &= \sum_{i=1}^n \frac{1}{X''_{di}} \frac{S_{dmi}}{S_{dm \Sigma}} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n S_{dmi}}{X''_d S_{dm \Sigma}} = \frac{1}{X''_d} \end{aligned}$$

Nghĩa là $X_{dt} = X''_d$. Kết quả là ứng với một điện kháng ngoài X_N ta có thể xác định được dòng điện ngắn mạch tương đối theo $X_{ii} = X''_d + X_N$ như của một máy phát.

Cần chú ý khi tính sang hệ đơn vị có tên:

$$I''(t) = I''_*(t) \cdot I_{dm\Sigma}$$

$$= I''_*(t) \frac{S_{dm\Sigma}}{\sqrt{3} U_{dm}}$$

Ta có trình tự tính toán như sau :

1. Thiết lập sơ đồ tính toán của hệ thống

Vì sử dụng đường cong tính toán là phương pháp gần đúng, nên luôn chấp nhận $U_{cb} = U_{tb} \approx U_{dm}$, còn S_{cb} chọn tùy ý. Trong sơ đồ, điện kháng của máy phát lấy là X''_d (tính về S_{cb}). Phụ tải loại bỏ khỏi sơ đồ, trừ những động cơ hoặc máy bù đồng bộ cỡ lớn thay bằng nguồn phát.

Cần chú ý là, ở đây các phụ tải tổng hợp không được đưa vào sơ đồ, không phải là bỏ qua ảnh hưởng của nó mà do trong phương pháp đường cong tính toán, chúng đã được tính đến lúc xây dựng đường cong. Theo quy ước thì $X_{II} = X''_d + X_N$, trong đó X_N không chứa các thành phần phụ tải.

2. Làm đơn giản sơ đồ đẳng trị về sơ đồ chỉ bao gồm 1 sdd nối đến điểm ngắn mạch qua điện kháng đẳng trị $X_{\Sigma*(cb)}$. Có thể đưa được về sơ đồ tối giản như trên bởi vì trong trường hợp này trạng thái của các máy phát giống nhau có thể ghép chung thành một nhánh.

3. Đổi điện kháng đẳng trị $X_{\Sigma*(cb)}$ về X_{II} , nghĩa là chuyển đổi hệ đơn vị tương đối:

$$X_{II} = X_{\Sigma*(cb)} \cdot \frac{S_{dm\Sigma}}{S_{cb}}$$

Trong đó : $S_{dm\Sigma} = \sum_{i=1}^n S_{dmi}$ - là tổng công suất của tất cả các máy phát

nằm trong sơ đồ đẳng trị.

Nếu tính X_{Σ} trong hệ đơn vị có tên, ta dùng công thức đổi dang hệ đơn vị tương đối:

$$X''_{II} = X_{\Sigma} \frac{S_{dm\Sigma}}{U_{tb}^2}$$

trong đó U_{tb} - điện áp trung bình của mạng điện dùng làm cấp cơ sở khi tính X_{Σ} .

4. Sử dụng đường cong tính toán tương ứng với loại máy phát của hệ thống, tra dòng điện ngắn mạch theo X_{II} . Cần chọn đúng đường cong tương ứng với thời điểm t cần tìm trị số dòng ngắn mạch. (Có thể đồng thời tra theo nhiều đường cong để được dòng ngắn mạch ở các thời điểm khác nhau).

Trong bước này cần lưu ý :

- Nếu $X_{II} > 3$ (chú ý không nhầm với $X_{\Sigma*(cb)} > 3$) thì dòng điện tính toán ở tất cả các thời điểm đều bằng nhau và xác định theo công thức : $I''_{II}(t) = 1/X_{II}$.

- Nếu $X_{II} < 3$ nhưng khi tra đường cong nhận được trị số $I''_{II}(t) > 1/X_{N*(dm\Sigma)}$ thì phải lấy $I''_{II}(t) = 1/X_{N*(dm\Sigma)}$ (không lấy trị số theo đường cong).

Ở đây có thể tính điện kháng ngoài $X_{N*(dm\Sigma)} = X_{II} - X''_d$.

5. Tính trị số của thành phần chu kỳ dòng điện ngắn mạch quá độ :

$$I''(t)_{KA} = I''_u(t) I_{dm\Sigma} .$$

với $I_{dm\Sigma}$ là dòng điện cơ bản tính toán : $I_{dm\Sigma} = \frac{S_{dm\Sigma}}{\sqrt{3}U_{tb}}$.

Trong trường hợp $X_u > 3$ có thể tính trị số dòng điện ngắn mạch có tên theo 2 cách:

$$I''(t)_{KA} = \frac{I_{dm\Sigma}}{X_u} = \frac{I_{cb}}{X_{\Sigma*(cb)}} .$$

Nếu cần tìm trị số hiệu dụng của dòng điện ngắn mạch toàn phần tại thời điểm t ta áp dụng công thức:

$$I_N(t) = \sqrt{I''(t)^2 + i_a(t)^2} ,$$

Trong đó tính thành phần tự do : $i_a(t) = \sqrt{2} I''(0) e^{-t/\tau}$.

b. Phương pháp nhiều biến đổi

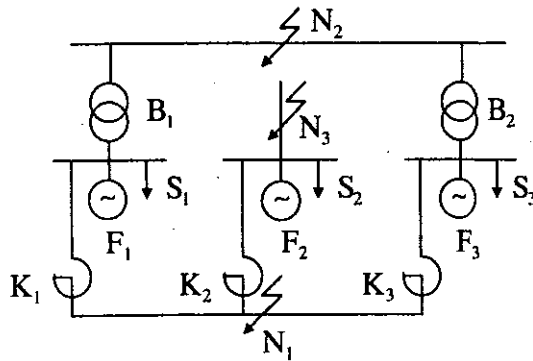
Khi khoảng cách từ các máy phát đến điểm ngắn mạch khác nhau nhiều hoặc khi các máy phát trong hệ thống khác loại, nếu ghép chung các máy phát lại thành một máy phát đẳng trị sẽ mắc sai số lớn. Để áp dụng đường cong tính toán cần phân nhóm các máy phát (gọi là nhiều biến đổi). Việc quyết định phân nhóm các máy phát phụ thuộc tình huống cụ thể của sơ đồ.

Ví dụ, xét sơ đồ trên hình (5-17) với các máy phát cùng loại.

- Nếu ngắn mạch xảy ra tại N_1 thì khoảng cách giữa các máy phát đến điểm ngắn mạch đều như nhau, có thể dùng phương pháp một biến đổi.

- Khi ngắn mạch xảy ra tại điểm N_2 vẫn có thể dùng 1 biến đổi, vì tuy không giống nhau hoàn toàn nhưng các máy phát đều ở xa điểm ngắn mạch, trạng thái của các máy phát sẽ gần như nhau.

- Nếu ngắn mạch xảy ra ở N_3 thì cần phải dùng 2 biến đổi. Máy phát F_2 cần để riêng một nhóm vì nó bị ngắn mạch ngay đầu cực, trạng thái khác hẳn so với F_1 và F_3 .



Hình 5.17

Đặc biệt, khi sơ đồ có hệ thống đẳng trị hoặc có thanh cái điện áp không đổi (hệ thống công suất vô cùng lớn) thì hệ thống đẳng trị cần để riêng thành một biến đổi. Đó là vì các máy phát của hệ thống đẳng trị, nói chung có khoảng cách xa so với điểm ngắn mạch, chúng luôn giữ được điện áp thanh cái đầu cực không đổi.

Trình tự tính toán ngắn mạch theo phương pháp nhiều biến đổi như sau:

1. Thiết lập sơ đồ thay thế tính toán của mạng điện (trong hệ đơn vị có tên, hoặc hệ đơn vị tương đối tùy chọn).

2. Dựa theo đặc điểm của sơ đồ và loại máy phát, phân nhóm máy phát điện để áp dụng phương pháp nhiều biến đổi.

Nói chung không cần phân chia ra quá nhiều biến đổi. Thường các nhóm biến đổi bao gồm :

- Nhánh hệ thống đẳng trị ở xa;
- Nhóm các máy phát bị ngắn mạch đầu cực;
- Một hay vài nhóm cho các máy phát còn lại.

Thông thường nếu các máy phát còn lại cùng kiểu thì có thể nhập chung thành 1 nhóm. Khi khác kiểu cần để thành 2 nhóm. Số nhóm nhiều hơn thường chỉ được phân chia theo các lý do đặc biệt.

3. Thực hiện biến đổi để đưa sơ đồ về dạng đơn giản nhất, gồm các điện kháng tổng hợp $X_{i\Sigma}$ cho mỗi nhóm, nối đến điểm ngắn mạch cần tìm. Trong bước này có các chú ý sau :

- Để đưa sơ đồ ban đầu về sơ đồ tính toán (có nhiều biến đổi) có thể áp dụng các phương pháp biến đổi đẳng trị thông thường (ghép song song, nối tiếp, biến đổi sao-tam giác, sao-lưới ...). Trong quá trình biến đổi, luôn phải chú ý không nhập chung các nguồn khác nhóm với nhau. Đối với sơ đồ phức tạp có thể phải sử dụng đến các phương pháp biến đổi sao-lưới hoặc hệ số phân bố mới đưa về sơ đồ như mong muốn.

- Trong khi biến đổi, các nhánh xuất hiện nối giữa các nút nguồn sdd với nhau có thể bỏ qua. Đó là vì trong phương pháp đường cong tính toán các sdd nguồn đã được coi là xấp xỉ, các nhánh nối giữa các sdd sẽ không có dòng.

Ví dụ sơ đồ xuất phát như trên hình 5-18,a.

Giả sử cần biến đổi để đưa về sơ đồ có 3 nhóm (3 biến đổi) là H, F₁, F_{2,3}. Trước tiên có thể nhập nhánh máy phát F₂ với F₃ (được điện kháng đẳng trị là X₆).

Biến đổi hình sao X₁, X₂, X₃ thành tam giác (với các điện kháng X₁₂, X₁₃, X₂₃). điện kháng nối giữa các sdd X₁₂ có thể loại bỏ khỏi sơ đồ. Tiếp theo cần áp dụng phép biến đổi sao lưới (thành H. 5-19,c). Sau khi loại bỏ các nhánh cân bằng (nối giữa các sdd) sẽ nhận được sơ đồ cuối cùng (hình 5-19,d).

4. Tính các điện kháng tính toán cho mỗi nhóm. Thực chất, là chuyển các điện kháng đẳng trị về hệ cơ bản tính toán của mỗi nhóm.

Ta có :

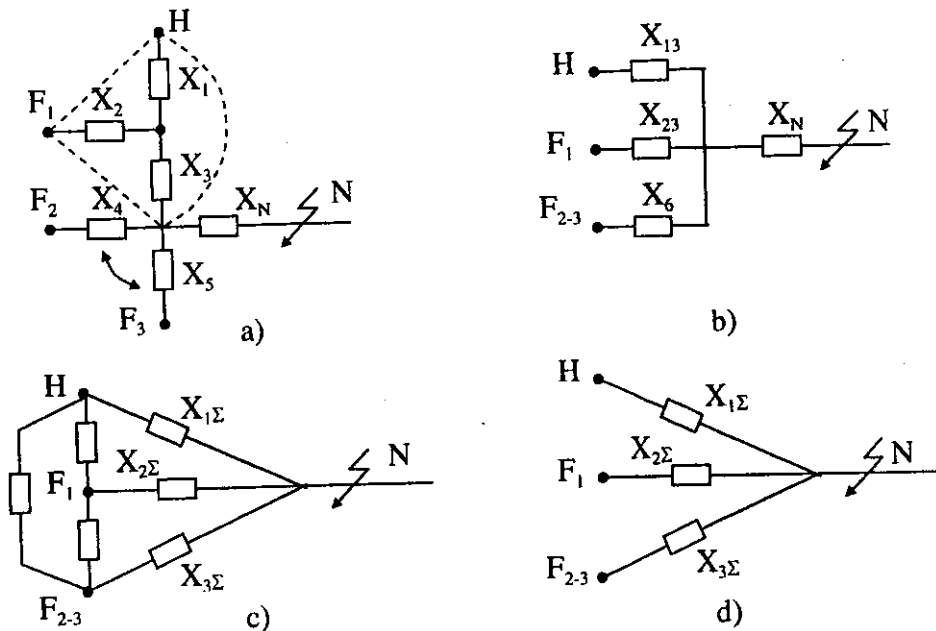
$$X_{H1} = X_{1\Sigma}^* (cb) \cdot \frac{S_{dm\Sigma 1}}{S_{cb}}$$

$$X_{H2} = X_{2\Sigma}^* (cb) \cdot \frac{S_{dm\Sigma 2}}{S_{cb}}$$

...

$$X_{Hn} = X_{n\Sigma}^* (cb) \cdot \frac{S_{dm\Sigma n}}{S_{cb}}$$

Các công suất : $S_{dm\Sigma 1}, S_{dm\Sigma 2}, \dots, S_{dm\Sigma n}$ là tổng công suất định mức của các nguồn nằm trong các nhóm biến đổi từ 1,2,...đến n.



Hình 5.18

5. Dựa vào các điện kháng tính toán, tra đường cong tính toán tương ứng để xác định dòng điện ngắn mạch tính toán của từng nhóm. Cách thực hiện cho mỗi nhóm giống như khi có 1 biến đổi.

6. Tính dòng điện ngắn mạch tổng trong hệ đơn vị có tên. Cần chú ý là các dòng điện ngắn mạch tính toán tra theo đường cong cho mỗi nhóm thuộc về các hệ cơ bản riêng (ứng với $S_{dm\Sigma i}$), do đó khi tính dòng tổng trong hệ đơn vị có tên phải chuyển đổi phù hợp. Ta có thể viết :

$$I''_{N(t)_{kA}} = I''_{u_1(t)} I_{dm\Sigma_1} + I''_{u_2(t)} I_{dm\Sigma_2} + \dots + I''_{u_n(t)} I_{dm\Sigma_n}$$

Trong đó các dòng điện cơ bản riêng :

$$I_{dm\Sigma_i} = \frac{S_{dm\Sigma_i}}{\sqrt{3} U_{tbi}}$$

Điện áp U_{tbi} tính tại điểm ngắn mạch (của mạng trước lúc sự cố).

Thành phần dòng điện ngắn mạch từ hệ thống cung cấp đến điểm ngắn mạch có thể xác định ngay trong hệ đơn vị có tên :

$$I''_{H(t)} = \frac{I_{cb}}{X'_N (cb)}$$

Các chú ý :

1. Khi tính toán ngắn mạch theo đường cong tính toán nếu thấy hằng số thời gian của máy phát khác nhiều so với chuẩn thì cần phải hiệu chỉnh lại bằng cách qui đổi thời gian tính toán (dùng để tra đường cong). Nếu thời điểm tính toán là t thì cần tra

theo $t' = t \cdot \frac{T_{d0(chuan)}}{T_{d0}}$, trong đó, với :

máy phát tua bin hơi $T_{d0}(chuẩn) = 7 \text{ sec}$,

máy phát tua bin nước $T_{d0}(chuẩn) = 5 \text{ sec}$.

2. Nếu trên sơ đồ tính toán từ đầu cực máy phát đến điểm ngắn mạch không có phụ tải, thì cần hiệu chỉnh lại kết quả bằng cách nhân kết quả tra được với hệ số :

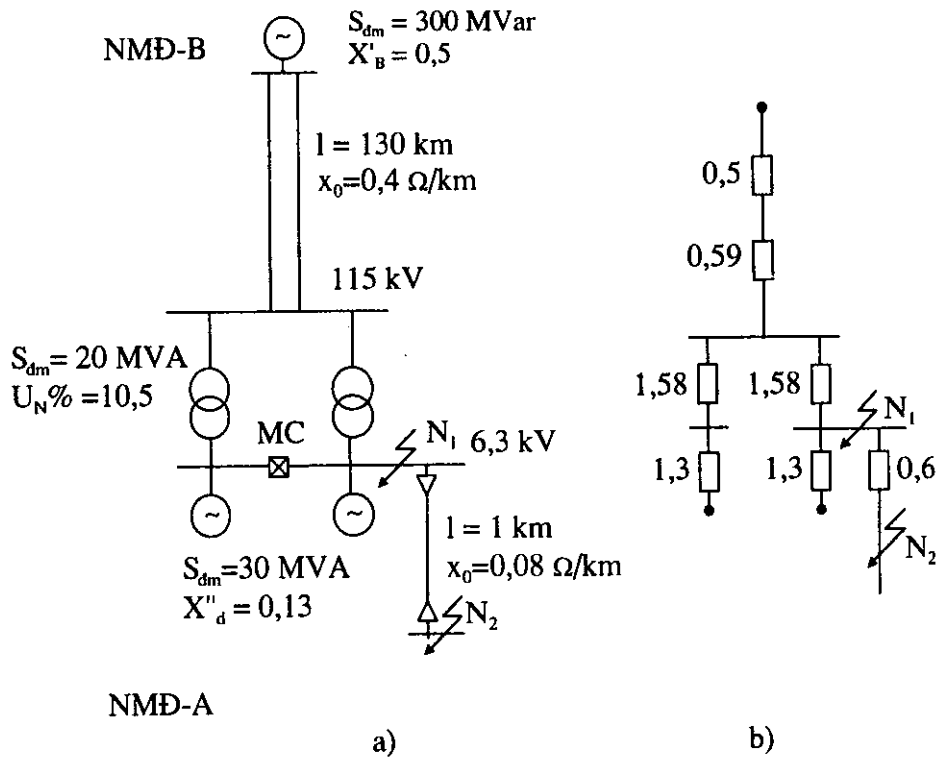
$$b = 1 + \frac{X_u - X_d''}{1,2} ;$$

Trong công thức, trị số 1,2 là điện kháng của phụ tải có công suất bằng công suất định mức máy phát. Cần có sự hiệu chỉnh như vậy là do đường cong tính toán luôn giả thiết có tải định mức ở đầu cực máy phát. Kết quả tính theo đường cong sẽ giảm đi so với khi không có phụ tải. Có thể dễ dàng suy ra hệ số hiệu chỉnh này dựa vào các biểu thức dòng điện ngắn mạch trên sơ đồ có và không có phụ tải. Hơn nữa, nếu ngắn mạch ở ngay đầu cực máy phát thì $b = 1$ (do $X_u = X_d''$) nên lại không cần phải hiệu chỉnh.

5.5 CÁC VÍ DỤ

Ví dụ 5.1 Cho sơ đồ hệ thống điện như trên hình 5-19,a. Hệ thống bao gồm nhà máy nhiệt điện A (2 máy phát) và nhiệt điện B liên kết với nhau qua đường dây kép 110 kV. Thông số của các phần tử được ghi trực tiếp trên sơ đồ. Máy cắt MC ở trạng thái mở.

Tính dòng điện ngắn mạch quá độ tại thời điểm $t = 0,2 \text{ sec}$ và $t = \infty$ ở các điểm ngắn mạch N_1 và N_2 .



Hình 5.19

Giải: Khi máy cắt MC mở ta có sơ đồ thay thế như trên hình 5-19,b. Chọn $S_{cb} = 300 \text{ MVA}$, $U_{cb} = U_{lb}$ ta tính được thông số (điện kháng) của các phần tử (như ghi trên sơ đồ).

a. Ngắn mạch tại N_1

Khi ngắn mạch tại N_1 nhánh máy phát F_2 cần xét riêng như một biến đổi vì máy phát ở trạng thái ngắn mạch ngay đầu cực. Máy phát F_1 của NMD-A có thể nhập chung với các máy phát của NMD-B để tính vì chúng cùng loại máy phát điện và cùng ở xa điểm ngắn mạch. (Nếu tách riêng thành 2 biến đổi thì độ chính xác càng cao hơn).

Cần xác định điện kháng tổng hợp của nhánh máy phát F_1 và NMD-B. Ta có:

$$X_{1\Sigma} = [(1,3 + 1,58) // (0,5 + 0,59)] + 1,58 = 2,37 .$$

Điện kháng tổng hợp của máy phát F_2 chính là điện kháng của bản thân máy phát :

$$X_{2\Sigma} = 1,3 .$$

Các điện kháng này đều được xác định trong hệ đơn vị tương đối cơ bản đã chọn.

Tính đổi sang các điện kháng tính toán :

$$X_{1u} = X_{1\Sigma} \frac{S_{dm\Sigma 1}}{S_{cb}} = 2,37 \cdot \frac{330}{300} = 2,6 \text{ ;}$$

$$X_{2u} = X_{2\Sigma} \frac{S_{dm\Sigma 2}}{S_{cb}} = 1,3 \cdot \frac{30}{300} = 0,13 \text{ .}$$

Để ý rằng khi ngắn mạch ở đầu cực máy phát thì $X_u = X''_d$, nên có thể bỏ qua các bước tính cho X_{2u} như trên.

Tra đường cong tính toán (của máy phát tua bin hơi) ta sẽ nhận được các trị số dòng điện ngắn mạch như sau (dựa vào $X_{1u} = 2,6$ để tra). Chú ý tra theo các đường cong ứng với $t = 0,2$ s và $t = \infty$.

$$I_{u1}(0,2) = 0,37 \text{ ; } I_{u1}(\infty) = 0,41 \text{ .}$$

Đối với nhánh máy phát F_2 ta có (theo $X_{2u} = 0,13$)

$$I_{u2}(0,2) = 4,6 \text{ ; } I_{u2}(\infty) = 2,74 \text{ .}$$

Để chuyển sang hệ đơn vị có tên cần xác định các dòng điện cơ bản tính toán:

$$I_{dm\Sigma 1} = \frac{S_{dm\Sigma 1}}{\sqrt{3}U_{lb}} = \frac{330}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 30,25 \text{ kA}$$

$$I_{dm\Sigma 2} = \frac{S_{dm\Sigma 2}}{\sqrt{3}U_{lb}} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 2,75 \text{ kA}$$

Điện áp U_{lb} cần lấy theo điện áp mạng chứa điểm ngắn mạch, ở đây là 6,3 kV.

Ta xác định được trị số có tên của dòng điện ngắn mạch tổng tại điểm ngắn mạch:

$$\begin{aligned} I_N(0,2) &= I_{u1}(0,2)I_{dm\Sigma 1} + I_{u2}(0,2)I_{dm\Sigma 2} \\ &= 0,37 \cdot 30,25 + 4,6 \cdot 2,75 = 23,8 \text{ kA .} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_N(\infty) &= I_{u1}(\infty)I_{dm\Sigma 1} + I_{u2}(\infty)I_{dm\Sigma 2} \\ &= 0,41 \cdot 30,25 + 2,74 \cdot 2,75 = 19,9 \text{ kA .} \end{aligned}$$

Ta thử tính với việc nhập chung cả máy phát F_2 vào thành 1 biến đổi. Khi đó:

$$X_u = (X_{1\Sigma} // X_{2\Sigma}) \cdot \frac{S_{dm\Sigma}}{S_{cb}} = (2,37 // 1,3) \cdot \frac{360}{300} = 1,01 \text{ .}$$

Tra đường cong tính toán ta có dòng điện ngắn mạch tổng:

$$I_u(0,2) = 0,88 \text{ ; } I_u(\infty) = 1,12$$

Trong hệ đơn vị có tên:

$$I_N(0,2) = I_u(0,2)I_{dm\Sigma} = 0,88 (30,25 + 2,75) = 29 \text{ kA}$$

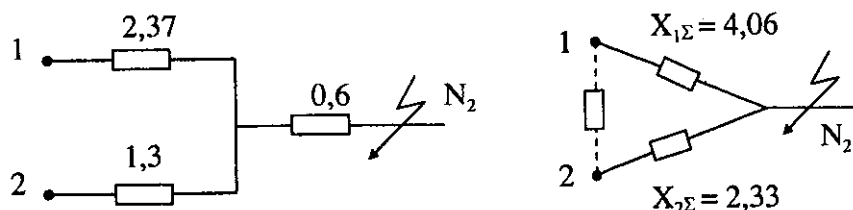
$$I_N(\infty) = I_u(\infty)I_{dm\Sigma} = 1,12 (30,25 + 2,75) = 37 \text{ kA .}$$

Sai số đáng kể so với khi áp dụng 2 biến đổi.

b. Ngắn mạch tại N_2

Vì điện kháng đường dây cáp tương đối nhỏ nên đối với máy phát F2 vẫn là ngắn mạch gần. Ta vẫn áp dụng 2 biến đổi.

Từ kết quả đã tính toán ở trên ta có thể xét ngay sơ đồ tính toán sau :



Bằng phép biến đổi sao - tam giác ta có :

$$X_{1\Sigma} = 2,37 + 0,6 + \frac{2,37 \cdot 0,6}{1,3} = 4,06$$

$$X_{2\Sigma} = 1,3 + 0,6 + \frac{1,3 \cdot 0,6}{2,37} = 2,23$$

Đổi sang các điện kháng tính toán :

$$X_{1tt} = 4,06 \cdot \frac{330}{300} = 4,47$$

$$X_{2tt} = 2,23 \cdot \frac{30}{300} = 0,22$$

Vì $X_{1tt} > 3$ ta không tra theo đường cong tính toán.

Nhánh máy phát F_2 tính theo đường cong (với $X_{2tt} = 0,22$) sẽ nhận được:

$$I_{tt2}(0,2) = 3,2 \quad ; \quad I_{tt2}(\infty) = 2,5$$

Dòng điện ngắn mạch tổng tại điểm ngắn mạch tính trong đơn vị có tên :

$$\begin{aligned} I_N(0,2) &= I_{tt1}(0,2) I_{dm\Sigma1} + I_{tt2}(0,2) I_{dm\Sigma2} \\ &= \frac{1}{4,47} \cdot 30,25 + 3,2 \cdot 2,75 = 15,5 \text{ kA} \end{aligned}$$

$$I_N(\infty) = \frac{1}{4,47} \cdot 30,25 + 3,5 \cdot 2,75 = 13,6 \text{ kA}$$

Ta cũng so sánh kết quả với trường hợp nhập chúng làm một biến đổi :

$$X_{tt} = (X_{1\Sigma} // X_{2\Sigma}) \frac{S_{dm\Sigma}}{S_{cb}} = 1,44 \cdot \frac{360}{300} = 1,73 \quad ;$$

Tra đường cong tính toán sẽ có : $I_n(0,2) = 0,53$; $I_n(\infty) = 0,62$.

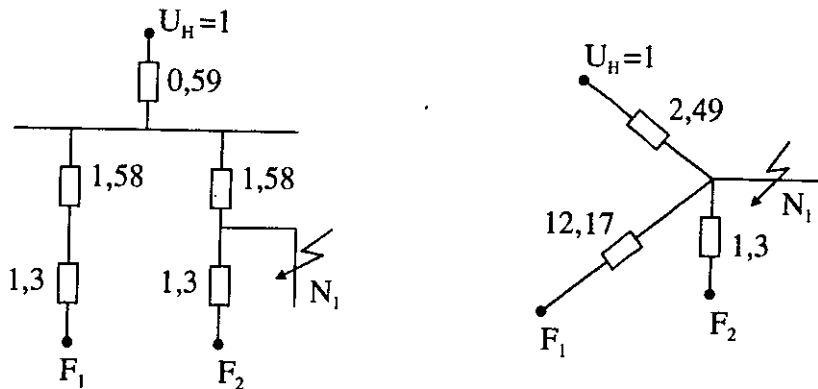
$$I_N(0,2) = I_n(0,2)I_{dm\Sigma} = 0,53(30,25 + 2,75) = 17,5 \text{ kA}$$

$$I_N(\infty) = I_n(\infty)I_{dm\Sigma} = 0,62(30,25 + 2,75) = 20,4 \text{ kA.}$$

Sai số cũng rất lớn nên cần dùng hai biến đổi là đúng.

Ví dụ 5.2 Vẫn xét hệ thống điện trên sơ đồ hình 5-19,a. Tuy nhiên các tính toán được thực hiện khi nhà máy điện A nối với hệ thống công suất vô cùng lớn ở cuối đường dây 110 kV. Điện áp thanh cái hệ thống giữ không đổi ở điện áp $U_H = 115 \text{ kV}$. Giả thiết ngắn mạch xảy ra ở N_1 .

Giải : Trong trường hợp này cần áp dụng 3 biến đổi hệ thống công suất vô cùng lớn cần tách riêng làm một biến đổi. Máy phát F_2 có ngắn mạch đầu cực không thể ghép chung với máy phát F_1 . Sơ đồ thay thế tính toán như trên hình 5-20.



Hình 5.20

Để đưa về sơ đồ đơn giản cuối cùng, chỉ cần thực hiện phép biến đổi sao - tam giác và bỏ qua nhánh cân bằng. Ta có :

$$\begin{aligned} X_8 &= X_5 + X_6 + \frac{X_5 X_6}{(X_1 + X_4)} \\ &= 0,59 + 1,58 + \frac{1,58 \cdot 0,59}{2,88} = 2,49 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_9 &= (X_1 + X_4) + X_5 + \frac{(X_1 + X_4) X_5}{X_6} \\ &= 2,88 + 1,58 + \frac{1,58 \cdot 2,88}{0,59} = 12,17 \end{aligned}$$

Nhánh điện kháng tương hỗ giữa H và F₁ không cần tính (nhánh cân bằng, bỏ qua).
Chuyển sang điện kháng tính toán ta có :

$$X_{1tt} = X_9 \frac{S_{dm\Sigma 1}}{S_{cb}} = 12,17 \cdot \frac{30}{300} = 1,22$$

$$X_{2tt} = X_2 \frac{S_{dm\Sigma 2}}{S_{cb}} = X'_d = 0,13$$

Tra đường cong tính toán của máy phát tua bin hơi ta có :

$$I_{1tt}(0,2) = 0,72 \quad ; \quad I_{1tt}(\infty) = 0,9$$

$$I_{2tt}(0,2) = 4,6 \quad ; \quad I_{2tt}(\infty) = 2,74$$

Tính dòng điện ngắn mạch tổng trong hệ đơn vị có tên :

$$I_N(t) = \frac{I_{cb}}{X_8} + I_{1tt}(t)I_{dm\Sigma 1} + I_{2tt}(t)I_{dm\Sigma 2}$$

Ở đây :

$$I_{cb} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}U_{tb}} = \frac{300}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 27,5 \text{ kA}$$

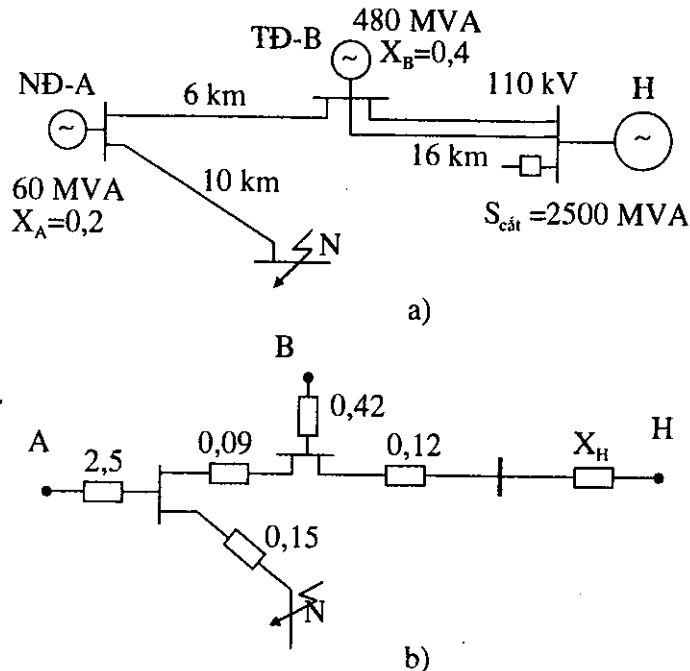
$$I_{dm\Sigma 1} = I_{dm\Sigma 2} = \frac{S_{dm\Sigma 1}}{\sqrt{3}U_{tb}} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 2,75 \text{ kA}$$

Thay vào ta nhận được các trị số của dòng điện ngắn mạch tổng:

$$\begin{aligned} I_N(0,2) &= \frac{I_{cb}}{X_8} + I_1(0,2)I_{dm\Sigma 1} + I_2(0,2)I_{dm\Sigma 2} \\ &= \frac{27,5}{2,49} + 0,72 \cdot 2,75 + 4,6 \cdot 2,75 = 25,67 \text{ kA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_N(\infty) &= \frac{I_{cb}}{X_8} + I_1(\infty)I_{dm\Sigma 1} + I_2(\infty)I_{dm\Sigma 2} \\ &= \frac{27,5}{2,49} + 0,9 \cdot 2,75 + 2,74 \cdot 2,75 = 21,15 \text{ kA} \end{aligned}$$

So sánh kết quả với trường hợp nhà máy nối vào hệ thống công suất hữu hạn, dòng điện ngắn mạch trong trường hợp này có lớn hơn. Tuy nhiên kết quả sai khác không phải là lớn (dưới 10 %). Do đó khi thiếu số liệu, đối với những hệ thống công suất từ 300 MW trở lên người ta có thể giả thiết như nối vào thanh góp hệ thống công suất vô cùng lớn để tính toán.



Hình 5.21

Ví dụ 5.3 Cho sơ đồ hệ thống điện trên hình 5-21, a gồm nhà máy nhiệt điện A và trạm thủy điện B. Hệ thống đang xét nối vào hệ thống bên cạnh qua trạm biến áp đã thiết kế trước. Máy cắt điện của trạm này có công suất cắt định mức $S_{dm\ cắt} = 2500$ MVA và $U_{dm} = 115$ kV. Ngắn mạch xảy ra tại điểm N. Cần tìm dòng điện và công suất ngắn mạch tại thời điểm $t = 0,5$ sec.

Giải : Sơ đồ thay thế tính toán của hệ thống đang xét vẽ được như trên hình 5-21, b. Chọn $S_{cb} = 500$ MVA, $U_{cb} = U_{tb}$ ta tính được điện kháng của các phần tử như ghi trên sơ đồ.

Riêng điện kháng đẳng trị của hệ thống bên cạnh chưa biết ta cần tính như sau. Trước hết cần tính công suất ngắn mạch tại trạm liên lạc có đặt máy cắt 110 kV (ngắn mạch trên thanh cái 110 kV). Công suất này được cung cấp từ 2 phía : hệ thống đang xét và hệ thống bên cạnh.

Điện kháng tổng hợp của hệ thống đang xét (bao gồm các nhà máy điện A và B) tính đến thanh cái 110 kV của trạm :

$$\begin{aligned} X_{\Sigma} &= [(X_1 + X_5) // X_2] + X_6 \\ &= [(2,5 + 0,09) // 0,42] + 0,12 = 0,48 . \end{aligned}$$

Với trị số tương đối thì $I_{*N} = S_{*N}$, do đó ta có (tại thời điểm đầu):

$$S''_N = I''_{*N} S_{cb} = \frac{S_{cb}}{X_{\Sigma}} = \frac{500}{0,48} = 1040 \text{ MVA}$$

Công suất ngắn mạch tổng có thể lấy bằng công suất cắt của máy cắt trong trạm, từ đó có thể tính được công suất ngắn mạch từ hệ thống bên cạnh cung cấp:

$$S''_{NH} = S_{dm\text{ cắt}} - S''_N = 2500 - 1040 = 1460 \text{ MVA}$$

Từ đó ta có điện kháng đẳng trị của hệ thống bên cạnh:

$$X_H = \frac{S_{cb}}{S_{NH}} = \frac{500}{1460} = 0,34$$

Để tính dòng điện ngắn mạch tại N ta cần tìm các điện kháng tổng hợp của toàn hệ thống (đối với N)

Ta có: $X_7 = X_3 + X_6 = 0,34 + 0,12 = 0,46$

Nếu áp dụng 3 biến đổi: hệ thống, nhà máy nhiệt điện, nhà máy thủy điện, ta cần thực hiện hai lần biến đổi sao tam giác và sao lưới:

$$X_8 = X_1 + X_5 + \frac{X_1 X_5}{X_4} = 2,5 + 0,09 + \frac{2,5 \times 0,09}{0,15} = 4,09$$

$$X_9 = X_1 + X_4 + \frac{X_1 X_4}{X_5} = 2,5 + 0,15 + \frac{2,5 \times 0,15}{0,09} = 6,82$$

$$X_{10} = X_4 + X_5 + \frac{X_4 X_5}{X_1} = 0,15 + 0,09 + \frac{0,15 \times 0,09}{2,5} = 0,245$$

Để tính theo công thức biến đổi sao lưới ta tính các điện dẫn:

$$Y_2 = \frac{1}{X_2} = \frac{1}{0,42} = 2,38$$

$$Y_7 = \frac{1}{X_7} = \frac{1}{0,46} = 2,17$$

$$Y_8 = \frac{1}{X_8} = \frac{1}{4,09} = 0,244$$

$$Y_{10} = \frac{1}{X_{10}} = \frac{1}{0,245} = 4,08$$

$$Y_{\Sigma} = Y_2 + Y_7 + Y_8 + Y_{10} = 8,87$$

$$Y_9 = \frac{1}{X_9} = \frac{1}{6,82} = 0,146$$

$$Y_{11} = Y_9 + \frac{Y_8 Y_{10}}{Y_\Sigma} = 0,146 + \frac{0,244 \times 4,08}{8,87} = 0,258$$

$$Y_{12} = \frac{Y_2 Y_{10}}{Y_\Sigma} = \frac{2,38 \times 4,08}{8,87} = 1,09$$

$$Y_{13} = \frac{Y_7 Y_{10}}{Y_\Sigma} = \frac{2,17 \times 4,08}{8,87} = 0,998$$

Các điện kháng tính toán tổng hợp

- Nối đến nhà máy nhiệt điện A:

$$X_{11tt} = \frac{1}{Y_{11}} \frac{S_{dm \Sigma A}}{S_{cb}} = \frac{1}{0,258} \frac{60}{500} = 0,465$$

- Nối đến thủy điện B:

$$X_{12tt} = \frac{1}{Y_{12}} \frac{S_{dm \Sigma B}}{S_{cb}} = \frac{1}{1,09} \frac{480}{500} = 0,88$$

Tra đường cong tính toán ứng với $t = 0,5$ sec ta có:

$$I_{Att}(0,5) = 1,65 ; I_{Btt}(0,5) = 1,15$$

Các dòng điện cơ bản tính ở cấp 115KV:

$$I_{cb} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3} U_{cb}} = \frac{500}{\sqrt{3} \times 115} = 2,51 \text{ KA} ;$$

$$I_{cb \Sigma 1} = \frac{S_{dm \Sigma 1}}{\sqrt{3} U_{tb}} = \frac{60}{\sqrt{3} \times 115} = 0,5 \text{ KA} ;$$

$$I_{cb \Sigma 2} = \frac{S_{dm \Sigma 2}}{\sqrt{3} U_{tb}} = \frac{480}{\sqrt{3} \times 115} = 2,41 \text{ KA} .$$

Dòng điện ngắn mạch tổng tại điểm ngắn mạch

$$\begin{aligned} I_N(0,5) &= Y_{13} \cdot I_{cb} + I_{Att}(0,5) \cdot I_{dm \Sigma 1} + I_{Btt}(0,5) \cdot I_{dm \Sigma 2} \\ &= 0,998 \times 2,51 + 1,65 \times 0,3 + 1,15 \times 2,41 \\ &= 5,77 \text{ kA} \end{aligned}$$

Công suất ngắn mạch

$$\begin{aligned} S_N(0,5) &= I_N(0,5) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{tb} \\ &= 5,77 \times \sqrt{3} \times 115 = 1149 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Những điểm cần ghi nhớ trong chương năm

1. Người ta xét riêng cách tính toán trị số ban đầu của dòng điện ngắn mạch chu kỳ (quá độ và siêu quá độ) và cách tính toán dòng điện ngắn mạch biến thiên theo thời gian. Để tính trị số ban đầu (biên độ hay trị số hiệu dụng) của dòng điện ngắn mạch chỉ cần dựa vào mô hình máy phát tại $t = 0$ sau ngắn mạch.
2. Về nguyên tắc để tính chính xác dòng điện ngắn mạch quá độ và siêu quá độ ban đầu cần mô hình mạch cho máy phát và mạng điện theo 2 trục vuông góc (dọc và ngang của hệ toạ độ quay). Dựa vào hệ phương trình mạch viết theo các trục để xác định các dòng điện thành phần. Sau đó tổng hợp lại để có trị số biên độ (hay hiệu dụng) của dòng điện ngắn mạch. Tuy nhiên, thực tế người ta hay áp dụng mô hình mạch gần đúng của máy phát theo các đại lượng tổng hợp (theo E'_q và E'' ...) để tính toán dòng điện ngắn mạch quá độ. Phép tính đơn giản hơn trong khi sai số mắc phải không lớn.
3. Để tính dòng điện ngắn mạch biến thiên theo thời gian có thể áp dụng phương pháp giải tích hoặc phương pháp đường cong tính toán. Phương pháp giải tích cho phép áp dụng thuận tiện và chính xác khi tính dòng điện ngắn mạch ở thời gian ngắn ban đầu (dưới 0,5 giây) khi TĐK chưa có ảnh hưởng. Phương pháp đường cong tính toán có ý nghĩa vạn năng (tính được ở mọi thời điểm kể cả với $t=0$ và $t=\infty$) nhưng có thể mắc sai số lớn nếu áp dụng không đúng.
4. Để đảm bảo kết quả phù hợp (sai số đủ nhỏ cho các ứng dụng) điều rất quan trọng khi áp dụng đường cong tính toán là phân nhóm máy phát thích hợp khi biến đổi đẳng trị sơ đồ tính toán. Cần đặc biệt lưu ý các lượng cơ bản đã mặc định trong phương pháp đường cong tính toán.

