

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



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.

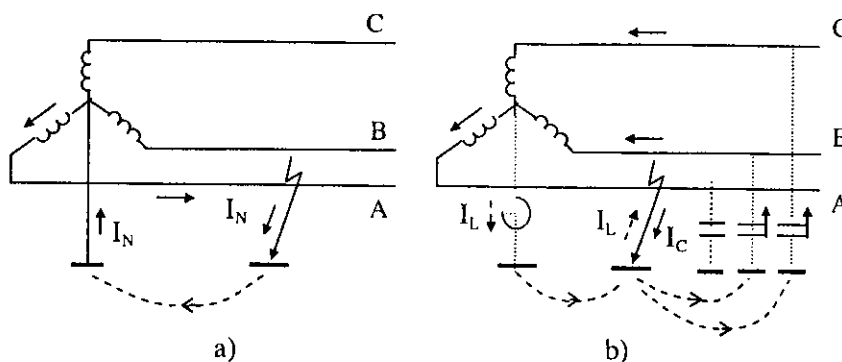
Chương 1

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

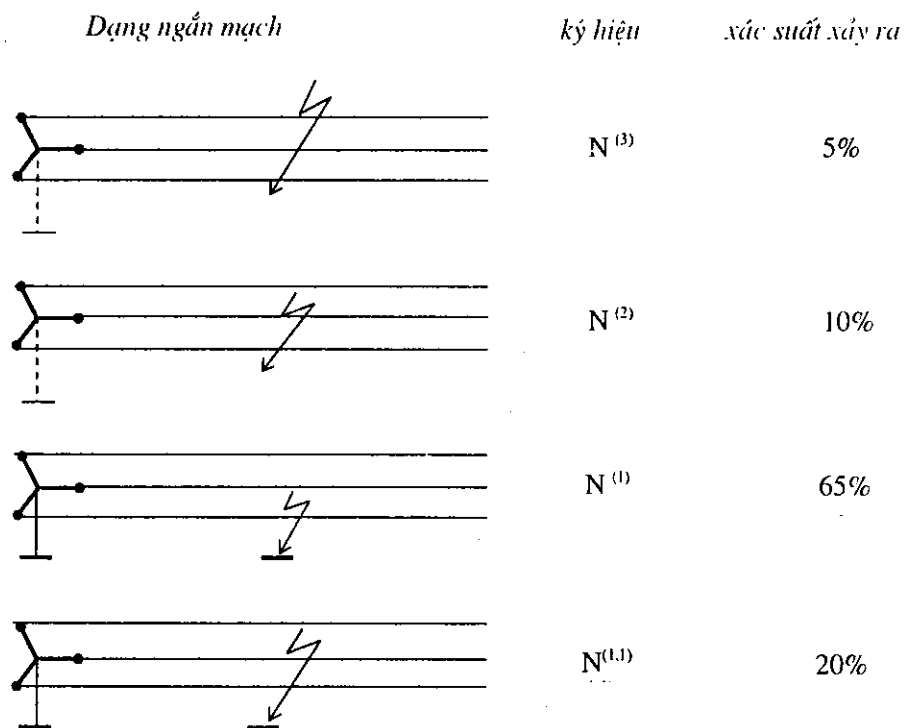
Trên hình 1.1,a biểu thị **ngắn mạch một pha** (chạm đất) trong mạng có trung tính nối đất trực tiếp. Cần phân biệt ngắn mạch một pha với hiện tượng **chạm đất một pha** trong mạng điện có **trung tính không nối đất hoặc nối đất qua cuộn dây dập hồ quang** (hình 1.1,b). Khi chạm đất một pha dòng điện 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 $N^{(1,1)}$.



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 tắc 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

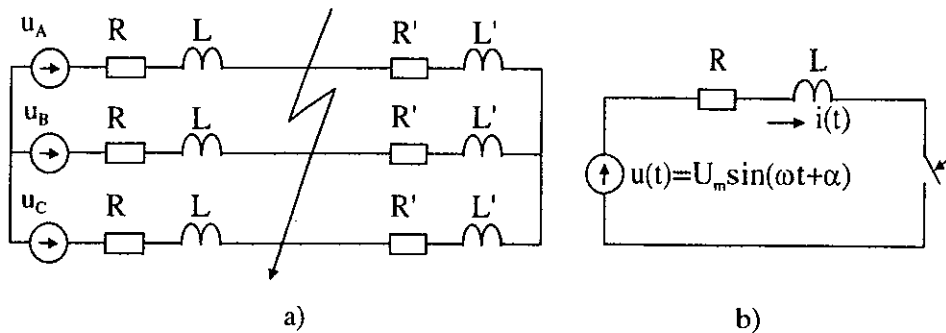
Xét mạch điện đơn giản như hình 1.3. Các nguồn áp có dạng sau :

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

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

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

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 :

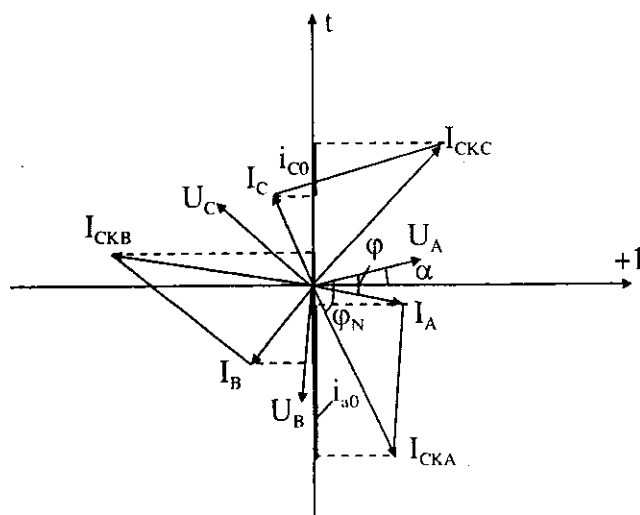
$$\begin{aligned} i(0) &= i_{CK}(0) + i_a(0) = i_0 ; \\ I_{CKm} \sin(\alpha - \varphi_N) + C &= I_m \sin(\alpha - \varphi) ; \end{aligned}$$

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:

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

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

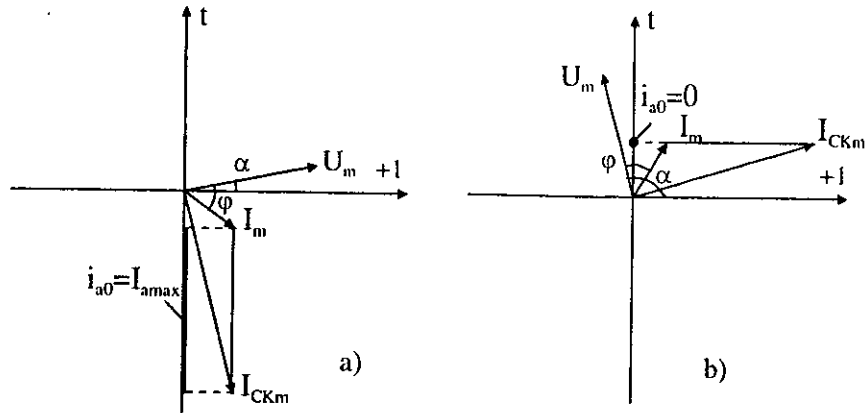
Trên hình vẽ, trị số ban đầu của thành phần tự do được biểu thị như là hình chiếu (trên trục t) của véc tơ hiệu: $I_m - I_{CKm}$. Để nhận thấy một số đặc điểm sau đây:

- 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:

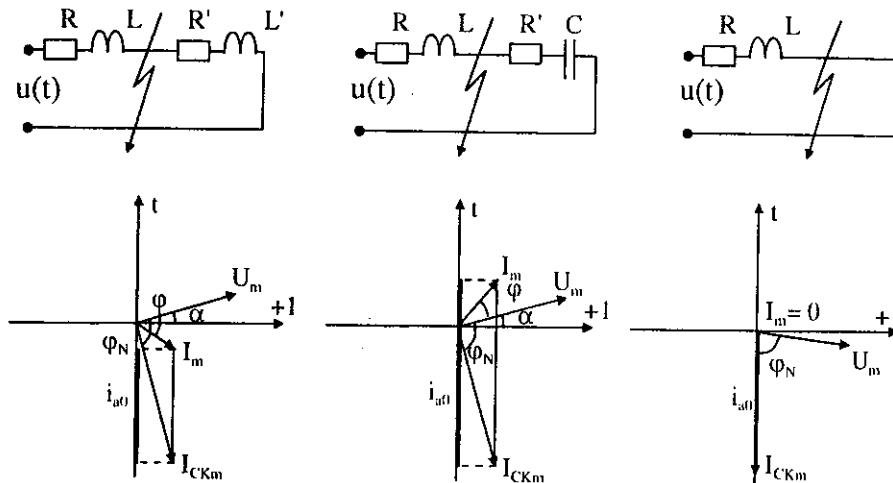
$$\alpha = -90^\circ + \varphi_N \approx 0.$$

Nghĩa là ngắn 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 ngắn 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 $|i_{a0}| = I_{amax} = I_{CKm}$.



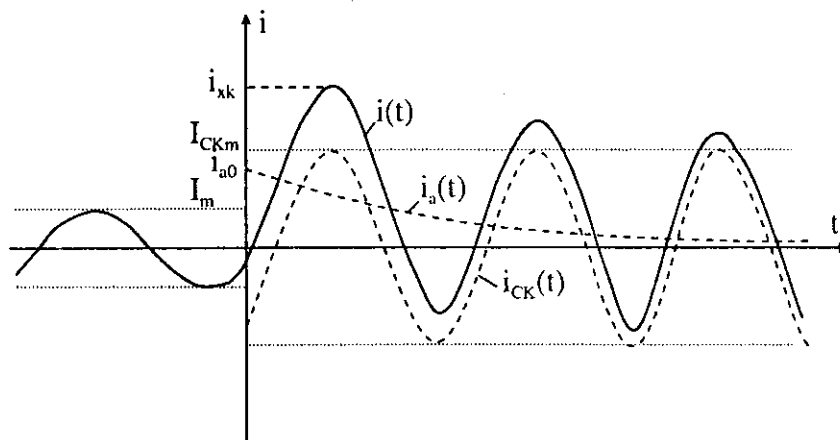
Hình 1.6 Ảnh hưởng của phụ tải đến thành phần tự do

- 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

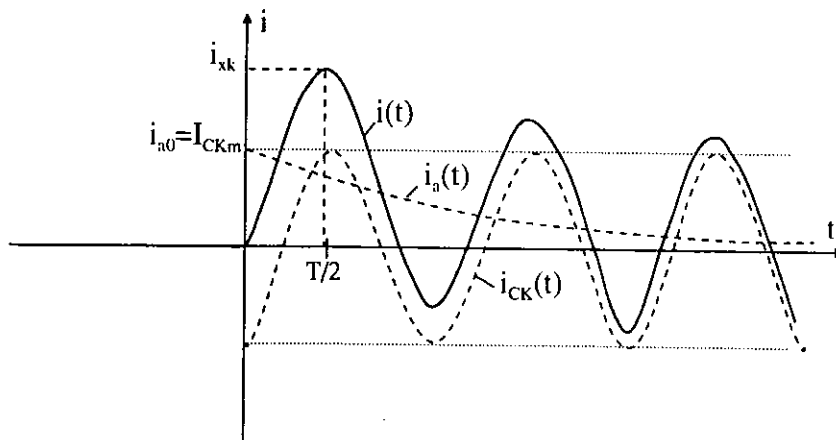
2. Dòng điện ngắn mạch xung kích

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.

Để 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 gần 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 .

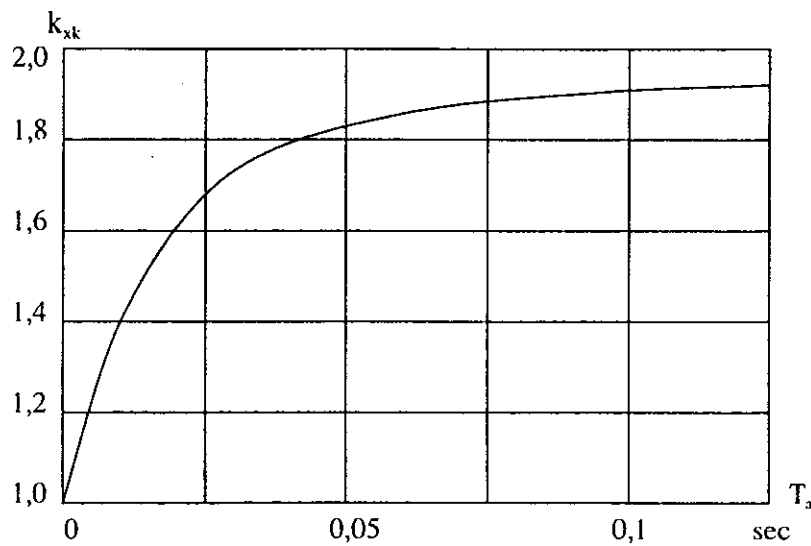
Khi đó : $i_{xk} = k_{xk} \cdot I_{CKM} = \sqrt{2} \cdot k_{xk} \cdot I_{CK}$

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 :