Chương 6

NGẮN MẠCH KHÔNG ĐỐI XỨNG

6.1 KHÁI NIỆM CHUNG

Ngắn mạch 3 pha là dạng duy nhất đối xứng xảy ra trong hệ thống điện, các dạng ngắn mạch còn lại đều là không đối xứng bởi vì tình trạng các pha khi đó không giống nhau. Ngắn mạch không đối xứng bao gồm :

- Ngắn mạch 1 pha ;
- Ngắn mạch 2 pha ;
- Ngắn mạch 2 pha chạm đất.

Khi ngắn mạch không đối xứng dòng điện và điện áp các pha khác nhau về trị số, góc lệch pha cũng không còn đối xứng (khác 120°) . Do đó không thể tách riêng một pha để tính toán như đối với ngắn mạch ba pha.

Về nguyên tắc, để tính dòng điện và điện áp các pha khi xảy ra ngắn mạch không đối xứng có thể giải mạch với sơ đồ cả ba pha theo các phương pháp thông thường. Tuy nhiên cách tính toán như vậy rất phức tạp, hầu như không được áp dụng trong thực tế. Người ta áp dụng phổ biến hiện nay phương pháp các thành phần đối xứng. Thực chất của phương pháp này là phân tích để đưa các dạng ngắn mạch không đối xứng về ngắn mạch 3 pha đối xứng thành phần. Sau khi tính toán kết quả sẽ được tổng hợp lại.

Ngoài ngắn mạch không đối xứng, trong hệ thống điện còn có thể xảy ra các dạng sự cố không đối xứng khác:

- Lúc đứt dây 1 pha hoặc 2 pha mạng điện cũng trở thành không đối xứng. Lúc đó người ta gọi sự cố là *chế độ không đối xứng dọc*.
- Có thể xảy ra vừa ngắn mạch vừa đứt dây từng pha ở đồng thời nhiều chỗ khác nhau trong mạng điện. Khi đó người ta gọi hiện tượng xảy ra là *sự cố phức tạp*.

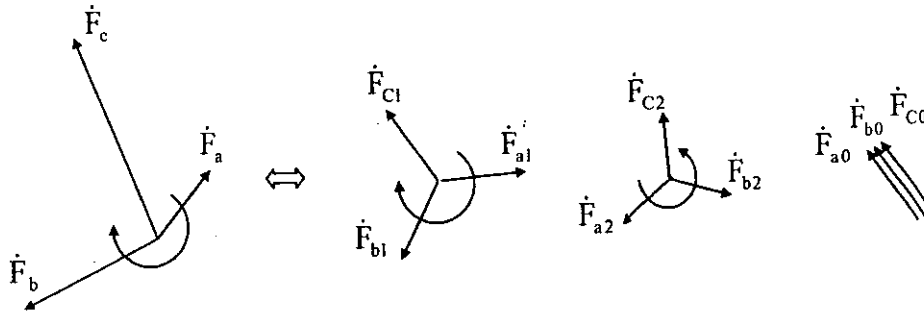
Về phương pháp tính toán, các chế độ không đối xứng có nhiều điểm chung, nhưng cũng không phải là hoàn toàn đồng nhất. Trong đó, ngắn mạch không đối xứng ở một vị trí là hiện tượng đơn giản nhất, có thể lấy làm cơ sở. Trong giáo trình này xét chủ yếu hiện tượng ngắn mạch không đối xứng tại một vị trí của sơ đồ.

6.2 CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP CÁC THÀNH PHẦN ĐỐI XỨNG

Phương pháp các thành phần đối xứng dựa trên cơ sở toán học về sự phân tích một hệ thống véc tơ 3 pha thành các hệ thống 3 pha thành phần. Để cho tổng quát, xét một hệ thống 3 véc tơ bất kỳ $\vec{F}_a, \vec{F}_b, \vec{F}_c$. Để chứng minh được rằng, chúng có thể phân tích duy nhất thành 3 hệ thống thành phần :

- Hệ thống thành phần thứ tự thuận : $\vec{F}_{a1}, \vec{F}_{b1}, \vec{F}_{c1}$;
- Hệ thống thành phần thứ tự nghịch : $\vec{F}_{a2}, \vec{F}_{b2}, \vec{F}_{c2}$;

- Hệ thống thành phần thứ tự không : $\dot{F}_{a0}, \dot{F}_{b0}, \dot{F}_{c0}$.



Hình 6.1

Ý nghĩa phân tích được thể hiện là :

$$\left. \begin{aligned} \dot{F}_a &= \dot{F}_{a1} + \dot{F}_{a2} + \dot{F}_{a0} \\ \dot{F}_b &= \dot{F}_{b1} + \dot{F}_{b2} + \dot{F}_{b0} \\ \dot{F}_c &= \dot{F}_{c1} + \dot{F}_{c2} + \dot{F}_{c0} \end{aligned} \right\} \quad (6-1)$$

Hệ phương trình trên có 9 ẩn. Ta đưa về 3 ẩn bằng cách sử dụng số phức (còn gọi là toán tử quay) :

$$a = e^{j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

và viết lại như sau :

$$\left. \begin{aligned} \dot{F}_a &= \dot{F}_{a1} + \dot{F}_{a2} + \dot{F}_{a0} \\ \dot{F}_b &= a^2 \dot{F}_{a1} + a \dot{F}_{a2} + \dot{F}_{a0} \\ \dot{F}_c &= a \dot{F}_{a1} + a^2 \dot{F}_{a2} + \dot{F}_{a0} \end{aligned} \right\} \quad (6-2)$$

Giải hệ phương trình (6-2) ta nhận được :

$$\left. \begin{aligned} \dot{F}_{a0} &= \frac{1}{3}(\dot{F}_a + \dot{F}_b + \dot{F}_c) \\ \dot{F}_{a1} &= \frac{1}{3}(\dot{F}_a + a\dot{F}_b + a^2\dot{F}_c) \\ \dot{F}_{a2} &= \frac{1}{3}(\dot{F}_a + a^2\dot{F}_b + a\dot{F}_c) \end{aligned} \right\} \quad (6-3)$$

Hệ (6-3) chính là kết quả phân tích hệ thống 3 véc tơ không đối xứng ban đầu $\dot{F}_a, \dot{F}_b, \dot{F}_c$ bất kỳ thành các thành phần đối xứng. Các véc tơ pha còn lại của hệ thống thành phần suy ra được theo các quan hệ góc pha :

$$\begin{aligned}\dot{F}_{a0} &= \dot{F}_{b0} = \dot{F}_{c0} \\ \dot{F}_{b1} &= a^2 \dot{F}_{a1} ; \quad \dot{F}_{c1} = a \dot{F}_{a1} \\ \dot{F}_{b2} &= a \dot{F}_{a2} ; \quad \dot{F}_{c2} = a^2 \dot{F}_{a2}\end{aligned}$$

Sau đây là một số khái niệm gắn liền với hệ thống 3 pha không đối xứng.

- Hệ thống ba pha được gọi là cân bằng nếu :

$$\dot{F}_a + \dot{F}_b + \dot{F}_c = 0$$

Người ta gọi hệ số không cân bằng là tỉ số :

$$k_0 = \frac{F_{a0}}{F_{a1}}$$

Như vậy nếu hệ thống 3 pha cân bằng thì $k_0 = 0$.

Hệ số không đối xứng được định nghĩa là :

$$k_2 = \frac{F_{a2}}{F_{a1}}$$

Hệ thống ba pha là đối xứng nếu $k_2 = 0$. Như vậy hệ thống thành phần thứ tự thuận chính là trường hợp riêng của hệ thống đối xứng và cân bằng. Hệ thống thứ tự không là hệ thống đối xứng nhưng không cân bằng.

Áp dụng lý thuyết phân tích vừa nêu cho hệ thống điện, các đại lượng ba pha như dòng điện, điện áp, sdd sẽ có thể coi như bao gồm các hệ thống thành phần thứ tự thuận, thứ tự nghịch, thứ tự không. Vì mạch điện là tuyến tính nên có thể áp dụng phương pháp xếp chồng để tính toán đối với từng thành phần thứ tự. Kết quả được tổng hợp lại theo các quan hệ (6-1).

Một số tính chất của hệ thống đại lượng 3 pha của mạch điện :

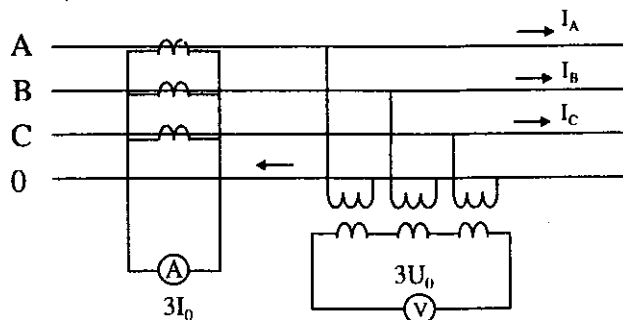
1. Hệ thống dòng điện dây trong hệ thống điện ba pha có trung điểm không nối đất (và không có dây trung tính) là hệ thống cân bằng, tức là không có thành phần thứ tự không. Đó là vì $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 3\dot{I}_0 = 0$.

2. Dòng điện từ trung điểm đi vào đất (hoặc dây trung tính) bằng 3 lần dòng điện thứ tự không.

3. Hệ thống điện áp dây là hệ thống cân bằng. Đó là vì :

$$\dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CA} = 0$$

4. Ngoài ý nghĩa toán học, các thành phần thứ tự nghịch và thứ tự không còn mang ý nghĩa vật lý. Chẳng hạn có thể lọc được thành phần dòng điện và điện áp thứ tự không nhờ nối máy biến dòng và máy biến điện áp như hình 6.2.



Hình 6.2

6.3 ĐIỆN KHÁNG THỨ TỰ NGHỊCH VÀ THỨ TỰ KHÔNG

Tất cả các tổng trở đặc trưng cho các phần tử của mạng điện, vẫn thường áp dụng để tính toán chế độ làm việc bình thường của HTĐ (3 pha đối xứng) chính là tổng trở thứ tự thuận. Chúng đặc trưng cho phản ứng của mạch đối với dòng điện 3 pha đối xứng thứ tự thuận. Với hệ thống dòng điện thứ tự nghịch và thứ tự không, phản ứng của mạch bị khác đi. Trị số điện kháng không còn giống như với hệ thống dòng điện thứ tự thuận.

Nói chung có thể áp dụng các qui tắc sau để xem xét :

1. Các phần tử đứng yên (không chuyển động quay) điện kháng thứ tự nghịch bằng điện kháng thứ tự thuận. Điều này dễ nhận thấy, bởi vì khi không có chuyển động tương đối (quay) giữa các bộ phận thì từ trường sinh ra lúc cho hệ thống dòng điện thứ tự thuận hay thứ tự nghịch chạy qua các pha không có gì khác biệt. Thứ tự các pha chỉ mang tính qui ước: một pha bất kỳ A và 2 pha còn lại là B, C. Khi có chuyển động quay (máy phát, động cơ ...) thì nói chung $X_2 \neq X_1$, bởi chuyển động tương đối giữa các cuộn dây và từ trường quay không giống nhau tính theo thứ tự của các cuộn dây.
2. Các phần tử không có hồ cảm giữa các pha thì $X_0 = X_1$, ngược lại $X_0 \neq X_1$. Có thể giải thích điều này bởi từ thông tổng hợp giữa các pha có hồ cảm, khi có dòng điện thứ tự không (cùng góc pha) chạy qua thường lớn hơn nhiều khi dòng điện 3 pha là thứ tự thuận (lệch pha nhau 120°).
3. Trong mạch có điện dung thì cả thành phần tác dụng (điện trở) thứ tự không cũng khác với thứ tự thuận. Chẳng hạn, tổng trở của đường dây siêu cao áp do ảnh hưởng bởi điện dung các pha so với đất phần thực của tổng trở tương đương thay đổi đáng kể so với điện trở thứ tự thuận.

Hãy xét cụ thể hơn điện kháng của các phần tử.

1. Máy phát điện đồng bộ

Vì là phần tử có chuyển động quay nên $X_2 \neq X_1$. Để xác định X_2 bằng thực nghiệm người ta đặt các cuộn dây pha máy phát điện vào điện áp thứ tự nghịch. Khi đó dòng điện chạy trong các cuộn dây sẽ tạo ra từ trường quay với vận tốc là 2ω so với cuộn dây ro to. Tương quan dòng, áp sẽ cho phép xác định điện kháng X_2 .

Khi không có số liệu thực nghiệm (cho trong lý lịch máy) có thể tính gần đúng:

- Với máy có cuộn cản:

$$X_2 \approx \frac{X_d'' + X_q''}{2} \approx X_d'' ;$$

- Với máy không cuộn cản:

$$X_2 \approx \sqrt{X_d' X_q} \approx 1,45 X_d' .$$

Điện kháng thứ tự không $X_0 \neq X_1$, vì máy phát là phần tử có hồ cảm. Khi cho dòng điện thứ tự không chạy vào các cuộn dây pha của máy phát điện (phải có dây trung tính), có thể xác định được X_0 bằng thực nghiệm. Trị số gần đúng:

$$X_0 = (0,15 + 0,6) X_d'' .$$

Tuy nhiên rất ít khi phải xét đến điện kháng thứ tự không của máy phát vì trung tính của máy phát thường không nối đất và cũng không có dây trung tính. (khi đó có thể coi $X_0 = \infty$).

2. Phụ tải tổng hợp

Phụ tải tổng hợp có thể chứa các động cơ (phần tử có chuyển động quay) do đó, nói chung $X_2 \neq X_1$. Ngoài ra phụ tải tổng hợp còn có thể chứa cả phần mạng điện cung cấp, do đó trong tính toán ngắn mạch chỉ có thể lấy gần đúng trị số X_2 . Trong hệ đơn vị tương đối (với lượng cơ bản là tổng công suất phụ tải và điện áp thanh cái cung cấp), khi nút tải tính ở cấp (6 ÷ 10) kV có thể lấy:

$$Z_2 = 0,18 + j0,24 \text{ hay } X_2 \approx 0,35 .$$

Với nút tải tính ở điện áp cao hơn (từ 35 kV trở lên) có thể lấy:

$$Z_2 = 0,18 + j0,35 \text{ hay } X_2 \approx 0,45 .$$

Cần chú ý là tổng trở thứ tự nghịch của phụ tải không phụ thuộc vào chế độ ngắn mạch (duy trì hay quá độ).

3. Kháng điện, tụ điện

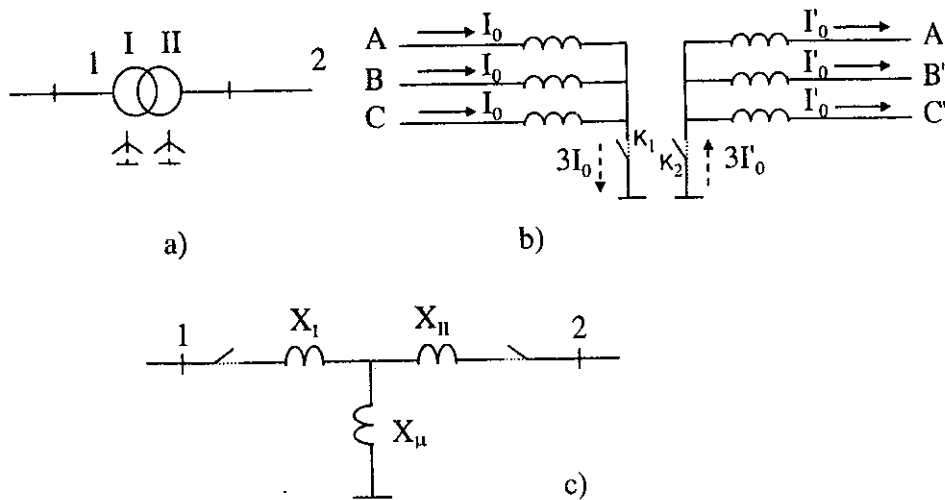
Kháng điện và tụ điện đều là các phần tử đứng yên, không có hồ cảm giữa các pha, do đó có thể lấy $X_2 = X_1$; $X_0 = X_1$.

4. Máy biến áp

Máy biến áp là phân tử đứng yên nên $X_2 = X_1$.

Sơ đồ thay thế thứ tự nghịch và các thông số tính toán tương ứng của máy biến áp không có gì khác so với sơ đồ thứ tự thuận. Trong khi đó sơ đồ thứ tự không của các máy biến áp có sai khác đáng kể so với sơ đồ thứ tự thuận.

a. Xét trường hợp đơn giản nhất, máy biến áp hai cuộn dây, đấu sao cả sơ cấp lẫn thứ cấp (hình 6.3,a)

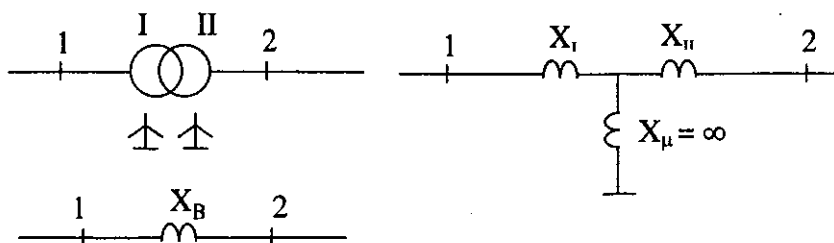


Hình 6.3

Dòng điện thứ tự không có chạy được qua các cuộn dây của máy biến áp hay không phụ thuộc hoàn toàn vào tình trạng của trung tính (nối đất hay không). Nếu các trung tính đều được nối đất (biểu thị bằng các khoá K_1 và K_2 đều đóng) thì dòng điện thứ tự không chạy qua máy biến áp hoàn toàn bình thường, gần giống như dòng điện thứ tự thuận (hình 6.3,b). Do đó sơ đồ thay thế cũng giống như sơ đồ thứ tự thuận (hình 6.3,c với K_1 và K_2 đóng). Có sự khác nhau chút ít ở một số trường hợp đối với trị số của điện kháng X_μ (điện kháng từ hoá). Khi máy biến áp gồm 3 máy biến áp một pha (độc lập) hoặc máy biến áp 3 pha 5 trụ, mạch từ làm việc với dòng điện thứ tự không không có gì khác so với dòng thứ tự thuận, lúc đó X_μ có trị số khá lớn. Thường có thể coi $X_\mu = \infty$ và sơ đồ thay thế máy biến áp có dạng rút gọn với $X_B = X_I + X_{II}$ và có trị số như đối với sơ đồ thứ tự thuận (hình 6.4)

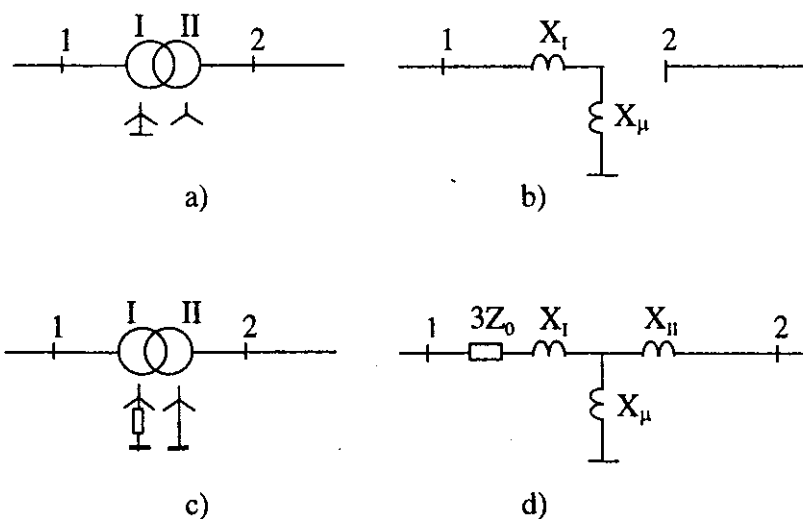
Với máy biến áp 3 pha 3 trụ từ thông thứ tự không của 3 cuộn dây cùng pha, không triệt tiêu nên phải khép mạch ra ngoài không khí, từ trở lớn hơn nên X_μ nhỏ. Thí nghiệm cho thấy $X_\mu = (0,3 \div 1)$. Do đó lúc tính chính xác không thể bỏ qua X_μ .

Khi trung tính của cuộn dây không được nối đất thì dòng điện thứ tự không sẽ hoàn toàn không xuất hiện trong cuộn dây đó. Sơ đồ thay thế như trên (hình 6.3,c), tương ứng với K_1 hoặc K_2 mở (hoặc cả hai).



Hình 6.4

Nếu trung tính phía sơ cấp nối đất nhưng trung tính phía thứ cấp cách điện (K_1 đóng, K_2 mở) thì máy biến áp làm việc như ở trạng thái không tải. Dòng thứ tự không ở phía thứ cấp hoàn toàn không có, còn dòng điện phía sơ cấp chỉ là dòng không tải (chạy qua các điện kháng nối tiếp $X_I + X_{\mu}$). Với máy biến áp 3 pha 3 trụ có thể dùng sơ đồ thứ tự không như trên hình 6.5,b. Các trường hợp khác, bỏ qua cả X_{μ} , nên sơ đồ trở thành nhánh cụt (bị đứt), thể hiện không có dòng điện nào chạy qua.

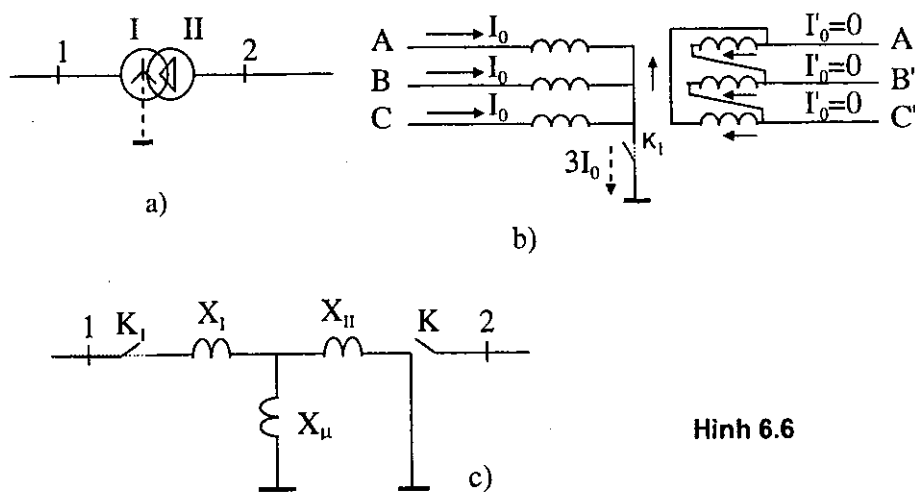


Hình 6.5

Nếu trung tính cuộn dây của máy biến áp không được cách điện hoàn toàn mà nối qua một tổng trở nào đó (hình 6.5,c) thì trong sơ đồ thay thế thứ tự không của

máy biến áp đó cần đưa tổng trở bằng $3Z_0$ vào vị trí tương ứng của các khoá K (hình 6.5,d). Sơ dĩ tổng trở cần được nhân lên 3 lần bởi dòng điện chạy trong tổng trở này bằng $3I_0$. Khi tách sơ đồ thứ tự không theo từng pha để tính, dòng điện chạy qua tổng trở $3Z_0$ chỉ là I_0 , nhưng điện áp rơi trên tổng trở vẫn tương đương. Không nên nhầm vị trí của X_μ với vị trí của Z_0 . Với máy biến áp một pha hoặc ba pha năm trụ, $X_0 = \infty$ có thể bỏ qua nhưng $3Z_0$ vẫn phải đưa vào tính toán. Nếu trung tính 2 phía đều nối qua tổng trở thì cả 2 khoá K đều phải được thay bằng tổng trở tương ứng.

b. Trường hợp máy biến áp 2 cuộn dây đấu sao-tam giác

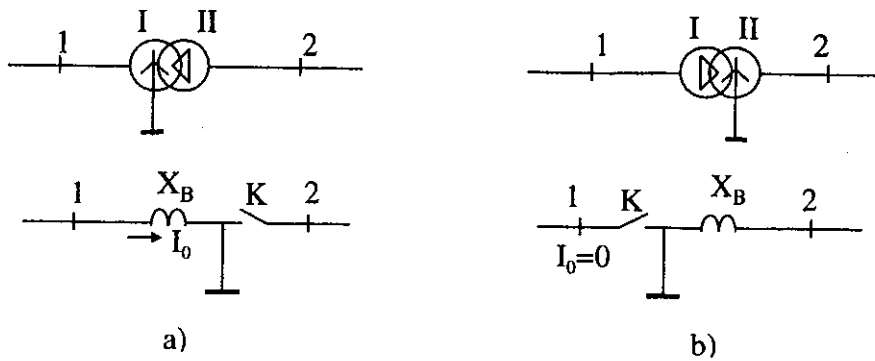


Hình 6.6

Nếu phía sơ cấp của máy biến áp nối sao với trung tính nối đất (K_1 đóng) thì dòng điện thứ tự không có thể chạy vào các cuộn dây này. Các cuộn dây pha phía thứ cấp (cuộn dây tam giác) có từ thông cảm ứng sinh ra các dòng điện cùng pha cùng trị số với nhau nên chúng chạy khép trong mạch tam giác (hình 6.6, b). Theo định luật Kirchoff 1, mạch ngoài không có dòng điện. Máy biến áp làm việc như ở trạng thái ngắn mạch vì dòng điện thứ cấp chỉ chạy qua các điện kháng tản bản thân cuộn dây. Sơ đồ thay thế tương ứng sẽ giống như nối đất điện kháng thứ cấp (hình 6.6,c). Dòng thứ cấp không chạy qua mạch ngoài nên như có khoá K luôn mở.

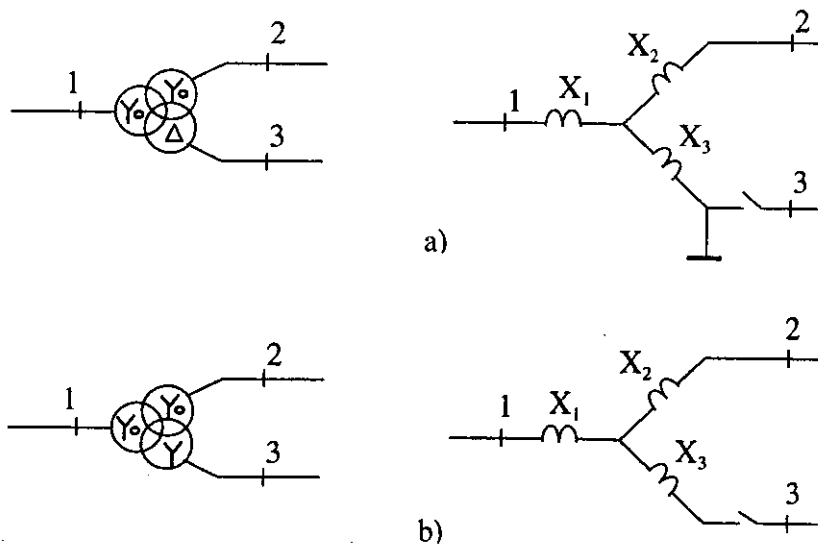
Trong trường hợp này luôn có thể bỏ qua được điện kháng X_μ , do nó nối song song với một điện kháng có trị số rất nhỏ X_{II} . Khi đó sơ đồ thay thế có dạng một điện kháng $X_B = X_1 + X_{II}$ nối đất phía cuộn dây tam giác (hình 6.7,a,b). Để thấy rằng sơ đồ không phụ thuộc tương quan sơ cấp - thứ cấp đối với cuộn dây tam giác (hình 6.7)

Khi cuộn dây đấu tam giác đấu vào phía nguồn (sơ cấp) mạch điện sẽ bị hở ngay tại khoá K vì dòng thứ tự không không chạy được vào cuộn dây đấu tam giác. Trong trường hợp máy biến áp 2 cuộn dây đấu sao - tam giác khoá K luôn bị mở.



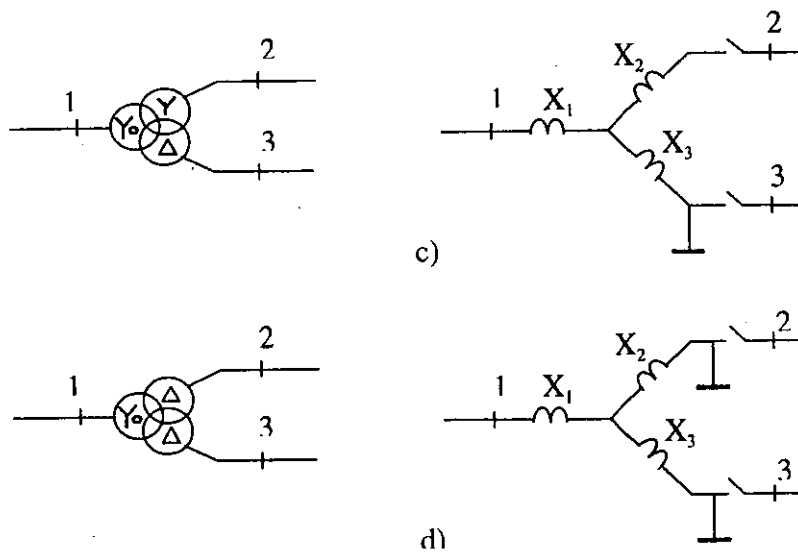
Hình 6.7

Từ các phân tích ở trên, ta có thể suy ra tương tự cho sơ đồ thay thế thứ tự không của các loại máy biến áp 3 cuộn dây. Khi có cuộn dây đầu tam giác, điện kháng từ hoá luôn có thể được bỏ qua (xem hình 6.8).



Hình 6.8

Một số kiểu đấu dây của máy biến áp ba cuộn dây và sơ đồ thay thế thứ tự không



Hình 6.8

5. Đường dây tải điện

Các đường dây tải điện trên không và dây cáp là phần tử không có chuyển động quay nên $X_2 = X_1$. Tuy nhiên giữa các pha có hồ cảm nên nói chung $X_0 \neq X_1$. Điện kháng thứ tự không của đường dây phụ thuộc vào cấu tạo của dây dẫn, tiết diện dây, kích thước cột, số lộ và điện áp của đường dây. Để xác định điện kháng thứ tự không của đường dây tải điện có thể áp dụng các công thức tính toán kết hợp với đo đạc kiểm tra bằng thực nghiệm (xem phụ lục 4). Ở giai đoạn thiết kế hoặc trong các tính toán không đòi hỏi độ chính xác cao có thể lấy thông số X_0 theo các cấu trúc điển hình (xem bảng 6-1)

Bảng 6-1

Đặc tính đường dây	Tỷ số X_0/X_1
Đường dây đơn, không có dây chống sét	3,5
Đường dây đơn, có dây chống sét bằng thép	3,0
Đường dây đơn, có dây chống sét dẫn điện tốt	2,0
Đường dây kép, không có dây chống sét	5,5
Đường dây kép, có dây chống sét bằng thép	4,7
Đường dây kép, có dây chống sét dẫn điện tốt	3,0

Khi tính sơ bộ, với các đường dây trên không $U \leq 220$ kV có thể lấy

$$X_0 \approx 3X_1$$

Các đường dây cáp $R_0 \approx 10 R_1$:

$$X_0 \approx (3,5 \div 4,6)X_1 .$$

Các đường dây siêu cao áp cần được tính toán riêng R_0, X_0 cho mỗi trường hợp.

Sở dĩ các đường dây cáp và đường dây trên không điện trở thứ tự không cũng lớn lên nhiều do ảnh hưởng rất mạnh của điện trở đất (vỏ cáp) và điện dung ký sinh.

6. Các sơ đồ tổng hợp thứ tự thuận, thứ tự nghịch và thứ tự không của mạng điện

Cũng như đối với sơ đồ thứ tự thuận, sơ đồ tổng hợp thứ tự nghịch và thứ tự không của toàn hệ thống điện gần như là sự ghép nối sơ đồ thay thế của các phần tử.

a) Sơ đồ thứ tự thuận

Sơ đồ thứ tự thuận được thiết lập cũng chính là sơ đồ tính toán ngắn mạch 3 pha, phụ thuộc vào chế độ ngắn mạch tính toán. Khi tính trị số ban đầu của dòng điện ngắn mạch chu kỳ (dòng điện quá độ) máy phát được thay thế bằng E'' và X''_d (theo phương pháp gần đúng), còn khi ngắn mạch duy trì thay bằng $E_{q'gh}$ và $X_{d'}$ (hoặc U_{dm}). Các phần tử khác của mạng điện không có gì thay đổi so với khi tính toán ngắn mạch 3 pha. Điều đáng chú ý là điểm ngắn mạch của sơ đồ thứ tự thuận, trong tính ngắn mạch không đối xứng không nối với trung điểm của sơ đồ (là điểm nối trung điểm của các máy phát, phụ tải, máy biến áp ...) bởi vì điện áp thứ tự thuận tại điểm ngắn mạch khác không.

b) Sơ đồ thứ tự nghịch

Sơ đồ thứ tự nghịch, nói chung giống như đối với sơ đồ thứ tự thuận. Có các điểm cần chú ý sau :

- Các sđđ trong sơ đồ thứ tự nghịch đều bằng 0 (bởi các sđđ được coi là đối xứng trong tình trạng ngắn mạch).

- Điện kháng thứ tự nghịch của nguồn (máy phát) và phụ tải khác với điện kháng thứ tự thuận.

- Trị số điện kháng trên sơ đồ thứ tự nghịch không phụ thuộc vào chế độ ngắn mạch (quá độ hay duy trì).

Cũng như trong sơ đồ thứ tự thuận, trung điểm của sơ đồ không nối với điểm ngắn mạch. Đôi khi để khỏi nhầm lẫn người ta ký hiệu điện áp thứ tự nghịch nối vào điểm ngắn mạch.

c) Sơ đồ thứ tự không

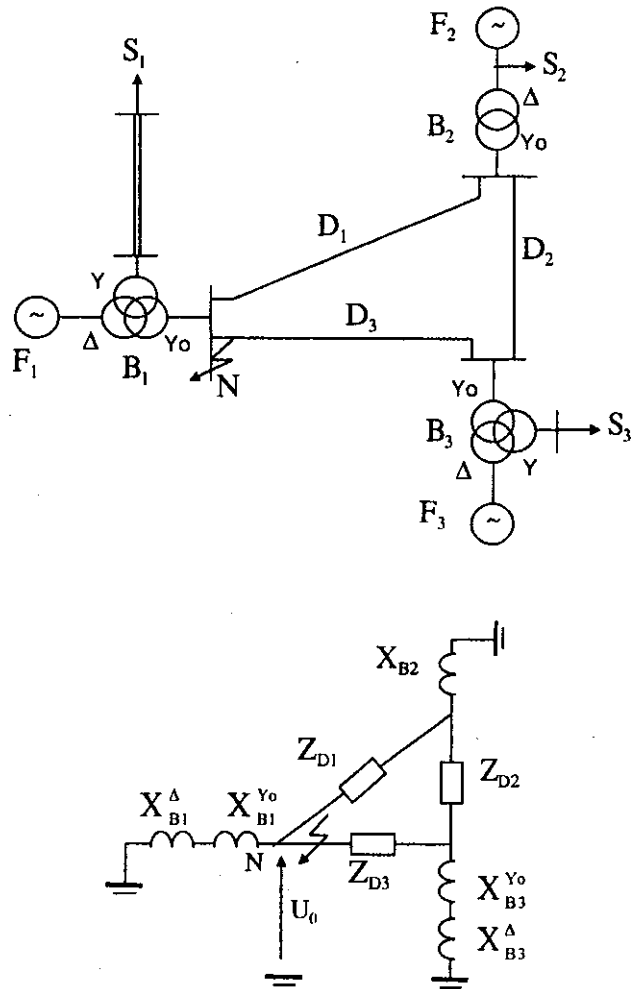
Sơ đồ thứ tự không thường khác hẳn với sơ đồ thứ tự thuận và thứ tự nghịch. Nhiều phần tử của mạng không cần đưa vào sơ đồ thứ tự không (khi biết rõ chúng không có dòng điện thứ tự không chạy qua). Sđđ nguồn trong sơ đồ thứ tự không cũng luôn luôn bằng không, và sơ đồ không phụ thuộc vào chế độ ngắn mạch (giống như đối với sơ đồ thứ tự nghịch).