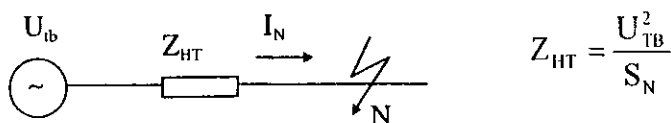
$$S_{cát} \geq S_{Nt} ,$$

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

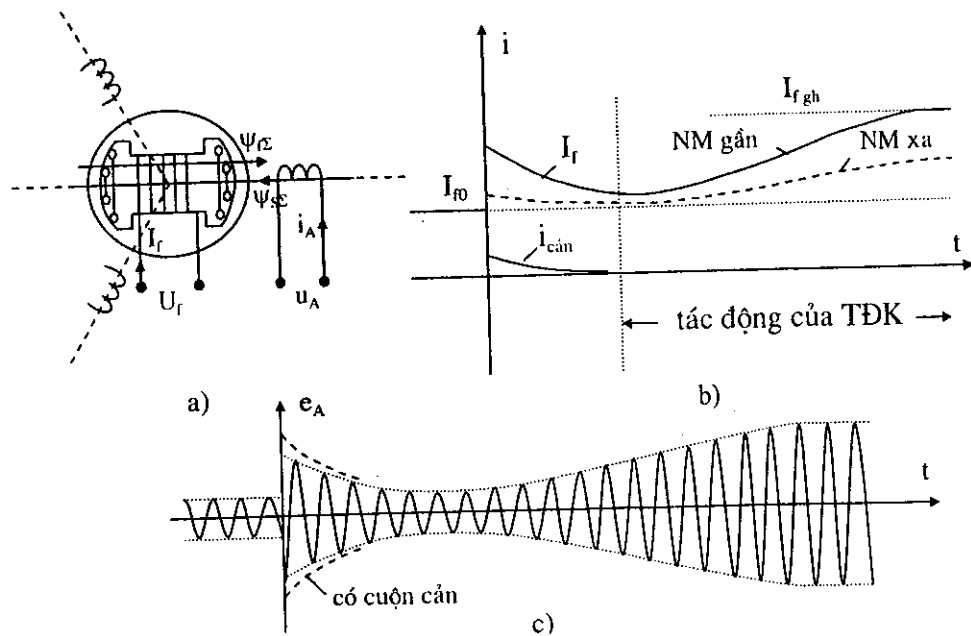
Khi điểm ngắn mạch xảy ra ở gần dòng điện ngắn mạch tăng lên khá lớn bên trong máy phát, quá trình quá độ diễn ra phức tạp hơn (so với nguồn áp không đổi) với các lý do chính sau :

- Ảnh hưởng hỗ cảm giữa stator và rotor của dòng điện ngắn mạch làm biến thiên dòng điện kích từ và dòng điện trong các cuộn dây rotor 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 stator) có biên độ tăng lên đột ngột. Từ thông tổng của các dòng điện này quay cùng tốc độ với rotor (còn gọi là từ thông phản ứng phân ứng) xuyên qua các vòng dây của cuộn kích từ nằm trên rotor, 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

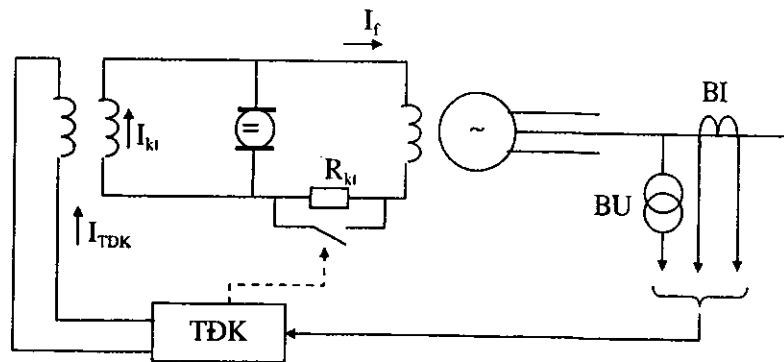
kín, trong cuộn dây roto phải xuất hiện thành phần dòng điện tự do một chiều làm tăng đột ngột thành phần dòng điện kích từ (để chống lại sự giảm từ thông tổng gây ra bởi phản ứng phản ứng ngược chiều). Sức điện động đồng bộ của máy phát được sinh ra tỉ lệ với dòng điện kích từ (hay nói đúng hơn, tỉ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



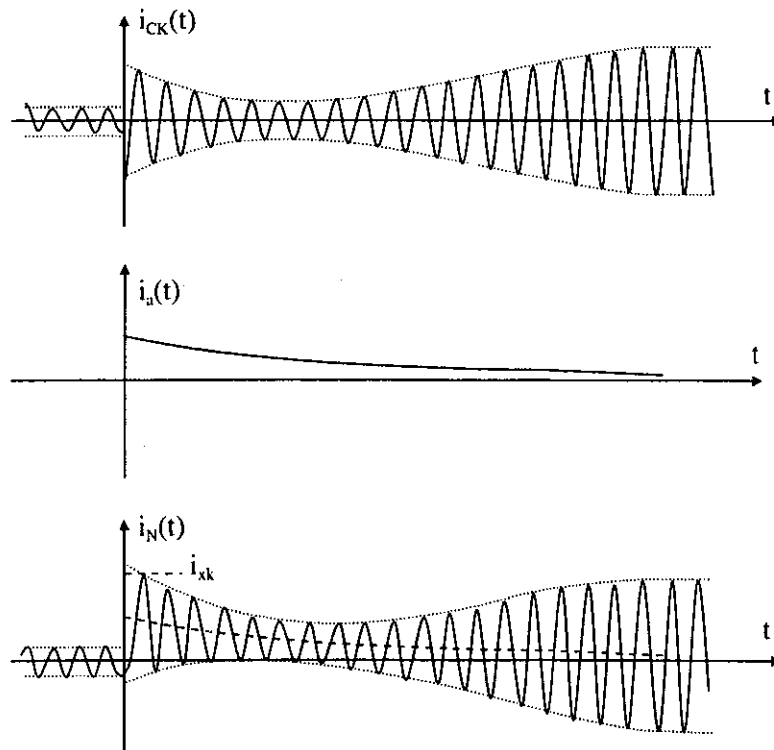
Hình 1.11 Nguyên lý hoạt động của TĐK

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 sđđ đồng bộ máy phát bị thay đổi mạnh trong quá trình quá độ. Khi kể đến tác động của cuộn cảm, sđđ máy phát tăng nhiều hơn ở giai đoạn đầu (xem hình 1.10,c)

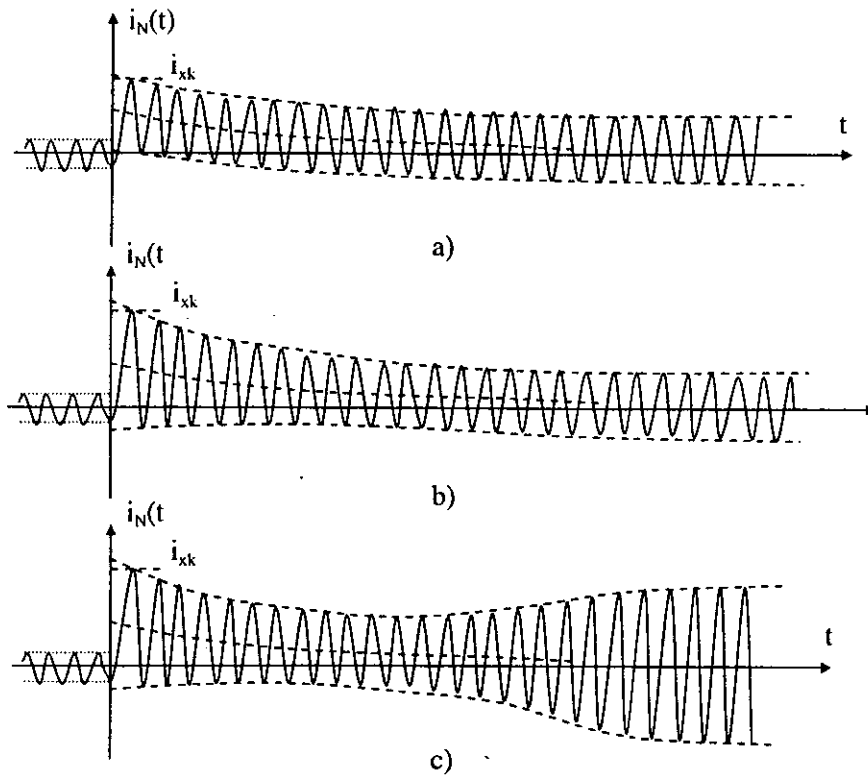
3- Sự biến thiên của dòng điện ngắn mạch (phía stato máy phát)

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 role 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. Trương 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:

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

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

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

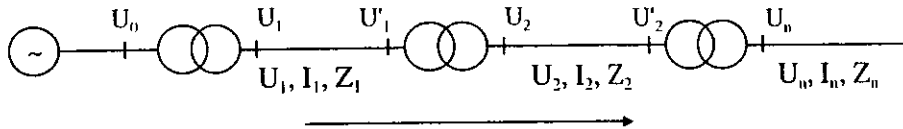
$$Z_i^{(0)} = (k_1 k_2 \dots k_n)^2 Z_i$$

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 $U_i \approx U'_i = U_{tb}$. 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 :

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

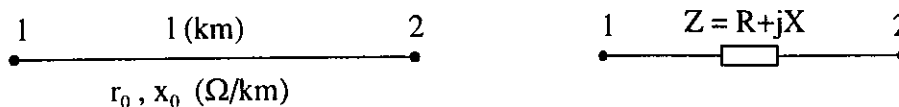
Sau khi có các lượng cơ bản, việc tính các trị số tương đối sẽ được tiến hành theo các công thức thông thường (như một cấp điện áp). Nói chung, cần chú ý sử dụng đúng điện áp cơ bản của cấp đang tính toán. Các thông số tính trong hệ đơn vị tương đối đã tự động qui đổi sơ đồ về cùng một cấp điện áp, do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

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

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

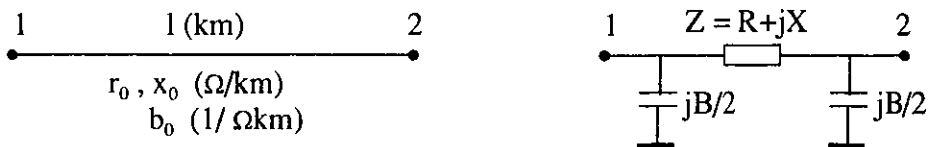
$$Z = R + jX \quad (\Omega).$$

Trong hệ đơn vị tương đối :

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

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 :

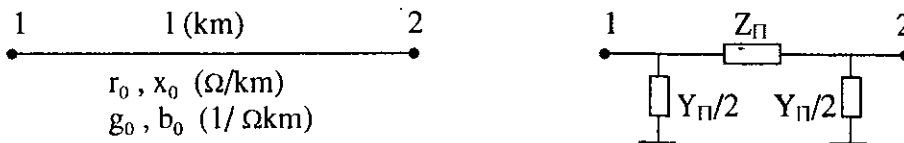
$$Z_{*(cb)} = (r_0 + jx_0)l \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2}$$

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

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 :

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

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 :

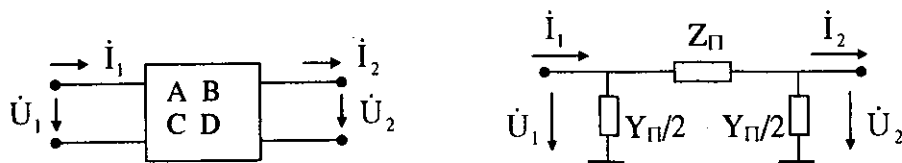
$$Z = r_0 l \quad ; \quad Y = Y_0 l \quad \text{thì} \quad \gamma l = \sqrt{ZY}$$

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:

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

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 :

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

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

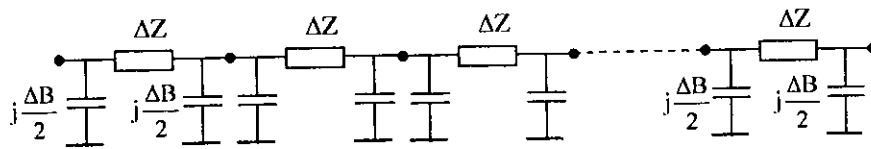
$$C = Y \left(1 + \frac{YZ}{6} + \frac{Y^2 Z^2}{120} + \frac{Y^2 Z^2}{5040} + \dots \right) \approx Y \left(1 + \frac{YZ}{6} \right) ;$$

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

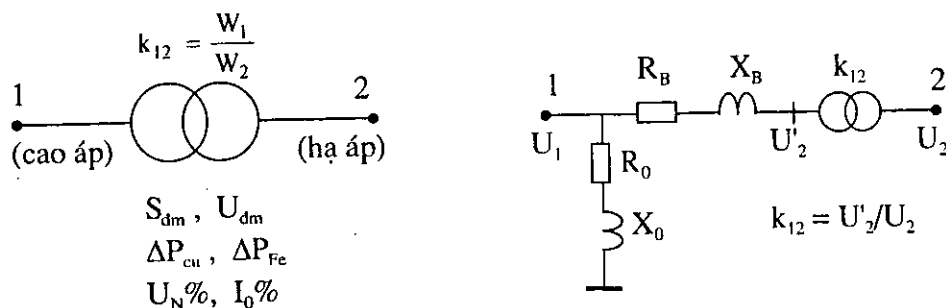
Như đã nhận xét ở trên, khi chiều dài của đoạn đường dây siêu cao áp không lớn lắm ($l < 100$ km), sai số mắc phải khi áp dụng các công thức của đường dây ngắn cho mô hình một mắt xích hình Π đối với cả đoạn đường dây cũng không lớn ($< 0,2\%$). Lợi dụng tính chất này người ta mô hình các đường dây dài 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 theo quy ước này. Chẳng hạn, điện kháng dọc:

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

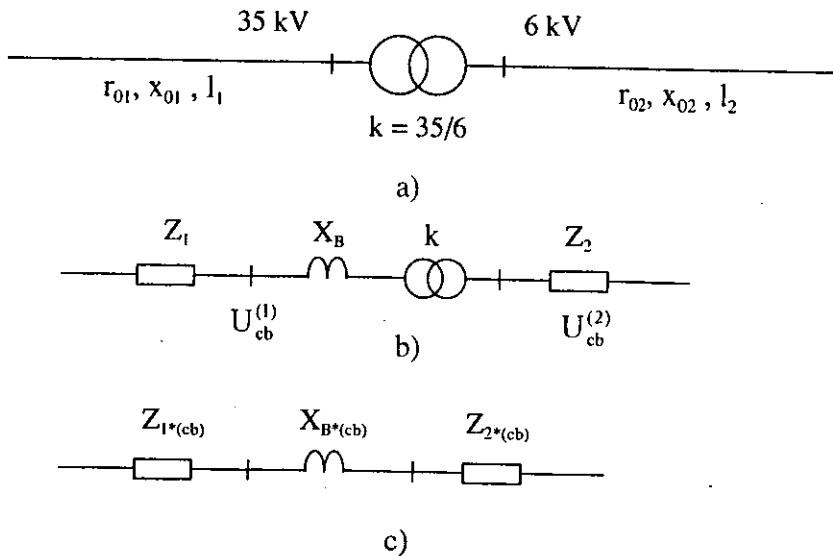
Theo công thức trên trị số điện kháng được tính trong hệ đơn vị có tên ứng với phía điện áp cao của máy biến áp. Tương tự các thông số khác của sơ đồ máy biến áp cũng tính ở phía điện áp cao (trong hệ đơn vị có tên):

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

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

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 :

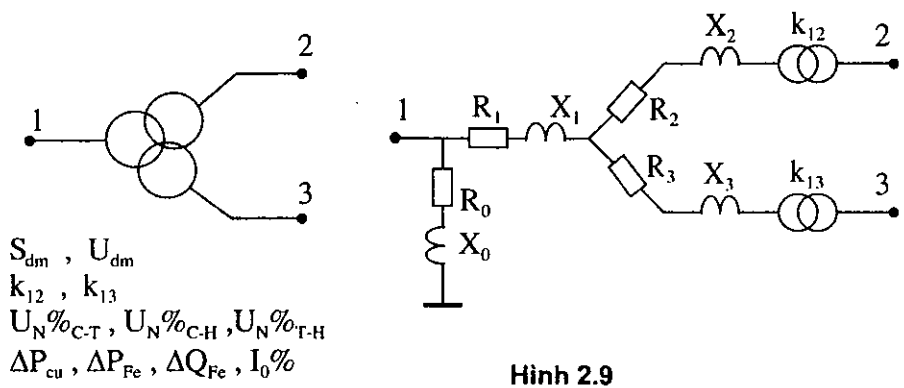
$$Z_{1*(cb)} = (r_{01} + j x_{01}) l_1 \frac{S_{cb}}{(U_{cb}^{(1)})^2}$$

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

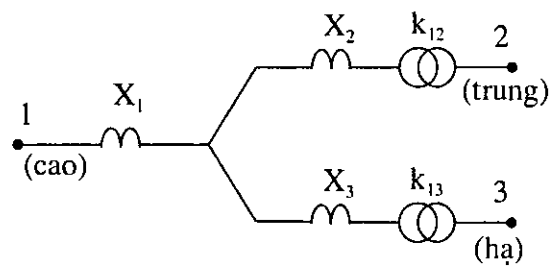
$$X_{B(cb)} = \frac{U_N \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{S_{cb}}{(U_{cb}^{(1)})^2} = \frac{U_N \%}{100} \cdot \left(\frac{U_{dm}}{U_{cb}^{(1)}} \right)^2 \cdot \frac{S_{cb}}{S_{dm}}$$

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:

$$\begin{aligned}
 U_N\%_C &= (U_N\%_{C-T} + U_N\%_{C-H} - U_N\%_{T-H})/2 ; \\
 U_N\%_T &= (U_N\%_{C-T} + U_N\%_{T-H} - U_N\%_{C-H})/2 ; \\
 U_N\%_H &= (U_N\%_{C-H} + U_N\%_{T-H} - U_N\%_{C-T})/2 .
 \end{aligned}$$

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):

$$\begin{aligned}
 X_C &= \frac{U_N\%_C}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} ; & X_{*C(cb)} &= \frac{U_N\%_C}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb(C)}^2} \\
 X_T &= \frac{U_N\%_T}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} ; & X_{*T(cb)} &= \frac{U_N\%_T}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb(C)}^2} \\
 X_H &= \frac{U_N\%_H}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} ; & X_{*H(cb)} &= \frac{U_N\%_H}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb(C)}^2}
 \end{aligned}$$

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 :

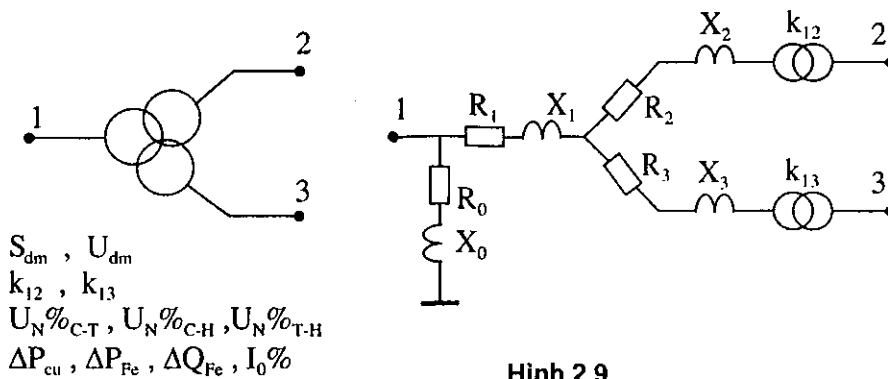
$$Z_{1*(cb)} = (r_{01} + j x_{01}) l_1 \frac{S_{cb}}{(U_{cb}^{(1)})^2}$$

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

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

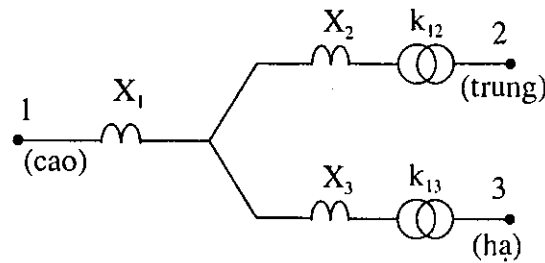
Cần để ý rằng, khi tính trong hệ đơn vị tương đối không sử dụng đến hệ số biến áp k là vì nó đã được xét đến khi xác định điện áp cơ bản $U_{cb}^{(1)}$ và $U_{cb}^{(2)}$. Hơn nữa, sau khi tính các thông số trong hệ đơn vị tương đối sơ đồ đã mặc nhiên ở cùng một cấp điện áp nên cũng không cần sử dụng 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



Hình 2.9

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.



Hình 2.10

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):

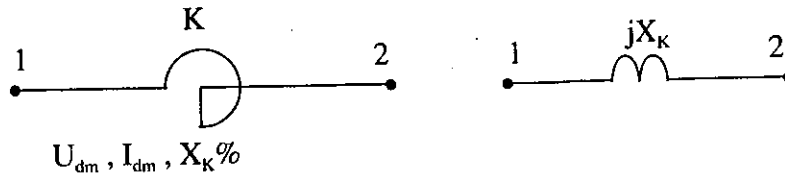
$$X_C = \frac{U_N\%_C}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}}; \quad X_{C(cb)} = \frac{U_N\%_C}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb(C)}^2}$$

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

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

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.

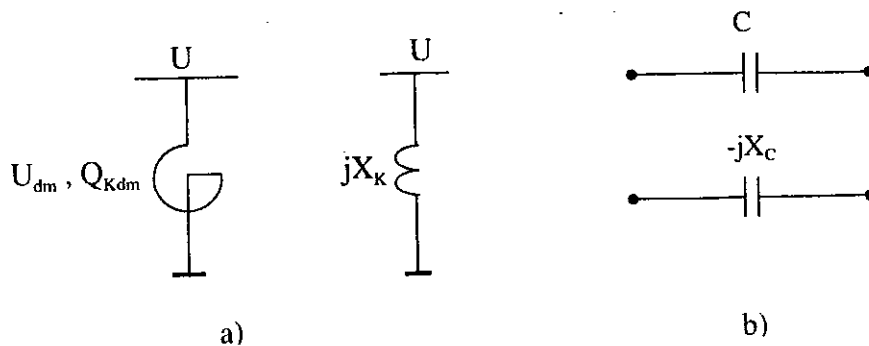
Suy ra :

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

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:

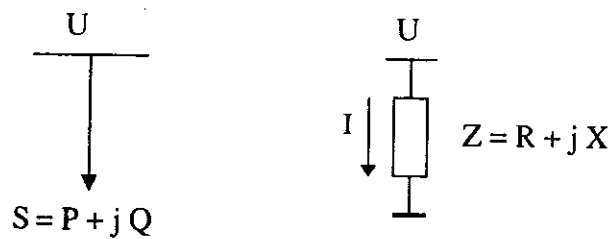
$$X_{K*(cb)} = \frac{U_{dm}^2}{Q_{Kdm}} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2}$$

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 $S_{cb} = S_{dm} \approx S$, $U_{cb} = U_{dm} \approx U$, ta có :

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

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:

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

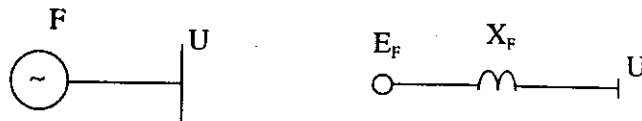
Nguồn sdd đẳng trị của hệ thống có thể lấy là $E_{*HT} = 1$, bởi trong hệ đơn vị có tên:

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

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



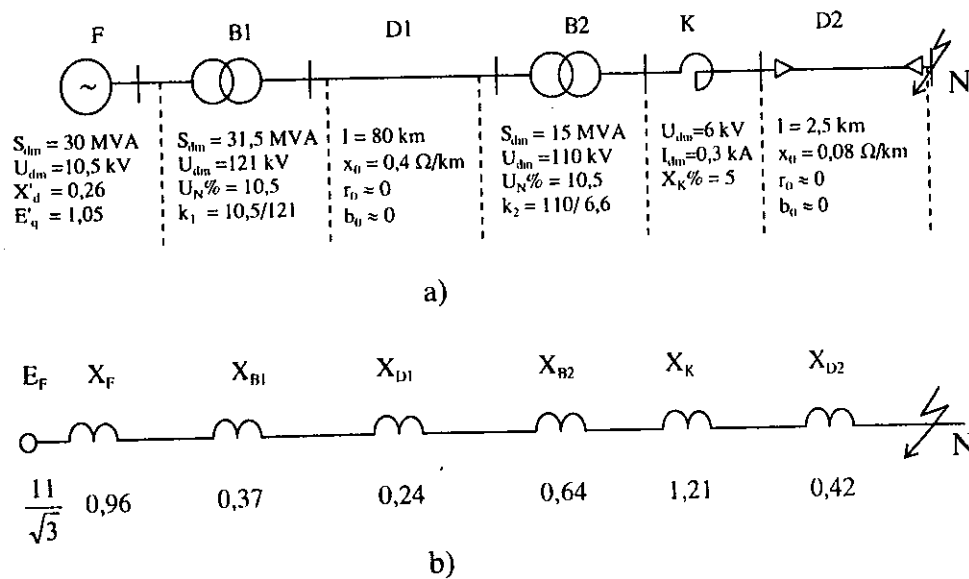
Hình 2.14

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 :

$$\begin{aligned} U_{cblI} &= \frac{1}{k_1} U_{cbl} \\ &= \frac{1}{10,5/121} \cdot 10,5 = 121 \text{ kV} \end{aligned}$$

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

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

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

$$I_{cblI} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}U_{cblI}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 121} = 0,48 \text{ kA}$$

$$I_{cblII} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}U_{cblII}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 7,26} = 7,95 \text{ kA}$$

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*

Vẫn 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:

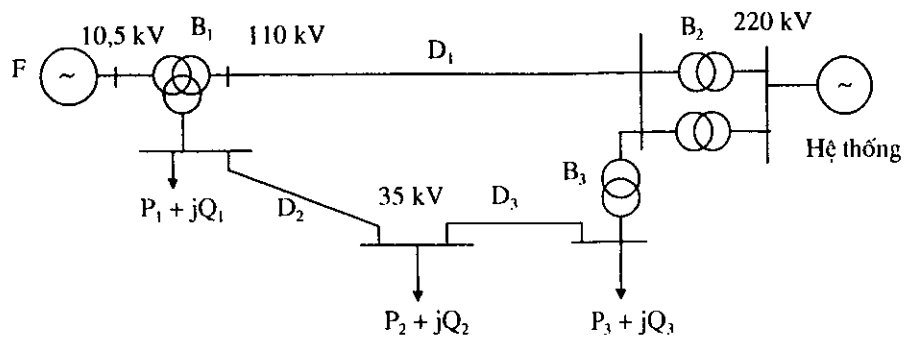
$$I_{N*(cb)} = \frac{E_F}{X_{\Sigma}} = \frac{1,05}{4,18} = 0,25$$

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

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 $S_{cb} = 500 \text{ MVA}$, $U_{cb} = U_b$).



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:

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

Đường dây D₂:

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

Đường dây D₃:

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

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 :

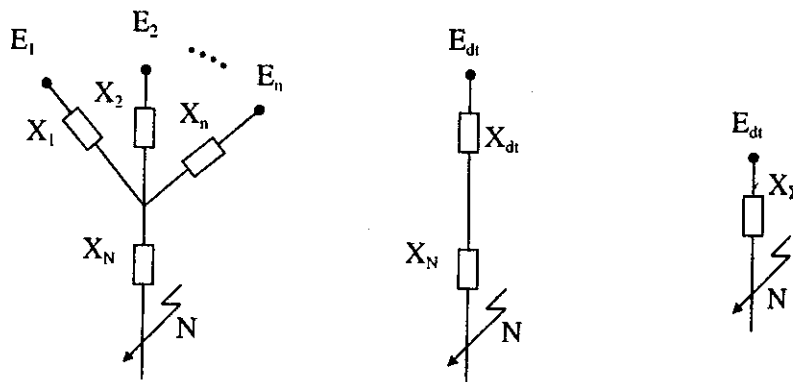
$$E_{dt} = \frac{E_1 Y_1 + E_2 Y_2 + \dots + E_n Y_n}{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i Y_i}{\sum_{i=1}^n Y_i}$$

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

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 :

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

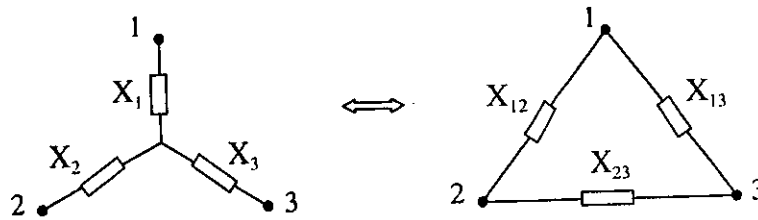


Hình 2.17

Điều đáng chú ý là các công thức trên áp dụng được cả đối với các nhánh có sđd 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

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

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

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

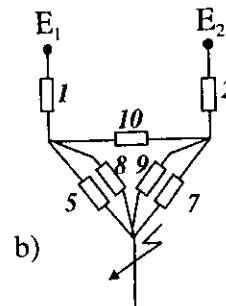
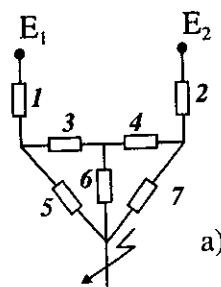
a- Biến đổi sơ đồ tam giác thành sao :

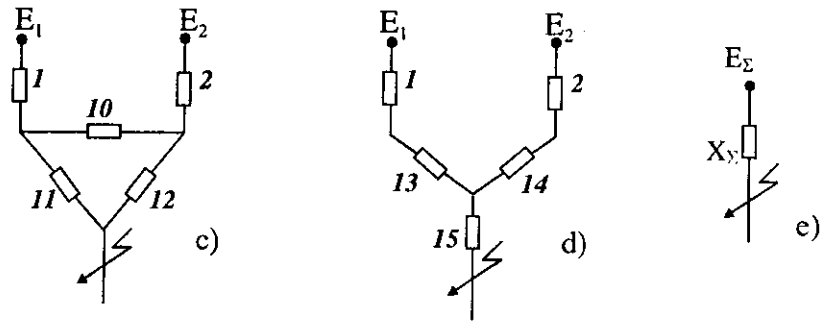
$$X_1 = \frac{X_{12} X_{13}}{X_{12} + X_{13} + X_{23}}$$

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

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

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.

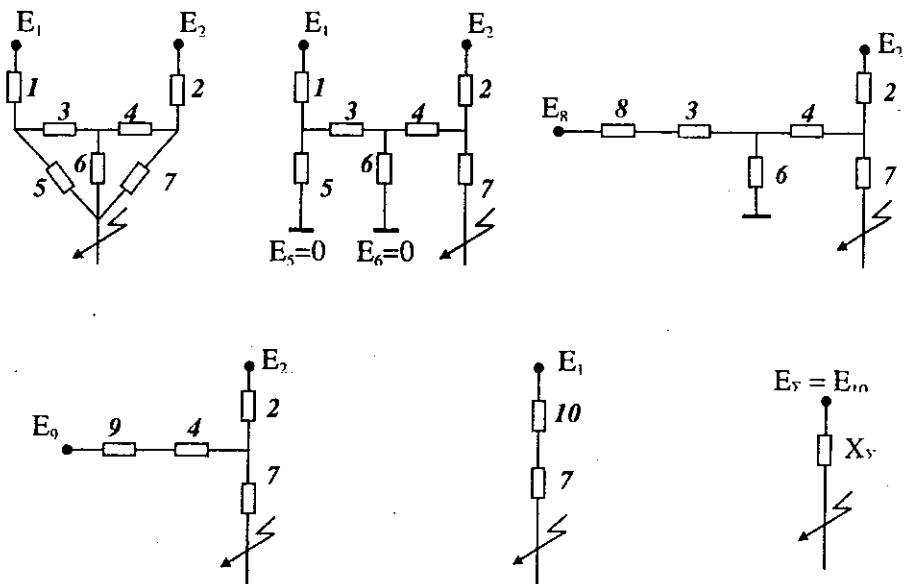




Hình 2.19

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) .

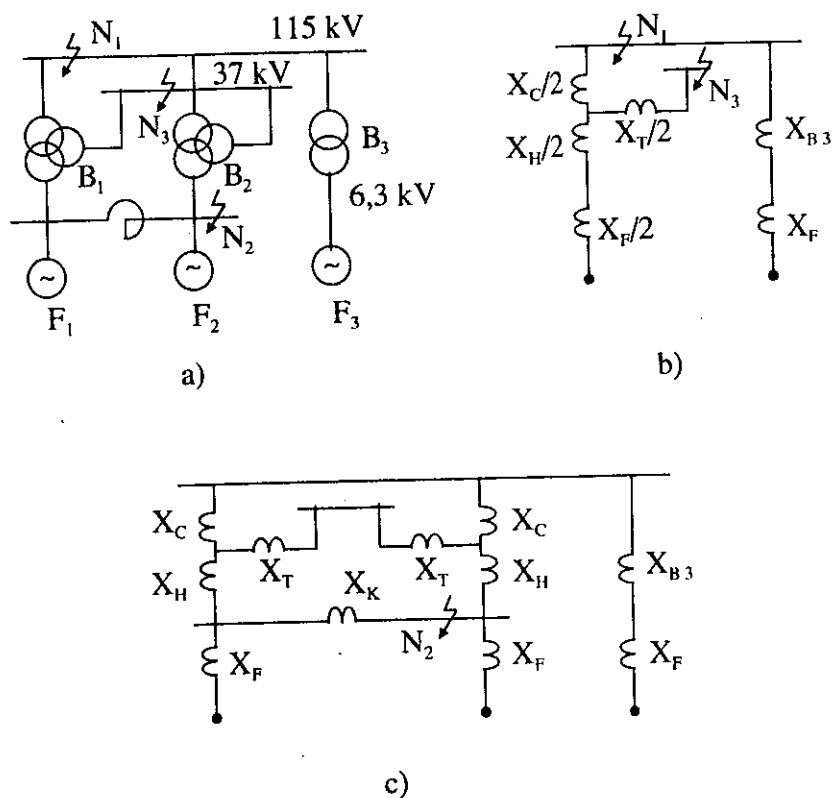


Hình 2.20

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).



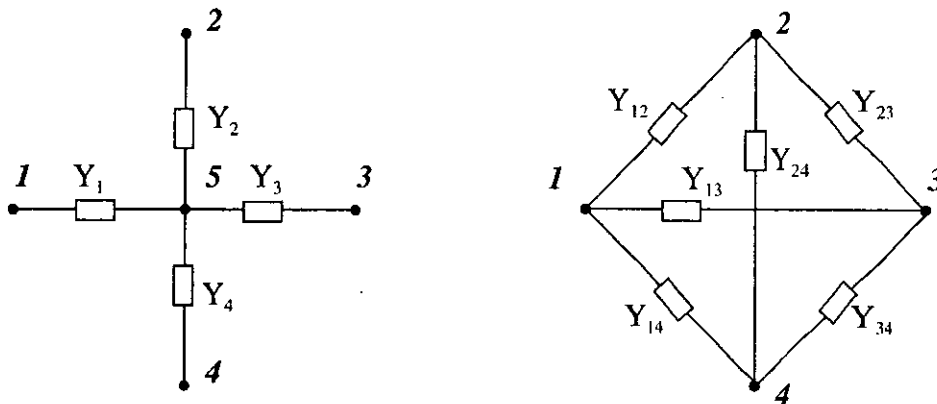
Hình 2.21

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 (vấn 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 CĐXL. 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.

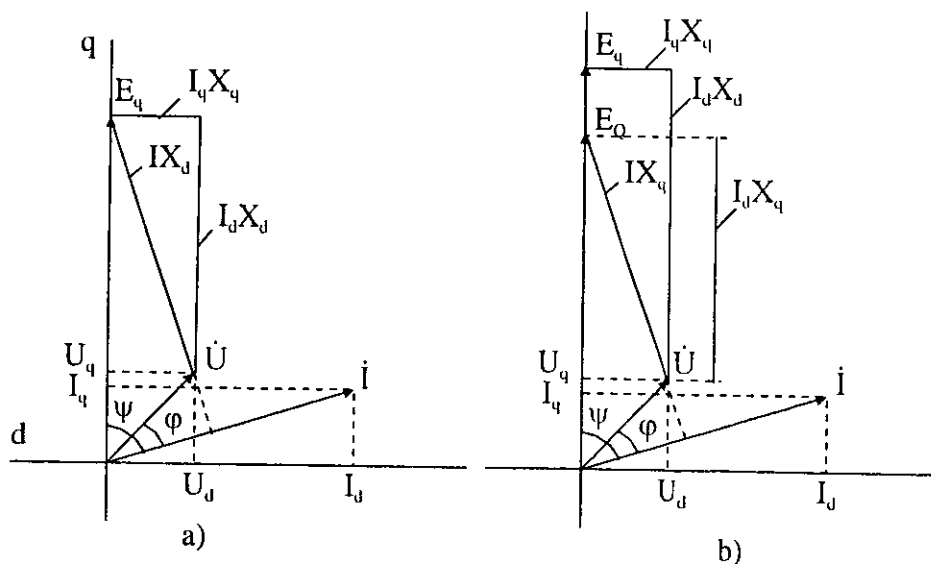
Chương 3

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)

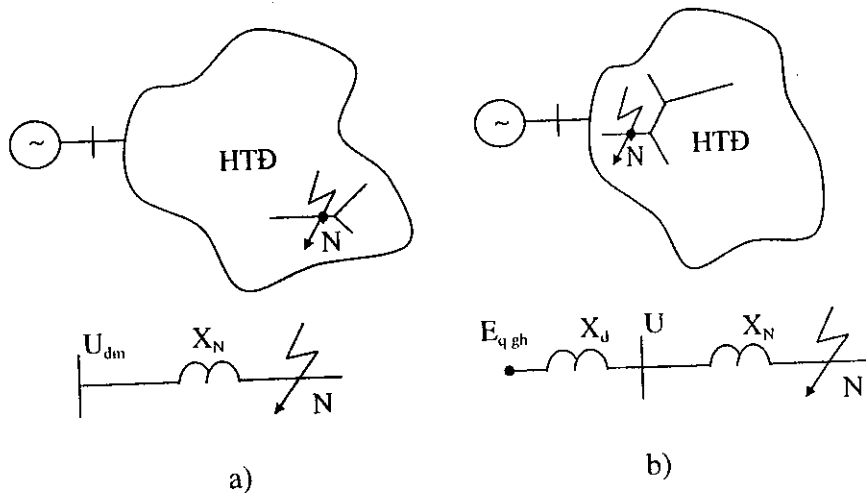
Quan hệ điện từ trong các máy phát điện đồng bộ khi ngắn mạch ba pha duy trì hoàn toàn giống như trong chế độ xác lập (CDXL): dòng điện xoay chiều 3 pha đối xứng chạy trong các cuộn dây stato tạo nên từ trường không đổi; quay đồng bộ với từ trường của roto (cũng không đổi). Chính vì thế có thể sử dụng 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).



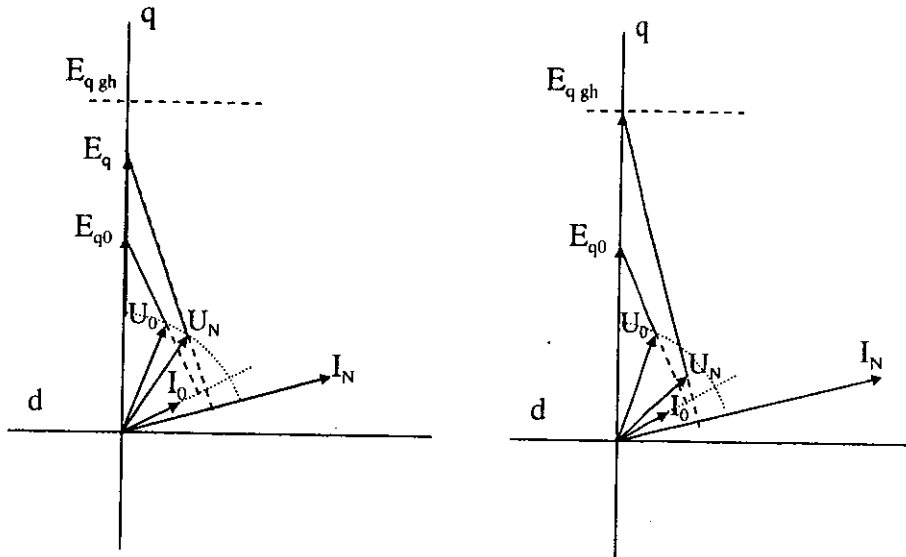
Hình 3.2 Ngắn mạch ở xa (a) và ở gần (b)

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 :

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

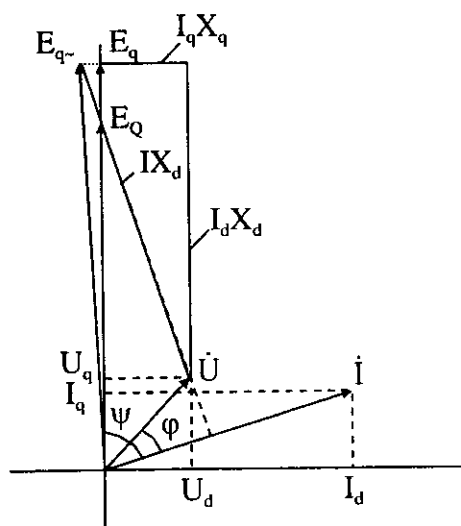
Khi xét đến đặc tính bão hoà, C bị thay đổi theo I_f . Tuy nhiên gần đúng có thể coi C không đổi (lấy trị số ứng với lúc $I_{f\text{đm}}$ và $E_{q\text{đm}}$ của thí nghiệm không tải). Trung bình có thể lấy (trong hệ đơn vị tương đối định mức) như sau:

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 sđđ của máy phát ở trước và sau thời điểm ngắn mạch không thay đổi (bởi E_q tỉ lệ với I_f). Khi đó sđđ 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 sđđ 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 $X_q < X_d$).