Một điểm khác biệt nữa của sơ đồ thứ tự không (so với cả sơ đồ thứ tự thuận và thứ tự nghịch) là cần phải kể đến tổng trở của mạch trung tính (điện trở nối đất trung tính hoặc tổng trở bản thân dây trung tính). Các tổng trở này cần được nhân lên 3 lần trong sơ đồ thứ tự không. Đó là vì khi tách ra như sơ đồ 1 pha để tính toán, dòng điện thứ tự không chạy qua các phần tử này nhỏ hơn (chỉ bằng 1/3) trị số dòng điện thực chạy qua chúng. Cần tăng tổng trở mạch trung tính lên 3 lần để giữ nguyên điện áp, còn dòng điện sau khi tính toán sẽ phải nhân với 3.

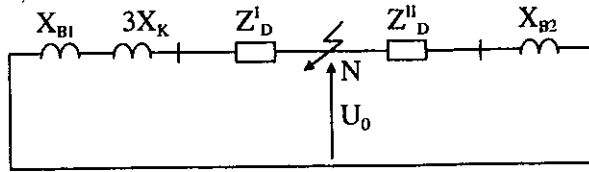
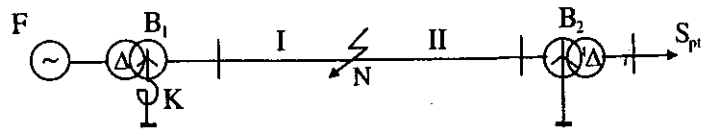
Ngoài ra, điện áp điểm trung tính của các phần tử trong sơ đồ thứ tự không, nói chung không bằng không (khi xét đến tổng trở các mạch trung tính). Vì thế trung điểm của sơ đồ thứ tự không được coi là điểm trung tính của điện áp thứ tự không tại điểm ngắn mạch.

Về nguyên tắc, có thể thiết lập sơ đồ thứ tự không bằng cách ghép nối sơ đồ của từng phần tử như đối với sơ đồ thứ tự thuận (nghịch). Tuy nhiên số phần tử của sơ đồ thứ tự không thường ít hơn nhiều so với sơ đồ thứ tự thuận, nghịch. Đó là vì chỉ có những phần tử nối liền đến điểm ngắn mạch mới tham gia vào sơ đồ. Do đó người ta thường thực hiện thiết lập sơ đồ thứ tự không theo cách sau đây. Xuất phát từ điểm ngắn mạch (coi là có điện áp U_0) đi về mọi hướng của sơ đồ. Mạch của sơ đồ theo một hướng nào đó sẽ kết thúc bằng một nhánh cắt nếu gặp cuộn dây đấu sao của máy biến áp có trung tính cách điện, hoặc sẽ kết thúc bằng nhánh nối đất nếu gặp cuộn dây đấu tam giác. Mọi phụ tải trong sơ đồ thứ tự không đều có thể bỏ qua vì trung điểm của các thiết bị dùng điện thường được cách điện. Nhánh đi đến phụ tải, ví thế cũng sẽ là nhánh cắt. Đôi khi nếu để ý thấy trong phần mạng bị ghép vào phụ tải tổng hợp có các cuộn dây máy biến áp đấu sao với trung tính nối đất, hoặc nối tam giác thì cần phải thay thế đúng theo tổng trở cuộn dây (không bỏ qua hoàn toàn được).

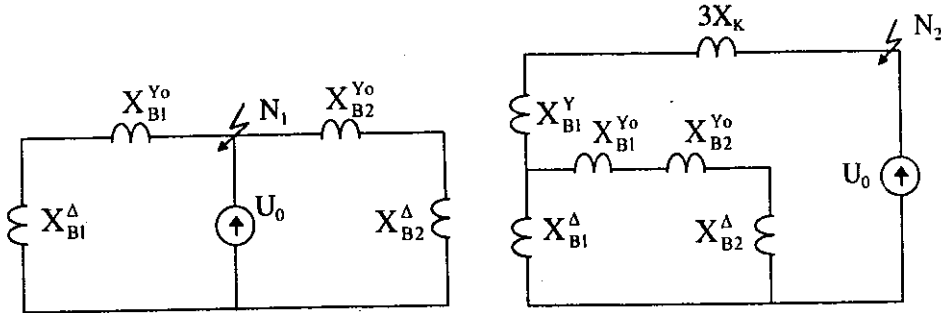
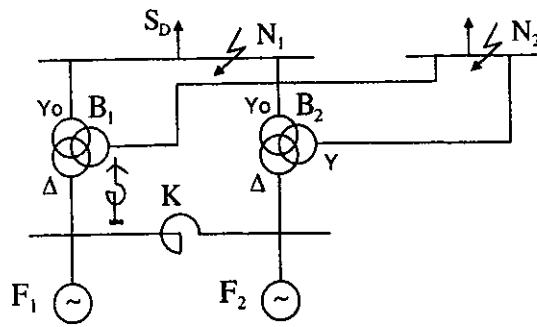
Trên hình 6.9 và 6.10 là một vài ví dụ về sơ đồ thứ tự không.



Hình 6.9 Ví dụ về sơ đồ thứ tự không của HTĐ phức tạp



a)



b)

Hình 6.10 Vài ví dụ khác

6.4 DÒNG ĐIỆN VÀ ĐIỆN ÁP TẠI ĐIỂM NGẮN MẠCH

1. Quy ước đối với sơ đồ

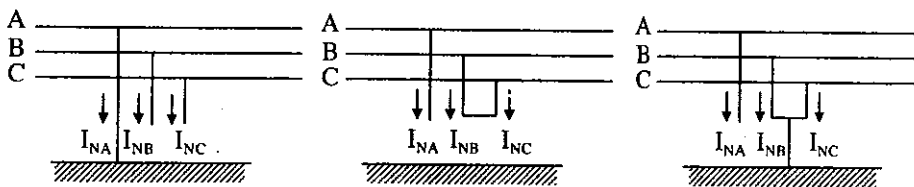
Khi ngắn mạch không đối xứng trạng thái các pha không giống nhau. Để thuận tiện cho việc tính toán, phân tích người ta đã đưa ra các qui ước chung đối với sơ đồ như sau :

a) Pha A là pha đặc biệt trong tình trạng ngắn mạch không đối xứng.

Với qui ước này, khi ngắn mạch một pha, cần ký hiệu pha A là pha bị ngắn mạch, còn khi ngắn mạch hai pha và hai pha nối tắt, pha A phải là pha không bị ngắn mạch.

b) Dòng điện ngắn mạch tại chỗ ngắn mạch có chiều đi từ dây dẫn ra chỗ ngắn mạch, điện áp tính từ dây dẫn đến trung điểm của sơ đồ.

Sơ đồ hình 6.11 thể hiện quy ước về chiều của dòng điện tại chỗ ngắn mạch tương ứng với các dạng ngắn mạch không đối xứng. Theo quy ước này thì dòng điện ngắn mạch hai pha tại chỗ ngắn mạch $I_{NB} = -I_{NC}$. Các pha không bị ngắn mạch sẽ có dòng điện tại điểm ngắn mạch bằng 0.



Hình 6.11

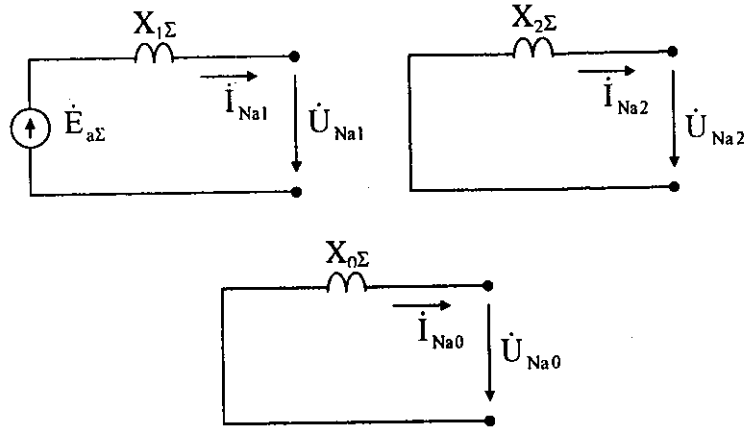
Ngoài ra, luôn quy ước rằng các sdd thứ tự nghịch và thứ tự không của nguồn trong các sơ đồ thứ tự tương ứng của chúng đều bằng không (chỉ có nguồn sdd thứ tự thuận).

2. Hệ phương trình cơ bản đối với dòng điện và điện áp tại điểm ngắn mạch

Để đơn giản ta xét sơ đồ HTĐ đã được biến đổi tối giản về dạng chỉ có một điện kháng tổng hợp nối với điểm ngắn mạch (cho cả 3 sơ đồ thuận, nghịch, không). Để viết được 3 phương trình theo định luật Kirchof II cho các sơ đồ (hình 6.12):

$$\begin{aligned} \dot{U}_{Na1} &= \dot{E}_{a\Sigma} - j\dot{I}_{Na1}X_{1\Sigma} \\ \dot{U}_{Na2} &= -j\dot{I}_{Na2}X_{2\Sigma} \\ \dot{U}_{Na0} &= -j\dot{I}_{Na0}X_{0\Sigma} \end{aligned} \quad (6-4)$$

Khi xét đến đầy đủ điện trở của mạch hệ phương trình vẫn có dạng hoàn toàn tương tự, chỉ cần thay $jX_{1\Sigma}$, $jX_{2\Sigma}$, $jX_{0\Sigma}$ tương ứng bằng $Z_{1\Sigma}$, $Z_{2\Sigma}$, $Z_{0\Sigma}$.



Hình 6.12

Ba phương trình chứa 6 ẩn số là \dot{I}_{Na1} , \dot{I}_{Na2} , \dot{I}_{Na0} và \dot{U}_{Na1} , \dot{U}_{Na2} , \dot{U}_{Na0} . Do đó còn cần bổ sung thêm 3 phương trình nữa. Các phương trình có thể thiết lập được theo trạng thái của điểm ngắn mạch (xem hình 6.11):

$N^{(1)}$	$N^{(2)}$	$N^{(1,1)}$
$\dot{I}_{Nb} = 0$	$\dot{I}_{Na} = 0$	$\dot{I}_{Na} = 0$
$\dot{I}_{Nc} = 0$	$\dot{I}_{Nb} = -\dot{I}_{Nc}$	$\dot{U}_{Nb} = 0$
$\dot{U}_{Na} = 0$	$\dot{U}_{Nb} = \dot{U}_{Nc}$	$\dot{U}_{Nc} = 0$

Các phương trình trên được viết cho các đại lượng tổng hợp nên để ghép với (6-4) cần sử dụng quan hệ (6-2) chuyển về các thành phần thứ tự thuộc pha A. Với 6 phương trình 6 ẩn, có thể giải dễ dàng để nhận các dòng điện và điện áp thành phần pha A tại điểm ngắn mạch. Cũng sử dụng (6-2) ta có thể tìm ra dòng, áp toàn phần tại điểm ngắn mạch các pha.

3. Ngắn mạch 2 pha

Ta xét cụ thể một trường hợp, chẳng hạn ngắn mạch 2 pha. Hệ phương trình trạng thái điểm ngắn mạch như sau :

$$\begin{aligned}
 \dot{I}_{Na} &= 0 \\
 \dot{I}_{Nb} &= -\dot{I}_{Nc} \\
 \dot{U}_{Nb} &= \dot{U}_{Nc}
 \end{aligned}
 \tag{6-5}$$

Xuất phát từ (6-4) và (6-5) dựa vào quan hệ (6-2) ta giải ra các đại lượng thành phần. Trước hết ta có :

$$\dot{I}_{Na0} = \frac{1}{3}(\dot{I}_{Na} + \dot{I}_{Nb} + \dot{I}_{Nc}) = 0;$$

Do đó cũng có :

$$\dot{U}_{Na0} = 0 - j \dot{I}_{Na0} X_{0\Sigma} = 0;$$

Tiếp theo, ta có :

$$\dot{I}_{Na} = \dot{I}_{Na1} + \dot{I}_{Na2} + \dot{I}_{Na0} = 0;$$

mà $\dot{I}_{Na0} = 0$, nên :

$$\dot{I}_{Na1} = -\dot{I}_{Na2}; \quad (*)$$

Mặt khác, do $\dot{U}_{Nb} = \dot{U}_{Nc}$ nên có thể viết :

$$\dot{U}_{Na1} = \frac{1}{3}(\dot{U}_{Na} + a\dot{U}_{Nb} + a^2\dot{U}_{Nc})$$

$$= \frac{1}{3}(\dot{U}_{Na} + (a + a^2)\dot{U}_{Nb});$$

$$\dot{U}_{Na2} = \frac{1}{3}(\dot{U}_{Na} + a^2\dot{U}_{Nb} + a\dot{U}_{Nc})$$

$$= \frac{1}{3}(\dot{U}_{Na} + (a^2 + a)\dot{U}_{Nb}).$$

Suy ra: $\dot{U}_{Na1} = \dot{U}_{Na2} \quad (**)$

Do có (**), từ các phương trình cơ bản (6-4), viết được :

$$\dot{U}_{Na1} = \dot{E}_{a\Sigma} - j \dot{I}_{Na1} X_{1\Sigma} = -j \dot{I}_{Na2} X_{2\Sigma}.$$

Với (*) ta viết thành :

$$\dot{U}_{Na1} = \dot{E}_{a\Sigma} - j \dot{I}_{Na1} X_{1\Sigma} = +j \dot{I}_{Na1} X_{2\Sigma}.$$

Giải ra :

$$\dot{I}_{Na1} = \frac{\dot{E}_{a\Sigma}}{j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma})}$$

Như vậy các thành phần còn lại cũng đã hoàn toàn xác định :

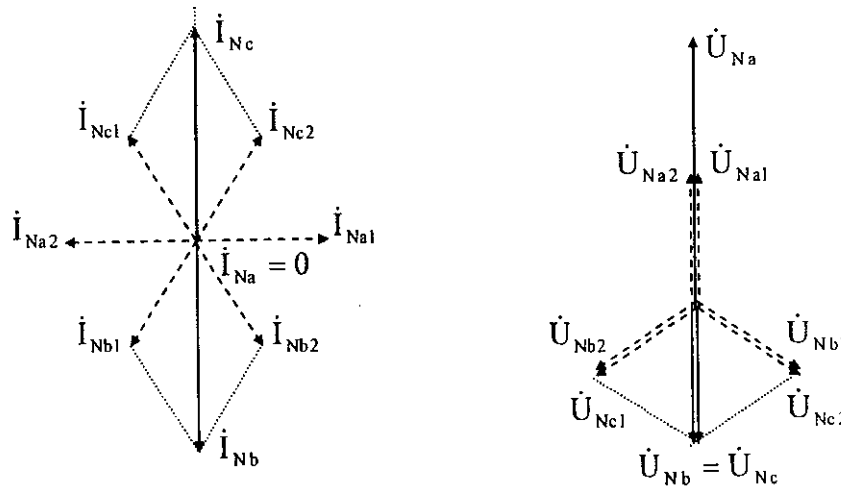
$$\dot{I}_{Na2} = -\dot{I}_{Na1}$$

$$\dot{U}_{Na1} = \dot{U}_{Na2} = j \dot{I}_{Na1} X_{2\Sigma}$$

Ta tính các đại lượng tổng hợp :

$$\begin{aligned} \dot{I}_{Na} &= 0 ; \\ \dot{I}_{Nb} &= \dot{I}_{Na0} + a^2 \dot{I}_{Na1} + a \dot{I}_{Na2} \\ &= (a^2 - a) \dot{I}_{Na1} = -j\sqrt{3} \dot{I}_{Na1} ; \\ \dot{I}_{Nc} &= \dot{I}_{Na0} + a \dot{I}_{Na1} + a^2 \dot{I}_{Na2} \\ &= (a - a^2) \dot{I}_{Na1} = j\sqrt{3} \dot{I}_{Na1} ; \\ \dot{U}_{Na} &= \dot{U}_{Na0} + \dot{U}_{Na1} + \dot{U}_{Na2} \\ &= 2 \dot{U}_{Na1} = 2j \dot{I}_{Na1} X_{2\Sigma} . \\ \dot{U}_{Nb} &= \dot{U}_{Na0} + a^2 \dot{U}_{Na1} + a \dot{U}_{Na2} \\ &= (a^2 + a) \dot{U}_{Na1} = -\dot{U}_{Na1} \\ &= -j \dot{I}_{Na1} X_{2\Sigma} = \dot{U}_{Nc} \end{aligned}$$

Trên hình 6.13 thể hiện quan hệ giữa các thành phần dòng điện, điện áp các pha với đại lượng tổng bằng đồ thị véc tơ.



Hình 6.13

2. Ngắn mạch một pha

Các phương trình thể hiện trạng thái ngắn mạch :

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{Nb} &= 0; \\ \dot{I}_{Nc} &= 0; \\ \dot{U}_{Na} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (6-6)$$

Kết hợp với (6-4) ta giải được các thành phần dòng điện và điện áp pha A tại điểm ngắn mạch như sau.

Vì $\dot{I}_{Nb} = \dot{I}_{Nc} = 0$ nên theo (6-3) ta có ngay :

$$\dot{I}_{Na0} = \dot{I}_{Na1} = \dot{I}_{Na2} = \frac{1}{3} \dot{I}_{Na}.$$

Với điện áp \dot{U}_{Na} ta có thể viết :

$$\dot{U}_{Na} = \dot{U}_{Na1} + \dot{U}_{Na2} + \dot{U}_{Na0} = 0.$$

Từ các quan hệ trên, nếu cộng các phương trình cơ bản (6-4) lại với nhau ta có :

$$0 = \dot{E}_{a\Sigma} - j\dot{I}_{Na1}(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}).$$

Suy ra :

$$\dot{I}_{Na1} = \frac{\dot{E}_{a\Sigma}}{j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})}.$$

Đó cũng chính là trị số của \dot{I}_{Na2} , \dot{I}_{Na0} . Các thành phần điện áp cũng hoàn toàn xác định bởi \dot{I}_{Na1} :

$$\dot{U}_{Na1} = \dot{E}_{a\Sigma} - j\dot{I}_{Na1}X_{1\Sigma} = j\dot{I}_{Na1}(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})$$

$$\dot{U}_{Na2} = -j\dot{I}_{Na2}X_{2\Sigma} = -j\dot{I}_{Na1}X_{2\Sigma}$$

$$\dot{U}_{Na0} = -j\dot{I}_{Na0}X_{0\Sigma} = -j\dot{I}_{Na1}X_{0\Sigma}$$

Các đại lượng tổng hợp, tính được theo \dot{I}_{Na1} :

$$\dot{I}_{Na} = 3 \dot{I}_{Na1}$$

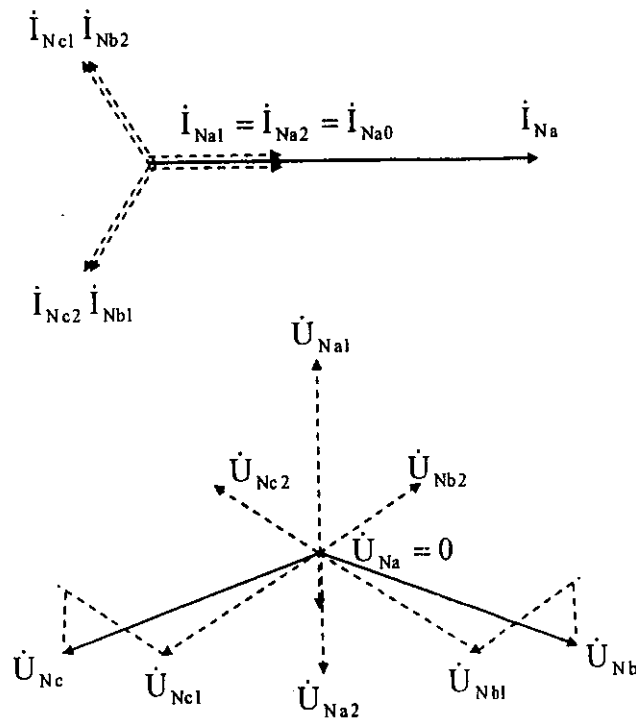
$$\dot{I}_{Nb} = \dot{I}_{Nc} = 0$$

$$\dot{U}_{Na} = 0$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{Nb} &= a^2 \dot{U}_{Na1} + a \dot{U}_{Na2} + \dot{U}_{Na0} \\ &= j\dot{I}_{Na1} [a^2(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}) - aX_{2\Sigma} - X_{0\Sigma}] \\ &= j\dot{I}_{Na1} [(a^2 - a)X_{2\Sigma} + (a^2 - 1)X_{0\Sigma}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{U}_{NC} &= a\dot{U}_{Na1} + a^2\dot{U}_{Na2} + \dot{U}_{Na0} \\
 &= j\dot{I}_{Na1} [a(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}) - a^2X_{2\Sigma} - X_{0\Sigma}] \\
 &= j\dot{I}_{Na1} [(a - a^2)X_{2\Sigma} + (a - 1)X_{0\Sigma}]
 \end{aligned}$$

Đồ thị véc tơ thể hiện quan hệ giữa các thành phần dòng điện và điện áp các pha như trên hình 6-14.



Hình 6.14

3. Ngắn mạch 2 pha chạm đất.

Các phương trình trạng thái của điểm ngắn mạch :

$$\left. \begin{aligned}
 \dot{I}_{Na} &= 0 ; \\
 \dot{U}_{Nb} &= 0 ; \\
 \dot{U}_{Nc} &= 0 .
 \end{aligned} \right\} \quad (6-7)$$

Dòng điện và điện áp thành phần tại điểm ngắn mạch pha A cũng sẽ được giải trên cơ sở (6-4) và (6-7).

Trước hết từ quan hệ (6-3) có thể nhận ngay được các điện áp thành phần. Với :

$$\dot{U}_{Nb} = \dot{U}_{Nc} = 0 .$$

Ta có :

$$\dot{U}_{Na1} = \dot{U}_{Na2} = \dot{U}_{Na0} = \frac{1}{3} \dot{U}_{Na} .$$

Theo các phương trình cơ bản (6-4) ta tính được trị số các dòng điện thành phần theo các điện áp \dot{U}_{Na1} , \dot{U}_{Na2} và \dot{U}_{Na0} . Ta có :

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{Na1} &= \frac{\dot{E}_{a\Sigma} - \dot{U}_{Na1}}{j X_{1\Sigma}} ; \\ \dot{I}_{Na2} &= -\frac{\dot{U}_{Na2}}{j X_{2\Sigma}} ; \\ \dot{I}_{Na0} &= -\frac{\dot{U}_{Na0}}{j X_{0\Sigma}} . \end{aligned} \right\} \quad (6-8)$$

Cộng theo vế các phương trình trên và để ý rằng :

$$\dot{I}_{Na1} + \dot{I}_{Na2} + \dot{I}_{Na0} = \dot{I}_{Na} = 0$$

Ta có :

$$\frac{\dot{E}_{a\Sigma} - \dot{U}_{Na1}}{j X_{1\Sigma}} - \frac{\dot{U}_{Na2}}{j X_{2\Sigma}} - \frac{\dot{U}_{Na0}}{j X_{0\Sigma}} = 0 .$$

Thay \dot{U}_{Na2} và \dot{U}_{Na0} bằng \dot{U}_{Na1} ta rút ra được :

$$\dot{U}_{Na1} = \frac{\dot{E}_{a\Sigma}}{X_{1\Sigma} + \frac{X_{2\Sigma} X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}} \cdot \frac{X_{2\Sigma} X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} \quad (6-9)$$

Thay \dot{U}_{Na1} vào biểu thức của \dot{I}_{Na1} trong (6-7) ta có :

$$\dot{I}_{Na1} = \frac{\dot{E}_{a\Sigma}}{j \left(X_{1\Sigma} + \frac{X_{2\Sigma} X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} \right)} \quad (6-10)$$

Kết hợp các biểu thức (6-9) và (6-10) ta có thể biểu diễn các điện áp ngắn mạch thành phần theo dòng điện \dot{I}_{Na1} :

$$\dot{U}_{Na1} = j \dot{I}_{Na1} \frac{X_{2\Sigma} X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} = \dot{U}_{Na2} = \dot{U}_{Na0} .$$

Sau đó theo (6-8) ta cũng có biểu thức của các dòng điện thành phần còn lại :

$$\begin{aligned} \dot{i}_{Na2} &= -\frac{\dot{U}_{Na2}}{j X_{2\Sigma}} = -\dot{i}_{Na1} \frac{X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} \\ \dot{i}_{Na0} &= -\frac{\dot{U}_{Na0}}{j X_{0\Sigma}} = -\dot{i}_{Na1} \frac{X_{2\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} \end{aligned}$$

Các đại lượng tổng hợp tính được như sau :

$$\begin{aligned} \dot{i}_{Na} &= 0 \\ \dot{i}_{Nb} &= a^2 \dot{i}_{Na1} + a \dot{i}_{Na2} + \dot{i}_{Na0} \\ &= \dot{i}_{Na1} \left[a^2 - \frac{X_{2\Sigma} + a X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} \right] \\ \dot{i}_{Nc} &= a \dot{i}_{Na1} + a^2 \dot{i}_{Na2} + \dot{i}_{Na0} \\ &= \dot{i}_{Na1} \left[a - \frac{X_{2\Sigma} + a^2 X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} \right] \end{aligned}$$

Trong các biểu thức trên có chứa toán tử quay a là phức số nên tính toán khá phức tạp. Trong thực tế người ta thường quan tâm đến trị tuyệt đối (biên độ hay trị số hiệu dụng). Có thể biến đổi để nhận được giá trị sau :

$$\begin{aligned} \left| a^2 - \frac{X_{2\Sigma} + a X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} \right| &= \left| a - \frac{X_{2\Sigma} + a^2 X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} \right| \\ &= \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}} \end{aligned}$$

Như vậy về trị số tuyệt đối dòng điện ngắn mạch trong các pha B và C đều bằng nhau :

$$|\dot{i}_{Nb}| = |\dot{i}_{Nc}| = \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}} I_{Na1}$$

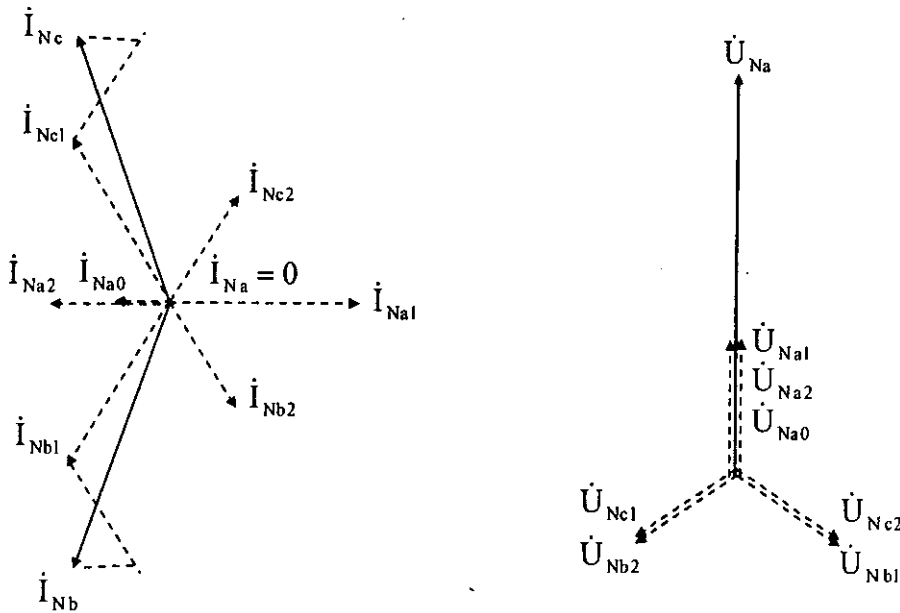
Quan hệ giữa các đại lượng dòng điện và điện áp các pha tại điểm ngắn mạch được vẽ trên đồ thị véc tơ hình (6.15). So sánh với hình (6.14) ta thấy có sự đối ngẫu giữa dòng điện và điện áp trong 2 dạng ngắn mạch 1 pha và 2 pha chập đất. Có thể so sánh các quan hệ sau đây :

Ngắn mạch 1 pha

$$\begin{aligned}
 & N^{(1)} \\
 \dot{U}_{Na} &= 0 \\
 \dot{I}_{Nb} &= 0 \\
 \dot{I}_{Nc} &= 0 \\
 \dot{I}_{Na1} &= \dot{I}_{Na2} = \dot{I}_{Na0} \\
 \dot{I}_{Na} &= 3\dot{I}_{Na1}
 \end{aligned}$$

Ngắn mạch 2 pha chạm đất

$$\begin{aligned}
 & N^{(1,1)} \\
 \dot{I}_{Na} &= 0 \\
 \dot{U}_{Nb} &= 0 \\
 \dot{U}_{Nc} &= 0 \\
 \dot{U}_{Na1} &= \dot{U}_{Na2} = \dot{U}_{Na0} \\
 \dot{U}_{Na} &= 3\dot{U}_{Na1}
 \end{aligned}$$



Hình 6.15

6.5 CÁC BƯỚC THỰC HIỆN TÍNH TOÁN DÒNG ĐIỆN NGẮN MẠCH KẸX TẠI ĐIỂM NGẮN MẠCH

Về nguyên tắc, để tính dòng điện ngắn mạch không đối xứng tại điểm ngắn mạch, sau khi biến đổi các sơ đồ thứ tự về dạng đơn giản nhất có thể áp dụng các phép tính như trên (mục 6-4) để nhận kết quả cụ thể. Tuy nhiên, trong thực tế có thể tính toán nhanh hơn dựa vào các nhận xét sau đây (xem bảng 6-2) :

Bảng 6-2

Ngắn mạch	Dòng ngắn mạch thứ tự thuận	Trị số dòng điện ngắn mạch tổng hợp ở các pha
$N^{(1)}$	$\dot{I}_{Na1} = \frac{\dot{E}_{a\Sigma}}{j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})}$	$I_{Na} = 3I_{Na1} ; I_{Nb} = I_{Nc} = 0$
$N^{(2)}$	$\dot{I}_{Na1} = \frac{\dot{E}_{a\Sigma}}{j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma})}$	$I_{Na} = 0 ; I_{Nb} = I_{Nc} = \sqrt{3}I_{Na1}$
$N^{(1,1)}$	$\dot{I}_{Na1} = \frac{\dot{E}_{a\Sigma}}{j\left(X_{1\Sigma} + \frac{X_{2\Sigma}X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}\right)}$	$I_{Na} = 0 ;$ $I_{Nb} = I_{Nc} = \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{X_{2\Sigma}X_{0\Sigma}}{(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}} I_{Na1}$

1. Dòng điện ngắn mạch thứ tự thuận của mọi dạng ngắn mạch đều có thể xác định

theo biểu thức chung :
$$\dot{I}_{Na1}^{(n)} = \frac{\dot{E}_{a\Sigma}}{j(X_{1\Sigma} + X_{\Delta}^{(n)})} ;$$

Trong đó, $X_{\Delta}^{(n)}$ - là một điện kháng (gọi là điện kháng phụ của loại ngắn mạch n), với biểu thức hoàn toàn xác định theo dạng ngắn mạch (bảng 6-3) và được tính theo $X_{2\Sigma}$ và $X_{0\Sigma}$.

Từ biểu thức tính I_{Na1} có thể rút ra quy tắc sau (gọi là quy tắc đẳng trị thứ tự thuận):

"Dòng điện thứ tự thuận của một dạng ngắn mạch không đối xứng bất kỳ đều có thể tính được như dòng điện ngắn mạch 3 pha ở sơ đồ thứ tự thuận nhưng tại điểm xa hơn một điện kháng $X_{\Delta}^{(n)}$. Trị số của điện kháng $X_{\Delta}^{(n)}$ phụ thuộc vào trị số điện kháng tổng hợp của các sơ đồ thứ tự nghịch và thứ tự không, với biểu thức hoàn toàn xác định tùy thuộc dạng ngắn mạch n". Với quy tắc đẳng trị thứ tự thuận ta có thể áp dụng mọi phương pháp tính toán ngắn mạch 3 pha để tính dòng điện thứ tự thuận tại điểm ngắn mạch, kể cả phương pháp đường cong tính toán.

2. Trị số của dòng điện ngắn mạch tổng hợp tại các pha có dòng điện ngắn mạch tỉ lệ với trị số của thành phần thứ tự thuận theo hệ số $m^{(n)}$:

$$I_N^{(n)} = m^{(n)} I_{Na1}$$

Hệ số tỉ lệ $m^{(n)}$ cũng có biểu thức hoàn toàn xác định phụ thuộc vào dạng ngắn mạch n (bảng 6-4).

Bảng 6-3

Dạng ngắn mạch	n	$X_{\Delta}^{(n)}$	$m^{(n)}$
$N^{(1)}$	1	$X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}$	3
$N^{(2)}$	2	$X_{2\Sigma}$	$\sqrt{3}$
$N^{(1,1)}$	1,1	$X_{2\Sigma} // X_{0\Sigma}$	$\sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{X_{2\Sigma} \times X_{0\Sigma}}{(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}$
$N^{(3)}$	3	0	1

Quy tắc đẳng trị thứ tự thuận cùng với các tính chất của dòng điện ngắn mạch vừa nêu đã cho phép suy ra cách tính đơn giản dòng điện ngắn mạch không đối xứng tại điểm ngắn mạch. Các bước thực hiện như sau :

1. Thiết lập sơ đồ thay thế tính toán các thứ tự thuận, nghịch, không của hệ thống điện, từ đó xác định các điện kháng tổng hợp $X_{2\Sigma}$ và $X_{0\Sigma}$ và điện kháng phụ $X_{\Delta}^{(n)}$.

Cần chú ý rằng các điện kháng $X_{2\Sigma}$ và $X_{0\Sigma}$ được xác định giống như các tổng trở đầu vào của các sơ đồ (thứ tự nghịch, thứ tự không) nhìn từ điểm ngắn mạch. Mạch điện không nguồn (vì các sdd thứ tự nghịch và thứ tự không bằng 0) nên luôn luôn tìm được $X_{2\Sigma}$ và $X_{0\Sigma}$ như điện kháng đẳng trị của toàn bộ sơ đồ.

2. Dựa vào sơ đồ thứ tự thuận và điện kháng phụ $X_{\Delta}^{(n)}$ (nối vào điểm ngắn mạch) xác định dòng điện ngắn mạch thứ tự thuận $I_{Na1}^{(n)}$ tại điểm ngắn mạch. Cách tính toán trong bước này hoàn toàn giống như đối với ngắn mạch 3 pha đối xứng, kể cả việc dùng phương pháp đường cong tính toán.

3. Tính dòng điện và điện áp ngắn mạch không đối xứng tại điểm ngắn mạch.

Ở bước này, nếu chỉ quan tâm đến trị số của dòng điện ngắn mạch (không cần tính góc pha) thì có thể áp dụng quan hệ :

$$I_N^{(n)} = m^{(n)} I_{Na1}^{(n)} \quad (6-11)$$

Trị số dòng điện tính được theo biểu thức trên được hiểu là trị số hiệu dụng của dòng điện ngắn mạch không đối xứng tổng tại các pha bị ngắn mạch.

- Với ngắn mạch 1 pha - dòng điện ngắn mạch pha A chạy vào điểm ngắn mạch.
- Với ngắn mạch 2 pha và 2 pha nối đất - dòng điện ngắn mạch chạy trong pha B và pha C đi qua điểm ngắn mạch (chúng luôn có trị số bằng nhau).

Để xác định cả góc pha cho các dòng điện ngắn mạch cần phải dựa vào các đồ thị véc tơ (hình 6.13, 6.14, 6.15). Để xác định điện áp tại điểm ngắn mạch, trước tiên cần tính điện áp thứ tự thuận :

$$\dot{U}_{Na1}^{(n)} = j X_{\Delta}^{(n)} \dot{I}_{Na1}^{(n)}$$

Sau đó cũng dựa vào các đồ thị véc tơ để tìm điện áp ngắn mạch tổng các pha.

*** Chú ý khi xét đến điện trở của mạch:**

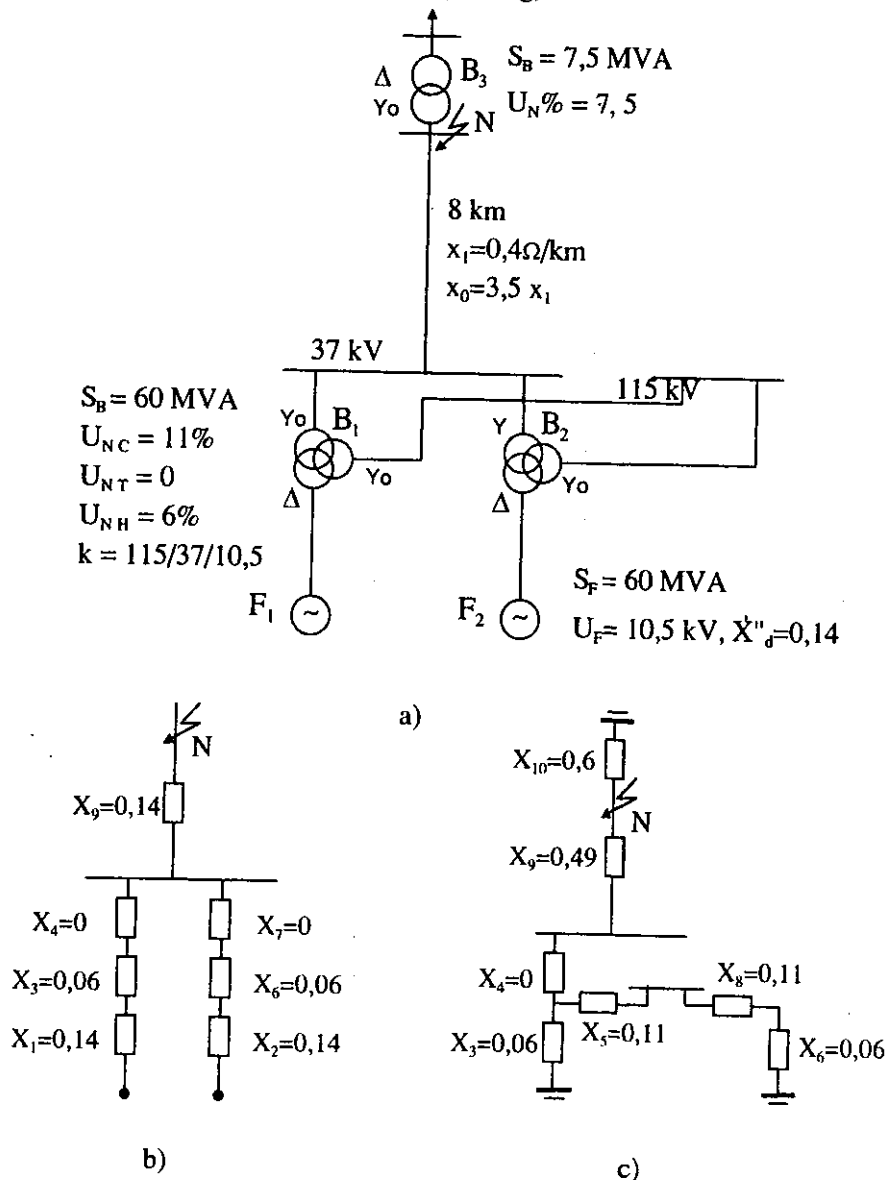
Các kết quả tính toán nhận được trong phần trên xuất phát từ sơ đồ bỏ qua điện trở tác dụng của mạch. Khi xét đến đầy đủ các thông số, các biểu thức nhận được vẫn hoàn toàn tương tự, chỉ cần thay các điện kháng $jX_{1\Sigma}$, $jX_{2\Sigma}$, $jX_{0\Sigma}$ tương ứng bằng các tổng trở $Z_{1\Sigma}$, $Z_{2\Sigma}$, $Z_{0\Sigma}$. Có thể tóm tắt một số biểu thức tính toán chính như bảng sau :

Dạng ngắn mạch	Dòng điện ngắn mạch thành phần	Trị số dòng điện và điện áp tổng hợp ở các pha
$N^{(1)}$	$\dot{I}_{Na1} = \frac{\dot{E}_{a\Sigma}}{Z_{1\Sigma} + Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}}$ $\dot{I}_{Na2} = \dot{I}_{Na0} = \dot{I}_{Na1}$	$\dot{I}_{Na} = 3\dot{I}_{Na1}; \dot{I}_{Nb} = \dot{I}_{Nc} = 0$ $\dot{U}_{Na} = 0;$ $\dot{U}_{Nb} = \dot{I}_{Na1}[(a^2 - a)Z_{2\Sigma} + (a^2 - 1)Z_{0\Sigma}]$ $\dot{U}_{Nc} = \dot{I}_{Na1}[(a - a^2)Z_{2\Sigma} + (a - 1)Z_{0\Sigma}]$
$N^{(2)}$	$\dot{I}_{Na1} = \frac{\dot{E}_{a\Sigma}}{Z_{1\Sigma} + Z_{2\Sigma}}$ $\dot{I}_{Na2} = -\dot{I}_{Na1}; \dot{I}_{Na0} = 0$	$\dot{I}_{Na} = 0; \dot{I}_{Nab} = -j\sqrt{3}\dot{I}_{Na1}; \dot{I}_{Nac} = j\sqrt{3}\dot{I}_{Na1}$ $\dot{U}_{Na} = 2\dot{I}_{Na1}Z_{2\Sigma};$ $\dot{U}_{Nb} = \dot{U}_{Nc} = -\dot{I}_{Na1}Z_{2\Sigma};$
$N^{(1,1)}$	$\dot{I}_{Na1} = \frac{\dot{E}_{a\Sigma}}{Z_{1\Sigma} + \frac{Z_{2\Sigma}Z_{0\Sigma}}{Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}}}$ $\dot{I}_{Na2} = -\dot{I}_{Na1} \frac{Z_{0\Sigma}}{Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}}$ $\dot{I}_{Na0} = -\dot{I}_{Na1} \frac{Z_{2\Sigma}}{Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}}$	$\dot{I}_{Na} = 0;$ $\dot{I}_{Nb} = \dot{I}_{Na1} \left[a^2 - \frac{Z_{2\Sigma} + aZ_{0\Sigma}}{Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}} \right];$ $\dot{I}_{Nc} = \dot{I}_{Na1} \left[a - \frac{Z_{2\Sigma} + a^2Z_{0\Sigma}}{Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}} \right];$ $I_{Nb} = I_{Nc} = \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{Z_{2\Sigma}Z_{0\Sigma}}{(Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma})^2}} I_{Na1}$ $\dot{U}_{Na} = 3\dot{U}_{Na1}; \dot{U}_{Nb} = \dot{U}_{Nc} = 0$
$\dot{U}_{Na1} = \dot{E}_{a\Sigma} - \dot{I}_{Na1} \cdot Z_{1\Sigma} = \dot{I}_{Na1} \cdot Z_{\Delta};$ $\dot{U}_{Na2} = -\dot{I}_{Na2} \cdot Z_{2\Sigma};$ $\dot{U}_{Na0} = -\dot{I}_{Na0} \cdot Z_{20}$		<p>(đúng với mọi dạng ngắn mạch)</p>

Ví dụ 6.1 Cho ngắn mạch 2 pha nối đất tại điểm N của sơ đồ hình 6.16,a. Xác định dòng điện trong các pha sự cố tại điểm ngắn mạch và dòng điện đi vào dây trung

Ví dụ 6.1 Cho ngắn mạch 2 pha nối đất tại điểm N của sơ đồ hình 6.16,a. Xác định dòng điện trong các pha sự cố tại điểm ngắn mạch và dòng điện đi vào dây trung tính nối đất của các máy biến áp sau 0,7 giây. Các số liệu đã được ghi trực tiếp trên sơ đồ. Cả 2 máy phát đều có TĐK.

Giải : Sơ đồ thay thế thứ tự thuận (nghịch) vẽ được như trên hình 6.16,b , thứ tự không trên hình 6.16,c , trong đó các điện kháng được tính trong hệ đơn vị tương đối với $S_{cb} = 60 \text{ MVA}$, $U_{cb} = U_{tb}$. Do tính đối xứng của sơ đồ thứ tự thuận trên sơ đồ đã bỏ qua nhánh cân bằng gồm các điện kháng cuộn cao áp của máy biến áp (tương ứng với ký hiệu X_5 và X_8 trên sơ đồ thứ tự không).



Hình 6.16

Ta tiến hành biến đổi làm đơn giản sơ đồ. Với sơ đồ thứ tự thuận, có ngay:

$$X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma} = \frac{0,14 + 0,06}{2} + 0,14 = 0,24 .$$

Với sơ đồ thứ tự không cần tính:

$$X_{11} = X_3 // (X_5 + X_8 + X_6) = 0,06 // (0,06 + 0,11 + 0,11) = 0,05$$

$$X_{12} = X_{11} + X_9 = 0,05 + 0,49 = 0,54$$

$$X_{0\Sigma} = X_{12} // X_{10} = 0,54 // 0,6 = 0,28.$$

Tính điện kháng phụ :

$$X_{\Delta}^{(1,1)} = X_{2\Sigma} // X_{0\Sigma} = 0,24 // 0,28 = 0,13 .$$

Để áp dụng phương pháp đường cong tính toán ta xác định :

$$X_{tt}^{(1,1)} = (X_{1\Sigma} + X_{\Delta}^{(1,1)}) = 0,24 + 0,13 = 0,37$$

$$\begin{aligned} X_{tt}^{(1,1)} &= (X_{1\Sigma} + X_{\Delta}^{(1,1)}) \frac{S_{dm\Sigma}}{S_{cb}} \\ &= (0,24 + 0,13) \frac{2 \times 60}{60} = 0,74 . \end{aligned}$$

Theo đường cong tính toán của máy phát điện tua bin hơi , tương ứng với $t = 0,7$ tra được $I_{Nal\ tt} = 1,16$.

Để tính dòng điện có tên ta xác định:

$$I_{dm\Sigma} = \frac{S_{dm\Sigma}}{\sqrt{3} U_{tb}} = \frac{120}{\sqrt{3} \times 37} = 1,87 \text{ kA} .$$

Như vậy dòng điện thứ tự thuận có trị số: $I_{Nal} = 1,16 \cdot 1,87 = 2,17 \text{ kA}$.

Để tính dòng điện ngắn mạch tổng hợp tại các pha bị ngắn mạch ta xác định hệ số $m^{(1,1)}$. Với dạng ngắn mạch 2 pha nối đất ta có:

$$\begin{aligned} m^{(1,1)} &= \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{X_{2\Sigma} X_{0\Sigma}}{(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}} \\ &= \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{0,24 \times 0,28}{(0,24 + 0,28)^2}} = 1,51 . \end{aligned}$$

Như vậy dòng điện ngắn mạch tổng trong các pha có sự cố (pha B và C) đều có trị số là:

$$I_N^{(1,1)} = m^{(1,1)} \cdot I_{Nal} = 1,51 \cdot 2,17 = 3,28 \text{ kA} .$$

Dòng điện ngắn mạch trong đất tại chỗ ngắn mạch :

$$I_d = 3I_{Na0} = 3I_{Na1} \times \frac{X_{2\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$$

$$= 3 \times 2,17 \times \frac{0,24}{0,24 + 0,28} = 3,02 \text{ kA}.$$

Dòng điện chạy vào đất cũng chính bằng tổng dòng điện chạy qua trung tính của các máy biến áp B₁, B₂ và B₃ (hình 6.16,c). Theo tương quan giữa các điện kháng ta tính được:

- dòng điện chạy trong trung tính máy biến áp B₃ :

$$I_{d3} = I_d \cdot X_{12} / (X_{12} + X_{10}) = 3,02 \cdot 0,54 / (0,54 + 0,6) = 1,43 \text{ kA} ;$$

- dòng điện đi trong trung tính cuộn trung B₁ :

$$I_{d1,2} = I_d - I_{d3} = 3,02 - 1,43 = 1,59 \text{ kA} ;$$

Dòng điện này sẽ chạy sang cuộn hạ và cuộn cao vì cuộn hạ đấu tam giác và mạch cuộn cao nối liền sang B₂. Giả sử cần tính thêm dòng điện chạy trong trung tính cuộn cao của B₂. Ta thấy nó bằng dòng thứ tự không chạy trong cuộn cao B₁. Dòng này nếu tính ở cấp điện áp 37 kV thì sẽ có trị số tính theo công thức:

$$I_{d2} = I_{d1,2} \cdot X_3 / (X_3 + X_5 + X_8 + X_6)$$

$$= 1,59 \cdot 0,06 / (0,06 + 0,11 + 0,11 + 0,06) = 0,28 \text{ kA} .$$

Tính ở điện áp 115 kV ta có :

$$I_{d2(115kV)} = 0,28 \cdot (37 / 115) = 0,09 \text{ kA} .$$

Ví dụ 6-2 . Cho sơ đồ hệ thống điện hình 6.17,a, tìm dòng điện trong các pha sự cố tại chỗ ngắn mạch sau 0,2 giây. Giả thiết ngắn mạch xảy ra tại điểm N với các dạng sau:

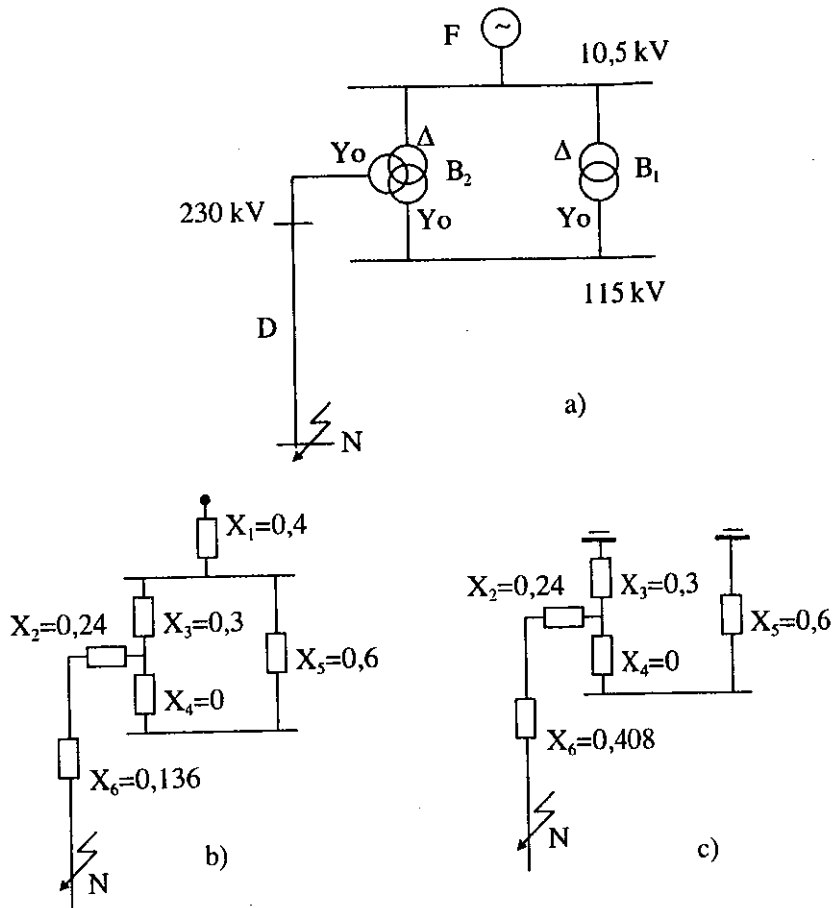
a) hai pha ; b) một pha ; hai pha nối đất .

Lúc xảy ra ngắn mạch hai pha nối đất cần tìm thêm dòng điện trong dây trung tính của máy biến áp B₁.

Số liệu của các phân tử sơ đồ được cho như sau:

- Máy phát thủy điện: S_{dm} = 180 MVA; U_{dm} = 10,5 kV; X''_d = X₂ = 0,4 , có TDK.
- Máy biến áp B₁ : S_{dm} = 31,5 MVA; k = 115/10,5; U_N% = 10,5;
- Máy biến áp B₂ : S_{dm} = 60 MVA; k = 230/115/10,5; U_N%_{C-T} = 8; U_N%_{C-H} = 18; U_N%_{T-H} = 10;
- Đường dây l = 100 km; x₁ = 0,4 ôm/km; x₀ = 3 x₁;

Giải : Trên hình 6.17,b và 6.17,c vẽ sơ đồ thay thế thứ tự thuận (nghịch) và thứ tự không. Các điện kháng ghi trên sơ đồ được tính từ các số liệu đã cho với lượng cơ bản chọn là : $S_{cb} = 180 \text{ MVA}$, $U_{cb} = U_{lb}$.



Hình 6.17

Trước tiên tính điện kháng tổng hợp của các sơ đồ đối với điểm ngắn mạch N.

Với sơ đồ thứ tự thuận, nghịch (giống nhau vì cho $X''_d = X_2$):

$$X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma} = 0,136 + 0,24 + (0,3//0,6) + 0,4 = 0,976 .$$

Theo sơ đồ thứ tự không ta có:

$$X_{0\Sigma} = 0,408 + 0,24 + (0,3//0,6) = 0,848 .$$

a) Trường hợp ngắn mạch hai pha

Điện kháng phụ tại điểm N : $X_{\Delta}^{(2)} = X_{2\Sigma} = 0,976$. Hệ số tỉ lệ $m^{(2)} = \sqrt{3}$.

Vì đã chọn $S_{cb} = S_{dm\Sigma}$ nên ta có ngay điện kháng tính toán :

$$X_{tt}^{(2)} = X_{1\Sigma} + X_{\Delta}^{(2)} = 0,976 + 0,976 = 1,952.$$

$$I_{dm\Sigma} = \frac{S_{dm\Sigma}}{\sqrt{3} U_{tb}} = \frac{180}{\sqrt{3} \times 230} = 0,452 \text{ kA}.$$

Từ đường cong tính toán của máy phát tuabin nước, với $t = 0,2$ giây ta tra được dòng điện tính toán thứ tự thuận: $I_{Nal}^{(2)} = 0,51$. Từ đó tính được dòng điện tổng tại chỗ ngắn mạch (trên các pha có sự cố):

$$I_N^{(2)} = m^{(2)} \cdot I_{Nal}^{(2)} \cdot I_{dm\Sigma} = \sqrt{3} \times 0,51 \times 0,452 = 0,4 \text{ kA}.$$

b) Trường hợp ngắn mạch một pha

Điện kháng phụ sẽ là : $X_{\Delta}^{(1)} = X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma} = 0,976 + 0,848 = 1,824$. Hệ số : $m^{(1)} = 3$.

Điện kháng tính toán : $X_{tt}^{(1)} = X_{1\Sigma} + X_{\Delta}^{(1)} = 1,824 + 0,976 = 2,8$.

Dòng điện thứ tự thuận tại chỗ ngắn mạch tra được theo đường cong:

$$I_{Nal}^{(1)} = 0,36.$$

Dòng điện ngắn mạch 1 pha trong pha sự cố (pha A):

$$I_N^{(1)} = m^{(1)} \cdot I_{Nal}^{(1)} \cdot I_{dm\Sigma} = 3 \cdot 0,36 \cdot 0,452 = 0,488 \text{ kA}.$$

c) Trường hợp ngắn mạch hai pha nối đất

Điện kháng phụ : $X_{\Delta}^{(1,1)} = X_{2\Sigma} // X_{0\Sigma} = 0,976 // 0,848 = 0,435$.

Hệ số tỉ lệ :

$$\begin{aligned} m^{(1,1)} &= \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{X_{2\Sigma} X_{0\Sigma}}{(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}} \\ &= \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{0,976 \times 0,848}{(0,976 + 0,848)^2}} = 1,51. \end{aligned}$$

Điện kháng tính toán :

$$X_{tt}^{(1,1)} = X_{1\Sigma} + X_{\Delta}^{(1,1)} = 0,976 + 0,435 = 1,429.$$

Dòng điện thứ tự thuận tại điểm ngắn mạch tra theo đường cong:

$$I_{Nal}^{(1,1)} = 0,71.$$

Dòng điện ngắn mạch hai pha nối đất tại điểm ngắn mạch:

$$I_N^{(1,1)} = m^{(1,1)} \cdot I_{Nal}^{(1,1)} \cdot I_{dm\Sigma} = 0,71 \cdot 1,51 \cdot 0,452 = 0,485 \text{ kA}.$$

Dòng điện thứ tự không đi trên đường dây tính trong đơn vị tương đối:

$$I_{0D} = I_{Na0} = I_{Nal} \frac{X_{2\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} = 0,71 \times \frac{0,976}{0,976 + 0,848} = 0,38.$$

Dòng điện thứ tự không đi vào máy biến áp B_1 :

$$I_{0B1} = I_{0D} \frac{X_3}{X_3 + X_6} = 0,38 \times \frac{0,3}{0,3 + 0,6} = 0,127.$$

Dòng điện chạy qua dây trung tính của máy biến áp B_1 , tính trong đơn vị có tên:

$$I_{0B1(kA)} = 3I_{0B1} I_{dm\Sigma} = 3 \times 0,127 \times \frac{180}{\sqrt{3} \times 115} = 0,344 \text{ kA}.$$

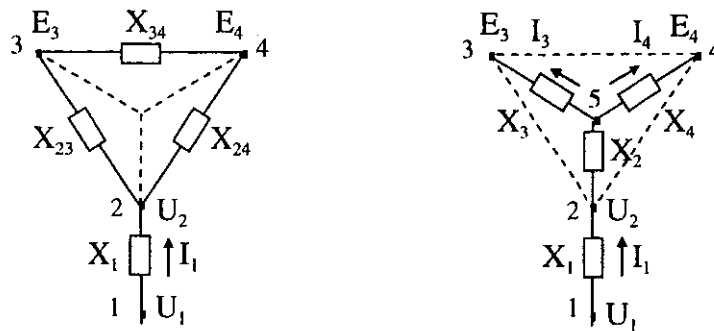
Trong các ví dụ trên, khi áp dụng phương pháp đường cong tính toán đều sử dụng một biến đổi, đó là vì có thêm điện kháng phụ $X_{\Delta}^{(n)}$ các máy phát trong hầu hết các trường hợp đều có thể coi là ở xa điểm ngắn mạch xấp xỉ nhau. Đây cũng là đặc điểm chung (thuận lợi) để áp dụng đường cong tính toán đối với ngắn mạch không đối xứng. Đương nhiên khi có thanh cái hệ thống vẫn phải áp dụng ít nhất là 2 biến đổi vì hệ thống cần được tính riêng không dùng đường cong (như khi tính ngắn mạch 3 pha).

6.6 TÍNH TOÁN DÒNG ĐIỆN NGẮN MẠCH KHÔNG ĐỐI XỨNG PHÂN BỐ TRÊN CÁC NHÁNH (phương pháp mở rộng sơ đồ)

Sau khi tính được dòng điện và điện áp ngắn mạch tổng tại điểm ngắn mạch (theo quy tắc đẳng trị thứ tự thuận) có thể tính được dòng điện ngắn mạch phân bố trên các nhánh theo thuật toán mở rộng sơ đồ. Nếu thực hiện bằng chương trình máy tính thì đó chính là quá trình ngược của phép loại trừ Gauss xác định điện áp các nút và sau đó tìm dòng nhánh (xem chương 4). Khi thực hiện tính toán bằng tay, để tính toán dòng điện ngắn mạch phân bố trên các nhánh có thể dựa vào các sơ đồ trung gian trong quá trình biến đổi rút gọn (trước đó) để tính đồng thời điện áp và dòng điện của sơ đồ. Cần thực hiện theo thứ tự ngược: mở rộng dần sơ đồ.

Nếu quá trình rút gọn là phép biến đổi song song các nhánh thì quá trình tính ngược thực chất là phép tìm các dòng nhánh khi cho trước dòng tổng. Chẳng hạn quá trình tìm dòng điện thứ tự không phân bố đã thực hiện đối với sơ đồ hình 6.16,c (ví dụ 6-1). Dựa vào sơ đồ biến đổi gần cuối cùng (nhánh X_{10} song song với nhánh X_{12}) biết dòng điện ngắn mạch tổng ta tìm được I_{10} (dòng chạy vào B_3) và I_{12} (dòng chạy vào đường dây về phía các máy biến áp B_1 và B_2). Dòng điện I_{12} cũng chính là dòng điện chạy qua X_9 và X_{11} vì X_{12} gồm 2 phần tử nối tiếp, đồng thời là dòng điện tổng của 2 nhánh song song $X_3 // (X_5 + X_8 + X_6)$. Dễ dàng tìm được dòng điện chạy trên nhánh X_3 (đi qua trung tính máy biến áp B_3)...

Khi phép biến đổi là sao-tam giác hoặc sao lưới, cần kết hợp tính điện áp nút. Chẳng hạn, ở một bước nào đó đã tìm được dòng điện chạy trên nhánh X_1 (đồng thời có thể biết được điện áp 2 đầu nhánh). Nối tiếp là sơ đồ tam giác nhận được do kết quả phép biến đổi hình sao trước đó. Ta cần tìm dòng nhánh của sơ đồ hình sao ban đầu (hình 6.18).



Hình 6.18

Trong trường hợp này bao giờ cũng có một nhánh hình sao nối liền với nhánh X_1 có dòng áp đã biết. Do đó tính được điện áp tâm hình sao:

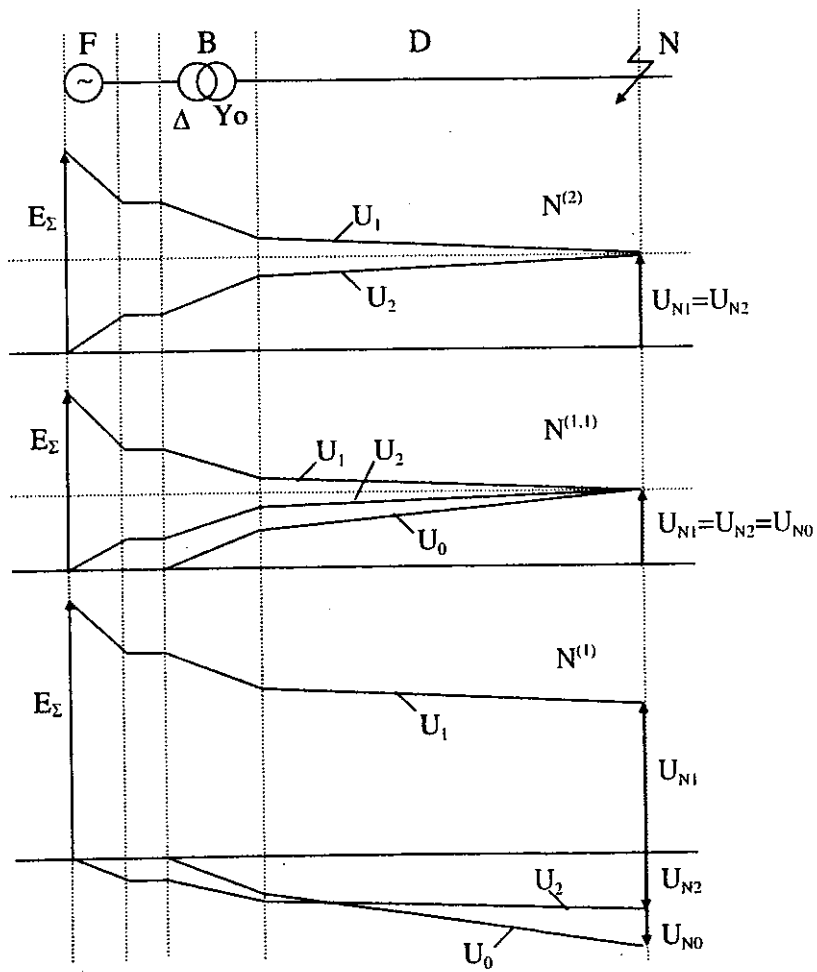
$$\dot{U}_5 = \dot{U}_2 + j\dot{I}_2 X_2 = \dot{U}_2 + j\dot{I}_1 X_2.$$

Cuối cùng tính được dòng điện của tất cả các nhánh còn lại. Với sơ đồ sao-lưới cách tính cũng như vậy. Cần lưu ý các điểm sau khi thực hiện tính toán dòng điện ngắn mạch không đối xứng phân bố trên các nhánh:

- Cần tìm dòng điện phân bố theo từng thành phần, trên từng sơ đồ thứ tự tương ứng (không phân bố theo dòng và áp tổng hợp). Trước khi tính toán cần xác định dòng điện và điện áp ngắn mạch thành phần tại điểm ngắn mạch cả về trị số lẫn góc pha. Chú ý, lấy góc pha của dòng điện và điện áp thành phần thứ tự thuận, pha A, tại điểm ngắn mạch làm chuẩn. Các góc pha này phụ thuộc góc pha của sdd nguồn và đặc trưng của sơ đồ thứ tự thuận.
- Trị số điện áp ngắn mạch tại các nút trên sơ đồ thứ tự thuận cao nhất tại nguồn và giảm dần về điểm ngắn mạch. Điện áp thứ tự thuận tại điểm ngắn mạch khác không (bằng điện áp trên $X_{\Delta}^{(n)}$). Trị số điện áp ngắn mạch thành phần thứ tự nghịch và thứ tự không phân bố tương ứng trên các sơ đồ của chúng cao nhất tại điểm ngắn mạch, giảm dần về phía nguồn và các trung tính nối đất (xa dần điểm ngắn mạch). (xem mục 6.6).
- Khi chạy qua các máy biến áp góc pha của các thành phần dòng điện và điện áp thứ tự thay đổi theo các hướng không giống nhau (dòng thứ tự thuận quay ngược với dòng thứ tự nghịch) do đó tương quan trị số của dòng điện và điện áp ngắn mạch tổng hợp ở 2 phía máy biến áp có thể khác hẳn nhau. Cần chú ý đến tổ đấu dây của các máy biến áp để thay đổi góc lệch pha cho phù hợp khi tiến hành tính toán phân bố dòng điện và điện áp các thành phần (xem mục 6.8).
- Dòng điện và điện áp tổng hợp phân bố trên các nhánh, điện áp phân bố trên các nút cần được tính là tổng vectơ (hay phức số) các dòng điện thành phần. Khi thiết lập sơ đồ tính toán cho từng thành phần thứ tự cần có cách ký hiệu thuận lợi để có thể xác định được các nhánh và các nút tương ứng trên cả 3 sơ đồ (đặc biệt với sơ đồ thứ tự không).

6.7 ĐẶC ĐIỂM PHÂN BỐ ĐIỆN ÁP NGẮN MẠCH KHÔNG ĐỐI XỨNG

Như trên đã nói, trong tình trạng ngắn mạch không đối xứng sức điện động của các nguồn vẫn được coi là đối xứng. Nói khác đi, chỉ có các nguồn sức điện động thứ tự thuận trong sơ đồ thứ tự thuận. Trong sơ đồ thứ tự nghịch và thứ tự không các nguồn điện bị nối tắt vào trung tính (không có sđđ). Bù lại tại điểm ngắn mạch, điện áp ngắn mạch luôn khác không (bằng điện áp trên điện kháng phụ) do đó vẫn có dòng điện phân bố. Tuy nhiên, do đặc điểm trên trị số điện áp tại điểm ngắn mạch ở sơ đồ thứ tự nghịch và không sẽ có trị số cao nhất. Càng xa điểm ngắn mạch điện áp các nút của sơ đồ thứ tự nghịch và thứ tự không càng có trị số nhỏ. Trên hình 6.19 minh họa sự phân bố này.



Hình 6.19

6.8 SỰ BIẾN ĐỔI CỦA CÁC DÒNG ĐIỆN VÀ ĐIỆN ÁP THÀNH PHẦN ĐỐI XỨNG QUA MÁY BIẾN ÁP

Qua máy biến áp, các thành phần đối xứng của dòng điện và điện áp không những biến đổi về độ lớn (theo tỉ số biến áp) mà còn thay đổi góc pha theo tổ đấu dây. Điều đáng chú ý là chúng thay đổi góc pha theo những chiều không giống nhau. Để dễ phân tích ta quy ước xét máy biến áp lý tưởng (không tổn hao) và ký hiệu các đại lượng phía cao áp I là A, B, C, phía hạ áp II là a, b, c. Theo định nghĩa tỉ số biến đổi của máy biến áp là tỉ số giữa các vòng dây hay với máy biến áp lý tưởng, là tỉ số biên độ của các điện áp hai phía:

$$k = \frac{W_I}{W_{II}} = \frac{U_{A1}}{U_{a1}} = \frac{U_{A2}}{U_{a2}} = \frac{U_{A0}}{U_{a0}}$$

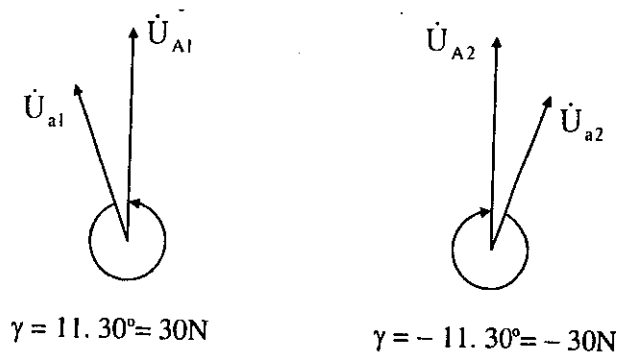
Trong đó ký hiệu :

W_I, W_{II} - số vòng cuộn dây cao áp và hạ áp

U_{A1}, U_{A2}, U_{A0} - trị số điện áp phía cao áp (thứ tự thuận, nghịch, không)

U_{a1}, U_{a2} - trị số điện áp phía hạ áp (thứ tự thuận, nghịch, không).

Về góc pha, điện áp trên cùng một pha phía cao áp và hạ áp và lệch nhau một góc phụ thuộc vào tổ đấu dây và tùy theo thành phần thứ tự điện áp. Trên hình 6.20 thể hiện sự biến đổi pha qua máy biến áp có tổ đấu dây Y/Δ - 11 (N=11).



Hình 6.20

1. Sự biến đổi của thành phần thứ tự thuận

Bây giờ ta sử dụng ký hiệu phức số để biểu diễn tỉ số biến áp. Giả sử máy biến áp có tổ đấu dây N. (Chẳng hạn với Y/Δ - 11 thì N = 11). Khi đó với thành phần thứ tự thuận ta có thể viết:

$$\dot{K}_1 = \frac{\dot{U}_{A1}}{\dot{U}_{a1}} = ke^{j\gamma} = ke^{j30^\circ N}$$

Giả sử sơ cấp là cao áp thứ cấp là hạ áp, nghĩa là qua máy biến áp, sang phía hạ áp ta nhận được điện áp thứ tự thuận:

$$\dot{U}_{a1} = \frac{\dot{U}_{A1}}{\dot{K}_1} = \frac{1}{k} \dot{U}_{A1} e^{-j30^\circ N}$$

Để tìm biểu thức dòng điện thứ cấp ta xuất phát từ quan hệ bảo toàn công suất phức qua máy biến áp:

$$\dot{S} = \dot{U}_{A1} \hat{I}_{A1} = \dot{U}_{a1} \hat{I}_{a1}$$

Suy ra :

$$\hat{I}_{a1} = \frac{\dot{U}_{A1}}{\dot{U}_{a1}} \hat{I}_{A1} = \dot{K}_1 \hat{I}_{A1} ;$$

Hay :

$$\dot{I}_{a1} = \hat{K}_1 \dot{I}_{A1} = k \dot{I}_{A1} e^{-j30^\circ N} ;$$

Như vậy cả vectơ dòng điện và vectơ điện áp thứ tự thuận phía thứ cấp máy biến áp đều bị xoay cùng chiều kim đồng hồ một góc $30^\circ N$ (tiến N giờ), so với vectơ sơ cấp cùng pha.

Trường hợp riêng (hay gặp) máy biến áp có tổ đấu dây Y/ Δ -11 :

$$\begin{aligned} \dot{U}_{a1} &= \frac{1}{k} \dot{U}_{A1} e^{-j330^\circ} = \frac{1}{k} \dot{U}_{A1} e^{j30^\circ} \\ &= \frac{1}{k} \dot{U}_{A1} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2} \right) \approx \frac{1}{k} \dot{U}_{A1} (0,866 + j0,5) \\ \dot{I}_{a1} &= k \dot{I}_{A1} e^{-j330^\circ} = k \dot{I}_{A1} e^{j30^\circ} \\ &\approx k \dot{I}_{A1} (0,866 + j0,5) . \end{aligned}$$

Ở đây cũng cần để ý rằng, nếu tính trong hệ đơn vị tương đối thì qua máy biến áp độ lớn dòng điện và điện áp không đổi, chỉ cần chú ý đến góc pha. Đó là vì các đại lượng cơ bản của dòng, áp ở hai phía máy biến áp có quan hệ:

$$U_{cb(hạ)} = \frac{1}{k} U_{cb(cao)} ; \quad I_{cb(hạ)} = k I_{cb(cao)} ;$$

2. Sự biến đổi của thành phần thứ tự nghịch

Tỉ số biến áp phức của thành phần thứ tự nghịch:

$$\dot{K}_2 = \frac{\dot{U}_{A2}}{\dot{U}_{a2}} = k e^{j\gamma} = k e^{-j30^\circ N}$$

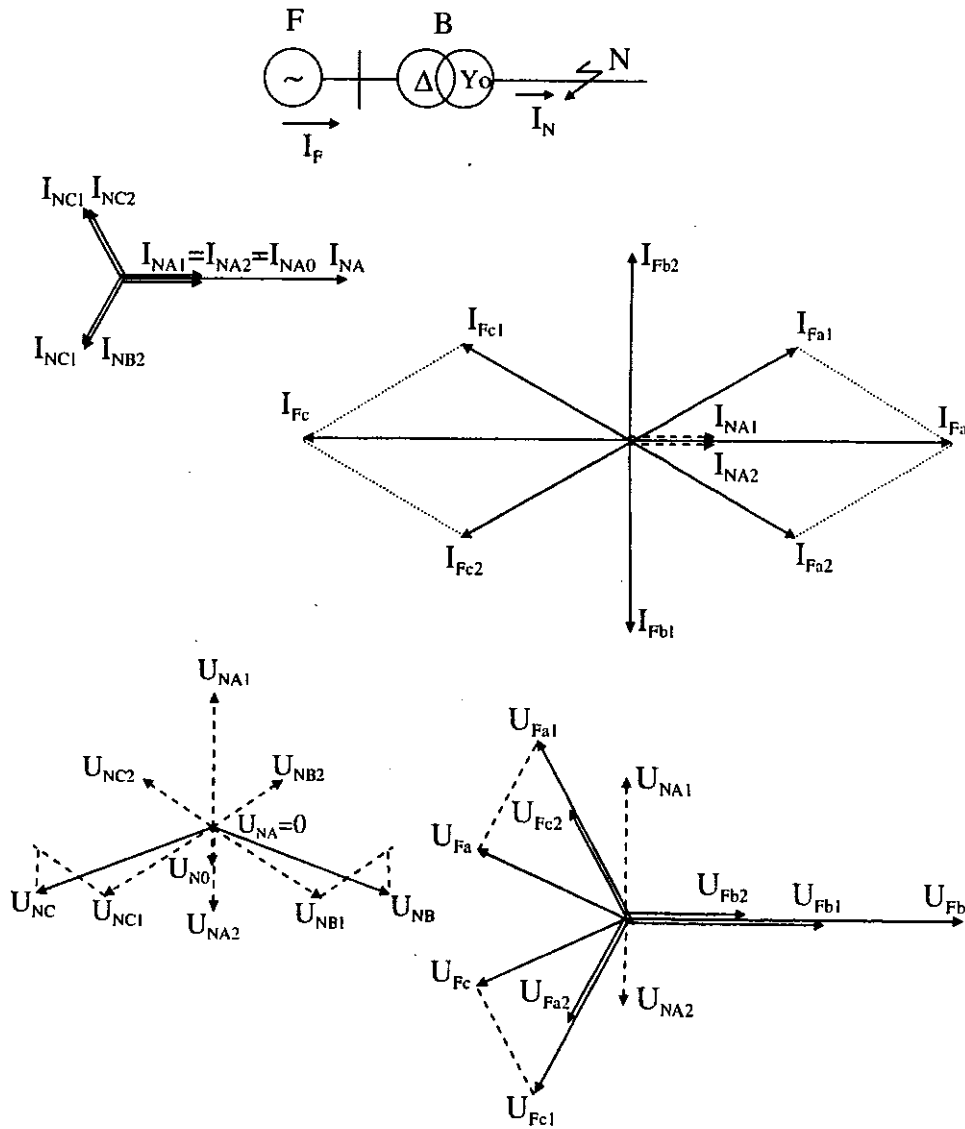
Bằng cách phân tích tương tự như đối với thành phần thứ tự thuận ta có:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{a2} &= \frac{\dot{U}_{A2}}{\dot{K}_2} = \frac{1}{k} \dot{U}_{A2} e^{j30^\circ N} ; \\ \dot{I}_{a2} &= \hat{K}_2 \dot{I}_{A2} = k \dot{I}_{A2} e^{j30^\circ N} ; \end{aligned}$$

Các vectơ đều quay ngược chiều kim đồng hồ so với vectơ sơ cấp một góc là $N30^\circ$ (lùi N giờ). Với máy biến áp đấu Y/ Δ -11 ta có :

$$\dot{U}_{a2} = \frac{1}{k} \dot{U}_{A2} e^{j330^\circ} = \frac{1}{k} \dot{U}_{A2} e^{-j30^\circ} = \frac{1}{k} \dot{U}_{A2} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} - j\frac{1}{2} \right) ;$$

$$\dot{i}_{a2} = k \dot{i}_{A2} e^{j330^\circ} = k \dot{i}_{A2} e^{-j30^\circ} = k \dot{i}_{A2} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} - j\frac{1}{2} \right) .$$



Hình 6.21

3. Biến đổi của thành phần thứ tự không

Nói chung, thành phần điện áp và dòng điện thứ tự không chỉ chạy qua được máy biến áp trong trường hợp tổ đấu dây Yo/Yo - 12. Các trường hợp còn lại hoặc là không tồn tại (ngay ở sơ cấp) hoặc không qua được thứ cấp máy biến áp. Chính vì thế khi tính toán cân quan tâm chủ yếu là có dòng điện thứ tự không hay không. Nếu có, đó là trường hợp tổ đấu dây Yo/Yo, sẽ có góc pha như nhau. Trường hợp dòng điện thứ tự không chạy quấn trong cuộn tam giác điện áp thứ tự không triệt tiêu ở thứ cấp, nên cũng ít khi phải xét.