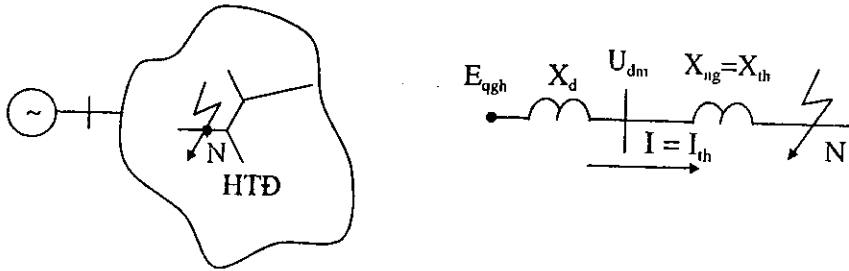
Sau khi mô tả các máy phát điện bằng sđd và điện kháng X_d như trên (giả thiết đều không có TĐK) ta có thể tính được dòng điện ngắn mạch dựa vào biến đổi đẳng trị sơ đồ. Nếu sơ đồ hệ thống biến đổi về được dạng đơn giản nhất gồm sđd E_Σ và Z_Σ , ta có:

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

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 sđd 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 :

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

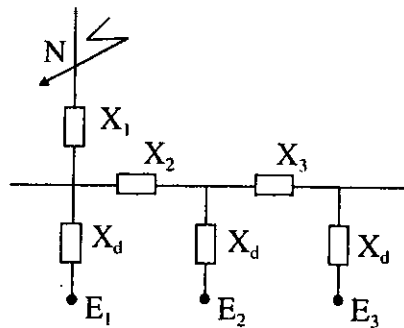
Khi biết máy phát điện ở trạng thái kích từ giới hạn cần mô tả theo sơ đồ gồm sdd E_{qgh} sau điện kháng X_d , ta tính :

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

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 :

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

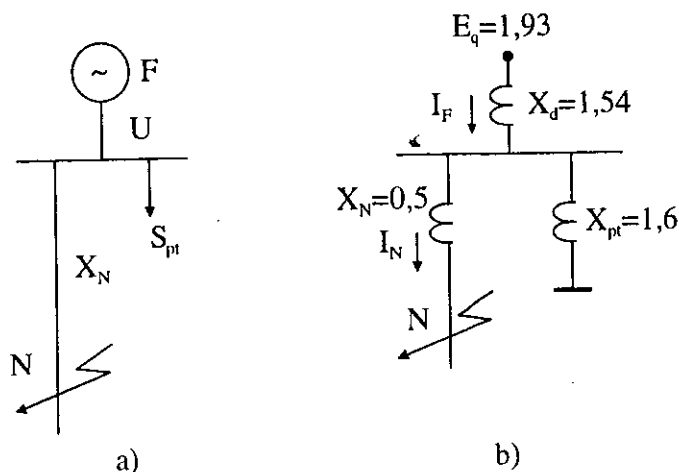
Khi đó chắc chắn F_1 làm việc ở chế độ kích từ giới hạn. Lý do là F_1 ở gần điểm ngắn mạch hơn so với F_2 và F_3 . Sự có mặt của F_2 và F_3 không có tác dụng nâng cao thêm điện áp đầu cực F_1 khi nó gần tới U_{dm} (đó là vì U_2 và U_3 chỉ có thể nhận giá trị cao nhất bằng U_{dm} , trong khi luôn tồn 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 sđd của nó không đổi bằng bằng trị số sđd trước khi xảy ra ngắn mạch. Tính tất cả trong hệ đơn vị tương đối định mức của máy phát, ta có:

$$\begin{aligned} E_q &= \sqrt{(U \cos \varphi)^2 + (U \sin \varphi + I X_d)^2} \\ &= \sqrt{(1,0,8)^2 + (1,0,6 + 0,75 \cdot 1,54)^2} = 1,93 \end{aligned}$$



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:

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

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

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

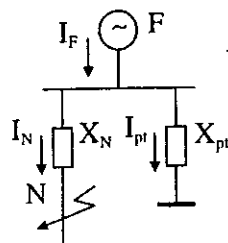
$$U_F = I_N \cdot X_N = 1,5 \cdot 0,5 = 0,75$$

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

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:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{dm} &= \dot{E}_q - j \dot{I} X_d \\ \dot{U}_{dm} &= j \dot{I} X_{pt} \end{aligned} \quad (*)$$

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

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

$$\begin{aligned} \dot{U}_{dm} &= \dot{E}_q - j \dot{I} X_d \\ \dot{U}_{dm} &= \dot{I} Z_{pt} \end{aligned}$$

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 $U_{cb} = U_{lb}$ 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 :

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

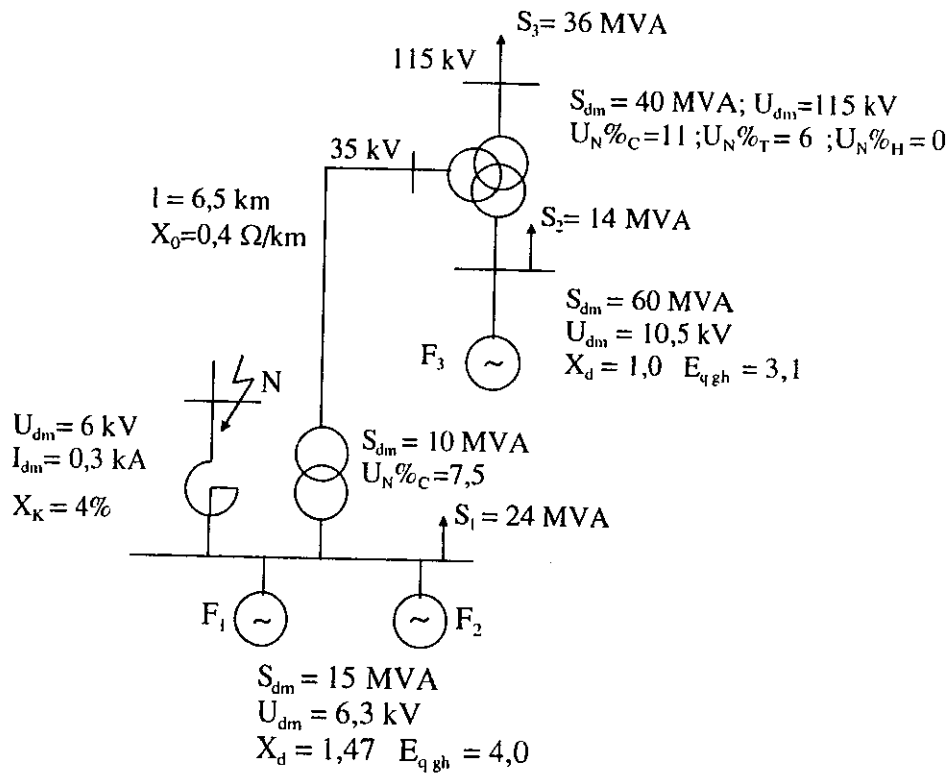
Ta hãy tính sđđ của máy phát trong trường hợp này, mặc dù biết chắc chắn phải có $E_q < E_{qgh} = 3,8$. Theo công thức chung (đúng cho cả CĐXL và chế độ ngắn mạch duy trì) ta có :

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

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

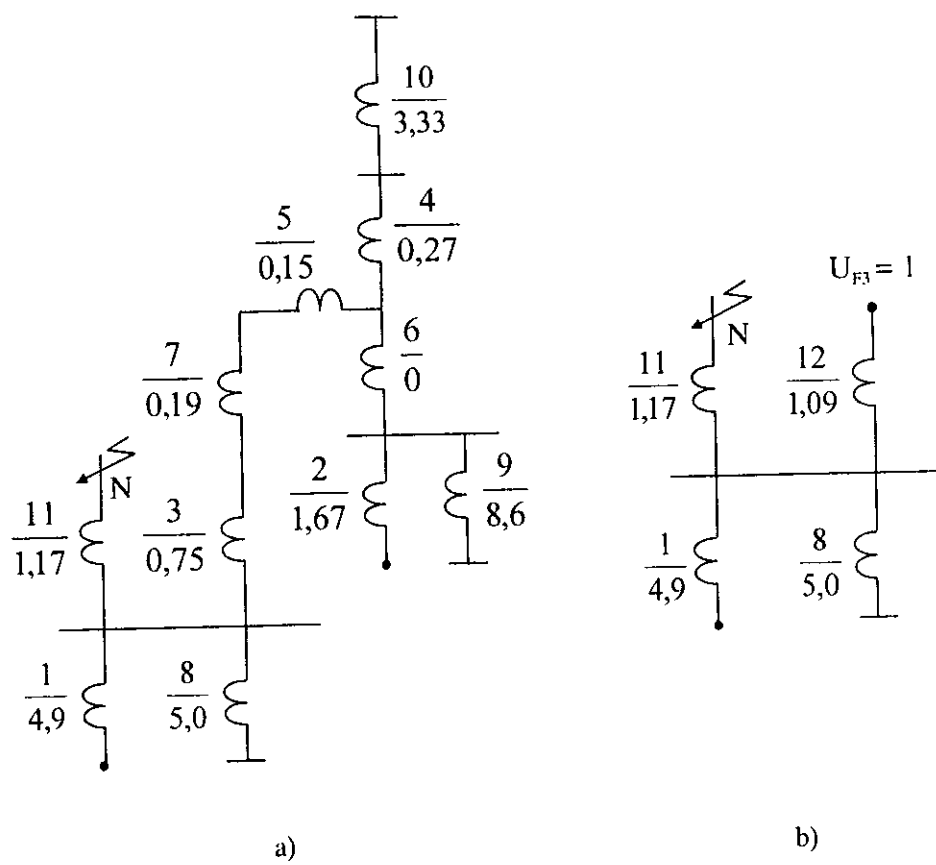
Giải . Chọn $S_{cb} = 100 \text{ MVA}$, $U_{cb} = U_{tb}$.

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 :

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

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

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

$$X_6 = X_H = 0$$

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 số 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 $X_{n2} = 0,8$, 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_n . 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:

$$I_F = \frac{1}{1,17} + \frac{1}{5} = 1,05 > I_{n1} = 0,62$$

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 cùng 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

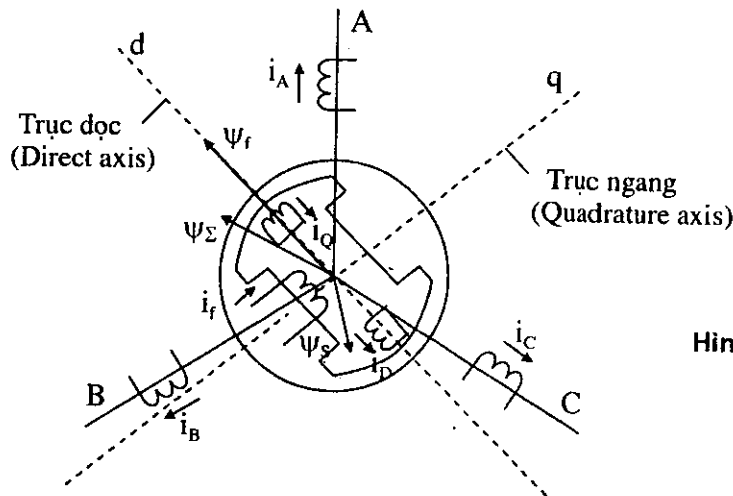
1. Một số giả thiết đơn giản hoá

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.



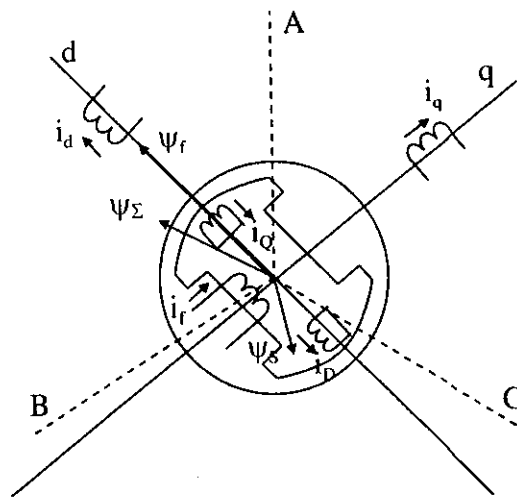
Hình 4.1

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 hỗ 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).