Hình 6.21 minh họa sự biến đổi các thành phần dòng điện và vectơ tổng hợp ở hai phía máy biến áp nối Y/Δ - 11. Thành phần thứ tự không không qua được máy biến áp (chỉ chạy quấn bên trong) nên tại đầu máy phát không có thành phần dòng điện và điện áp thứ tự không. Trường hợp đang xét là ngắn mạch một pha. Có thể nhận thấy rằng, do sự biến đổi góc pha nên phía máy phát không phải chỉ có dòng điện pha a (pha bị ngắn mạch) mà còn có dòng ngắn mạch ở pha c (lớn cùng trị số!).

Ví dụ 8-3. Cho sơ đồ và số liệu của ví dụ 8-2. Tính dòng điện ngắn mạch phân bố trên các nhánh khi ngắn mạch 2 pha chập đất tại điểm N. Vẽ đồ thị vectơ cho dòng điện và điện áp đầu cực máy phát điện. Sơ đồ đấu dây của máy biến áp B₁ là Yo/Yo/Δ-12/11, của máy biến áp B₂ là Yo/Δ-11.

Giải: Theo kết quả tính toán của ví dụ 8-2, dòng điện thứ tự thuận pha A tại chỗ ngắn mạch:

$$I_{NA(1)}^{(1,1)} = 0,71 \quad (\text{đơn vị tương đối})$$

Vì có thể chọn tùy ý góc pha của một pha (làm chuẩn) nên thuận tiện nhất ta chọn góc pha của dòng điện ngắn mạch thứ tự thuận pha A tại chỗ ngắn mạch bằng 0. (Khi đó góc pha của sdd E_{aΣ} phải phụ thuộc theo). Ta ký hiệu bằng phức số cho dòng điện này: $\dot{I}_{NA(1)} = 0,71$. (Chỉ số trong ngoặc biểu thị thứ tự pha).

Điện áp thứ tự thuận pha A tại điểm ngắn mạch tính được:

$$\dot{U}_{NA(1)} = j \dot{I}_{NA(1)} \cdot X_{\Delta}^{(1,1)} = j0,71 \times 0,435 = j0,316 .$$

Sức điện động đẳng trị của nguồn pha A tính được theo công thức:

$$\begin{aligned} \dot{E}_{A\Sigma} &= \dot{U}_{NA(1)} + j \dot{I}_{NA(1)} X_{1\Sigma} \\ &= j0,316 + j0,71 \times 0,976 = j1,01 . \end{aligned}$$

Dòng điện thứ tự nghịch pha A tại chỗ ngắn mạch:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{NA(2)} &= -\dot{I}_{NA(1)} \frac{X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} \\ &= -0,71 \times \frac{0,848}{0,976 + 0,848} = -0,33 . \end{aligned}$$

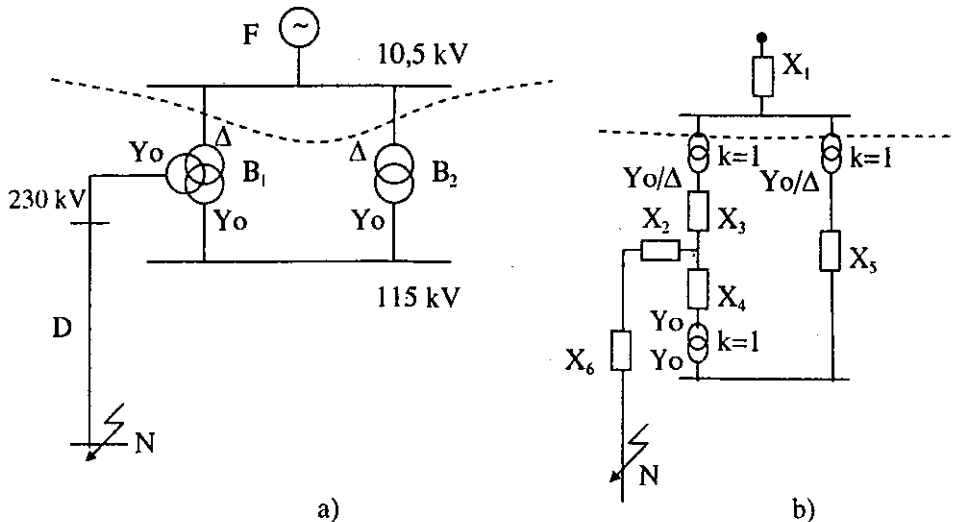
Ta cũng có: $\dot{U}_{NA(2)} = \dot{U}_{NA(1)} = j0,316 .$

Thành phần thứ tự không tại điểm ngắn mạch (kể đến góc pha):

$$\begin{aligned} \dot{I}_{NA(0)} &= -\dot{I}_{NA(1)} \frac{X_{2\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} \\ &= -0,71 \times \frac{0,976}{0,976 + 0,848} = -0,38 . \end{aligned}$$

Điện áp : $\dot{U}_{NA(0)} = \dot{U}_{NA(1)} = j0,316 .$

Để tiến hành tính toán dòng điện ngắn mạch phân bố trên các sơ đồ thứ tự được thuận lợi, ta cần chú ý đến ảnh hưởng nói chung của tổ đấu dây máy biến áp đến phân bố dòng, áp trong mạng điện. Thực ra, khi tính toán ngắn mạch ba pha, kể cả tính toán chế độ xác lập của hệ thống điện, tổ đấu dây máy biến áp luôn có ảnh hưởng làm thay đổi góc pha (giữa các phần của mạng điện). Chẳng hạn, điện áp tất cả các nút của phần mạng điện nối vào phía cuộn tam giác của máy biến áp đấu Yo/Δ-11 đều sẽ bị tăng góc lệch pha lên 30° so với khi không có máy biến áp hoặc máy biến áp nối Yo/Yo-12. Nhưng vì ảnh hưởng là như nhau đối với toàn bộ phần mạng nên lại có thể bỏ qua, coi như các máy biến áp đều đấu sao-sao. Trị số biên độ và tương quan dòng áp trong từng phần không có gì thay đổi. Khi đó tính trong hệ đơn vị tương đối có thể bỏ qua hoàn toàn ký hiệu máy biến áp lý tưởng (mà đúng ra phải xét đến biến đổi góc pha). Chỉ khi cần thiết mới phải kể đến. Tương tự như thế khi tính dòng, áp phân bố trong sơ đồ thứ tự thuận (nghịch). Trước tiên, tính phân bố dòng áp trong hệ đơn vị tương đối, bỏ qua ảnh hưởng làm lệch góc pha của các máy biến áp (cũng có thể tính trong hệ đơn vị có tên nhưng phức tạp hơn). Sau đó, "hiệu chỉnh" góc lệch pha cho tất cả dòng điện và điện áp trên phần mạng liên kết qua máy biến áp có ảnh hưởng đến góc lệch. Cuối cùng đổi sang đơn vị có tên và xác định trị số dòng, áp tổng hợp (cộng ba thành phần). Cũng có thể cộng các thành phần theo trị số tương đối trước khi chuyển sang đơn vị có tên.



Hình 6.22

Trong ví dụ trên ta có thể chia mạng điện chỉ làm 2 phần qua các máy biến áp nối sao-tam giác vì chỉ có các máy biến áp này làm ảnh hưởng đến góc lệch pha. Phần nối qua cuộn sao-sao không cần tách riêng (hình 6.22). Nói chung trong mạng điện phức tạp ta luôn tìm được các lát cắt qua các máy biến áp làm lệch góc pha theo cùng một hướng, bởi các máy biến áp làm việc song song phải được chọn cùng tổ đấu dây.

Ta tiến hành tính dòng điện ngắn mạch phân bố trên từng sơ đồ thứ tự trong hệ đơn vị tương đối, bỏ qua ảnh hưởng đến góc lệch của các máy biến áp.

Với sơ đồ thứ tự thuận ta có:

$$\dot{I}_{1(1)} = \dot{I}_{2(1)} = \dot{I}_{6(1)} = \dot{I}_{NA(1)} = 0,71 .$$

$$\dot{I}_{3(1)} = \dot{I}_{2(1)} \times \frac{X_4 + X_5}{X_3 + X_4 + X_5} = 0,71 \times \frac{0,6}{0,3 + 0,6} = 0,473 .$$

$$\dot{I}_{4(1)} = \dot{I}_{5(1)} = \dot{I}_{2(1)} - \dot{I}_{3(1)} = 0,71 - 0,473 = 0,237$$

Dòng điện thứ tự nghịch :

$$\dot{I}_{1(2)} = \dot{I}_{2(2)} = \dot{I}_{6(2)} = \dot{I}_{NA(2)} = -0,33 ;$$

$$\dot{I}_{3(2)} = \dot{I}_{2(2)} \times \frac{X_4 + X_5}{X_3 + X_4 + X_5} = -0,33 \times \frac{0,6}{0,3 + 0,6} = -0,22 ;$$

$$\dot{I}_{4(2)} = \dot{I}_{5(2)} = \dot{I}_{2(2)} - \dot{I}_{3(2)} = -0,33 + 0,22 = -0,11 .$$

Với sơ đồ thứ tự không :

$$\dot{I}_{2(0)} = \dot{I}_{6(0)} = \dot{I}_{NA(0)} = -0,38 .$$

$$\dot{I}_{3(0)} = \dot{I}_{2(0)} \times \frac{X_4 + X_5}{X_3 + X_4 + X_5} = -0,38 \times \frac{0,6}{0,3 + 0,6} = -0,253 .$$

$$\dot{I}_{4(0)} = \dot{I}_{5(0)} = \dot{I}_{2(0)} - \dot{I}_{3(0)} = -0,38 + 0,253 = -0,127 .$$

Tính toán dòng điện ngắn mạch tổng hợp trên các phần tử được thực hiện bằng cách cộng 3 dòng điện phức thành phần trên từng nhánh với nhau, có chú ý đến hiệu chỉnh góc pha. Kết quả nhận được sẽ là các dòng điện phức tổng hợp của pha A trong tình trạng ngắn mạch. Cũng có thể tính toán đồng thời cả điện áp các nút khi quan tâm. Để tính dòng, áp trên pha B và pha C cần áp dụng đồ thị vectơ hoặc chuyển đổi phức số:

$$\dot{I}_b = a^2 \dot{I}_{a1} + a \dot{I}_{a2} + \dot{I}_{a0} ;$$

$$\dot{I}_c = a \dot{I}_{a1} + a^2 \dot{I}_{a2} + \dot{I}_{a0} .$$

Việc tính toán dòng điện tổng hợp có thể thực hiện cho mọi nhánh, mọi nút (thường với khi giải bằng chương trình) hoặc từng phần. Trong ví dụ này ta cũng chỉ xét chi tiết quá trình tính dòng điện trên nhánh máy phát (nhánh 1).

Trên nhánh máy phát chỉ có thành phần thứ tự thuận $\dot{I}_{1(1)}$ và thứ tự nghịch $\dot{I}_{1(2)}$. Khi chưa hiệu chỉnh góc pha, có thể hiểu các dòng điện thành phần $\dot{I}_{1(1)}$ và $\dot{I}_{1(2)}$ như là ở phía sơ cấp các máy biến áp nối Yo/Δ-11 (hình 6.22,b). Do đó để thuận tiện, ta ký hiệu lại:

- thành phần thứ tự thuận pha A: $\dot{I}_{FA1} = \dot{I}_{1(1)} = 0,71$

- thành phần thứ tự nghịch pha A: $\dot{I}_{FA2} = \dot{I}_{1(2)} = -0,33$

Tính ở phía thứ cấp (hiệu chỉnh lại góc pha nhưng vẫn trong trị số tương đối):

$$\dot{I}_{Fa1} = 0,71 \times e^{j30^\circ} = 0,71 \times (0,866 + j0,5)$$

$$\dot{I}_{Fa2} = -0,33 \times e^{-j30^\circ} = -0,33 \times (0,866 - j0,5)$$

Dòng điện tổng hợp trong máy phát điện:

$$\dot{I}_{Fa} = \dot{I}_{Fa1} + \dot{I}_{Fa2} = 0,71(0,866 + j0,5) - 0,33(0,866 - j0,5) = 0,33 + j0,52$$

Trị số tuyệt đối (hiệu dụng):

$$I_{Fa} = \sqrt{0,33^2 + 0,52^2} = 0,615$$

Để tính trong đơn vị có tên ta xác định dòng điện cơ bản ở cấp điện áp máy phát:

$$I_{cb} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3} U_{tb}} = \frac{180}{\sqrt{3} \times 10,5} = 9,9 \text{ kA}$$

Dòng điện ngắn mạch chạy trong pha a của máy phát :

$$I_{Fa(kA)} = I_{Fa} I_{cb} = 0,615 \cdot 9,9 = 6,1 \text{ kA}$$

Áp dụng toán tử quay $a = e^{j120^\circ}$ có thể tính được dòng điện các pha b và c. Ta có:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{Fb} &= a^2 \dot{I}_{Fa1} + a \dot{I}_{Fa2} = 0,71 \cdot e^{j30^\circ} \cdot e^{-j120^\circ} - 0,33 \cdot e^{-j30^\circ} \cdot e^{j120^\circ} \\ &= 0,71 e^{-j90^\circ} - 0,33 e^{j90^\circ} = -j1,04 \end{aligned}$$

Trị số tuyệt đối: $I_{Fb} = 1,04$; $I_{Fb(kA)} = 1,04 \cdot 9,9 = 10,3 \text{ kA}$.

$$\begin{aligned} \dot{I}_{Fc} &= a \dot{I}_{Fa1} + a^2 \dot{I}_{Fa2} = 0,71 \cdot e^{j30^\circ} \cdot e^{j120^\circ} - 0,33 \cdot e^{-j30^\circ} \cdot e^{-j120^\circ} \\ &= 0,71 e^{-j150^\circ} - 0,33 e^{-j150^\circ} = -0,33 + j0,52 \end{aligned}$$

(đối xứng với \dot{I}_{Fa} qua trục ảo)

Về trị số tuyệt đối: $I_{F_c} = I_{F_a} = 0,615$; $I_{F_c(kA)} = 6,1$ kA.

Giả sử cần tính điện áp đầu cực máy phát ta làm như sau. Khi chưa hiệu chỉnh ta tính bình thường:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{FA1} &= \dot{E}_{A\Sigma} - j\dot{I}_{FA1}X_1 \\ &= j1,01 - j0,71 \times 0,4 = j0,726\end{aligned}$$

$$\dot{U}_{FA2} = -j\dot{I}_{FA2}X_1 = j0,33 \times 0,4 = j0,126$$

Chuyển sang phía thứ cấp (hiệu chỉnh góc pha):

$$\dot{U}_{Fa1} = \dot{U}_{FA1} e^{j30^\circ} = j0,726(0,866 + j0,5)$$

$$\dot{U}_{Fa2} = \dot{U}_{FA2} e^{-j30^\circ} = j0,126(0,866 - j0,5)$$

Điện áp đầu cực máy phát trên pha A:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{Fa} &= \dot{U}_{Fa1} + \dot{U}_{Fa2} = j0,726(0,866 + j0,5) + j0,126(0,866 - j0,5) \\ &= -0,3 + j0,74\end{aligned}$$

Về trị tuyệt đối: $U_{Fa} = \sqrt{0,3^2 + 0,74^2} = 0,8$

Trong hệ đơn vị có tên:

$$U_{Fa(kV)} = U_{Fa} \cdot U_{cb(\text{pha})} = 0,8 \times \frac{10,5}{\sqrt{3}} = 4,88 \text{ kV}$$

Ta cũng tính được cho các pha B và C:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{Fb} &= a^2 \dot{U}_{Fa1} + a \dot{U}_{Fa2} = j0,726 e^{j30^\circ} \cdot e^{-j120^\circ} + j0,126 e^{-j30^\circ} \cdot e^{j120^\circ} \\ &= j(0,726 e^{-j90^\circ} + 0,126 e^{j90^\circ}) = 0,6\end{aligned}$$

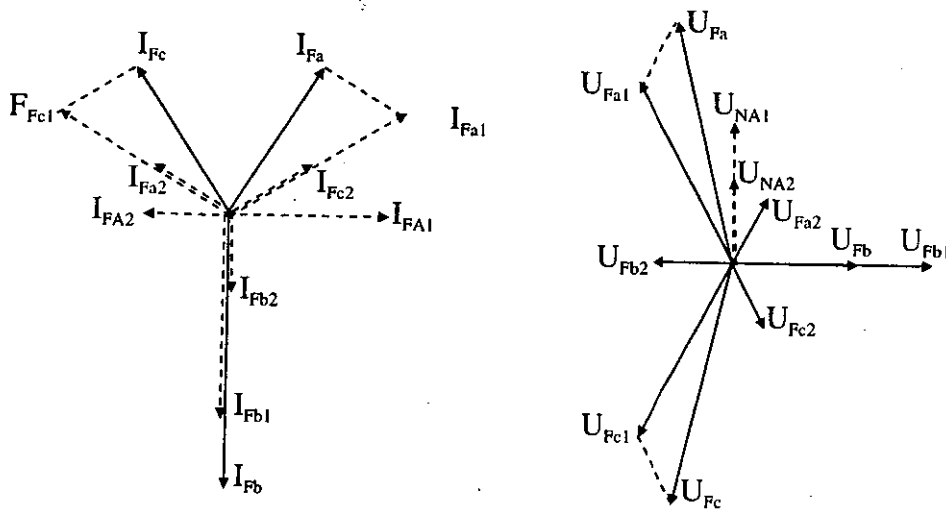
$$\begin{aligned}\dot{U}_{Fc} &= a \dot{U}_{Fa1} + a^2 \dot{U}_{Fa2} = j0,726 e^{j30^\circ} \cdot e^{j120^\circ} + j0,126 e^{-j30^\circ} \cdot e^{-j120^\circ} \\ &= -0,3 - j0,74\end{aligned}$$

Về trị tuyệt đối trong hệ đơn vị có tên:

$$U_{Fb(kV)} = 0,6 \times \frac{10,5}{\sqrt{3}} = 3,66 \text{ kV}$$

$$U_{Fc(kV)} = U_{Fa(kV)} = 4,88 \text{ kV}$$

Trên hình 6.22 là quan hệ vectơ các thành phần dòng điện chạy trong máy phát.



Hình 6.22

6.9 SO SÁNH DÒNG ĐIỆN NGẮN MẠCH CÁC DẠNG KHÁC NHAU VỚI NGẮN MẠCH BA PHA (theo trị số tại điểm ngắn mạch)

Khi ngắn mạch xảy ra tại một điểm nào đó có thể đặt bài toán tìm tỉ số giữa dòng điện ngắn mạch tại điểm ngắn mạch các dạng ngắn mạch khác nhau với dòng điện ngắn mạch ba pha cũng tại điểm đó. Hơn nữa giới hạn của các tỉ số này là bao nhiêu.

Trước hết ta so sánh các điện kháng phụ. Theo các biểu thức trong bảng 6-2, ta có:

$$X_{\Delta}^{(1)} > X_{\Delta}^{(2)} > X_{\Delta}^{(1,1)} > X_{\Delta}^{(3)} = 0.$$

Do đó dòng điện thứ tự thuận :

$$I_{NA1}^{(1)} < I_{NA1}^{(2)} < I_{NA1}^{(1,1)} < I_{NA1}^{(3)} = 0$$

còn điện áp thứ tự thuận:

$$U_{NA1}^{(1)} > U_{NA1}^{(2)} > U_{NA1}^{(1,1)} > U_{NA1}^{(3)} = 0$$

Các hằng số thời gian :

$$T_d^{(1)} > T_d^{(2)} > T_d^{(1,1)} > T_d^{(3)} = 0,$$

do các điện kháng phụ làm tăng tổng trở mạch ngoài.

Tương quan về hằng số thời gian cho thấy, khi xảy ra ngắn mạch tại cùng một điểm thì dòng điện quá độ tự do của ngắn mạch 3 pha sẽ tắt nhanh nhất (nhanh hơn mọi dạng ngắn mạch không đối xứng), chậm nhất đối với ngắn mạch một pha.

Để so sánh độ lớn dòng điện ngắn mạch tổng hợp các dạng ngắn mạch khác nhau với ngắn mạch 3 pha ta xác định tỉ số:

$$K_{(n-3)} = \frac{I_N^{(n)}}{I_N^{(3)}} = \frac{m^{(n)} I_{Na1}^{(n)}}{I_N^{(3)}} = \frac{m^{(n)} X_{1\Sigma}}{X_{1\Sigma} + X_{\Delta}^{(n)}}.$$

a) Ngắn mạch một pha

Theo bảng (6-4) ta có $m^{(1)} = 3$, $X_{\Delta}^{(1)} = X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}$.

Điện kháng tổng hợp $X_{2\Sigma}$ và $X_{0\Sigma}$ có thể rất bé khi ngắn mạch ngay gần máy phát, nếu trung điểm của nó trực tiếp nối đất thì có thể coi là $X_{\Delta}^{(1)} \rightarrow 0$. Khi đó theo biểu thức trên $K_{(1-3)} \rightarrow m^{(1)} = 3$. Ngược lại khi trung tính không nối đất $X_{\Delta}^{(1)} \rightarrow \infty$ và $K_{(1-3)} = 0$. Tóm lại, trị số của $K_{(1-3)}$ nằm trong giới hạn sau:

$$0 \leq K_{(1-3)} \leq 3.$$

Tuy nhiên phụ thuộc vị trí của điểm ngắn mạch thực tế $K_{(1-3)}$ không vượt quá 2,5. Nếu ngắn mạch xa có thể coi $X_{2\Sigma} = X_{1\Sigma}$. Khi đó:

$$0 \leq K_{(1-3)} \leq 1,5.$$

b) Ngắn mạch hai pha

Trường hợp này $m^{(2)} = \sqrt{3}$, $X_{\Delta}^{(2)} = X_{2\Sigma}$. Trị số của $X_{2\Sigma}$ có thể thay đổi từ 0 (khi ngắn mạch gần cực máy phát) đến $X_{1\Sigma}$ (ngắn mạch xa). Do đó:

$$\frac{\sqrt{3}}{2} < K_{(2-3)} < \sqrt{3}.$$

Thực tế nó vào khoảng $0,9 < K_{(2-3)} < 1,6$.

c) Ngắn mạch hai pha chạm đất

Ta có:

$$m^{(1,1)} = \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{X_{2\Sigma} X_{0\Sigma}}{(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}} \quad \text{và} \quad X_{\Delta}^{(1,1)} = \frac{X_{2\Sigma} \times X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}.$$

Giá trị bé nhất của $X_{\Delta}^{(1,1)}$ xảy ra vào lúc hoặc $X_{2\Sigma} = 0$ hoặc $X_{0\Sigma} = 0$; Trong hai trường hợp đó đều có $m^{(1,1)} = \sqrt{3}$, $X_{\Delta}^{(1,1)} = 0$, do đó theo biểu thức ta có:

$$K_{(1,1-3)} \rightarrow \sqrt{3}.$$

Giá trị lớn nhất $X_{\Delta}^{(1,1)} = X_{2\Sigma}$ xảy ra vào lúc $X_{0\Sigma} = \infty$ (khi trung tính không nối đất). Thực ra đó chính là trường hợp riêng, ngắn mạch hai pha chạm đất trở thành ngắn mạch hai pha thông thường. Phụ thuộc vào $X_{2\Sigma}$ ta có:

$$\frac{\sqrt{3}}{2} < K_{(1,1-3)} < \sqrt{3}$$

Kết hợp lại ta cũng có giới hạn giống như khi ngắn mạch 2 pha. Tuy nhiên do sự có mặt của $X_{0\Sigma}$ trị số của $X_{\Delta}^{(1,1)}$ thường nhận các giá trị nhỏ hơn $X_{\Delta}^{(2)}$ và $K(1,1-3)$ thiên về phía lớn gần với giá trị $\sqrt{3}$ trong khi ngắn mạch 2 pha không chấp đất thiên về trị số nhỏ.

Từ các phân tích trên có thể thấy rằng các trường hợp ngắn mạch không đối xứng có khả năng có trị số dòng điện ngắn mạch lớn hơn ngắn mạch 3 pha. Về lý thuyết có thể gấp 3 lần dòng điện ngắn mạch 3 pha (trong trường hợp ngắn mạch một pha). Tuy nhiên xác suất xảy ra thấp, nhất là với ngắn mạch 2 pha. Có khả năng xảy ra cao và có trị số khá lớn là trường hợp ngắn mạch một pha.

6.10 SƠ ĐỒ THAY THẾ PHỨC HỢP

Dựa vào quan hệ giữa các đại lượng dòng, áp tại điểm ngắn mạch người ta đưa ra quy tắc kết nối giữa 3 sơ đồ thứ tự thuận, thứ tự nghịch và thứ tự không thành một sơ đồ phức hợp. Sơ đồ đảm bảo đúng trạng thái phân bố của dòng điện và điện áp thành phần trên từng bộ phận sơ đồ, trong khi trạng thái toàn mạch điện là thống nhất. Ta có các quan hệ sau cho dòng và áp tại điểm ngắn mạch của từng dạng ngắn mạch:

- Ngắn mạch một pha:

$$\dot{I}_{Na1}^{(1)} = \dot{I}_{Na2}^{(1)} = \dot{I}_{Na0}^{(1)} ;$$

$$\dot{U}_{Na1}^{(1)} = -(\dot{U}_{Na2}^{(1)} + \dot{U}_{Na0}^{(1)}) ;$$

- Ngắn mạch hai pha:

$$\dot{I}_{Na1}^{(2)} = -\dot{I}_{Na2}^{(2)} ;$$

$$\dot{U}_{Na1}^{(1)} = -\dot{U}_{Na2}^{(1)} ;$$

- Ngắn mạch hai pha chấp pha:

$$\dot{I}_{Na1}^{(1,1)} = -(\dot{I}_{Na2}^{(1,1)} + \dot{I}_{Na0}^{(1,1)}) ;$$

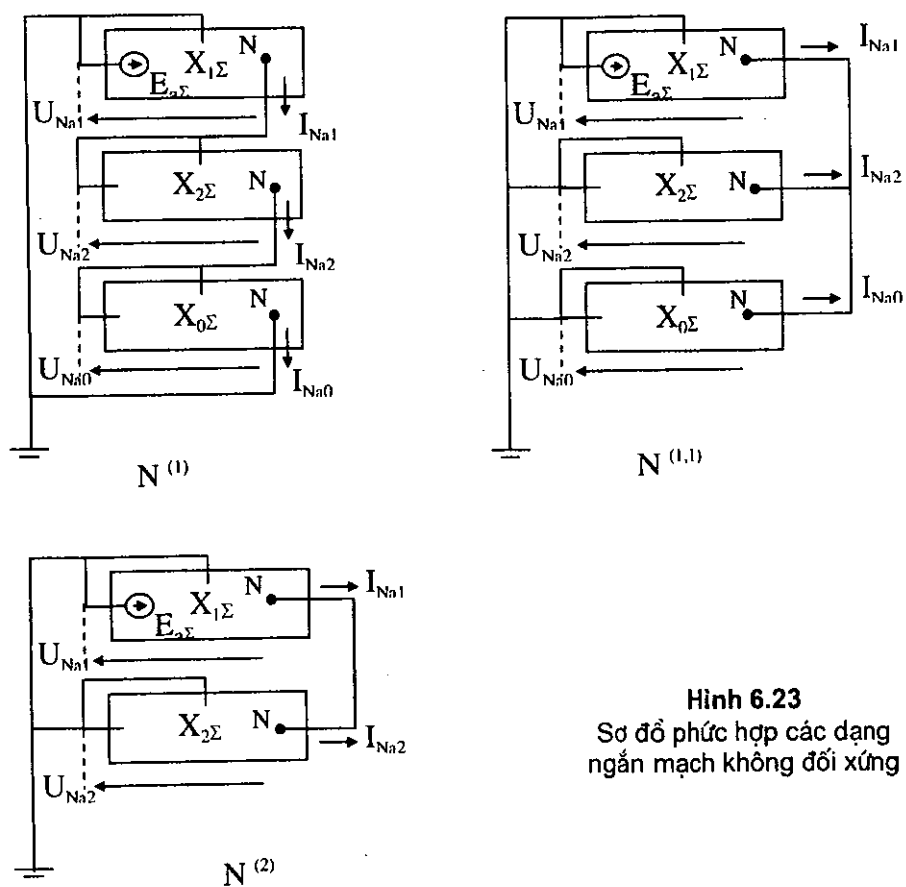
$$\dot{U}_{Na1}^{(1,1)} = \dot{U}_{Na2}^{(1,1)} = \dot{U}_{Na0}^{(1,1)} ;$$

Dựa vào các quan hệ này ta có thể kiểm tra tính phù hợp của các sơ đồ ghép nối phức hợp hình 6.23. Trên sơ đồ phức hợp cho mỗi loại ngắn mạch (hình 6.23), hình chữ nhật biểu thị chung cho sơ đồ thứ tự thành phần (gồm nhiều nhánh nhiều nút). Trên đó còn có đường nối biểu thị trung điểm của sơ đồ (nối liền trung điểm các nguồn, máy biến áp và phụ tải). Điểm ngắn mạch nằm ở một nơi nào đó trên sơ đồ có đánh dấu bằng chữ N. Sơ đồ thứ tự thuận có nguồn, các sơ đồ còn lại không có nguồn.

Dựa vào quy tắc kết nối trên ta có thể thiết lập sơ đồ phức hợp cho mọi hệ thống điện có sơ đồ phức tạp, ứng với mỗi trạng thái ngắn mạch không đối xứng. Trên

hình 6.24 và 6.25 là các ví dụ thiết lập sơ đồ phức hợp đối với một số hệ thống điện cụ thể.

Sơ đồ phức hợp có ý nghĩa ứng dụng rất lớn. Rõ ràng có thể sử dụng sơ đồ phức hợp để tính toán ngay (không cần qua bước tính trị số dòng áp tạo điểm ngắn mạch) các dòng điện và điện áp ngắn mạch thành phần, đồng thời trên cả 3 sơ đồ thứ tự (thuận, nghịch, không). Cộng các thành phần tương ứng ta được trị số dòng, áp tổng hợp phân bố trên mọi nhánh mọi nút. Đây chính là cách thực hiện trong đa số các chương trình tính ngắn mạch (đối xứng và không đối xứng). Ngoài ra sơ đồ phức hợp còn được ứng dụng để tạo ra các mô hình (vật lý) phân tích dòng điện ngắn mạch không đối xứng.



Hình 6.23
Sơ đồ phức hợp các dạng ngắn mạch không đối xứng

Có một số điểm đáng chú ý như sau:

- Trung điểm của sơ đồ thứ tự không không phải bao giờ cũng trùng với trung điểm của các thiết bị hệ thống. Khi xét đến tổng trở nối đất và của dây trung tính cần phải hiệu trung điểm của sơ đồ thứ tự không là điểm có điện áp bằng 0 tại vị trí ngắn mạch (trung tính của vectơ điện áp ba pha tại điểm ngắn mạch).

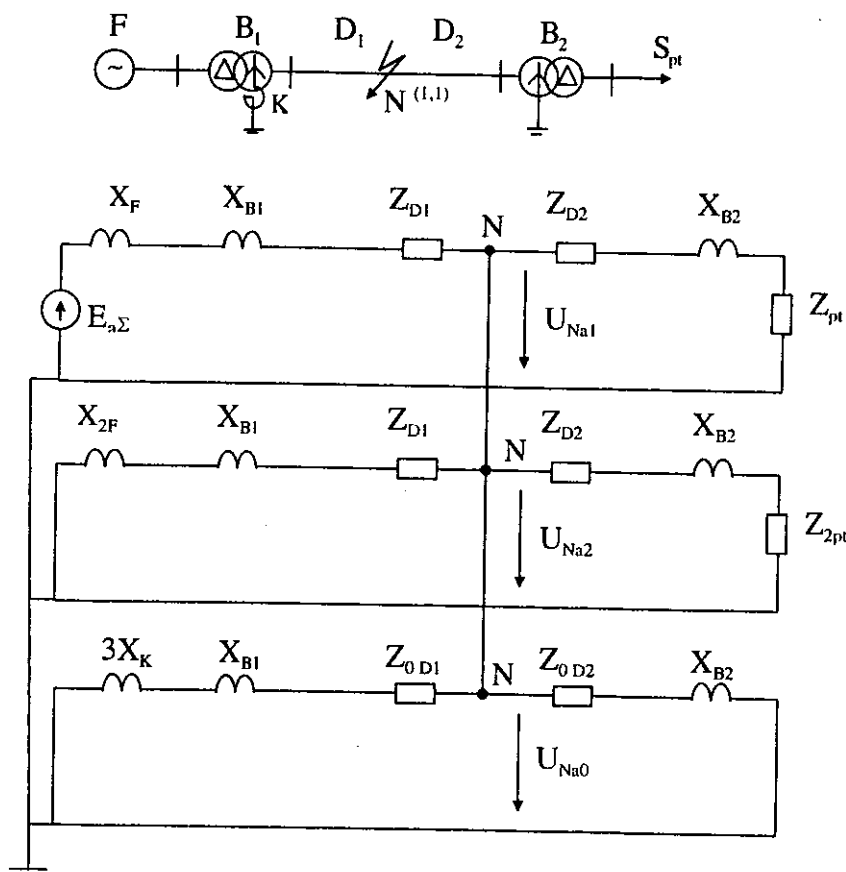
Các điện áp thứ tự thành phần (cả môđun, góc pha) phải là trị số điện áp so với trung điểm của từng sơ đồ thứ tự tương ứng. Tuy nhiên kết quả giải mạch theo sơ đồ phức hợp lại là điện áp so với trung điểm chung của toàn sơ đồ. Do đó sau khi có kết quả cần hiệu chỉnh lại. Ví dụ, với ngắn mạch một pha điện áp thứ tự nghịch của mỗi nút đều cần được hiệu chỉnh như sau :

$$\dot{U}'_{a2} = \dot{U}_{a2}^{(1)} - U_{Na1}^{(1)}$$

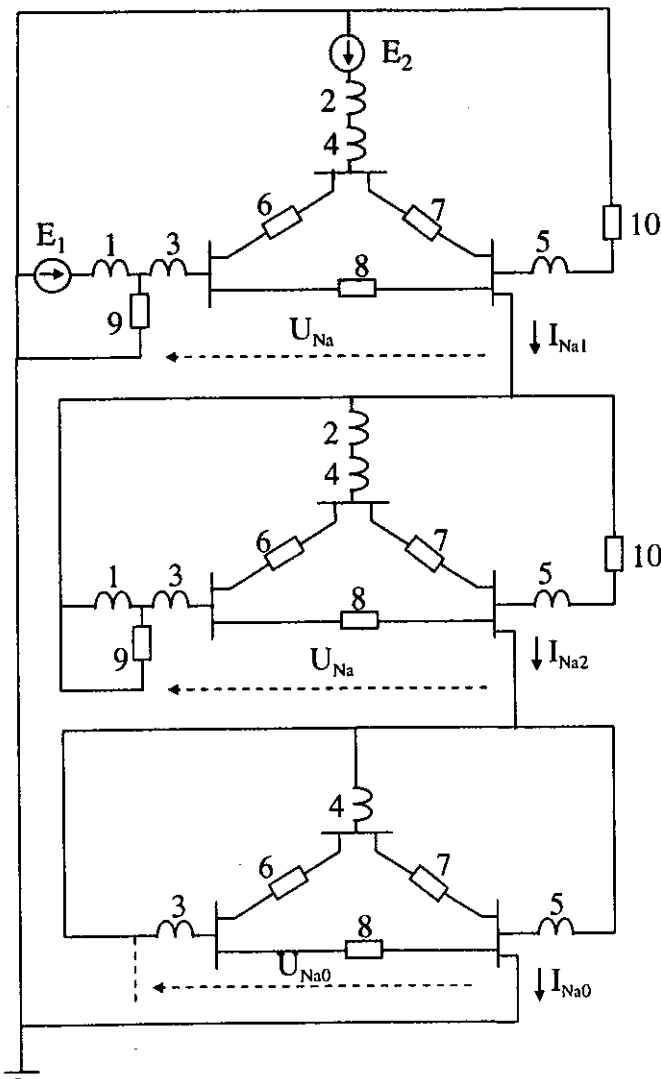
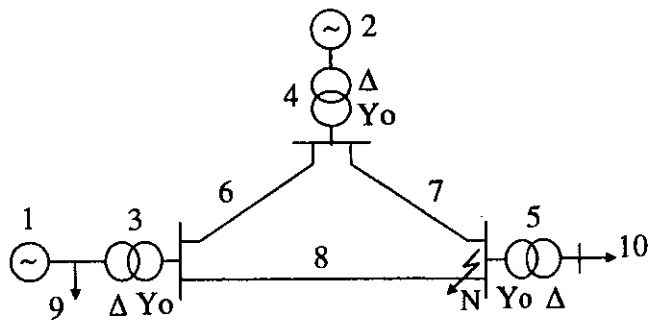
Điện áp thứ tự không:

$$\dot{U}'_{a0} = \dot{U}_{a0}^{(1)} - (U_{Na2}^{(1)} + U_{Na1}^{(1)})$$

Điện áp thứ tự thuận không cần hiệu chỉnh vì trung điểm của nó chập chung với trung điểm toàn sơ đồ.



Hình 6.24



Hình 6.25

Những điểm cần ghi nhớ trong chương sáu

1. Phương pháp các thành phần đối xứng là cơ sở của phương pháp tính toán ngắn mạch không đối xứng. Theo phương pháp này hệ thống các đại lượng 3 pha (sdd, điện áp, dòng điện) được phân tích thành 3 thành phần thứ tự: thuận, nghịch và không. Mỗi thành phần gây ra phản ứng khác nhau đối với mạch điện do đó các sơ đồ tính toán nói chung khác nhau, cần được thiết lập riêng. Sơ đồ thứ tự không thường khác nhiều so với sơ đồ thứ tự thuận, nghịch và phụ thuộc nhiều vào chế độ trung tính cũng như sơ đồ đấu dây các máy biến áp.
2. Tồn tại quy tắc đẳng trị thứ tự thuận cho phép đưa cách tính toán ngắn mạch không đối xứng về cách tính toán ngắn mạch 3 pha đối xứng. Nhờ quy tắc này có thể tính ngay được trị số dòng điện ngắn mạch tại điểm ngắn mạch (trong các pha có dòng ngắn mạch khác 0) thông qua trị số của thành phần thứ tự thuận (tính như ngắn mạch 3 pha).
3. Dòng điện ngắn mạch phân bố trên các nhánh (trị số tổng hợp có xét đến cả góc pha) có thể xác định được theo phương pháp biến đổi mở rộng sơ đồ hoặc sơ đồ phức hợp ứng với dạng ngắn mạch tính toán.
4. Sự thay đổi góc pha do ảnh hưởng của các máy biến áp đối với các dòng, áp thành phần thứ tự (thuận, nghịch, không) không giống nhau. Khi tổng hợp dòng điện phân bố trên các nhánh theo phương pháp mở rộng sơ đồ cần phải hiệu chỉnh các góc pha cho phù hợp.