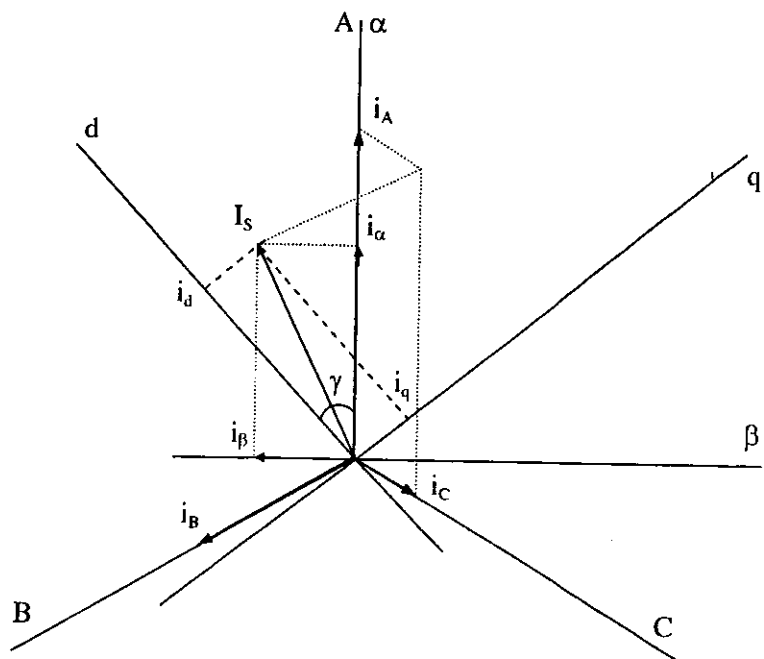
Hình 4.2

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:

$$i_A = i_d \cos \gamma + i_q \sin \gamma + i_0$$

$$i_B = i_d \cos(\gamma - 120^\circ) + i_q \sin(\gamma - 120^\circ) + i_0$$

$$i_C = i_d \cos(\gamma + 120^\circ) + i_q \sin(\gamma + 120^\circ) + i_0$$

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 :

$$i_A = I_m \cos(\omega t + \alpha_0)$$

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

$$i_C = I_m \cos(\omega t + \alpha_0 + 120^\circ)$$

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

$$i_d = \frac{2}{3} [I_m \cos(\omega t + \alpha_0) \cos \gamma + I_m \cos(\omega t + \alpha_0 - 120^\circ) \cos(\gamma - 120^\circ) + I_m \cos(\omega t + \alpha_0 + 120^\circ) \cos(\gamma + 120^\circ)]$$

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

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

$$I_d = I_m \cos(\gamma_0 - \alpha_0)$$

$$I_q = I_m \sin(\gamma_0 - \alpha_0)$$

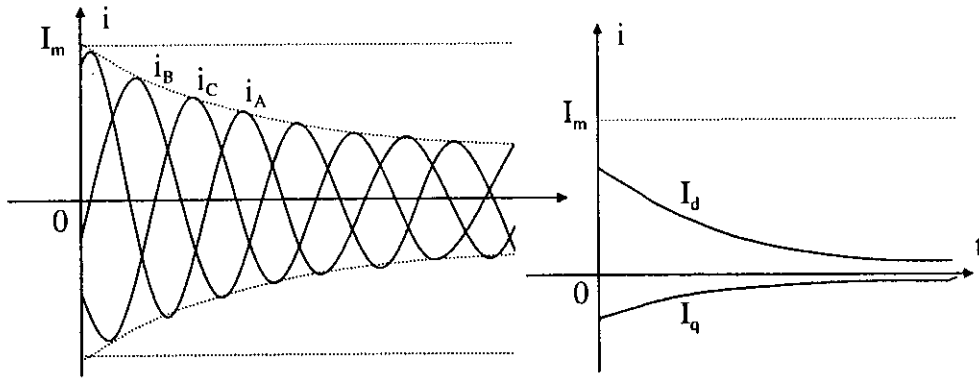
Nếu coi $I = \sqrt{I_d^2 + I_q^2}$ ta nhận được $I = I_m$.

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 trục 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 :

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

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

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

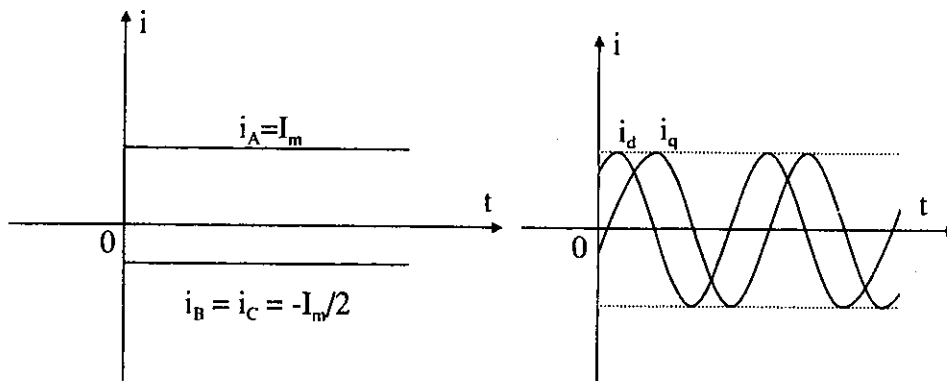
thì sau khi biến đổi (giả thiết $\gamma_0 = 0$):

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

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

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 TỌA 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 cản. Trong chế độ quá độ từ thông cuộn cản 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 cản 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 sđd 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 sđd của máy phát trong chế độ xác lập

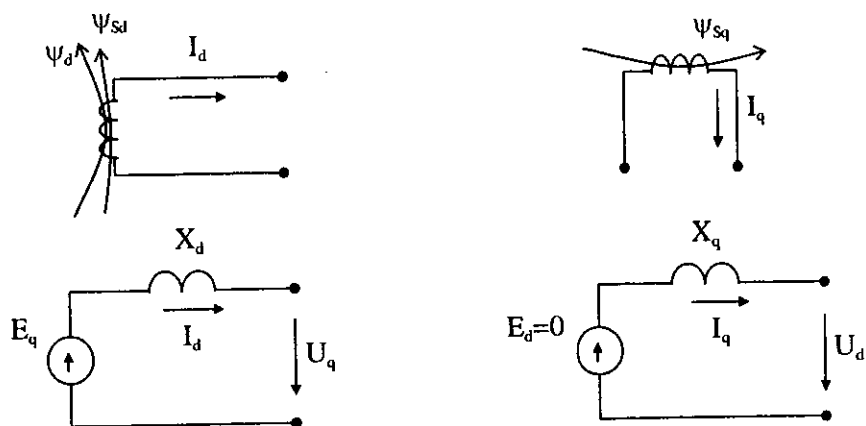
Ta xét trong chế độ xác lập, khi mà các cuộn cản không có dòng điện, từ thông tổng hợp móc vòng qua các cuộn dây phần ứng bao gồm :

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

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 sđd. 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 sdd đồng bộ ngang trục). Ở chế độ xác lập không có thành phần sdd 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.

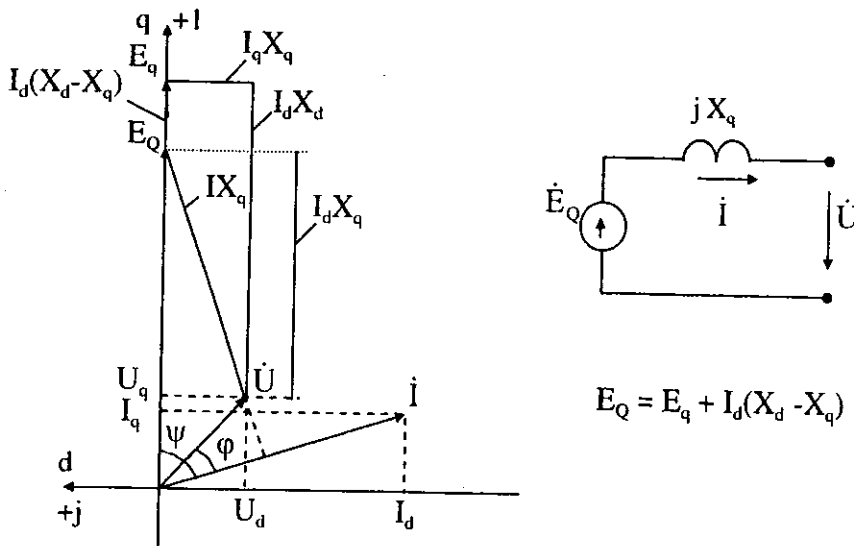
Cũng cần nhắc lại rằng, với máy phát điện cực lõi không thể mô tả quan hệ giữa các đại lượng tổng hợp đơn giản như trên. Khi $X_d \neq X_q$ thì (4-2) và (4-3) không tương đương. Để có thể mô tả được máy phát theo mô hình mạch và phức số người ta sử dụng một ký hiệu sdd $E_Q = E_q + I_d(X_d - X_q)$ gọi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



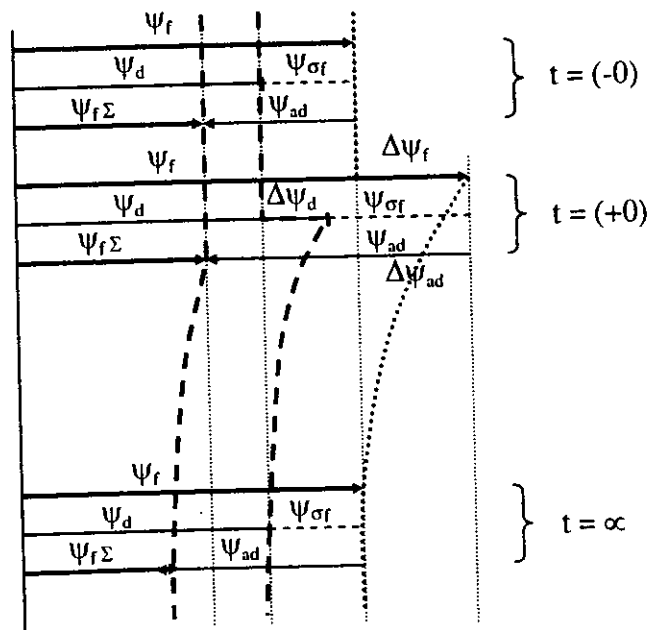
Hình 4.6

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_{ad} 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_f . 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 $\psi_{\sigma f}$ 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.

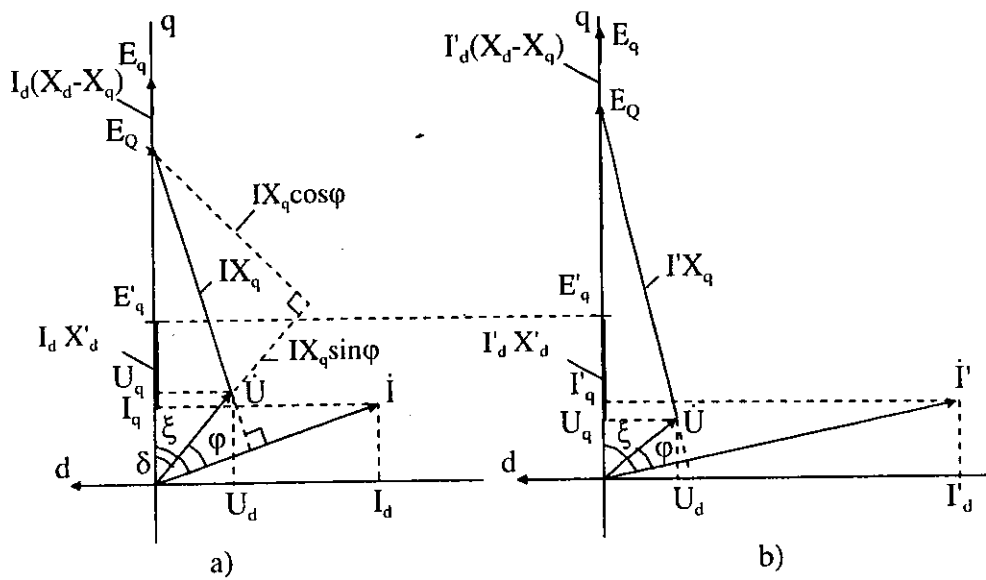
Chú ý là $X_d = X_\sigma + X_{ad}$, ta còn có biểu thức điện kháng quá độ dọc trục:

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

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 cân) 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 sđđ 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''_d 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 (CDXL).

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.

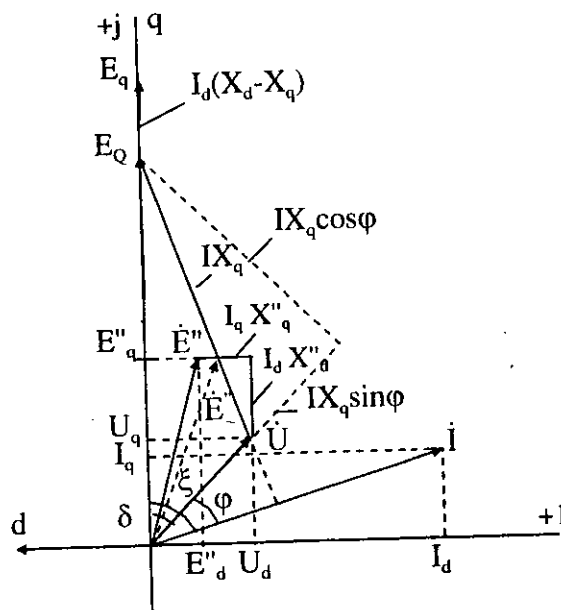
Trong trường hợp máy phát điện cực ẩn ta có $X''_d = X''_q$. Lúc đó mút của véc tơ E'' nằm trên đường thẳng vuông góc với véc tơ dòng điện I , với :

$$\dot{E}'' = \dot{U} + jI X''_d \quad (4-11)$$

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

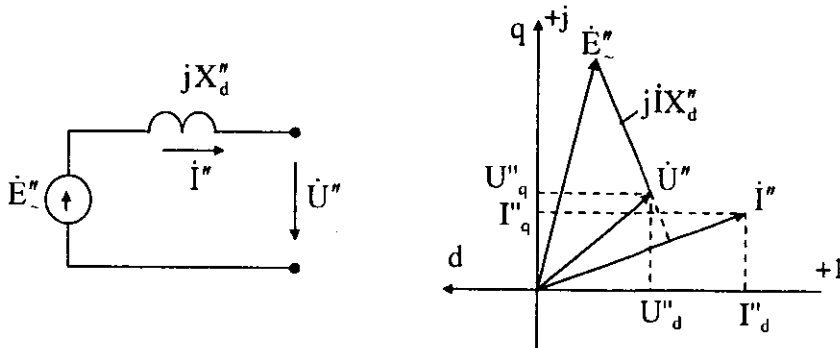
Đối với máy phát điện cực lồi thì $X''_d \neq X''_q$. Tuy nhiên sự sai khác cũng không lớn. Hơn nữa $X''_d < X''_q$ nên người ta thường coi gần đúng $X''_q = X''_d$ (lấy nhỏ đi).