Chương 7

SỰ CỐ PHỨC TẠP

7.1 KHÁI NIỆM CHUNG

Sự cố phức tạp trong chương này được hiểu là tình huống của hệ thống điện bị đồng thời vừa ngắn mạch vừa đứt dây. Vị trí ngắn mạch và đứt dây có thể tồn tại ở những vị trí khác nhau trong mạng điện.

Trong thực tế xác suất xảy ra sự cố phức tạp thường rất thấp, tuy nhiên chúng có thể tạo ra các điều kiện bất lợi, nguy hiểm rất đáng quan tâm. Chẳng hạn, ngắn mạch có kèm đứt dây làm cho bảo vệ rơ le tác động không nhạy, kém chọn lọc. Hiện tượng đứt dây một pha không tạo ra dòng điện lớn nhưng lại có thể làm xuất hiện thành phần dòng điện thứ tự nghịch đáng kể chạy trong máy phát và các thiết bị dùng điện. Tình trạng này nếu không có tính toán trước, hệ thống có thể vận hành kéo dài gây hậu quả nghiêm trọng. Ngược lại, nếu hệ số không đối xứng nằm trong phạm vi cho phép thì tình trạng đứt dây một pha lại có thể để tồn tại trong thời gian tác động của các phương tiện tự động hoặc xử lý sự cố (kéo dài đến 30 phút). Khi đó hệ thống vận hành vẫn bình thường, giảm nhẹ được những thiệt hại không đáng có (so với cắt ngay cả 3 pha, đưa phân tử bị sự cố ra khỏi hệ thống). Hệ thống có trung điểm không nối đất, bị chạm đất 2 điểm trên 2 pha khác nhau ở những vị trí khác nhau, gần giống như ngắn mạch 2 pha $N^{(2)}$ nhưng tính toán phức tạp hơn (theo phương pháp của sự cố phức tạp). Trong chương này chỉ xét tóm tắt những nguyên tắc cơ bản nhất tính toán, phân tích sự cố phức tạp.

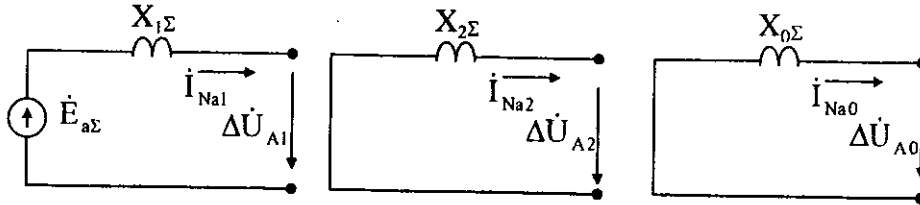
7.2 TÍNH TOÁN CHẾ ĐỘ HỆ THỐNG LÚC MỘT HAY HAI PHA BỊ ĐỨT (không đối xứng dọc)

Có thể coi trạng thái đứt dây pha như là đặt nối tiếp vào mạch tại vị trí bị đứt một hiệu điện áp ΔU sao cho dòng trong pha bị đứt bằng 0 Pha không bị đứt tương ứng với $\Delta U = 0$. Như vậy mạch điện trở thành không đối xứng do sự không đối xứng của dòng và áp tại nơi sự cố. Ta có thể giải bài toán theo phương pháp các thành phần đối xứng.

1. Hệ phương trình cơ bản

Giả thiết có thể đẳng trị mạch thành sơ đồ tối giản, nhìn từ vị trí đứt dây về các phía của sơ đồ. Nói khác đi, tính tổng trở đầu vào của toàn bộ sơ đồ nhìn từ 2 cực của vị trí sự cố. Với 3 thành phần thứ tự ta có các sơ đồ đẳng trị như trên hình 7-1.

Rõ ràng chỉ có sơ đồ thứ tự thuận có nguồn, còn sơ đồ thứ tự nghịch, thứ tự không không có nguồn.



Hình 7.1

Tương tự chế độ ngắn mạch ta thiết lập được hệ phương trình cơ bản (gồm 3 phương trình cho các đại lượng thành phần pha A).

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U}_{A1} &= \dot{E}_{A\Sigma} - j\dot{I}_{A1}X_{1\Sigma} \\ \Delta \dot{U}_{A2} &= 0 - j\dot{I}_{A2}X_{2\Sigma} \\ \Delta \dot{U}_{A0} &= 0 - j\dot{I}_{A0}X_{0\Sigma} \end{aligned} \quad (7-1)$$

2. Điều kiện về trạng thái sự cố

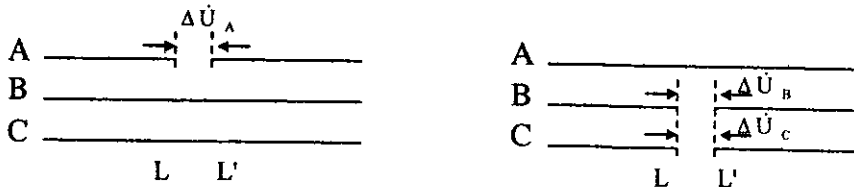
Hệ 3 phương trình (7-1) có 6 ẩn số nên để giải được cần bổ sung thêm 3 phương trình. Đó chính là các phương trình thể hiện trạng thái của mạch bị sự cố.

- Đứt dây một pha (pha A là pha đặc biệt : bị đứt dây):

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U}_B &= 0 ; \\ \Delta \dot{U}_C &= 0 ; \\ \dot{I}_A &= 0 . \end{aligned} \quad (7-2)$$

- Đứt dây hai pha (pha A là pha đặc biệt : không bị đứt dây):

$$\begin{aligned} \dot{I}_B &= 0 ; \\ \dot{I}_C &= 0 ; \\ \Delta \dot{U}_A &= 0 . \end{aligned} \quad (7-3)$$



Hình 7.2

So sánh với hệ phương trình trạng thái ngắn mạch hai pha và một pha ta thấy có sự tương ứng hoàn toàn (xem mục 6.4). Như vậy ta có thể áp dụng cách tính giống hệt như đối với ngắn mạch hai pha và một pha, kể cả áp dụng sơ đồ phức hợp.

Điểm đáng chú ý khi so sánh các biểu thức tính toán ngắn mạch với đứt dây là các trị số điện kháng tổng hợp. Với cùng sơ đồ, nói chung các trị số $X_{1\Sigma}$, $X_{2\Sigma}$, $X_{0\Sigma}$ không giống nhau khi xét ngắn mạch và đứt dây tại cùng vị trí. Đó là vì khi đứt dây điện kháng tổng hợp cần được tính như tổng trở đầu vào nhìn từ cửa với 2 cực là các điểm bị đứt (tách về 2 phía). Với trạng thái ngắn mạch, điện kháng tổng hợp cũng là tổng trở đầu vào của toàn mạch nhưng cửa vào là điểm ngắn mạch và trung điểm sơ đồ. Cũng vậy, sức điện động tổng hợp nói chung cũng không giống nhau trong 2 trường hợp. Hơn nữa, xác định sức điện động tổng hợp cho tính toán đứt dây đôi khi khá phức tạp. (Nếu áp dụng phương pháp sơ đồ phức hợp thì không nhất thiết phải tính).

3. Sơ đồ phức hợp trạng thái đứt dây

a. Một pha bị đứt

Dựa vào hệ phương trình cơ bản và các điều kiện về trạng thái sự cố ta có các kết quả sau cho đứt dây một pha (tương tự ngắn mạch 2 pha chạm đất):

$$\dot{I}_{a1} = \frac{\dot{E}_{a\Sigma}}{j \left(X_{1\Sigma} + \frac{X_{2\Sigma} X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} \right)}$$

$$\dot{I}_{a2} = -\dot{I}_{a1} \frac{X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$$

$$\dot{I}_{a0} = -\dot{I}_{a1} \frac{X_{2\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$$

$$|\dot{I}_b| = |\dot{I}_c| = \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}} I_{a1}$$

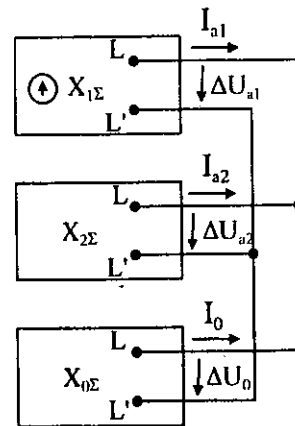
$$\dot{I}_a = 0.$$

$$\Delta \dot{U}_{a1} = \dot{E}_{a\Sigma} - j \dot{I}_{a1} X_{1\Sigma} = \Delta \dot{U}_{a2} = \Delta \dot{U}_{a0}$$

Các quan hệ trên cho phép đưa ra sơ đồ phức hợp như trên hình 7.3. Để thấy, trị số dòng điện tại các pha không bị đứt bằng nhau và tỉ lệ với thành phần thứ tự thuận qua hệ số tỉ lệ:

$$m = \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}$$

Còn điện kháng phụ: $X_{\Delta}^{(1)} = X_{2\Sigma} // X_{0\Sigma}$, giống như ngắn mạch 2 pha chạm đất.



Hình 7.3

Như vậy có thể tính được ngay trị số dòng điện tại các pha không bị đứt sau khi biết thành phần thứ tự thuận. Tuy nhiên, khi tính toán đứt dây, người ta thường quan tâm nhiều hơn đến dòng điện thành phần. Ví dụ, tính toán kiểm tra thành phần thứ tự nghịch xuất hiện trong các máy phát và động cơ, không được vượt quá một tỉ lệ cho phép.

b. Hai pha bị đứt

Biểu thức tính toán cho dòng và áp thành phần tại vị trí đứt dây có thể nhận được như sau:

$$\dot{i}_{a1} = \frac{\dot{E}_{a\Sigma}}{j((X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}))}$$

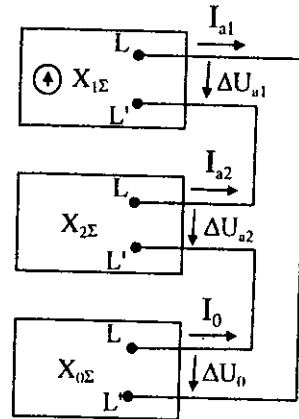
$$\dot{i}_{a0} = \dot{i}_{a2} = \dot{i}_{a1}; \quad \dot{i}_a = 3\dot{i}_{a1};$$

$$\Delta\dot{U}_{a1} = \dot{E}_{a\Sigma} - j\dot{i}_{a1}X_{1\Sigma} = j\dot{i}_{a1}(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma});$$

$$\Delta\dot{U}_{a2} = -j\dot{i}_{a1}X_{2\Sigma};$$

$$\Delta\dot{U}_0 = -j\dot{i}_{a1}X_{0\Sigma}.$$

$$\Delta\dot{U}_{a1} + \Delta\dot{U}_{a2} + \Delta\dot{U}_0 = 0.$$



Hình 7.4

Các quan hệ trên tương ứng với sơ đồ phức hợp trên hình 7.4. Biểu thức điện kháng phụ trong trường hợp này giống như ngắn mạch 1 pha:

$$X^{(1,1)}_{\Delta} = X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}, \text{ hệ số } m = 3.$$

Ví dụ 7.1. Cho sơ đồ HTĐ hình 7.5,a , hãy xác định dòng điện các pha của đường dây khi có một pha bị đứt. Điện kháng các phần tử cho trong hệ đơn vị tương đối, ghi trên sơ đồ phức hợp hình hình 7.5,b.

Giải: Tính các điện kháng tổng hợp (như tổng trở đầu vào nhìn từ vị trí đứt dây):

$$X_{1\Sigma} = 0,15 + 0,20 + 1,20 + 0,25 + 0,20 = 2,0.$$

$$X_{2\Sigma} = 0,15 + 0,20 + 0,35 + 0,25 + 0,20 = 1,15.$$

$$X_{0\Sigma} = 0,57 + 0,20 + 0,20 = 0,97.$$

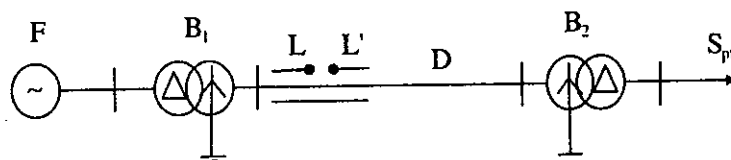
Điện kháng phụ:

$$X^{(1)}_{\Delta} = X_{2\Sigma} // X_{0\Sigma} = 1,15 // 0,97 = 0,526.$$

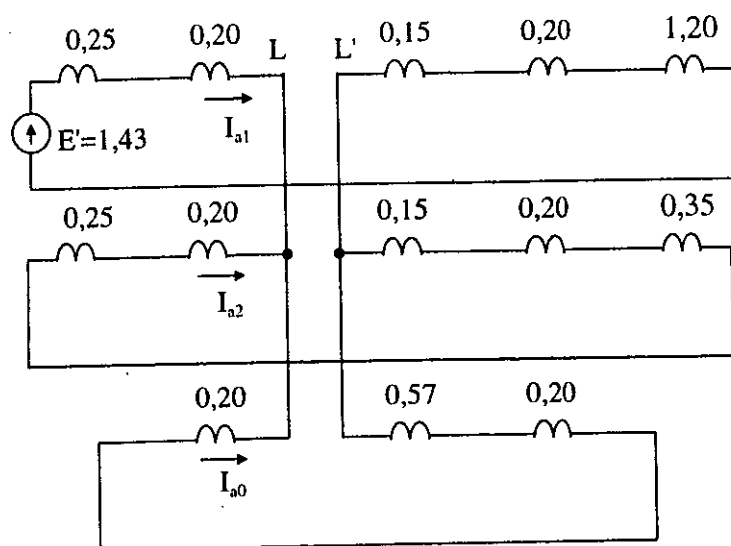
Trị số dòng điện thứ tự thuận:

$$\dot{I}_{a1} = \frac{\dot{E}_{a\Sigma}}{j(X_{1\Sigma} + X_{\Delta}^{(1)})} = \frac{j1,43}{j(2,0 + 0,526)} = 0,565$$

Chú ý, ở đây chọn góc pha dòng thứ tự thuận bằng 0, trong mạch thuần kháng sđđ có góc pha vượt trước 90° .



a)



b)

Hình 7.5

$$I_{a2} = -0,565 \frac{0,97}{0,97 + 1,15} = -0,258;$$

$$I_{a0} = -0,565 \frac{1,15}{0,97 + 1,15} = -0,307.$$

Trị số dòng điện trên các pha không bị đứt của đường f dây tính được theo hệ số tỉ lệ m:

$$I_B = I_C = m \cdot I_{a1} = \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{1,15 \cdot 0,97}{(1,15 + 0,97)^2}} \cdot 0,565 = 0,85;$$

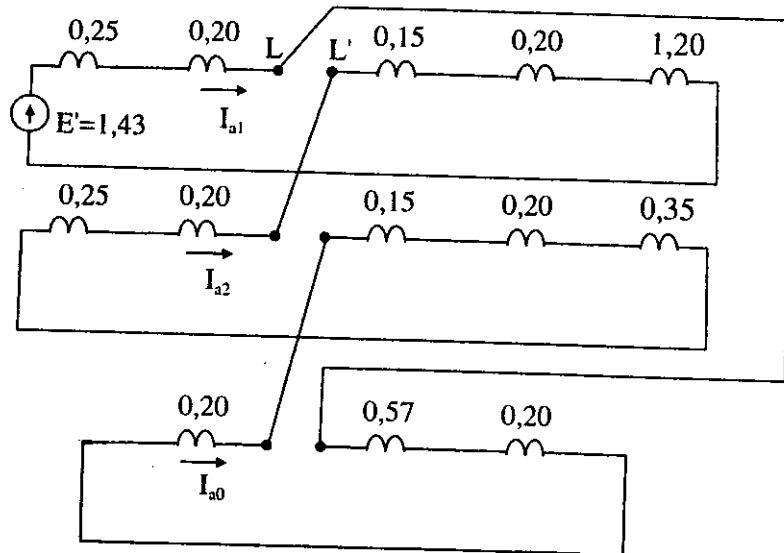
Có thể tính được dòng điện pha trong chế độ làm việc bình thường:

$$I = \frac{1,43}{0,25 + 0,20 + 0,15 + 0,20 + 1,2} = 0,715$$

Như vậy khi đứt 1 pha dòng điện trong các pha còn lại tăng lên (19%).

Ví dụ 7.2. Vẫn sơ đồ hệ thống như trên hình 7.5, a xác định dòng điện trong pha A khi pha B và pha C bị đứt.

Sơ đồ phức hợp sẽ như trên hình 7.6.



Hình 7.6

Trong ví dụ 7.1 đã xác định được các điện kháng tổng hợp:

$$X_{1\Sigma} = 2,0; \quad X_{2\Sigma} = 1,15; \quad X_{0\Sigma} = 0,97.$$

Tính điện kháng phụ: $X_{\Delta} = X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma} = 1,15 + 0,97 = 2,12.$

Dòng điện thành phần :

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = \frac{1,43}{2,0 + 2,12} = 0,35.$$

Dòng tổng hợp trên pha A (pha không bị đứt): $I_a = 3 \cdot 0,35 = 1,05$, tăng lên đáng kể so với lúc làm việc bình thường (tăng 47%).

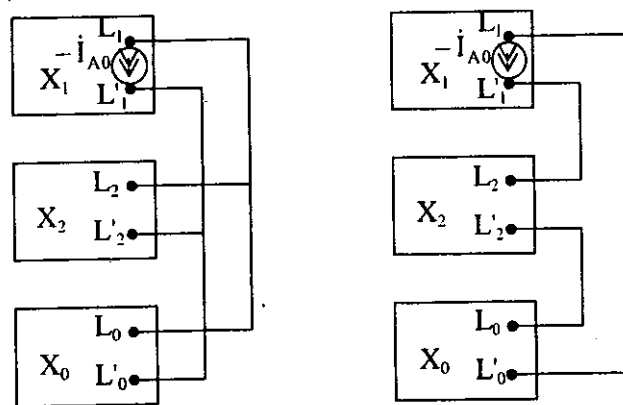
4. Dùng nguyên lý xếp chồng để tính toán đứt dây

Với sự cố đứt dây người ta hay áp dụng nguyên lý xếp chồng để tính toán. Trạng thái đứt dây có thể được coi là kết quả xếp chồng của 2 trạng thái:

- Trạng thái hoạt động bình thường của nguồn (các máy phát) với các nguồn áp xuất hiện phụ thêm tại chỗ đứt dây bằng 0. Thực chất là CĐXL trước sự cố.
- Trạng thái mọi nguồn máy phát bằng 0 nhưng tồn tại hiệu điện áp tại điểm sự cố. Trạng thái này còn gọi là trạng thái riêng sự cố.

Để thấy rằng có thể thay tương đương nguồn áp phụ thêm đặt vào vị trí đứt dây bằng nguồn dòng, cùng trị số với dòng pha trước khi sự cố nhưng ngược chiều (để chế độ tổng hợp có dòng trong pha đứt dây bằng 0). Khi đó trị số nguồn dòng luôn luôn đã biết (bằng dòng xác lập trước sự cố nhưng ngược dấu).

Chế độ trước khi bị đứt dây đã biết hoặc tính được (CĐXL trước sự cố), còn giải mạch theo chế độ riêng sự cố khá đơn giản bởi các mạch của sơ đồ thứ tự đều không nguồn, dễ dàng đẳng trị thành một tổng trở đẳng trị. Nói riêng cũng áp dụng được sơ đồ phức hợp để tính toán dòng áp phân bố cho chế độ riêng sự cố. Hình 7.7 mô tả sơ đồ phức hợp trạng thái riêng sự cố khi đứt dây một pha và đứt dây 2 pha. Sơ đồ nhận được từ sơ đồ phức hợp đầy đủ (hình 7.3 và 7.4) bằng cách bỏ nguồn sđd trong sơ đồ thứ tự thuận và thay thế nguồn áp tại chỗ đứt dây bằng nguồn dòng.



Hình 7.7 Sơ đồ phức hợp
trạng thái riêng sự cố.
a. Đứt dây 1 pha; b) Đứt dây 2 pha

Chú ý là, kết quả tính toán nhận được từ sơ đồ phức hợp là chế độ riêng sự cố pha A (các thành phần thứ tự thuận, nghịch, không). Đại lượng của các pha còn lại cần được suy ra dựa vào chiều quay vec tơ của các thành phần thứ tự. Dòng điện tổng hợp tại chỗ sự cố đứt dây sẽ bao gồm 4 thành phần:

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{A0} + \dot{I}_{scA1} + \dot{I}_{scA2} + \dot{I}_{scA0} \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{B0} + a^2 \dot{I}_{scA1} + a \dot{I}_{scA2} + \dot{I}_{scA0} \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{C0} + a \dot{I}_{scA1} + a^2 \dot{I}_{scA2} + \dot{I}_{scA0} \end{aligned}$$

Ở đây kí hiệu I_{A0} , I_{B0} , I_{C0} là trị số dòng điện các pha ở chế độ làm việc bình thường, trước khi xảy ra sự cố đứt dây.

Ví dụ 7.3 Cho sơ đồ hệ thống điện hình 7-8,a. Hãy xác định và vẽ đồ thị vectơ dòng điện của hai pha không bị đứt (đứt một pha trên một lộ đường dây). Biết dòng điện các pha trên mỗi lộ đường dây trước khi xảy ra sự cố là 305 A.

Máy phát điện: 250 MVA; 13,8 kV; $X'_d = 0,29$; $X_2 = 0,36$

Máy biến áp B_1 (hai cuộn dây): 240 MVA; $k=248/13,8$; $U_N\% = 9$

Máy biến áp B_2 (tự ngẫu): 200 MVA; $k=209/121/11$.

$U_{NC-T} = 9\%$; $U_{NC-H} = 35\%$; $U_{NT-H} = 20\%$

Đường dây: $l = 175$ km; $x_1 = 0,41$ Ω /km; $x_0 = 0,35x_1$ (tính cho một lộ). Hồ cảm thứ tự không giữa 2 lộ: $x_{1-H0} = 0,82$ Ω /km.

Hệ thống: công suất vô cùng lớn, điện áp thanh cái không đổi 110 kV.

Giải: Vì đã cho chế độ trước sự cố nên thuận lợi nhất ta áp dụng phương pháp xếp chồng. Sơ đồ phức hợp của chế độ riêng sự cố như trên hình 7-8,b. Sơ đồ này nhận được trên cơ sở thiết lập sơ đồ phức hợp chế độ đứt dây một pha, cho các nguồn sđđ bằng 0 và đặt nguồn dòng vào chỗ đứt dây.

Theo các số liệu đã cho áp dụng các công thức quen biết ta tính được thông số của các phần tử, ghi trực tiếp trên sơ đồ. Chú ý rằng hai lộ của đường dây chạy cạnh nhau hồ cảm thứ tự không khá lớn. Trong trường hợp này có kể đến, ta có thể tính cho toàn bộ chiều dài 2 lộ: $X_{1-H0} = 0,82 \cdot 175 = 143,5$ Ω . Các số liệu tính trong hệ đơn vị có tên quy về cấp 220 kV, ghi trên sơ đồ hình 7.8,b.

Theo số liệu ghi trên sơ đồ, tính được các điện kháng tổng hợp:

$$X_{1\Sigma} = 117,8 \Omega; X_{2\Sigma} = 119,8 \Omega; X_{1\Sigma} = 177,3 \Omega$$

Mạch chính (có nguồn dòng chạy qua) có điện kháng tổng hợp:

$$X = 117,8 // 119,8 // 177,3 = 44,5 \Omega.$$

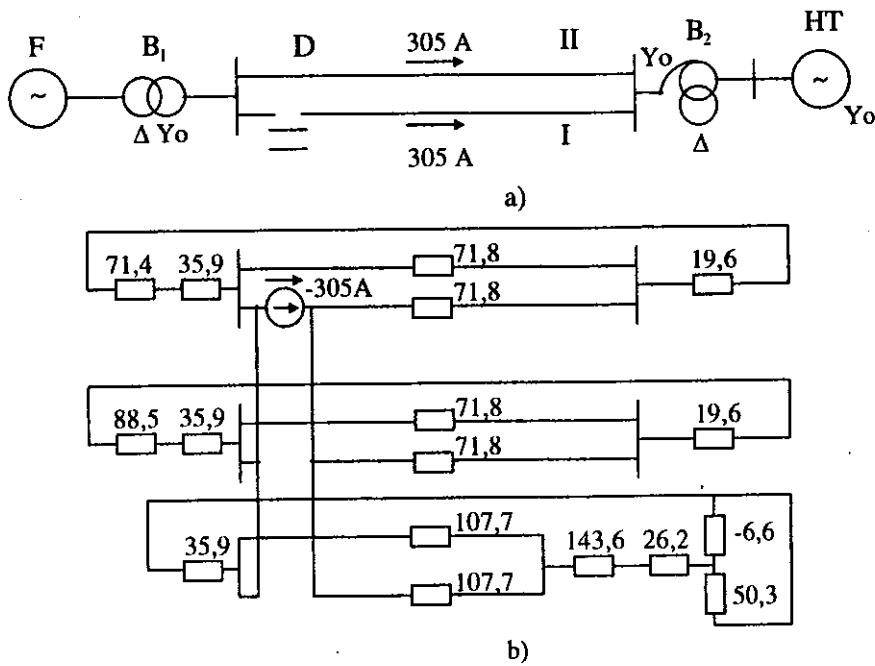
Theo quy tắc phân bố dòng điện cho các nhánh song song ta dễ dàng tìm được dòng điện trên mọi nhánh của sơ đồ phức hợp. Nói riêng tại chỗ đứt dây ta có:

$$\dot{I}_{scA1} = -305 \times \frac{44,5}{117,8} = -115 \text{ A}$$

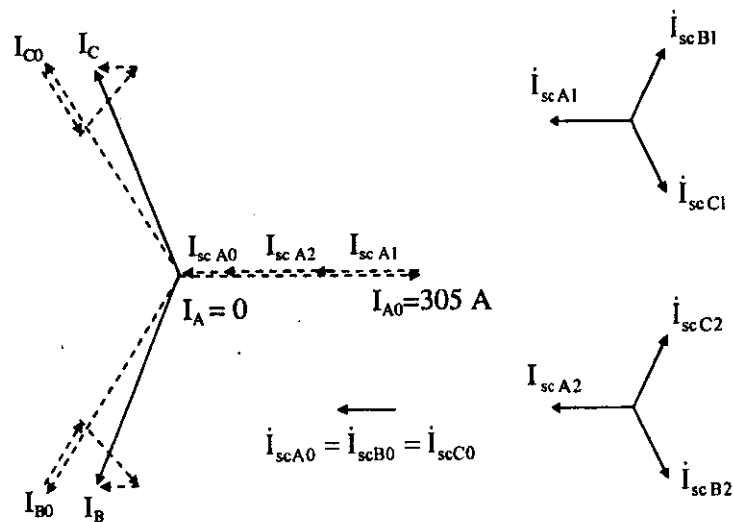
$$\dot{I}_{scA2} = -305 \times \frac{44,5}{119,3} = -113 \text{ A}$$

$$\dot{I}_{scA0} = -305 \times \frac{44,5}{177,3} = -77 \text{ A}$$

Sử dụng đồ thị vector hoặc biểu thức phức số ta tính được dòng điện tổng hợp, tương tự như khi tính ngắn mạch hai pha. Trên hình 7.9 là kết quả đồ thị vector dòng điện trên các pha tại chỗ sự cố (lộ I).



Hình 7.8



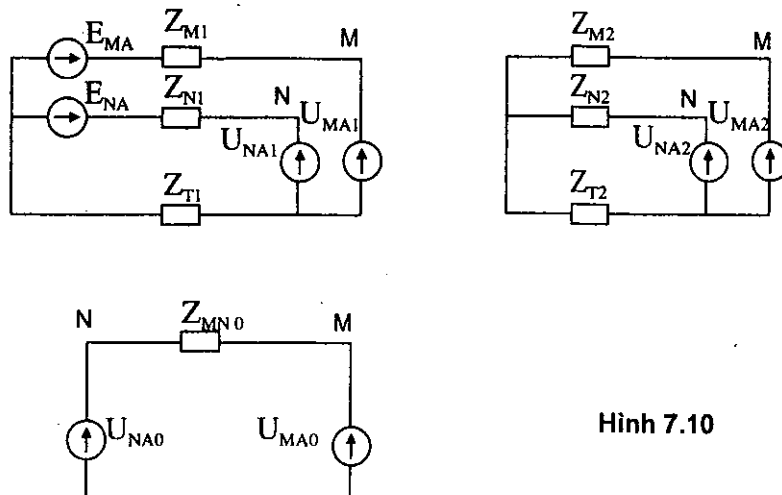
Hình 7.9

7.3 TÍNH TOÁN CHẾ ĐỘ SỰ CỐ PHỨC TẠP

Một sự cố không đối xứng bất kỳ (hiểu là một vị trí bị ngắn mạch hay đứt dây) theo phương pháp các thành phần đối xứng cần biểu thị bằng 6 ẩn số : 3 thành phần điện áp và 3 thành phần dòng điện tại chỗ sự cố. Mỗi vị trí sự cố ta luôn luôn viết được 3 phương trình trạng thái (còn gọi là các điều kiện bờ). Các phương trình còn lại cần được thiết lập theo quan hệ dòng áp trên 3 sơ đồ thứ tự. Trong trường hợp sự cố đơn, đó chính là 3 phương trình cơ bản.

Đối với sự cố phức tạp (2 vị trí trở lên) hệ phương trình cơ bản có nhiều biến số (ngay cả khi đã rút gọn) cần thiết lập theo các định luật Kirchoff và định luật Ohm. Ngoài ra, cũng như trường hợp đơn giản (một điểm sự cố) nếu chỉ dựa vào các hệ phương trình mạch thì chưa đủ số phương trình để giải. Đó là vì mỗi nút (nhánh) sự cố chứa 2 biến đều chưa biết (dòng và áp), sẽ thiếu một phương trình. Ba sơ đồ sẽ thiếu 3 phương trình. Nếu có n điểm sự cố sẽ thiếu $3n$ phương trình. May thay, cũng có đúng $3n$ phương trình điều kiện bờ ứng với n điểm sự cố. Đương nhiên còn cần dựa vào toán tử quay để chuyển đổi từ đại lượng tổng hợp sang thành phần và ngược lại để có đúng các biến thích hợp mới giải được (như đã làm với các dạng ngắn mạch đơn).

Để minh họa cụ thể ta xét trường hợp sự cố chạm đất kép xảy ra tại 2 vị trí trong hệ thống điện có trung tính cách điện với đất. Tại M chạm đất pha B còn tại N chạm đất pha C. Giả thiết sơ đồ sau biến đổi có dạng như trên hình 7-10.



Hình 7.10

Ta có các phương trình trạng thái mạch đối với các sơ đồ thứ tự:

- Thứ tự thuận:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{MA1} &= \dot{E}_{MA} - \dot{I}_{MA1}(Z_{M1} + Z_{T1}) - \dot{I}_{NA1}Z_{T1} \\ \dot{U}_{NA1} &= \dot{E}_{NA} - \dot{I}_{NA1}Z_{T1} - \dot{I}_{NA1}(Z_{N1} + Z_{T1})\end{aligned}\quad (7-4)$$

- Thứ tự nghịch:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{MA2} &= -\dot{I}_{MA2}(Z_{M2} + Z_{T2}) - \dot{I}_{NA2}Z_{T2} \\ \dot{U}_{NA2} &= -\dot{I}_{NA2}Z_{T2} - \dot{I}_{NA2}(Z_{N2} + Z_{T2})\end{aligned}\quad (7-5)$$

- Thứ tự không:

$$\dot{U}_{NA0} - \dot{U}_{MA0} = \dot{I}_{MA0}Z_{MN0}\quad (7-6)$$

Các điều kiện bờ ửng với chạm đất một pha cho 2 vị trí (pha B tại M, pha C tại N):

$$\begin{aligned}\dot{I}_{MA} &= 0; \quad \dot{I}_{MC} = 0; \quad \dot{U}_{MB} = 0; \quad (\text{chạm đất tại M}) \\ \dot{I}_{NA} &= 0; \quad \dot{I}_{NB} = 0; \quad \dot{U}_{NC} = 0; \quad (\text{chạm đất tại N})\end{aligned}$$

Khi trung tính không nối đất ta còn có điều kiện phụ: $\dot{I}_{MB} = -\dot{I}_{NC}$.

Lấy pha đặc biệt làm gốc (pha A: pha không có sự cố) chuyển các điều kiện bờ về các biến thành phần, ta có:

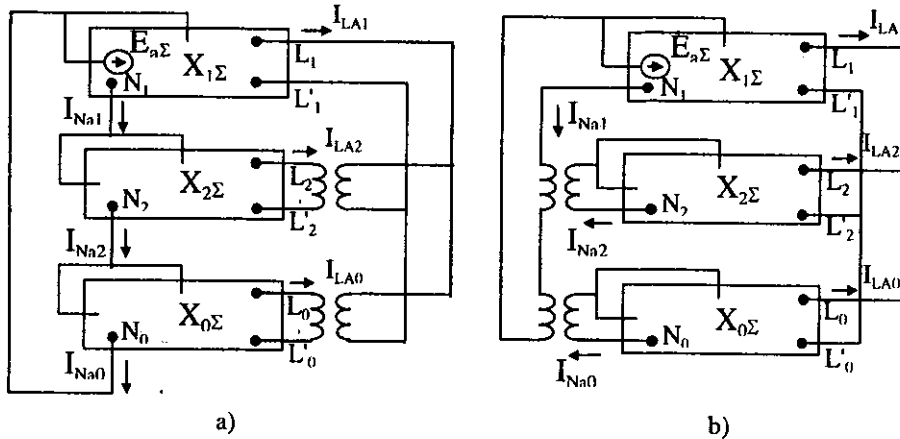
$$\begin{aligned}\dot{I}_{MA} &= \dot{I}_{MA1} + \dot{I}_{MA2} + \dot{I}_{MA0} = 0; \\ \dot{I}_{MC} &= \dot{I}_{MC1} + \dot{I}_{MC2} + \dot{I}_{MC0} = a\dot{I}_{MA1} + a^2\dot{I}_{MA2} + \dot{I}_{MA0} = 0; \\ \dot{U}_{MB} &= \dot{U}_{MB1} + \dot{U}_{MB2} + \dot{U}_{MB0} = a^2\dot{U}_{MA1} + a\dot{U}_{MA2} + \dot{U}_{MA0} = 0; \\ \dot{I}_{NA} &= \dot{I}_{NA1} + \dot{I}_{NA2} + \dot{I}_{NA0} = 0; \\ \dot{I}_{NB} &= \dot{I}_{NB1} + \dot{I}_{NB2} + \dot{I}_{NB0} = a^2\dot{I}_{NA1} + a\dot{I}_{NA2} + \dot{I}_{NA0} = 0; \\ \dot{U}_{NC} &= \dot{U}_{NC1} + \dot{U}_{NC2} + \dot{U}_{NC0} = a\dot{U}_{NA1} + a^2\dot{U}_{NA2} + \dot{U}_{NA0} = 0; \\ \dot{I}_{MB} &= a^2\dot{I}_{MA1} + a\dot{I}_{MA2} + \dot{I}_{MA0} = -a\dot{I}_{NA1} - a^2\dot{I}_{NA2} - \dot{I}_{NA0} = -\dot{I}_{NC}\end{aligned}\quad (7-7)$$

Kết hợp (7-4), (7-5), (7-6) và (7-7) ta giải ra được mọi trị số dòng, áp thành phần, sau đó tổng hợp thành các đại lượng pha.

7.4 SƠ ĐỒ PHỨC HỢP CỦA TÌNH TRẠNG SỰ CỐ PHỨC TẠP

Sơ đồ phức hợp là một công cụ hết sức hiệu quả để nghiên cứu ngắn mạch không đối xứng. Sơ đồ là kết quả ghép nối các sơ đồ thành phần (thuận, nghịch, không) qua điểm ngắn mạch. Điều kiện ghép nối chính là quan hệ dòng áp giữa 3 thành phần. Nếu trước và sau khi ghép nối quan hệ vẫn không thay đổi thì sơ đồ là tương đương, có thể áp dụng để giải mạch.

Đối với sự cố phức tạp, tiếc rằng cách thực hiện đơn giản như trên lại không thoả mãn (chỉ thoả mãn cho một điểm sự cố nào đó). Muốn ghép nối được cần đưa thêm vào sơ đồ các máy biến áp lý tưởng tỉ số 1:1. Trên hình 7-11 minh hoạ 2 phương án ghép nối để tạo ra sơ đồ phức hợp của trường hợp ngắn mạch một pha (tại N) kèm đứt dây một pha (tại L). Chọn một sự cố ghép nối trực tiếp về điện (giống như sự cố đơn), sự cố tiếp theo ghép nối qua máy biến áp lý tưởng. Cách ghép nối này luôn thoả mãn bởi quan hệ ghép nối chỉ ảnh hưởng cục bộ đúng vị trí sự cố.



Hình 7.11

Cả hai phương án sơ đồ phức hợp trên đều thoả mãn các điều kiện tại điểm sự cố. Thật vậy, với máy biến áp có tỉ số 1:1, ở cả 2 sơ đồ ta đều có:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{NA1} &= \dot{I}_{NA2} = \dot{I}_{NA0} \\ \dot{U}_{NA1} + \dot{U}_{NA2} + \dot{U}_{NA0} &= 0 \end{aligned}$$

chính là điều kiện ngắn mạch một pha tại điểm N.