Khi đó ta cũng xác định được :

$$E''_d = \sqrt{(U \cos \varphi)^2 + (U \sin \varphi + I X''_d)^2}$$

Véc tơ E''_d 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 phản ứng (gây ra từ thông ngược chiều với các trục d,q) biểu diễn phức của các đại lượng sẽ như sau:

$$\dot{E}'' = E''_d + j E''_q$$

$$\dot{U}'' = U''_d + j U''_q$$

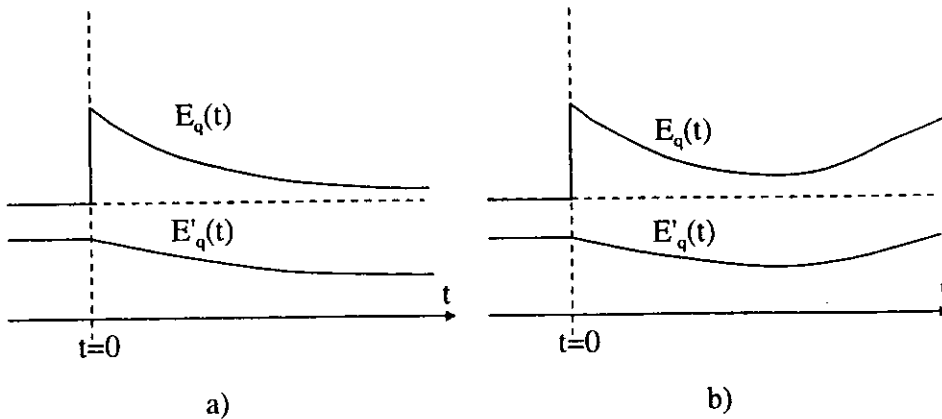
$$\dot{I}'' = I''_d + j I''_q$$

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 phân ứng (ngược chiều với ψ_d). Từ thông móc vòng tổng ψ_{Σ} 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 phản ứng vẫn lớn (phản ứng phân ứng khử từ lớn). Kết quả là ở cuối quá trình quá độ từ thông tổng ψ_{Σ} 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 TDK tác động, dòng kích từ cường 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 phần 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 CDXL 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 :

$$X_d = X_{ad} + X_\sigma \quad (2 \text{ mạch song song})$$

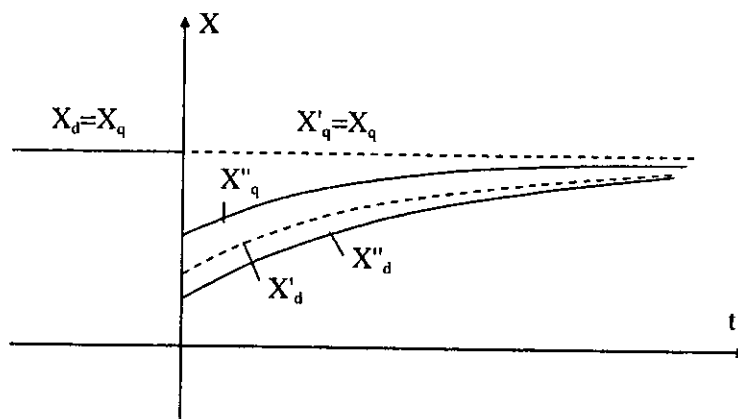
Ở chế độ quá độ dòng I'_d (chạy cũng trong cuộn dọc trục) sinh ra từ thông:

$$\psi'_{sd} = I'_d X'_d \quad (\text{ký hiệu trong chế độ quá độ})$$

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 cảm 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.

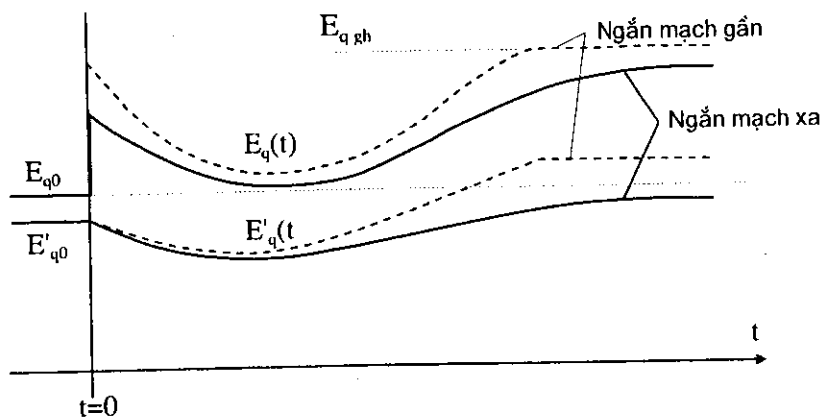
Đối với điện kháng phía ngang trục, khi không có cuộn cảm ngang trục, $X'_q = X_q = \text{const}$ vì mạch từ không có cuộn dây nào khép kín. Khi có cuộn cảm ngang trục, từ trở mạch từ quá độ cũng tăng lên do cuộn cảm khép kín đẩy từ thông ngang trục ra ngoài không khí, nên $X''_q < X_q$. Tuy nhiên do phía ngang trục chỉ có duy nhất cuộn cảm, 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 cảm các điện kháng quá độ biến thiên theo đường chấm chấm.

3. Ảnh hưởng của vị trí ngắn mạch

Sự biến thiên của sđđ 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 sđđ. 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 đồng 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 phân 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 số 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 số 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 (sđđ 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	Sđđ 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	$E'_q \neq 0$ $E'_d = 0$	$X'_d < X'_q = X_q$ $X_d \neq X_q$

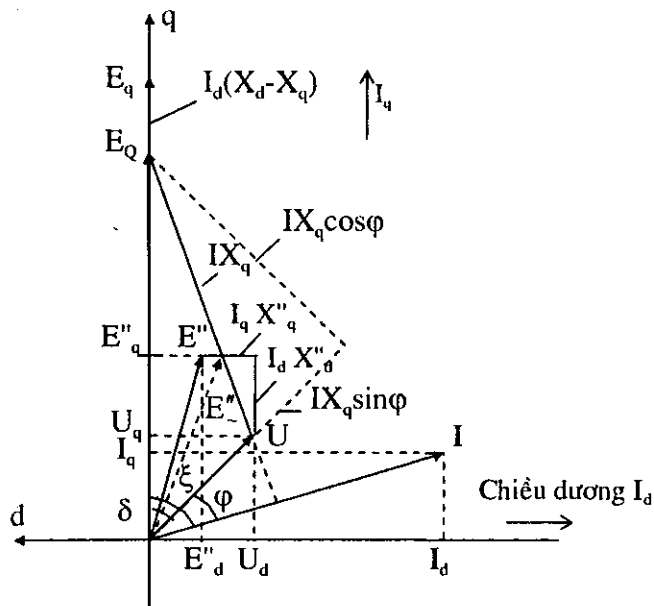
Về phương diện phương pháp tính, có thể chia ra 2 trường hợp: tính gần đúng theo dòng điện tổng hợp và tính chính xác theo dòng điện thành phần (dọc trục và ngang trục). Lựa chọn trường hợp nào trong ứng dụng là tùy thuộc yêu cầu về độ chính xác và điều kiện thực hiện tính toán. Nói chung, với các loại 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 hoạ 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 :

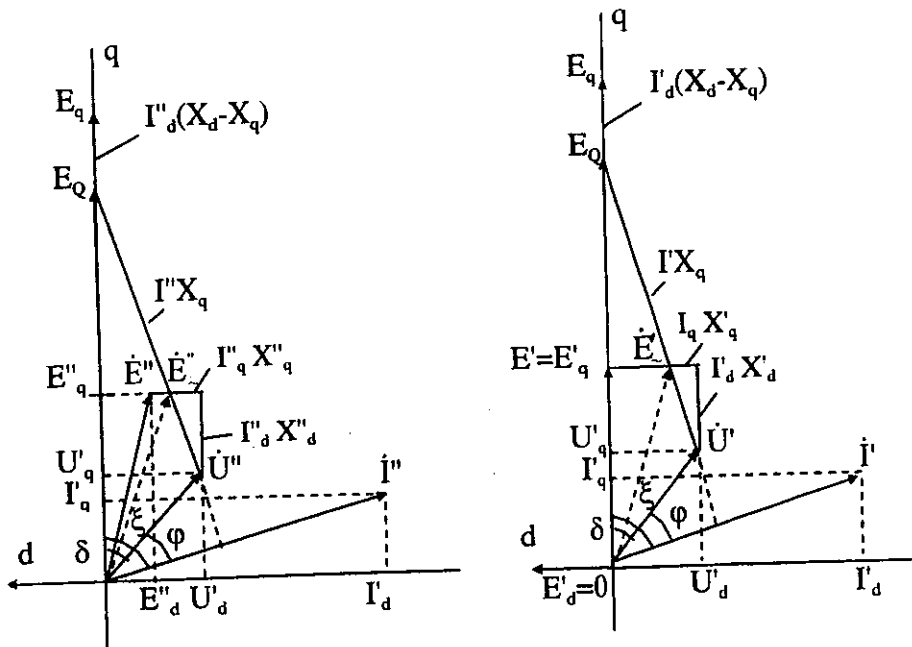
$$I_d' = \frac{E_q'}{X_d' + X_{ng}} ; \quad I_q' = 0 \quad (5-5)$$

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' cũng như giữa E_q'' và E_q' 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 sđđ 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 :

$$\begin{aligned} E_{-}'' &= \sqrt{(U \cos \varphi)^2 + (U \sin \varphi + IX_d'')^2} \\ E_{-}' &= \sqrt{(U \cos \varphi)^2 + (U \sin \varphi + IX_d')^2} \end{aligned} \quad (5-6)$$

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 sđđ 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 sđđ 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:

$$\begin{aligned} E_{-}'' &= \sqrt{(\cos \varphi)^2 + (\sin \varphi + X_d'')^2} \\ E_{-}' &= \sqrt{(\cos \varphi)^2 + (\sin \varphi + X_d')^2} \end{aligned} \quad (5-6,a)$$

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 cản, sơ đồ bao gồm sđđ siêu quá độ $E_{-}'' = E_{-}'' \angle \psi_E$ 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 ngay điểm ngắn mạch cần thay thế bằng sđd siêu quá độ E''_d và điện kháng siêu quá độ X''_d (của bản thân động cơ).

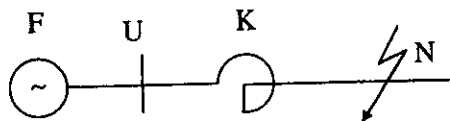
- Phụ tải tổng hợp ở xa điểm ngắn mạch có thể xét đến như đối với ngắn mạch duy trì (thay bằng tổng trở cố định).

- 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 $X''_d = 0,2$; $X'_d = 0,35$; $X_d = 1,00$; $X_q = 0,65$ 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 :

$$\begin{aligned} X_K &= \frac{X_K\%}{100} \cdot \frac{U_{dm}}{I_{dm}} \cdot \frac{I_{cb}}{U_{cb}} \\ &= \frac{6}{100} \cdot \frac{1,65}{0,185} = 0,53 \end{aligned}$$

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 :

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \xi &= \frac{U \sin \varphi + IX_q}{U \cos \varphi} \\ &= \frac{1,0,53 + 1,0,65}{1,0,85} = 1,39 \end{aligned}$$

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 sđd :

$$U_q = U \cos \delta = 1 \cdot \cos 22,3^\circ = 0,93$$

$$U_d = U \sin \delta = 1 \cdot \sin 22,3^\circ = 0,38$$

$$I_q = I \cos \xi = 1 \cdot \cos 54,3^\circ = 0,58$$

$$I_d = I \sin \xi = 1 \cdot \sin 54,3^\circ = 0,81$$

$$E_q'' = U_q + I_d X_d'' = 0,93 + 0,81 \cdot 0,2 = 1,09$$

$$E_d'' = U_d - I_q X_q'' = 0,38 - 0,58 \cdot 0,35 = 0,18$$

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):

$$I_{*N}''(0) = \frac{E_{dt}}{X_{*\Sigma}} = \frac{1}{X_{*\Sigma}} \quad (\text{trong hệ đơn vị tương đối})$$

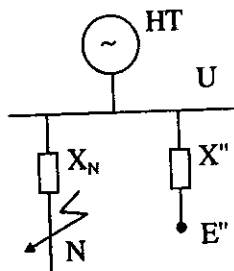
hay :
$$I_N'' = \frac{I_{cb}}{X_{*\Sigma}} \quad (\text{khi dùng hệ đơn vị có tên})$$

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

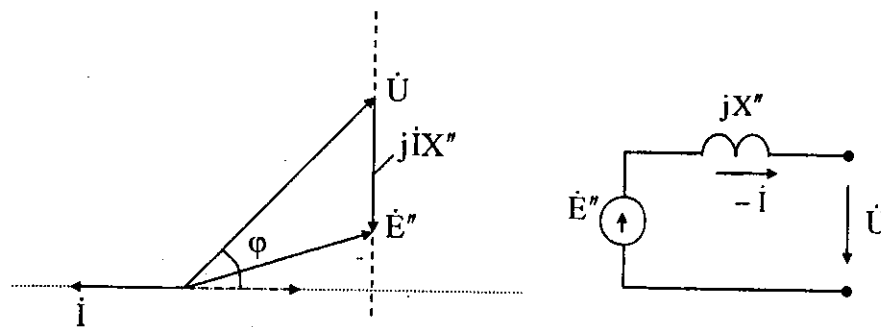
dây quấn kích thích mà chỉ có các dây quấn cản. Dây quấn ro to của động cơ không đồng bộ thường là loại lồng sóc đối xứng theo các trục nên chỉ cần xác định một trị số điện kháng $X'' = X''_d = X''_q$. Thực chất X'' của động cơ không đồng bộ chính là điện kháng ngắn mạch, do đó trị số tương đối của nó 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 sđd :

$$E'' = \sqrt{(U \cos \varphi)^2 + (U \sin \varphi - IX'')^2} \quad (5-8)$$

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.