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U}_{LA1} &= \Delta \dot{U}_{LA2} = \Delta \dot{U}_{LA0} \\ \dot{I}_{LA1} + \dot{I}_{LA2} + \dot{I}_{LA0} &= 0 \end{aligned}$$

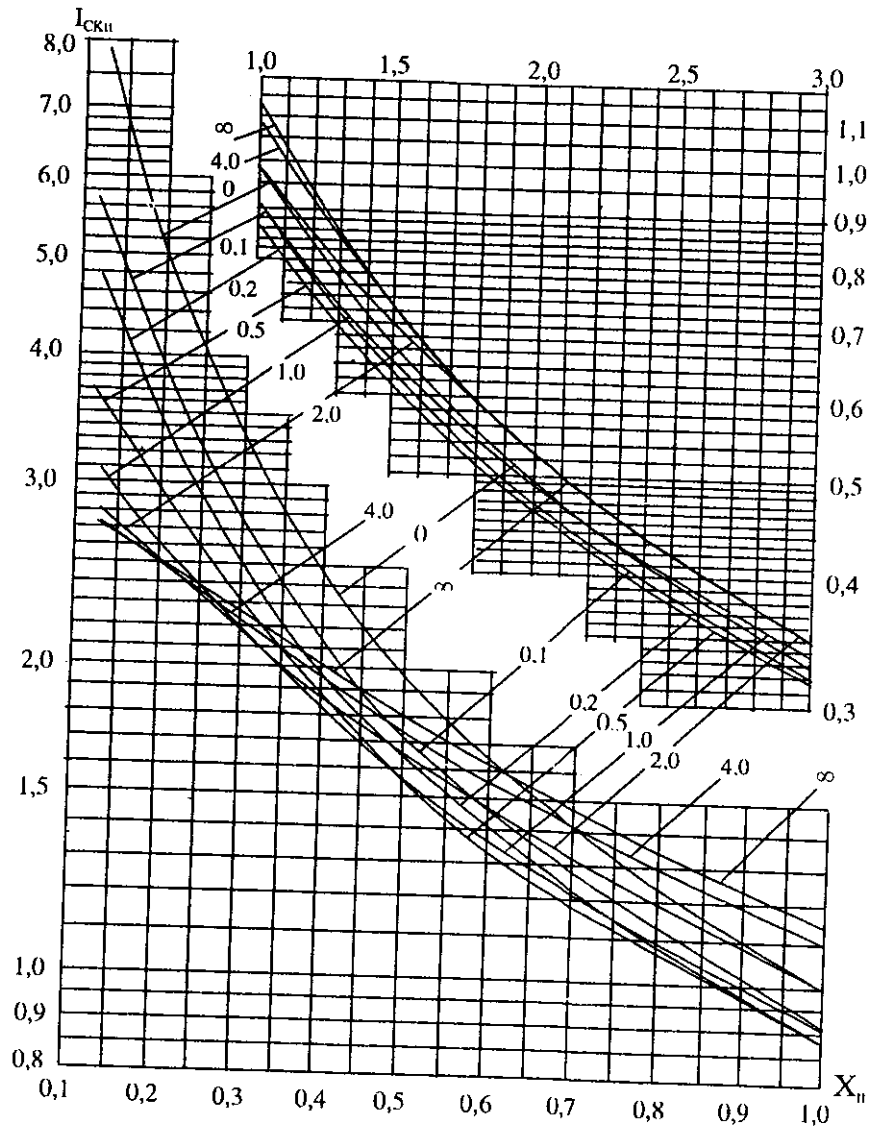
chính là điều kiện đứt dây một pha tại điểm L.

Khi thực hiện tính toán bằng chương trình việc có thêm máy biến áp lý tưởng không có gì khó khăn (xem phụ lục). Chỉ khi sử dụng mô hình vật lý máy biến áp đặt thêm có thể gây sai số nhiều (vì không phải lý tưởng).

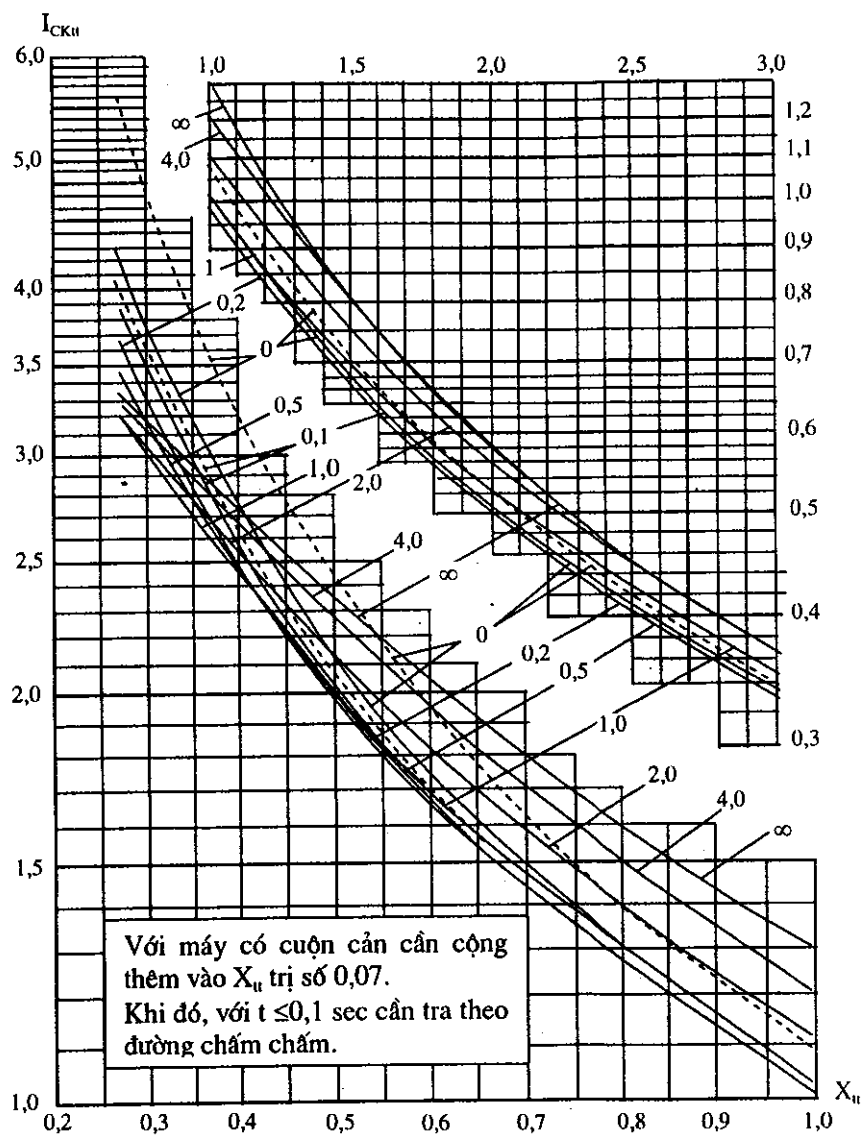
Những điểm cần ghi nhớ trong chương bảy

1. Sự cố phức tạp bao gồm cả ngắn mạch và đứt dây, điểm sự cố có thể tồn tại đồng thời ở nhiều vị trí khác nhau trong mạng điện.
2. Để tính toán sự cố đứt dây một hoặc hai pha (ở một vị trí) có thể áp dụng phương pháp hoàn toàn tương tự với ngắn mạch hai pha hoặc một pha. Cần xác định điện kháng tổng hợp cho các sơ đồ thứ tự trong trường hợp này như tổng trở đầu vào của toàn mạch nhìn từ 2 cực của vị trí đứt dây.
3. Dựa vào các điều kiện bờ tại điểm sự cố và sơ đồ các thành phần thứ tự có thể thành lập đủ số phương trình trạng thái mạch để giải bài toán sự cố phức tạp theo phương pháp các thành phần đối xứng. Phương pháp sơ đồ phức hợp cũng được ứng dụng rất hiệu quả để mô phỏng sự cố phức tạp trong hệ thống điện. Tuy nhiên trong các sơ đồ này cần đưa thêm vào các máy biến áp lý tưởng tỉ số 1:1. Giải mạch sẽ phức tạp hơn.

Phụ lục 1
 CÁC ĐƯỜNG CONG TÍNH TOÁN NGẮN MẠCH



Hình PL1.1 Đường cong tính toán của máy phát điện tua-bin hơi tiêu chuẩn, có TĐK

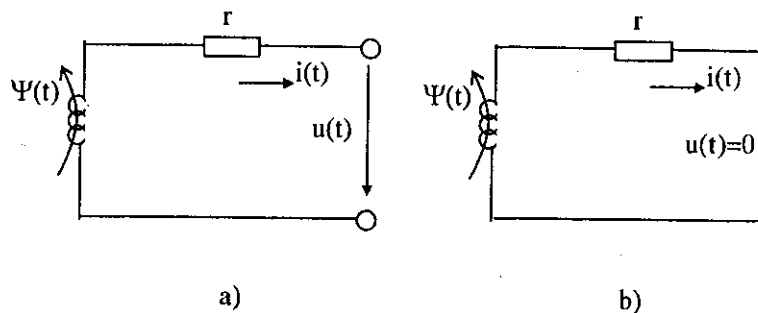


Hình PL1.2 Đường cong tính toán của máy phát điện
tua-bin nước tiêu chuẩn, có TĐK

HỆ PHƯƠNG TRÌNH QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ ĐIỆN TỪ MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ TRONG HỆ TOẠ ĐỘ QUAY VUÔNG GÓC

1. Phương trình vi phân quá trình quá độ điện từ trong các cuộn dây của máy điện đồng bộ

Giả thiết máy phát nối với hệ thống, điện áp đầu cực 3 pha đã biết u_A, u_B, u_C . Xét trường hợp chung, roto chuyển động quay với vận tốc góc $\omega(t)$ thay đổi. Góc lệch giữa trục dọc của roto so với trục pha A trên phần tĩnh là γ .



Hình PL2.1

a) Hệ phương trình trong hệ toạ độ pha

Phương trình vi phân QTQĐ điện từ trong mỗi cuộn dây pha (tương ứng với sơ đồ hình PL3-1,a) có dạng sau:

$$u_A = -d\Psi_A/dt - r i_A$$

$$u_B = -d\Psi_B/dt - r i_B$$

$$u_C = -d\Psi_C/dt - r i_C$$

trong đó Ψ_A, Ψ_B, Ψ_C - từ thông móc vòng toàn phần với các cuộn dây pha của stato;

i_A, i_B, i_C - dòng điện trong các cuộn dây pha của stato;

r - điện trở cuộn dây pha của stato.

Trên roto trong trường hợp chung có thể bao gồm cuộn dây kích từ (nối với nguồn một chiều), cuộn cản dọc trục và cuộn cản ngang trục (khép kín như sơ đồ hình PL2-2,b). Các phương trình QTQĐ tương ứng với mỗi cuộn dây:

$$u_f = d\Psi_f/dt + r_f i_f \quad (\text{cuộn dây roto})$$

$$0 = d\Psi_D/dt + r_D i_D \quad (\text{cuộn cản dọc trục})$$

$$0 = d\Psi_Q/dt + r_Q i_Q \quad (\text{cuộn cản ngang trục})$$

trong đó, u_f - điện áp kích từ;

$\Psi_f, \Psi_D, \Psi_Q, i_f, i_D, i_Q$ - các từ thông móc vòng và dòng điện trong các cuộn dây kích từ, cuộn cảm dọc trục và cuộn cảm ngang trục;

r_f, r_D, r_Q - điện trở các cuộn dây trên roto.

Quan hệ giữa Ψ và i :

$$\Psi_A = L_A i_A + M_{AB} i_B + M_{AC} i_C + M_{Af} i_f + M_{AD} i_D + M_{AQ} i_Q ;$$

$$\Psi_B = M_{BA} i_A + L_B i_B + M_{BC} i_C + M_{Bf} i_f + M_{BD} i_D + M_{BQ} i_Q ;$$

$$\Psi_C = M_{CA} i_A + M_{CB} i_B + L_C i_C + M_{Cf} i_f + M_{CD} i_D + M_{CQ} i_Q ;$$

$$\Psi_f = M_{fA} i_A + M_{fB} i_B + M_{fC} i_C + L_f i_f + M_{fD} i_D ;$$

$$\Psi_D = M_{DA} i_A + M_{DB} i_B + M_{DC} i_C + M_{Df} i_f + L_D i_D ;$$

$$\Psi_Q = M_{QA} i_A + M_{QB} i_B + M_{QC} i_C + L_Q i_Q .$$

Các cuộn dây vuông góc với nhau có hồ cảm bằng 0. Các phương trình trên tạo thành một hệ đủ xác định QTQĐ trong các cuộn dây của máy phát. Tuy nhiên, giải hệ là một việc hết sức phức tạp bởi trong trường hợp chung, các hệ số tự cảm và hồ cảm đều là những hàm phi tuyến (kể đến bão hoà từ) và phụ thuộc góc quay, biến thiên theo thời gian. Ví dụ hồ cảm giữa các cuộn dây pha và cuộn kích từ :

$$M_{Af} = M_f \cos \gamma ;$$

$$M_{Bf} = M_f \cos (\gamma - 120^\circ) ;$$

$$M_{Cf} = M_f \cos (\gamma + 120^\circ) ;$$

Ở đây M_f là trị số hồ cảm cực đại giữa cuộn dây kích từ và cuộn dây pha, tương ứng với lúc chúng cùng trục với nhau. Đối với máy phát điện cực ẩn khe hở không khí giữa roto và stato có thể coi là đều. Khi roto chuyển động, mạch từ không thay đổi nên có thể coi hệ số tự cảm là hằng số. Đối với máy phát điện cực lồi, hệ số tự cảm các cuộn dây cũng thay đổi theo thời gian. Ví dụ đối với cuộn dây pha A :

$$L_A = L + L' \cos 2\gamma .$$

hồ cảm giữa 2 cuộn dây trên cùng phân tính :

$$M_{AB} = M + M' \cos 2(\gamma + 120^\circ) .$$

trong đó, L, M, L', M' là những hằng số nếu bỏ qua bão hoà từ.

Phép biến đổi sang hệ toạ độ quay vuông góc nhằm đưa các phương trình trên về dạng các phương trình vi phân có hệ số hằng. Phép biến đổi được thực hiện lần đầu tiên bởi các nhà bác học Park (Mỹ) và Gorev (Nga), nên hệ phương trình nhận được còn được gọi hệ phương trình Gorev - Park.

b) Hệ phương trình trong hệ toạ độ quay.

Thực chất của việc chuyển hệ phương trình QTQĐ sang hệ toạ độ quay là phép biến đổi toán học chặt chẽ, nhằm đưa hệ phương trình vi phân về dạng tuyến tính hệ số hằng. Để cho gọn, ta viết lại hệ phương trình đã viết trong hệ toạ độ pha về dạng ma trận :

$$[u_s] = -[R_s][i_s] - \frac{d}{dt} [\Psi_s] \quad (A)$$

$$[u_r] = [R_r][i_r] + \frac{d}{dt} [\Psi_r] \quad (B) \quad (PL2-1)$$

$$[\Psi_s] = [M_s][i_s] + [M_{sr}][i_r] \quad (C)$$

$$[\Psi_r] = [M_{rs}][i_s] + [M_r][i_r] \quad (D)$$

Trong cách viết trên, các đại lượng thuộc stato được phân biệt bằng chỉ số s còn các đại lượng thuộc roto bằng r. Cụ thể như sau :

$$u_s = \begin{bmatrix} u_A \\ u_B \\ u_C \end{bmatrix} ; i_s = \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} ; \Psi_s = \begin{bmatrix} \Psi_A \\ \Psi_B \\ \Psi_C \end{bmatrix}$$

$$u_r = \begin{bmatrix} u_f \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} ; i_r = \begin{bmatrix} i_f \\ i_D \\ i_Q \end{bmatrix} ; \Psi_r = \begin{bmatrix} \Psi_f \\ \Psi_D \\ \Psi_Q \end{bmatrix}$$

$$R_s = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} ; M_s = \begin{bmatrix} L_A & M_{AB} & M_{AC} \\ M_{AB} & L_B & M_{BC} \\ M_{AC} & M_{BC} & L_C \end{bmatrix}$$

$$R_r = \begin{bmatrix} R_f & 0 & 0 \\ 0 & R_D & 0 \\ 0 & 0 & R_Q \end{bmatrix} ; M_r = \begin{bmatrix} L_f & M_{fD} & 0 \\ M_{fD} & L_D & 0 \\ 0 & 0 & L_Q \end{bmatrix}$$

$$M_{sr} = \begin{bmatrix} M_{Af} & M_{AD} & M_{AQ} \\ M_{Bf} & M_{BD} & M_{BQ} \\ M_{Cf} & M_{CD} & M_{CQ} \end{bmatrix} = M_{rs}$$

Tùy theo cấu tạo cực từ các ma trận điện cảm có biểu thức cụ thể khác nhau. Với máy phát cực ẩn :

$$M_s = \begin{bmatrix} L & -M & -M \\ -M & L & -M \\ -M & -M & L \end{bmatrix}$$

$$M_{sr} = \begin{bmatrix} M_f \cos \gamma & M_D \cos \gamma & M_Q \sin \gamma \\ M_f \cos(\gamma - 120^\circ) & M_D \cos(\gamma - 120^\circ) & M_Q \sin(\gamma - 120^\circ) \\ M_f \cos(\gamma + 120^\circ) & M_D \cos(\gamma + 120^\circ) & M_Q \sin(\gamma + 120^\circ) \end{bmatrix}$$

Để chuyển hệ phương trình về dạng mới đơn giản hơn Park và Gorev đã sử dụng một ma trận biến đổi. Ma trận như sau :

$$[A] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \gamma & \cos(\gamma - 120^\circ) & \cos(\gamma + 120^\circ) \\ \sin \gamma & \sin(\gamma - 120^\circ) & \sin(\gamma + 120^\circ) \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix}$$

ma trận nghịch đảo của nó :

$$[A]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 1 \\ \cos(\gamma - 120^\circ) & \sin(\gamma - 120^\circ) & 1 \\ \cos(\gamma + 120^\circ) & \sin(\gamma + 120^\circ) & 1 \end{bmatrix}$$

Các biến mới được ký hiệu và định nghĩa như sau :

$$[u'_s] = \begin{bmatrix} u'_d \\ u'_q \\ u'_0 \end{bmatrix} = [A] [u_s]$$

$$[i'_s] = \begin{bmatrix} i'_d \\ i'_q \\ i'_0 \end{bmatrix} = [A] [i_s]$$

$$[\Psi'_s] = \begin{bmatrix} \Psi'_d \\ \Psi'_q \\ \Psi'_0 \end{bmatrix} = [A] [\Psi_s]$$

Ở dạng khai triển, ví dụ đối với dòng stato, có thể viết :

$$\begin{aligned} i'_d &= \frac{2}{3} [i_A \cos \gamma + i_B \cos(\gamma - 120^\circ) + i_C \cos(\gamma + 120^\circ)] \\ i'_q &= \frac{2}{3} [i_A \sin \gamma + i_B \sin(\gamma - 120^\circ) + i_C \sin(\gamma + 120^\circ)] \\ i'_0 &= \frac{1}{3} (i_A + i_B + i_C) \end{aligned} \quad (PL\ 2-2)$$

Để nhận được các biến ban đầu cần thực hiện phép biến đổi ngược, nhờ ma trận $[A]^{-1}$:

$$\begin{aligned} i_A &= i_d \cos \gamma + i_q \sin \gamma + i_0 \\ i_B &= i_d \cos (\gamma - 120^\circ) + i_q \sin (\gamma - 120^\circ) + i_0 \\ i_C &= i_d \cos (\gamma + 120^\circ) + i_q \sin (\gamma + 120^\circ) + i_0 \end{aligned} \quad (\text{PL 2-3})$$

Bây giờ đem nhân trái cả 2 vế các phương trình ma trận (A) và (C) với ma trận $[A]$ rồi thực hiện biến đổi ta có hệ phương trình viết theo các biến mới :

$$[u'_s] = -[R'_s] [i'_s] - d/dt [\Psi'_s] + \begin{bmatrix} -\Psi'_q \\ \Psi'_d \\ 0 \end{bmatrix} dy/dt \quad (\text{A}')$$

$$[u'_r] = [R_r] [i_r] + d/dt [\Psi'_r] \quad (\text{B}')$$

$$[\Psi'_s] = [M'_s] [i'_s] + [M'_{sr}] [i_r] \quad (\text{C}')$$

$$[\Psi'_r] = [M'_{rs}] [i'_s] + [M_r] [i_r] \quad (\text{D}')$$

Trong đó :

$$\begin{aligned} [R'_s] &= [A] [R_s] [A]^{-1} \\ [M'_s] &= [A] [M_s] [A]^{-1} \\ [M'_{sr}] &= [A] [M_{sr}] \\ [M'_{rs}] &= [M_{rs}] [A]^{-1} \end{aligned}$$

Biểu thức cụ thể có dạng sau :

$$[R'_s] = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix}$$

$$[M'_s] = \begin{bmatrix} L+M+3/2L' & 0 & 0 \\ 0 & L+M-3/2L' & 0 \\ 0 & 0 & L-2M \end{bmatrix}$$

$$[M'_{sr}] = \begin{bmatrix} M_f & M_D & 0 \\ 0 & 0 & M_Q \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$[M'_{rs}] = 3/2 \begin{bmatrix} M_f & 0 & 0 \\ M_D & 0 & 0 \\ 0 & M_Q & 0 \end{bmatrix}$$

Như vậy mọi hệ số của ma trận tổng trở sau biến đổi đều là hằng số. Với máy phát điện cực ẩn còn có $L' = 0$. Có thể viết lại dưới dạng khai triển các phương trình từ (A') đến (D') như sau (chú ý rằng $d\gamma/dt = \omega$) :

$$\begin{aligned}
 u_d &= -R_i i_d - d\Psi_d/dt - \omega \Psi_q \\
 u_q &= -R_i i_q - d\Psi_q/dt + \omega \Psi_d \\
 u_0 &= -R_i i_0 - d\Psi_0/dt \\
 u_f &= R_f i_f + d\Psi_f/dt \\
 0 &= R_D i_D + d\Psi_D/dt \\
 0 &= R_Q i_Q + d\Psi_Q/dt \\
 \Psi_d &= (L + M + \frac{3}{2}L') i_d + M_f i_f + M_{Df} i_D \\
 \Psi_q &= (L + M - \frac{3}{2}L') i_q + M_Q i_Q \\
 \Psi_0 &= (L - 2M) i_0 \\
 \Psi_f &= L_f i_f + \frac{3}{2}M_f i_d + M_{fD} i_D \\
 \Psi_D &= L_D i_D + \frac{3}{2}M_D i_d + M_{fD} i_f \\
 \Psi_Q &= L_Q i_Q + \frac{3}{2}M_Q i_q
 \end{aligned}
 \tag{PL2-4}$$

Hệ phương trình trên được gọi là hệ phương trình Gorev - Park .

Có một vài điểm đáng chú ý trong cách biến đổi để nhận được hệ phương trình. Các phương trình (C') và (D') có thể nhận được bằng thực hiện phép tính ma trận:

$$\begin{aligned}
 [A] [\Psi_s] &= [A] [M_s] [A]^{-1} [A] [i_s] + [A] [M_{sr}] [i_r] ; \\
 [\Psi'_r] &= [M_{rs}] [A]^{-1} [A] [i_s] + [M_r] [i_r] .
 \end{aligned}$$

Phương trình (B) tuy không nhân với ma trận (A) nhưng để nhận được (B') cần sử dụng biểu thức $[\Psi'_s]$ tính theo các biến mới. Phương trình (A') nhận được bằng các phép biến đổi sau :

$$[A] [u_s] = - [A] [R_s] [A]^{-1} [A] [i_s] - [A] d/dt[\Psi_s] ; \quad (*)$$

Số hạng cuối cùng biến đổi được dựa trên biểu thức đạo hàm tích (đúng với cả ma trận):

$$d/dt ([A] [\Psi_s]) = d/dt[A] . [\Psi_s] + [A].d/dt[\Psi_s] .$$

$$\begin{aligned}
 \text{suy ra} \quad - [A].d/dt[\Psi_s] &= - d/dt ([A] [\Psi_s]) + d/dt[A] . [\Psi_s] \\
 &= - d/dt[\Psi'_s] + d/dt[A] . [\Psi_s] .
 \end{aligned}$$

Mặt khác từ biểu thức của ma trận [A] ta tính được:

$$d/dt[A] = \frac{2}{3} . \frac{d\gamma}{dt} \begin{bmatrix} -\sin\gamma & -\sin(\gamma-120^\circ) & -\sin(\gamma+120^\circ) \\ \cos\gamma & \cos(\gamma-120^\circ) & \cos(\gamma+120^\circ) \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

nhân với ma trận $[\Psi_s]$ và thay $d\gamma/dt = \omega$ ta nhận được :

$$d/dt[A] \cdot [\Psi_s] = \omega \begin{bmatrix} -\Psi_q \\ \Psi_d \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (\text{PL 2-5})$$

thay vào phương trình (*) và viết theo biến mới sẽ nhận được (A').

Có thể thấy rằng, nhờ biểu diễn qua các biến mới có thể mô tả đầy đủ QTQĐ trong máy phát đồng bộ bằng hệ phương trình vi phân tuyến tính hệ số hằng. Các hệ số xuất hiện trong phương trình đều hoàn toàn xác định theo kết cấu của máy điện. Để thuận tiện sử dụng, đồng thời để xác định bằng đo đạc thực nghiệm người ta đưa vào các khái niệm điện cảm và điện kháng theo trục dọc và trục ngang của máy phát. Ví dụ, từ các phương trình trên ta có :

$$L_d = L + M + \frac{3}{2}L'; \quad L_q = L + M - \frac{3}{2}L'; \quad L_f; \quad L_D; \quad L_Q;$$

$$M_{df} = \frac{3}{2}M_f; \quad M_{dD} = \frac{3}{2}M_D; \quad M_{qQ} = \frac{3}{2}M_Q; \quad M_{fD}.$$

Tương ứng là các điện kháng $X_d, X_q, X_f, X_D, X_Q, X_{df}, X_{dD}, X_{qQ}, X_{fD}$. Trong hệ đơn vị tương đối có thể viết $X=L$ vì $\omega = 1$.

Hệ phương trình vi phân PL2-2 là cơ sở để phân tích QTQĐ điện từ trong các máy điện quay. Ở giai đoạn đầu của QTQĐ sau ngắn mạch, tần số góc $\omega \approx \omega_0$, các điện kháng có trị số hằng. Với hệ thống điện đơn giản thường có thể dựa vào phương pháp biến đổi toán tử để tìm lời giải giải tích. Đối với hệ thống điện phức tạp có thể giải hệ bằng các phương pháp tích phân số (EMTP).

2. Phương trình chuyển động quay roto của các máy phát

Để xét đến sự biến thiên tốc độ quay $\omega(t) = d\gamma(t)/dt$ (khi QTQĐ kéo dài) cần phải mô tả chuyển động cơ học của roto máy phát. Quy luật chuyển động (sự thay đổi góc $\gamma(t)$ theo thời gian) phụ thuộc vào tương quan các mô-men chuyển động.

Trong trường hợp chung chuyển động quay roto của mỗi máy phát điện đồng bộ có thể viết như sau :

$$J d^2\gamma/dt^2 = M_T - M_E.$$

Trong đó

M_T, M_E - các mômen quay của tua bin và máy phát ;

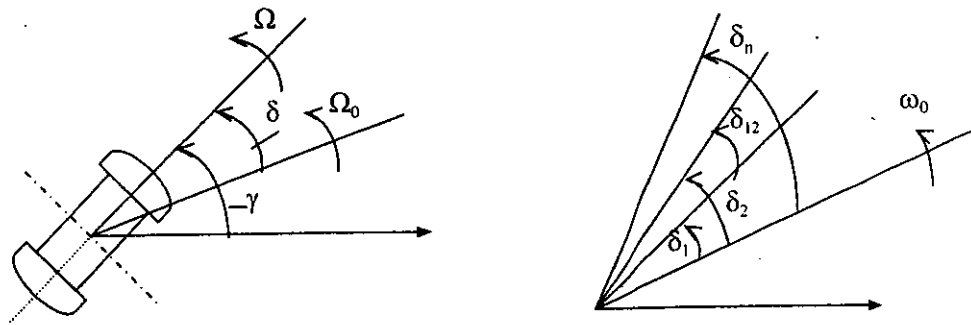
J - mômen quán tính của tổ máy (tua bin và máy phát) ;

γ - góc quay của roto máy phát .

Mô men quán tính J phụ thuộc cấu tạo và khối lượng phần quay. Khi roto là một hình trụ tròn đồng nhất, đường kính D (bán kính R), trọng lượng tổng là G , có thể tính được :

$$J = GD^2/4 \text{ hay } GR^2 \quad \text{kg. m}^2,$$

Với vật thể phức tạp cần xác định J bằng thực nghiệm và cho bởi nhà chế tạo. Nhiều số tay kỹ thuật ghi trị số GD^2 , khi đó cần phải hiểu là 4 lần trị số J .



Hình PL2.2

Góc quay γ là góc giữa trục gắn liền với roto và một trục đứng yên (gắn với stato). Trong QTQĐ tính từ một thời điểm $t = 0$, $\gamma(t)$ là một hàm của thời gian và tăng dần vì roto quay theo 1 chiều. Thông thường người ta quan tâm đến chuyển động tương đối của roto, so với một trục quay đồng bộ. Trục đồng bộ là trục quay với tốc độ không đổi Ω_0 bằng tốc độ quay roto ở chế độ định mức (cũng là tốc độ của từ trường quay stato ở CĐXL). Nếu coi ở $t = 0$ trục tính toán trên roto và trục đồng bộ trùng nhau thì góc lệch tương đối được tính là:

$$\delta = \gamma(t) - \Omega_0 t$$

Khi đó $\gamma = \delta + \Omega_0 t$, thay vào phương trình chuyển động, ta có thể viết:

$$J \frac{d^2\delta}{dt^2} = M_T - M_E \quad (\text{PL 2-6})$$

Phương trình dạng (PL 2-6) được gọi là phương trình chuyển động tương đối roto của máy phát. Góc δ cũng là hàm của thời gian, thay đổi theo tốc độ quay. Gọi tốc độ quay của máy phát trong QTQĐ là $\Omega(t) = d\gamma(t)/dt$, ta có tốc độ thay đổi góc lệch tương đối $d\delta/dt = \Omega - \Omega_0$. Như vậy khi máy phát quay bằng tốc độ đồng bộ góc lệch δ không thay đổi.

Khi ứng dụng vào tính toán thực tế phương trình (PL 2-6) còn được biến đổi về nhiều dạng khác nhau tùy theo sự tiện lợi sử dụng. Trước hết là cách biểu diễn sử dụng hằng số thời gian quán tính (inertia constant) T_J hoặc H thay cho momen quán tính J . Hãy biến đổi (PL2-3) bằng cách nhân và chia vế trái với $2S_{CB}\Omega_0^2$:

$$\frac{J\Omega_0^2}{2S_{CB}} \frac{2S_{CB}}{\Omega_0^2} \frac{d^2\delta}{dt^2} = M_T - M_E ;$$

Với ký hiệu hằng số quán tính $H = J\Omega_0^2 / 2S_{CB}$ ta có phương trình dạng :

$$\frac{2H}{\Omega_0^2} S_{CB} \frac{d^2\delta}{dt^2} = M_T - M_E ;$$

Về ý nghĩa, trị số H chính là động năng tích lũy trong phần quay roto (tuabin và máy phát) khi tốc độ quay đạt trị số định mức, tính trong lượng công suất cơ bản S_{CB} . Đơn vị tính của H là sec nhưng thường được viết rõ là MWs / MVA. Trong lý lịch máy nếu H được cho thì nó được tính với công suất cơ bản được tính bằng P_{dm} của tổ máy.

Hằng số quán tính T_J là $J\Omega_0^2 / S_{CB}$, do đó $T_J = 2H$ và phương trình :

$$\frac{T_J}{\Omega_0^2} S_{CB} \frac{d^2\delta}{dt^2} = M_T - M_E ;$$

T_J , GD^2 được dùng trong các tài liệu của các nước thuộc Liên xô cũ và một số nước châu Âu. Các nước Tây Âu thường dùng H. Úc, Nhật Bản hay sử dụng trực tiếp J hoặc GR^2 . Để dàng có thể chuyển đổi qua lại giữa các đại lượng, chú ý rằng tốc độ góc có thể tính từ số vòng quay trong 1 phút : $\Omega_0 = 2\pi n / 60$ 1/sec ;

n - tốc độ quay định mức (vòng/phút).

Chẳng hạn, có thể tính T_J theo trị số GD^2 :

$$T_J = \frac{2,74(GD^2)n^2}{10^6 S_{CB}} \text{ sec ;}$$

Trong công thức : S_{CB} tính bằng MVA, GD^2 tính bằng tấn. m², n - bằng vòng/phút. Tốc độ biến thiên của góc lệch tương đối $d\delta/dt$ trong QTQĐ có trị số nhỏ hơn rất nhiều so với tốc độ Ω_0 , do đó có thể coi xấp xỉ :

$$\Omega = \Omega_0 + d\delta/dt \approx \Omega_0 .$$

công suất

$$P = \Omega M \approx \Omega_0 M .$$

Kết quả có thể áp dụng cách tính gần đúng theo công suất :

$$\frac{T_J}{\Omega_0} S_{CB} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_T - P_E ; \quad (PL2-7)$$

Người ta còn dựa vào khái niệm *góc độ hình học* và *góc độ điện*. Góc tính như phân trên đều là các góc độ hình học. Sự phân biệt ra góc độ điện xuất phát từ cấu tạo nhiều đôi cực của máy phát đồng bộ (máy phát thủy điện). Khi số đôi cực nhiều hơn 1 ($m_p > 1$) thì roto quay 1 vòng, ứng với $360^\circ h$ (độ hình học) thì các đại lượng điện đã biến thiên $m_p 360^\circ$ đ (độ điện). Góc độ điện là chung cho toàn hệ thống nên được lấy làm chuẩn, các máy phát có số đôi cực khác nhau được quy về cùng tính theo góc độ điện. Khi đó để viết phương trình chuyển động cơ học theo góc độ điện lại cần phải chuyển đổi. Để ý rằng tốc độ quay tính theo góc độ điện lớn hơn tính theo góc độ hình học m_p lần. Nếu ký hiệu tốc độ góc quay của máy phát, tính theo góc độ điện là ω , còn tính theo

độ hình học là Ω thì $\Omega = \omega/m_p$. Ở tốc độ quay đồng bộ $\Omega_0 = \omega_0/m_p$. Khi đó phương trình chuyển động (4.2) cần phải viết là (với δ tính theo góc độ điện):

$$\frac{T_J}{\omega_0} S_{CB} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_T - P_E ;$$

Trong các phương trình trên, các công suất P vẫn được tính trong hệ đơn vị có tên. Nếu tính công suất trong hệ đơn vị tương đối, phương trình có dạng đơn giản hơn :

$$\frac{T_J}{\omega_0} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_T - P_E ;$$

Đôi khi để tiện lợi trong cách viết người ta còn tính T_J bằng đơn vị radian, nghĩa là : $T_J (\text{rad}) = \omega_0 T_J (\text{s})$. Khi đó phương trình chuyển động có dạng gọn nhất :

$$T_J d^2 \delta / dt^2 = P_T - P_E .$$

Kể đến lực cản masát hoặc mô men cản điện từ tỉ lệ với tốc độ quay, cần phải thêm vào phương trình thành phần tỉ lệ với tốc độ chuyển động $d\delta/dt$:

$$T_J d^2 \delta / dt^2 + k_D d\delta / dt = P_T - P_E . \quad (\text{PL2-8})$$

Hệ số cản k_D có dấu dương, tương đương với thêm mômen âm (cản) nằm bên vế phải. Khi trong hệ thống điện có nhiều máy phát điện, ở chế độ quá độ các roto chuyển động theo những tốc độ khác nhau. Dạng chung của phương trình chuyển động tương đối (so với trục quay đồng bộ) không có gì thay đổi. Trên hình PL2-2,b thể hiện cách biểu diễn mỗi góc lệch tương đối δ_i so với trục đồng bộ. Người ta còn ký hiệu góc lệch tương đối giữa máy phát i và máy phát j là $\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j$. Khi đó mỗi góc lệch δ_i , theo nghĩa nào đó lại được gọi là góc lệch tuyệt đối. Ngoài ra, để phương trình có dạng chuẩn Cô-si (bậc nhất với các đạo hàm nằm bên trái) người ta sử dụng tốc độ chuyển động tương đối $s = d\delta/dt = \omega - \omega_0$. Khi đó hệ phương trình chuyển động tương đối roto các máy phát trong hệ thống phức tạp có dạng:

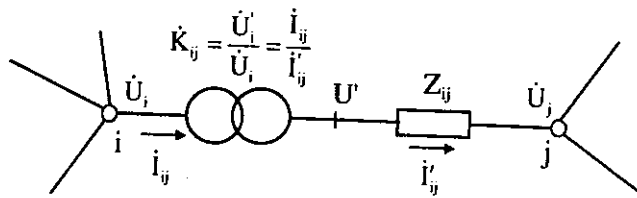
$$\begin{aligned} \frac{d\delta_i}{dt} &= s_i ; \\ \frac{ds_i}{dt} &= \frac{T_{Ji}}{\omega_0} (P_{Ti} - P_{Ei}) ; \\ i &= 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (\text{PL2-9})$$

Công suất P_{Ei} của các máy phát xác định bởi QTQĐ điện từ bên trong máy phát và hệ phương trình trạng thái của mạng điện. Như vậy khi nghiên cứu QTQĐ kéo dài (phân tích ổn định hệ thống) cần phân tích kết hợp các phương trình QTQĐ điện từ (PL2-2) với (PL2-4) hoặc (PL2-5).

HỆ PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI CỦA MẠNG ĐIỆN CÓ NHIỀU CẤP ĐIỆN ÁP

1. Nhánh tổng quát và sơ đồ tính toán lưới điện

Lưới điện hiện đại thường bao gồm nhiều cấp điện áp, cấu trúc phức tạp (hình tia, mạch vòng) được cung cấp từ nhiều nguồn. Tỉ số biến áp của các máy biến áp có thể nhận các giá trị tùy ý (theo đầu phân áp vận hành). Khi đó, về nguyên tắc không thể quy đổi mạch điện về một cấp điện áp, bởi giữa hai phần mạng điện cấp điện áp khác nhau không tồn tại một hệ số biến áp duy nhất. Để thiết lập hệ phương trình trạng thái của lưới điện xét đến từng hệ số biến áp người ta áp dụng khái niệm nhánh tổng quát (hình PL3-1).



Hình PL3.1

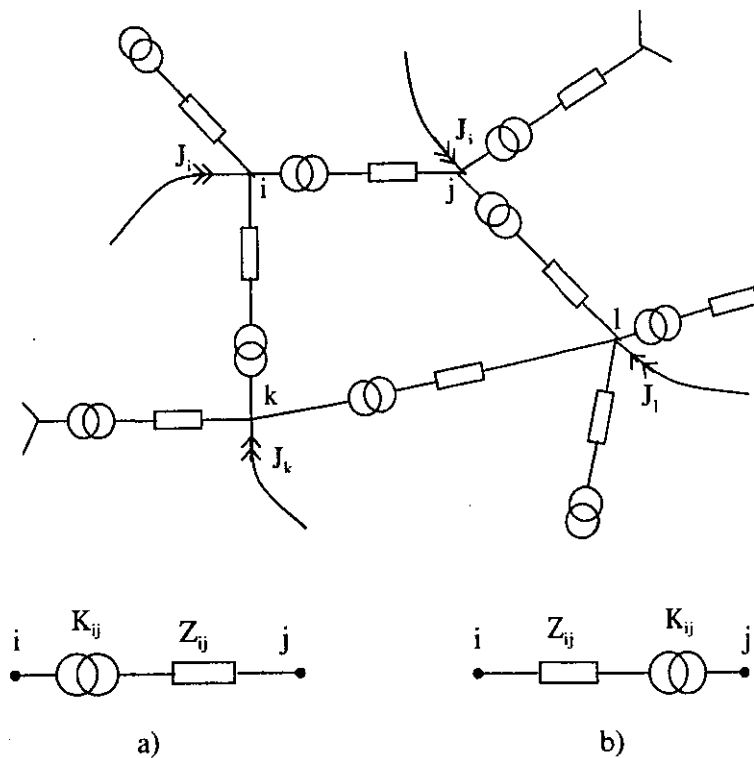
Mỗi nhánh bao gồm một tổng trở Z_{ij} nối nối tiếp với một máy biến áp lý tưởng (không tổn hao) có hệ số biến áp phức K_{ij} . Về mô đun (trị số K), hệ số biến áp bằng tỉ số giữa các vòng dây của máy biến áp thực (phụ thuộc đầu phân áp lựa chọn lúc vận hành), khi nối trong mạch sẽ bằng tỉ số mô đun điện áp 2 phía (vì máy biến áp lý tưởng):

$$K_{ij} = U'_i / U_i,$$

còn góc pha phụ thuộc vào tổ đấu dây của máy biến áp. Khi đó mọi sơ đồ tính toán đều có thể coi như bao gồm toàn các nhánh tổng quát. Nhánh bình thường sẽ tương ứng với nhánh có tỉ số biến áp bằng 1. Ngoài ra, tại các nút của sơ đồ còn có các nguồn (biểu diễn bằng dòng điện bên trong J hoặc điện áp đầu cực U). Trên hình PL3-2 thể hiện một phần mạng điện của sơ đồ tính toán tổng quát. Để nhận thấy rằng, trong trường hợp chung sơ đồ mang tính chất của graph có hướng. Vị trí tương đối của máy biến áp lý tưởng và tổng trở Z phân biệt ra hai hướng khác nhau của mỗi nhánh. Gọi nút đầu của nhánh là i nút cuối là j thì sơ đồ a) có máy biến

áp lý tưởng nối trực tiếp với nút đầu i , còn sơ đồ b) máy biến áp lý tưởng nối với i thông qua tổng trở Z .

Sự khác biệt chủ yếu của sơ đồ trên so với sơ đồ mạch thông thường là sự có mặt các máy biến áp lý tưởng trong mọi nhánh. Hệ số biến áp là một thông số của nhánh nên có thể nhận giá trị bất kỳ. Như vậy số cấp điện áp của sơ đồ là không hạn chế, trong khi đối với mỗi máy biến áp có thể xét chính xác hệ số biến áp cả về mô đun và góc lệch pha.



Hình PL3.2

2. Hệ phương trình cân bằng dòng nút

Giả thiết sơ đồ gồm toàn các nhánh tổng quát với $N+1$ nút (kể cả nút đất). Nút đất có số thứ tự là 0. Xét nút i gồm các nhánh nối với i qua máy biến áp lý tưởng. Nguồn dòng (từ máy phát) bơm vào nút, ký hiệu là J_i (hình PL3-2).

Cần chú ý rằng cách giả thiết như trên là tổng quát cho các sơ đồ mạng điện. Với nút nguồn, J_i có thể tính qua công suất và điện áp nút:

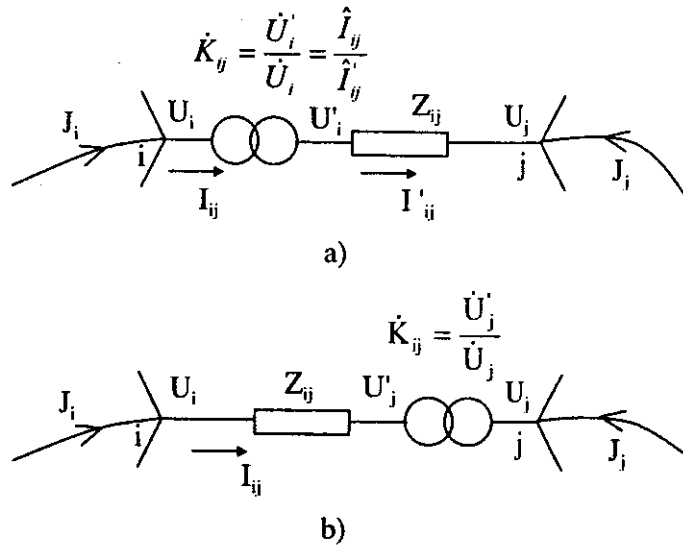
$$J_i = \frac{\hat{S}_i}{\hat{U}_i} ;$$

trong đó \hat{S} , \hat{U} là trị số liên hợp của công suất và điện áp nút.

Với nút tải:

$$J_i = -\frac{\hat{S}_i}{\hat{U}_i} ;$$

Với nút trung gian $J_i = 0$ (nút không nguồn và tải).



Hình PL3.3

Phương trình cân bằng dòng đối với nút i theo định luật Kiéc-khốp I có thể viết:

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N \dot{I}_{ij} = J_i ;$$

chuyển sang tính với dòng I_{ij} qua hệ số biến áp K_{ij}

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N \hat{K}_{ij} \dot{I}_{ij} = J_i ;$$

áp dụng định luật Ôm cho các nhánh:

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N \hat{K}_{ij} \frac{\dot{U}_i - \dot{U}_j}{Z_{ij}} = j_i$$

hay

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N \hat{K}_{ij} \frac{\dot{K}_{ij} \dot{U}_i - \dot{U}_j}{Z_{ij}} = j_i$$

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N \frac{K_{ij}^2}{Z_{ij}} \dot{U}_i - \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N \frac{\hat{K}_{ij}}{Z_{ij}} \dot{U}_j = j_i$$

Đặt: $Y_{ii} = \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N \frac{K_{ij}^2}{Z_{ij}}$ - tổng dẫn riêng nút i .

$$Y_{ij} = -\frac{\hat{K}_{ij}}{Z_{ij}} \quad \text{- tổng dẫn tương hỗ nhánh } ij .$$

Ta có :

$$Y_{ii} \dot{U}_i + \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N Y_{ij} \dot{U}_j = j_i .$$

Nếu xét nút i nối với các nhánh nối gián tiếp với máy biến áp lý tưởng như trên hình PL3-3,b ta có:

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N i_{ij} = j_i$$

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N \frac{\dot{U}_i - \dot{U}_j}{Z_{ij}} = j_i$$

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N \frac{\dot{U}_i - \hat{K}_{ij} \dot{U}_j}{Z_{ij}} = j_i$$

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N \frac{1}{Z_{ij}} \dot{U}_i - \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N \frac{\hat{K}_{ij}}{Z_{ij}} \dot{U}_j = j_i$$

Nếu đặt :

$$Y_{ii} = \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N \frac{1}{Z_{ij}} ; Y_{ij} = -\frac{K_{ij}}{Z_{ij}}$$

ta cũng nhận được phương trình cân bằng dòng dạng tương tự trường hợp trên:

$$Y_{ii} \dot{U}_i + \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N Y_{ij} \dot{U}_j = \dot{J}_i ;$$

Có sự khác nhau ở biểu thức tính tổng dẫn riêng Y_{ii} và dấu của tổng dẫn tương hỗ Y_{ij} . Dễ nhận thấy rằng khi nút có số nhánh nối là bất kỳ, phương trình cân bằng dòng vẫn không có gì thay đổi. Chỉ chú ý rằng biểu thức tính tổng dẫn riêng có dạng:

$$Y_{ii} = \sum_k \frac{K_{ij}^2}{Z_{ij}} + \sum_l \frac{1}{Z_{ij}} ;$$

Trong biểu thức này, tổng đầu tính cho k nhánh có máy biến áp lý tưởng nối trực tiếp với i, còn tổng thứ 2 tương ứng với l nhánh có máy biến áp lý tưởng nối gián tiếp với i.

Ở dạng khai triển hệ phương trình có dạng:

$$\left. \begin{aligned} Y_{11} \dot{U}_1 + Y_{12} \dot{U}_2 + \dots + Y_{1N} \dot{U}_N &= \dot{J}_1 \\ Y_{21} \dot{U}_1 + Y_{22} \dot{U}_2 + \dots + Y_{2N} \dot{U}_N &= \dot{J}_2 \\ \dots & \\ Y_{N1} \dot{U}_1 + Y_{N2} \dot{U}_2 + \dots + Y_{NN} \dot{U}_N &= \dot{J}_N \end{aligned} \right\} \quad (\text{PL3-1})$$

Phương trình của nút đất ($i=0$) được bỏ qua với giả thiết $U_0 = 0$. Đó là phương trình hệ quả của các phương trình còn lại.

3. Hệ phương trình cân bằng công suất nút

Nhân hai vế của (PL3-1) với trị số liên hợp của điện áp nút tương ứng sẽ nhận được hệ phương trình sau:

$$\left. \begin{aligned} Y_{11} U_1^2 + Y_{12} \dot{U}_2 \hat{U}_1 + \dots + Y_{1N} \dot{U}_N \hat{U}_1 &= P_1 - jQ_1 ; \\ Y_{21} \dot{U}_1^2 + Y_{22} U_2^2 + \dots + Y_{2N} \dot{U}_N \hat{U}_2 &= P_2 - jQ_2 ; \\ \dots & \\ Y_{N1} \dot{U}_1^2 + Y_{N2} \dot{U}_2 \hat{U}_N + \dots + Y_{NN} U_N^2 &= P_N - jQ_N ; \end{aligned} \right\} \quad (\text{PL3-2})$$

Hay viết gọn:

$$Y_{ii} \dot{U}_i^2 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N Y_{ij} \dot{U}_i \hat{U}_j = P_i - jQ_i \quad ; \quad i=1,2,\dots,N$$

Vẽ phải phương trình được viết theo nút nguồn, nếu là nút tải cần đổi dấu lại thành $(-P_i + jQ_i)$, nút trung gian có vẽ phải triệt tiêu.

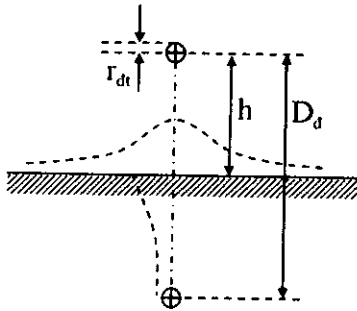
Khi phân tích CĐXL có thể sử dụng PL3-2 hoặc PL3-3. Khi phân tích ngắn mạch cần dùng hệ phương trình cân bằng dòng nút PL3-2 vì trong chế độ sự cố công suất nút không còn giữ được cân bằng.

TỔNG TRỞ THỨ TỰ KHÔNG CỦA ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN

1. Đường dây tải điện trên không

a) Mạch dây dẫn-đất

Tính toán điện kháng thứ tự không của đường dây là một nội dung tương đối phức tạp. Đó là vì điện kháng của chúng liên quan đến sự phân bố của dòng điện trong đất, các kết cấu hình học của cột và dây dẫn. Thường chỉ có thể tính gần đúng và kiểm tra lại (sau khi xây dựng) bằng đo đạc, thực nghiệm.



Hình PL4.1 Vị trí ảnh của mạch dây dẫn-đất, phân bố dòng điện trong đất.

Trước hết xét trường hợp đơn giản nhất: đường dây tải điện xoay chiều một dây, mạch điện trở về qua đất (còn gọi tắt là mạch "dây dẫn-đất"). Dòng điện đi trong đất có mật độ phân bố không đều, tập trung phía dưới đường dây. Theo lý thuyết trường điện từ, một mạch dây dẫn-đất có thể thay thế tương đương bằng hai dây dẫn song song (một dây dẫn giả, còn gọi là ảnh của dây dẫn thật). Khi điện dẫn đất bằng vô cùng thì khoảng cách giữa 2 dây dẫn là $D_d = 2h$ (2 lần chiều cao cột). Khi điện dẫn hữu hạn khoảng cách này xa hơn. Có thể tính gần đúng D_d , phụ thuộc điện dẫn λ của đất theo công thức:

$$D_d = \frac{2,085}{\sqrt{f \cdot \lambda \cdot 10^{-9}}} \cdot 10^{-3}, \text{ m} \quad (\text{PL4-1})$$

Tính sẵn trị số D_d theo một số giá trị λ ta có bảng sau:

Môi trường	λ (1/ôm.cm)	D_d , m
Đất khô	10^{-5}	3000
Đất ướt	10^{-4}	935
Nước biển	10^{-2}	94

Khi không có số liệu, thường lấy trung bình $D_d = 1000$ m.

Theo công thức tính điện kháng của 2 dây dẫn song song, ở tần số $f = 50$ hez ta có:

$$X_L = 0,145 \lg \frac{D_d}{r_{dt}}, \text{ } \Omega\text{m/km} \quad (\text{PL4-2})$$

trong đó, r_{dt} là bán kính đẳng trị của dây dẫn, tính theo bán kính thực r của nó, có hiệu chỉnh theo cấu trúc dây và ảnh hưởng từ của vật liệu. Cụ thể:

- dây dẫn tròn, vật liệu đồng nhất không sắt từ $r_{dt} = 0,779 r$;
- dây dẫn đồng vặn xoắn: $r_{dt} = (0,724 - 0,771) r$;
- dây nhôm và nhôm lõi thép: $r_{dt} = 0,95r$;

Việc hiệu chỉnh bán kính dây dẫn thực chất là chỉ xét đến phần dây dẫn bên trong (trừ hiệu ứng mặt ngoài). Khi dây dẫn mỗi pha được phân nhỏ thành các sợi dẹt song song (gọi là dây dẫn có phân pha) thì r_{dt} được tính theo kích thước hình học giữa các dây dẫn phân nhỏ. Chẳng hạn, khi một pha được phân thành n dây dẫn nhỏ, bố trí đối xứng xung quanh vòng tròn thì r_{dt} tỉ lệ với trung bình nhân của các khoảng cách :

$$r_{dt} = \sqrt[n]{r_{dt0} \cdot d_1 d_2 \dots d_{n-1}} .$$

trong đó: r_{dt0} - bán kính đẳng trị của một sợi;
 d_1, d_2, \dots, d_{n-1} - các khoảng cách giữa một sợi dây dẫn đến $n-1$ dây dẫn còn lại (khi bố trí đối xứng).

Điện trở của mạch dây dẫn đất tính được theo công thức: $r_L = r_D + r_d$. Trong đó, r_D - điện trở của dây dẫn; r_d - điện trở đất (ảnh hưởng đến dòng điện trở về). Có thể tính gần đúng :

$$r_d = \pi^2 f \cdot 10^{-4}, \text{ } \Omega\text{m/km} .$$

b) Đường dây 3 pha một lộ

Ta có thể suy ra điện kháng tự không từ cách tính điện kháng tự thuận (nghịch). Chẳng hạn, khi cho ba dòng điện thứ tự thuận trị số 1A chạy vào ba pha, với :

$$\dot{I}_A = 1; \dot{I}_B = a^2; \dot{I}_C = a .$$

điện áp rơi trên dây dẫn pha A cũng chính bằng trị số điện kháng tự thuận. Như vậy, dựa vào góc pha dòng điện và các hồ cảm ta có:

$$X_1 = X_L + a^2 X_\mu + a X_\mu = X_L + (a^2 + a) X_\mu = X_L - X_\mu ;$$

X_L - điện kháng ứng với tự cảm pha A (tính theo PL4-2);

X_μ - điện kháng hồ cảm pha B, pha C với pha A.

Bằng cách phân tích từ trường các pha có thể tính được (theo giáo trình KTĐ):

$$X_1 = 0,145 \lg \frac{D_{tb}}{r_{dt}}, \text{ } \Omega\text{m/km} .$$

Trong đó D_{tb} là trung bình nhân 3 khoảng cách giữa các dây dẫn pha.
 Từ đó tính được điện kháng hồ cảm:

$$X_{\mu} = X_L - X_1 = 0,145 \lg \frac{D_d}{r_{dt}} - 0,145 \lg \frac{D_{tb}}{r_{dt}}$$

$$= 0,145 \lg \frac{D_d}{D_{tb}}, \Omega/\text{km}.$$

Trong đó $D_{tb} = \sqrt[3]{d_{ab} d_{ac} d_{ca}}$;

Bây giờ giả thiết cho vào 3 pha đường dây hệ thống dòng điện thứ tự không, các pha dòng điện như nhau nên ta có:

$$X_0 = X_L + X_{\mu} + X_{\mu} = X_L + 2X_{\mu}.$$

Do đó tính được:

$$X_0 = 0,145 \lg \frac{D_d}{r_{dt}} + 2 \times 0,145 \lg \frac{D_d}{D_{tb}}$$

$$= 0,435 \lg \frac{D_d}{R_{tb}}; \quad (\text{PL4-3,a})$$

Trong đó, $R_{tb} = \sqrt{r_{dt} D_{tb}^2}$ - là bán kính trung bình nhân của 3 dây dẫn pha.

Tương tự, ta tính điện trở thứ tự không:

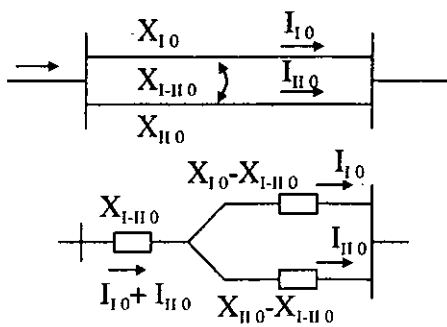
$$r_0 = r_L + 2 r_{\mu} = r_D + 3 r_d \approx r_D + 0,15 \text{ } \Omega/\text{km}. \quad (\text{PL4-3,b})$$

c) Đường dây ba pha kép (hai lộ)

Điện kháng thứ tự không của đường dây 3 pha kép lớn hơn đường dây đơn. Đó là do có thêm hồ cảm của các dây dẫn pha thuộc lộ thứ hai. Gọi X_{I-II0} là điện kháng hồ cảm của cả lộ II đến dây dẫn bất kỳ của lộ I. Có thể tính được:

$$X_{I-II0} = 0,435 \lg \frac{D_d}{D_{I-II}}, \text{ } \Omega/\text{km}; \quad (\text{PL4-4})$$

trong đó : $D_{I-II} = \sqrt[2]{d_{aa'} d_{ab'} d_{ac'} d_{ba'} d_{bb'} d_{bc'} d_{ca'} d_{cb'} d_{cc'}}$ - là khoảng cách trung bình nhân giữa các dây dẫn lộ I và các dây dẫn lộ II.



Hình PL4.2 Sơ đồ đẳng trị đường dây lộ kép

Điện trở hồ cảm giữa 2 lộ: $r_{I-II0} = 3 r_d \approx 0,15 \text{ } \Omega/\text{km}$;
(điện trở dây dẫn không tham gia vào mạch hồ cảm).

Để đưa sơ đồ mạch song song có hồ cảm về dạng không hồ cảm tương đương (xem lý thuyết mạch) người ta biến đổi như sau.

Biến đổi biểu thức điện áp rơi trên lộ I:

$$\Delta \dot{U}_0^I = \dot{I}_{10} j X_{10} + \dot{I}_{II0} j X_{I-II0} = \dot{I}_{10} j (X_{10} - X_{I-II0}) + (\dot{I}_{10} + \dot{I}_{II0}) j X_{I-II0} ;$$

và trên lộ II :

$$\Delta \dot{U}_0^{II} = \dot{I}_{II0} j X_{II0} + \dot{I}_{10} j X_{I-II0} = \dot{I}_{II0} j (X_{II0} - X_{I-II0}) + (\dot{I}_{10} + \dot{I}_{II0}) j X_{I-II0} .$$

Các biểu thức tương ứng với sơ đồ điện kháng X_{I-II0} nối tiếp với mạch song song hai điện kháng: $(X_{10} + X_{I-II0})$ và $(X_{II0} - X_{I-II0})$ như trên hình PL4-2.

Điện kháng thứ tự không của cả hai lộ tính được theo sơ đồ:

$$X_0^{dt} = X_{I-II0} + \frac{(X_{10} - X_{I-II0})(X_{II0} - X_{I-II0})}{(X_{10} - X_{I-II0}) + (X_{II0} - X_{I-II0})} ; \quad (PL4-5)$$

Khi hai lộ hoàn toàn giống nhau ta có:

$$X_0^{dt} = X_{I-II0} + 0,5(X_{10} - X_{I-II0}) = 0,5(X_{10} + X_{I-II0}) .$$

d) Đường dây ba pha đơn (một lộ) có dây chống sét

Dây chống sét thường được đặt trên đỉnh cột, nối đất tại nhiều điểm tạo thành những mạch vòng kín nên có ảnh hưởng hồ cảm đến các dòng điện ở gần. Khi các dây dẫn pha của đường dây có dòng điện thứ tự thuận (nghịch) từ trường tổng 3 dây xấp xỉ không, nên hầu như không có hồ cảm với dây chống sét. Với hệ thống dòng điện thứ tự không, ngược lại từ trường tổng cộng rất lớn có thể móc vòng qua dây chống sét. Ảnh hưởng hồ cảm này sẽ làm giảm điện kháng thứ tự không. Mức độ ảnh hưởng phụ thuộc vào điện trở đất và điện trở bản thân dây dẫn chống sét. Giả thiết dây chống sét tạo thành những mạch vòng kín với đất như hình PL4-3. Ngoài ra, ảnh hưởng hồ cảm của từng dây dẫn đến dây chống sét độc lập nhau, xếp chồng tạo thành dòng điện I_s trên dây chống sét. Mỗi dây dẫn tạo nên một phần dòng điện trên dây chống sét như nhau: $I_{s0} = I_s / 3$.

Với giả thiết này, ta có thể coi mạch vòng dây chống sét như gồm 3 mạch song song (tổng trở lớn gấp 3 lần), mỗi mạch đều có hồ cảm với mạch vòng dây dẫn-đất các pha của đường dây. Khi đó các công thức tính tổng trở thứ tự không có thể suy ra được như trường hợp 2 mạch 3 pha song song (của đường dây lộ kép). Ta ký hiệu r_0 , X_0 là điện trở và điện kháng của đường dây 3 pha trên nhưng chưa có dây chống sét. Trị số của chúng sẽ tính được theo công thức (PL4-2). Tương tự điện trở và điện kháng thứ tự không của một mạch dây chống sét (tách riêng) tính được (theo PL4-3):

$$X_{s0} = 3X_s = 0,435 \lg \frac{D_d}{r_{ds}} ;$$

trong đó, r_{ds} - bán kính đẳng trị của dây chống sét.

$$r_{os} = 3(r_0 + r_d) \approx 3 r_s + 0,15 \quad (\text{ohm/km}).$$

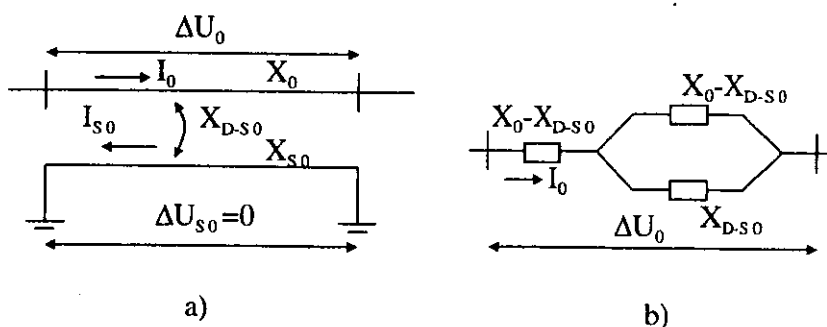
Tương tự 2 lộ đường dây mạch kép ta tính được điện trở và điện kháng hồ cảm giữa dây chống sét (tách thành 3 dây):

$$X_{D-S0} = 0,435 \lg \frac{D_d}{D_{D-S}}, \quad \text{ohm/km};$$

trong đó, $D_{D-S} = \sqrt[3]{d_{as} d_{bs} d_{cs}}$ - khoảng cách trung bình nhân giữa các dây dẫn và dây chống sét.

Điện trở hồ cảm: $r_{D-S0} = 3 r_d = 0,15 \text{ ohm/km}$;

Sơ đồ tương đương của của đường dây 3 pha có dây chống sét (đối với dòng điện thứ tự không) giống như đường dây lộ kép được vẽ trên hình PL4-3,a, trong đó có một lộ bị nối khép kín qua đất chính là dây chống sét tách 3.



Hình PL4.3

Từ sơ đồ hình PL4-3,a ta có:

- trên mạch dây dẫn:

$$\Delta \dot{U}_0 = j X_0 \dot{I}_0 - j X_{D-S0} \dot{I}_{S0};$$

- trên mạch dây chống sét:

$$\Delta \dot{U}_{S0} = j X_{S0} \dot{I}_{S0} - j X_{D-S0} \dot{I}_0 = 0$$

Suy ra :

$$\Delta \dot{U}_0 = j \dot{I}_0 \left(X_0 - \frac{X_{D-S0}^2}{X_{S0}} \right).$$

Ta nhận được điện kháng thứ tự không của đường dây có dây chống sét :

$$X_0^{(s)} = X_0 - \frac{X_{D-S0}^2}{X_{S0}}.$$

Như vậy sự có mặt của đường dây chống sét làm giảm điện kháng thứ tự không (so với khi không có). Biểu thức điện kháng còn cho phép thiết lập sơ đồ thứ tự không tương đương của đường dây có dây chống sét như trên hình PL4-3,b.

Khi cần tính điện trở thứ tự không của đường dây có dây chống sét người ta làm như sau. Biểu thức của tổng trở thứ tự không được coi là :

$$Z_0^{(s)} = Z_0 - \frac{Z_{D-S0}^2}{Z_{S0}}$$

Từ đó tính điện trở thứ tự không như là phần thực của $Z_0^{(s)}$.

e) Đường dây lộ kép (hai lộ) có dây chống sét

Để tìm điện kháng thứ tự không trong trường hợp náy ta dùng sơ đồ hình PL4-4,a. Cũng xuất phát từ biểu thức điện áp rơi trên dây dẫn và dây chống sét, ta có:

- trên lộ I :

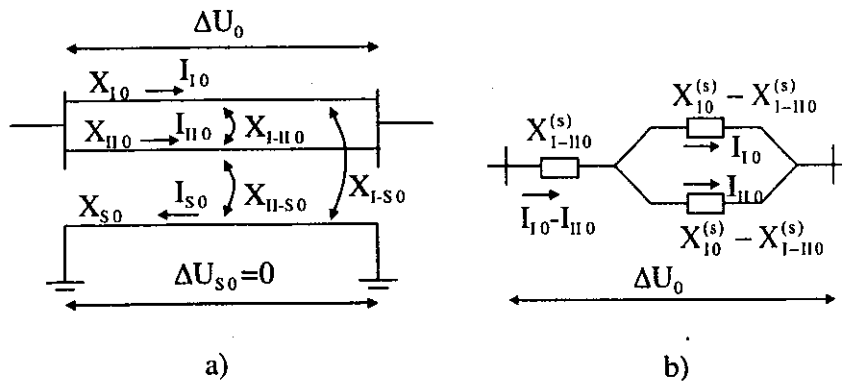
$$\Delta \dot{U}_0 = \dot{I}_{10} j X_{10} + \dot{I}_{110} j X_{1-110} - \dot{I}_{S0} j X_{1-S0} ;$$

- trên lộ II :

$$\Delta \dot{U}_0 = \dot{I}_{110} j X_{110} + \dot{I}_{10} j X_{1-110} - \dot{I}_{S0} j X_{11-S0} ;$$

- trên dây chống sét :

$$\Delta \dot{U}_{S0} = \dot{I}_{S0} j X_{S0} - \dot{I}_{10} j X_{1-S0} - \dot{I}_{110} j X_{11-S0} = 0.$$



Hình PL4.4

Từ các biểu thức trên ta có :

$$\Delta \dot{U} = \dot{I}_{10} j X_{10}^{(s)} + \dot{I}_{110} j X_{1-110}^{(s)} ;$$

$$\Delta \dot{U} = \dot{I}_{110} j X_{110}^{(s)} + \dot{I}_{10} j X_{1-110}^{(s)} .$$

Trong đó:

$$X_{10}^{(s)} = X_{10} - \frac{X_{1-S0}^2}{X_{S0}} - \text{điện kháng thứ tự không của lộ I, sét đến ảnh hưởng dây chống sét ;}$$

$$X_{110}^{(s)} = X_{110} - \frac{X_{11-S0}^2}{X_{S0}} - \text{điện kháng thứ tự không của lộ II, sét đến ảnh hưởng dây chống sét ;}$$

$$X_{1-110}^{(s)} = X_{1-110} - \frac{X_{1-S0} \cdot X_{11-S0}}{X_{S0}} - \text{điện kháng hồ cảm thứ tự không giữa lộ I và lộ II, kể đến ảnh hưởng của dây chống sét.}$$

Dựa vào các biểu thức điện kháng trên và sơ đồ hình PL4-4,b để dàng tìm được điện kháng tương đương của cả 2 lộ đường dây có dây chống sét. Trường hợp 2 lộ hoàn toàn giống nhau ($X_{10} = X_{110} = X_0$) và dây chống sét bố trí đối xứng (có thể coi $X_{1-S0} = X_{11-S0} = X_{D-S0}$) ta có:

$$X_0^{(s)} = 0,5(X_0 + X_{1-110}) - \frac{X_{D-S0}^2}{X_{S0}}.$$

So sánh với đường dây lộ kép không dây chống sét trong biểu thức điện kháng có thêm số hạng cuối cùng (dấu âm) nên trị số sẽ nhỏ hơn. Khi sét đến điện trở biểu thức cũng có dạng tương tự:

$$Z_0^{(s)} = 0,5(Z_0 + Z_{1-110}) - \frac{Z_{D-S0}^2}{Z_{S0}},$$

với các ký hiệu tổng trở tương ứng như các điện kháng kể trên.

2. Đường dây cáp

Về nguyên tắc, khi xác định tổng trở thứ tự không của cáp vẫn có thể áp dụng các công thức giống như đối với đường dây trên không. Đó là vì cáp được đặt nòng trên mặt đất phân bố dòng điện trong đất vẫn giống như ở đường dây trên không. Vỏ cáp, về phương diện ảnh hưởng điện từ cũng có thể coi giống như dây chống sét ở đường dây trên không. Tuy nhiên, có những điểm rất khác biệt:

- Điện trở nối đất vỏ cáp phụ thuộc cách đặt cáp và rất khó xác định. Thường người ta tính cho 2 trường hợp giới hạn. Trường hợp vỏ cáp tiếp đất tốt (điện trở nối đất rất bé) dòng điện đi chủ yếu vào đất, vỏ cáp hầu như không có dòng điện, điện kháng thứ tự không cực đại (như không có dây chống sét). Trường hợp điện trở nối đất vỏ cáp lớn (tiếp đất kém), dòng điện đi chủ yếu trong vỏ cáp : điện kháng thứ tự không sẽ cực tiểu vì hồ cảm lớn.

- Từ thông tản của vỏ cáp rất bé (có thể coi bằng không), do đó: $X_{v0} - X_{D-v0} = 0$, trong đó X_{v0} - điện kháng thứ tự không của vỏ cáp còn X_{D-v0} - điện kháng hổ cảm giữa lõi và vỏ cáp.
- Nói chung không thể bỏ qua điện trở vỏ cáp vì trị số của nó khá lớn.

Cụ thể ta có các biểu thức tính như sau:

Điện kháng thứ tự không của cáp có vỏ bằng chất không dẫn điện (tính như đường dây lộ đơn không có dây chống sét):

$$X'_0 = 0,435 \lg \frac{D_d}{R_{tb}} ;$$

Trong đó D_d tính như với đường dây trên không;

$$R_{tb} = \sqrt[3]{r_{dt} d^2} - \text{bán kính trung bình hình học của 3 lõi dây dẫn.}$$

r_{dt} - bán kính đẳng trị của dây dẫn lõi cáp.

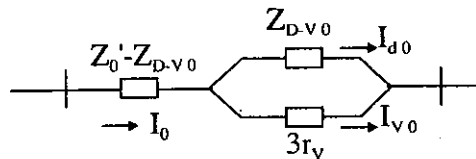
d - khoảng cách giữa các tâm của dây dẫn lõi cáp.

Để tính cho trường hợp chung, ta cần tính điện kháng hổ cảm giữa vỏ và lõi cáp:

$$X_{D-v0} = 0,435 \lg \frac{D_d}{D_{D-v}} = 0,435 \lg \frac{2 \cdot D_d}{r_{tr} + r_{ng}} , \text{ } \Omega/\text{km} ;$$

Trong đó : $D_{D-v} = (r_{tr} + r_{ng})/2$ - bán kính trung bình của vỏ cáp;

r_{tr}, r_{ng} - bán kính trong và bán kính ngoài của vỏ cáp;



Hình PL4.5

Sơ đồ tính toán tổng trở thứ tự không của cáp thể hiện trên hình PL4-5. Dựa vào đó có thể tính được tổng trở thứ tự không đẳng trị của đường dây cáp trong trường hợp chung. Chú ý các ký hiệu trên sơ đồ:

$Z'_0 = R'_0 + jX'_0 = (r_D + 3r_d) + jX'_0$ - tổng trở thứ tự không của cáp, coi vỏ không dẫn điện.

$Z_{D-v0} = 3r_d + jX_{D-v0}$ - tổng trở hổ cảm giữa vỏ và lõi cáp;

r_D - điện trở dây dẫn lõi cáp;

r_d - điện trở nối đất đường dây;

r_v - điện trở vỏ cáp;

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **Nguyễn Phiệt.** Quá trình quá độ điện từ trong hệ thống điện. ĐHBK xuất bản. Hà nội, 1969.
2. **Lã Văn Út, Trần Tấn Vinh.** Tính toán dòng điện ngắn mạch trong hệ thống điện xét đến đặc tính phi tuyến của các Varistor. Tạp chí Khoa học & Công nghệ, No-17, 1998.
3. **Lã Văn Út.** Hệ thống tải điện 500 kV Bắc Trung Nam. Tập III: Tính toán ngắn mạch. Tài liệu tính toán phục vụ thiết kế kỹ thuật ĐDSCA 500 kV Bắc Trung Nam. Bộ môn Hệ Thống Điện, 1992.
4. **Richard Roeser.** Short-Circuit-Currents in Three-phase Systems. Siemens Aktiengesellschaft. John Wiley and Sons. 1985.
(bản dịch tiếng Việt: Ngắn mạch trong hệ thống điện. NXB Khoa học & Kỹ thuật. 1996).
5. **Arrillaga J., Arnold C.P.** Computer Analysis of Power Systems. John Wiley and Sons. Singapore, 1990.
6. **Ульянов С. А.** Короткие замыкания в электрических системах. Мир. Москва. 1982.

MỤC LỤC

Lời tựa	
Chương 1. Khái niệm chung về ngắn mạch và dòng điện ngắn mạch trong hệ thống điện	5
1.1 Những khái niệm và định nghĩa cơ bản	5
1.2 Dòng điện ngắn mạch, độ lớn và sự biến thiên theo thời gian	8
Chương 2. Thiết lập sơ đồ tính toán ngắn mạch hệ thống điện	23
2.1 Những giả thiết cơ bản	23
2.2 Hệ đơn vị tương đối	24
2.3 Sơ đồ thay thế và thông số tính toán của các phần tử trong hệ thống điện	29
2.4 Biến đổi đẳng trị sơ đồ	47
Chương 3. Tính toán ngắn mạch ba pha duy trì	54
3.1 Khái niệm chung	54
3.2 Máy phát điện trong trạng thái ngắn mạch duy trì	55
3.3 Tính toán dòng điện ngắn mạch duy trì khi máy phát không có TDK	57
3.4 Tính dòng điện ngắn mạch duy trì xét đến ảnh hưởng của TDK	58
3.5 Ảnh hưởng của phụ tải đến dòng điện ngắn mạch ba pha duy trì	63
Chương 4. Quá trình quá độ điện từ và các thông số của máy phát điện khi ngắn mạch ba pha	71
4.1 Vấn đề tính toán dòng điện ngắn mạch quá độ	71
4.2 Quá trình quá độ điện từ trong máy phát điện, phân tích theo hệ tọa độ vuông góc	72
4.3 Các thành phần từ thông trong máy phát điện phân tích theo mô hình trong hệ tọa độ vuông góc	78
4.4 Các sức điện động và điện kháng của máy phát điện đồng bộ	80
4.5 Sự biến thiên của sdd và điện kháng máy phát điện trong thời gian quá độ sau ngắn mạch	90

Chương 5. Tính toán dòng điện ngắn mạch quá độ	95
5.1 Các trường hợp tính toán	95
5.2 Tính trị số ban đầu của dòng điện ngắn mạch chu kỳ	96
5.3 Tính toán dòng điện ngắn mạch bằng các chương trình máy tính	108
5.4 Tính toán dòng điện ngắn mạch tại thời điểm bất kỳ theo thời gian quá độ	114
5.5 Các ví dụ	126
Chương 6. Ngắn mạch không đối xứng	136
6.1 Khái niệm chung	136
6.2 Cơ sở phương pháp các thành phần đối xứng	136
6.3 Điện kháng thứ tự nghịch và thứ tự không	139
6.4 Dòng điện và điện áp tại điểm ngắn mạch	150
6.5 Các bước thực hiện tính toán dòng điện ngắn mạch KĐX tại điểm ngắn mạch	158
6.6 Tính toán dòng điện ngắn mạch không đối xứng phân bố trên các nhánh (phương pháp mở rộng sơ đồ)	167
6.7 Đặc điểm phân bố điện áp ngắn mạch không đối xứng	169
6.8 Sự biến đổi của các dòng điện và điện áp thành phần đối xứng qua máy biến áp	170
6.9 So sánh dòng điện ngắn mạch các dạng khác nhau với ngắn mạch ba pha (theo trị số tại điểm ngắn mạch)	178
6.10 Sơ đồ thay thế phức hợp	180
Chương 7. Sự cố phức tạp	185
7.1 Khái niệm chung	185
7.2 Tính toán chế độ hệ thống lúc một hay hai pha bị đứt (không đối xứng dọc)	185
7.3 Tính toán chế độ sự cố phức tạp	194
7.4 Sơ đồ phức hợp của tình trạng sự cố phức tạp	195
Phụ lục 1 Các đường cong tính toán ngắn mạch	198
Phụ lục 2 Hệ phương trình quá trình quá độ điện từ trong hệ tọa độ quay vuông góc	200
Phụ lục 3 Hệ phương trình trạng thái của mạng điện có nhiều cấp điện áp	210
Phụ lục 4 Tổng trở thứ tự không của đường dây tải điện	216