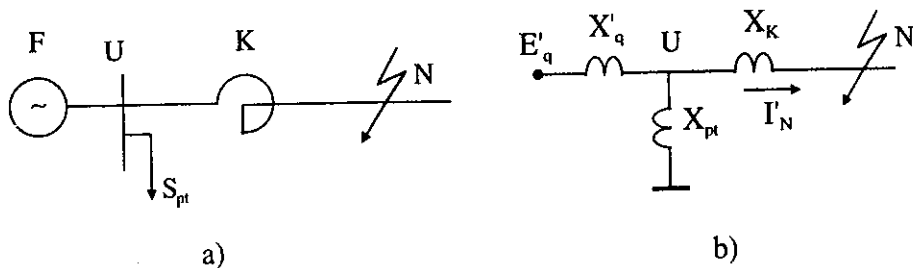
c. Phụ tải tổng hợp

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 : $S_{dm} = 30 \text{ MVA}$; $U_{dm} = 6,3 \text{ kV}$; $X'_d = 0,21$; $X'_q = X_q = 1,72$; kháng điện đầu đường dây : $U_{dm} = 6,3 \text{ kV}$ $I_{dm} = 330 \text{ A}$; $X_c\% = 6\%$. 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 thuần 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 :

$$\begin{aligned} \text{tg} \xi &= \frac{U \sin \varphi + IX_q}{U \cos \varphi} \\ &= \frac{1,0,6 + 1,1,72}{1,0,8} = 2,9 \end{aligned}$$

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 cảm 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).

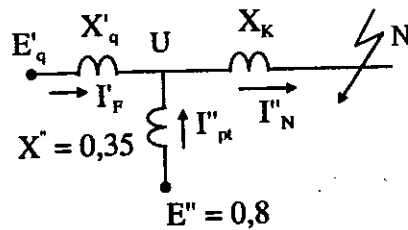
Ta hãy so sánh kết quả với trường hợp bỏ qua ảnh hưởng phụ tải (nghĩa là coi phụ tải không cung cấp dòng điện ngắn mạch đến điểm ngắn mạch, cũng không tiêu thụ dòng điện nào). Khi đó :

$$I''_{NF} = I'_N = \frac{E'_q}{X'_d + X_K} = \frac{1,03}{0,21 + 0,5} = 1,45$$

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 ngắt mạch sẽ cung cấp dòng điện như máy phát, xa điểm ngắt 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'' hoặc E') 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'' , X''_d .
- Máy phát điện không cuộn cảm E'_g , X'_d .
- Các động cơ điện đồng bộ ở gần điểm ngắn mạch : E'' , 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.

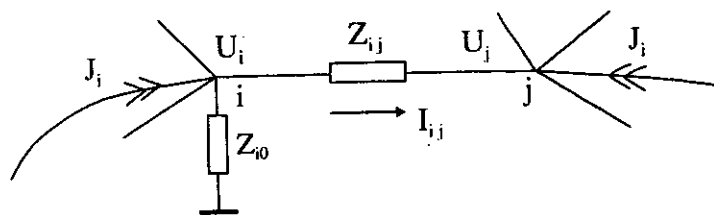
Nói chung có thể bỏ qua phụ tải tổng hợp, sai số mắc phải không lớn. Nếu biết rõ phụ tải ở xa điểm ngắn mạch và chứa chủ yếu các thiết bị dùng điện thụ động, có thể thay thế phụ tải bằng tổng trở thuần kháng, nghĩa là coi $E'' = 0$, $X'' = X_\infty = 1,2$. Các phần tử khác thuộc lưới điện được mô tả 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 Kirchoff 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 :

$$\begin{aligned} Y'_{11} \dot{U}_1 + Y'_{12} \dot{U}_2 + \dots + Y'_{1N-1} \dot{U}_{N-1} &= J_1 \\ Y'_{21} \dot{U}_1 + Y'_{22} \dot{U}_2 + \dots + Y'_{2N-1} \dot{U}_{N-1} &= J_2 \\ &\dots \\ Y'_{F1} \dot{U}_1 + Y'_{F2} \dot{U}_2 + \dots + Y'_{FN-1} \dot{U}_{N-1} &= J_F \\ Y'_{F+11} \dot{U}_1 + Y'_{F+12} \dot{U}_2 + \dots + Y'_{F+1N-1} \dot{U}_{N-1} &= 0 \\ &\dots \\ Y'_{N-11} \dot{U}_1 + Y'_{N-12} \dot{U}_2 + \dots + Y'_{N-1N-1} \dot{U}_{N-1} &= 0 \end{aligned} \quad (5-10)$$

Các nguồn dòng J_1, \dots, J_F không bị thay đổi vì vế 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 (vế phải bằng 0). Kết quả nhận được hệ phương trình tối giản chỉ bao gồm F phương trình của các nút nguồn :

$$\begin{aligned} Y''_{11} \dot{E}_1 + Y''_{12} \dot{E}_2 + \dots + Y''_{1F} \dot{E}_F &= J_1 \\ Y''_{21} \dot{E}_1 + Y''_{22} \dot{E}_2 + \dots + Y''_{2F} \dot{E}_F &= J_2 \\ &\dots \\ Y''_{F1} \dot{E}_1 + Y''_{F2} \dot{E}_2 + \dots + Y''_{FF} \dot{E}_F &= J_F \end{aligned} \quad (5-11)$$

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) :

$$Y_{11}^{(F+1)}\dot{U}_1 + Y_{12}^{(F+1)}\dot{U}_2 + \dots + Y_{1F}^{(F+1)}\dot{U}_F + Y_{1F+1}^{(F+1)}\dot{U}_{F+1} = \dot{J}_1$$

$$Y_{21}^{(F+1)}\dot{U}_1 + Y_{22}^{(F+1)}\dot{U}_2 + \dots + Y_{2F}^{(F+1)}\dot{U}_F + Y_{2F+1}^{(F+1)}\dot{U}_{F+1} = \dot{J}_2$$

.....

$$Y_{F1}^{(F+1)}\dot{U}_1 + Y_{F2}^{(F+1)}\dot{U}_2 + \dots + Y_{FF}^{(F+1)}\dot{U}_F + Y_{FF+1}^{(F+1)}\dot{U}_{F+1} = \dot{J}_F$$

$$Y_{F+11}^{(F+1)}\dot{U}_1 + Y_{F+12}^{(F+1)}\dot{U}_2 + \dots + Y_{F+1F}^{(F+1)}\dot{U}_F + Y_{F+1F+1}^{(F+1)}\dot{U}_{F+1} = 0$$

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 :

$$\dot{I}_{ij} = \frac{\dot{U}_i - \dot{U}_j}{Z_{ij}}$$

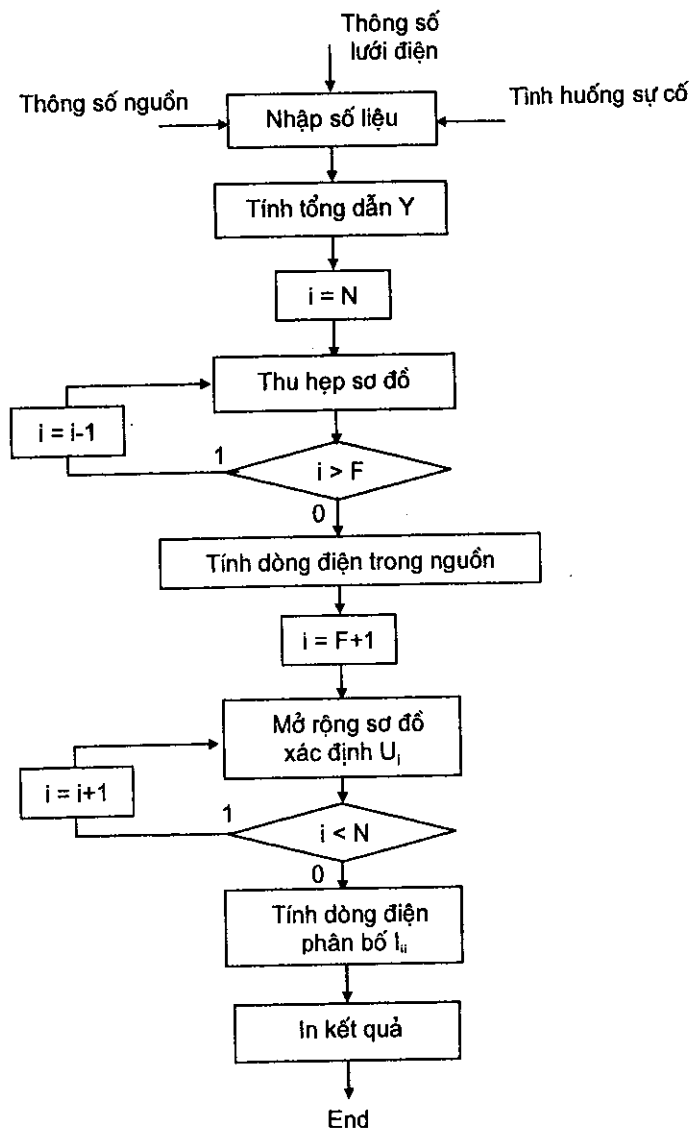
Có thể mô tả sơ đồ khối các bước thực hiện tính toán trong chương trình xác định ngắn mạch như trên hình 5-10.

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

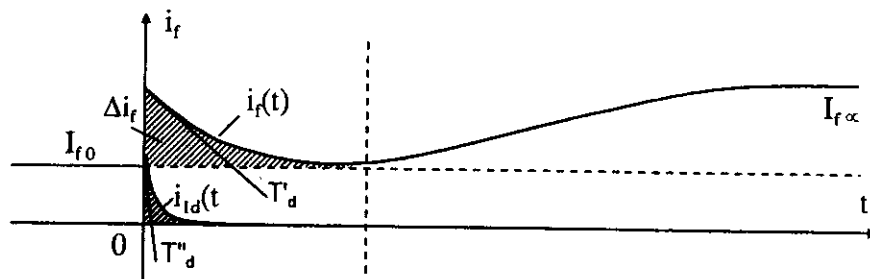
1. Tính dòng điện ngắn mạch quá độ ở giai đoạn đầu theo các hằng số thời gian tắt dần

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 sdd của máy phát thay đổi trong quá trình quá độ.

- Ở giai đoạn đầu sự thay đổi của sdd 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 sdd của máy phát lại bị biến thiên do TĐK (làm tăng dòng điện kích từ). Thường thì bộ phận kích thích cường độ 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 sdd) được tạo ra với ảnh hưởng của 3 thành phần dòng điện trên roto I_{f0} , $\Delta i_f(t)$ và $i_{1d}(t)$ vì chúng tham gia tạo nên từ thông tổng (hình vẽ).

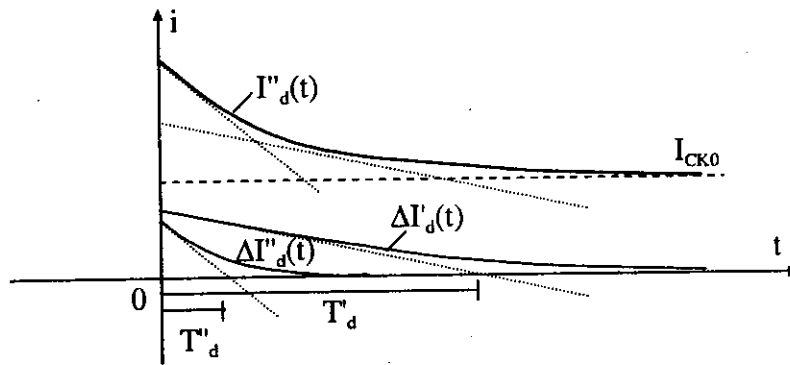
Xét mạch điện đơn giản gồm một máy phát nối đến điểm ngắn mạch qua điện kháng ngoài X ta có thể tính gần đúng:

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

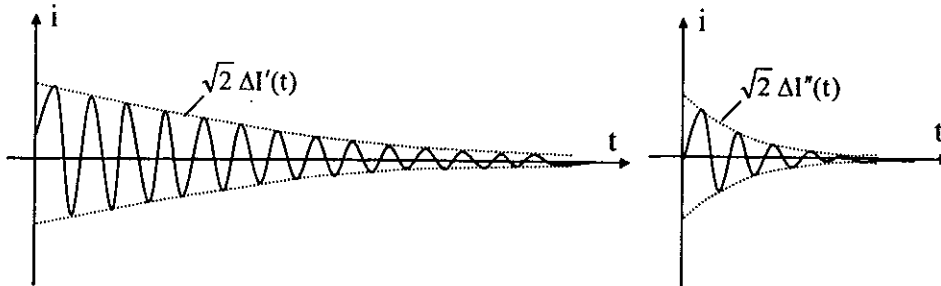
Sự biến thiên của dòng điện kích từ ở giai đoạn sau phụ thuộc hoàn toàn vào quá trình quá độ trong hệ thống kích thích và hằng số thời gian của cuộn dây roto. Quy luật biến thiên phức tạp, nói chung tác động làm tăng dòng điện kích từ theo thời gian. Khi bộ phận kích thích cường hành tác động dòng kích 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 phần 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 điện 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:

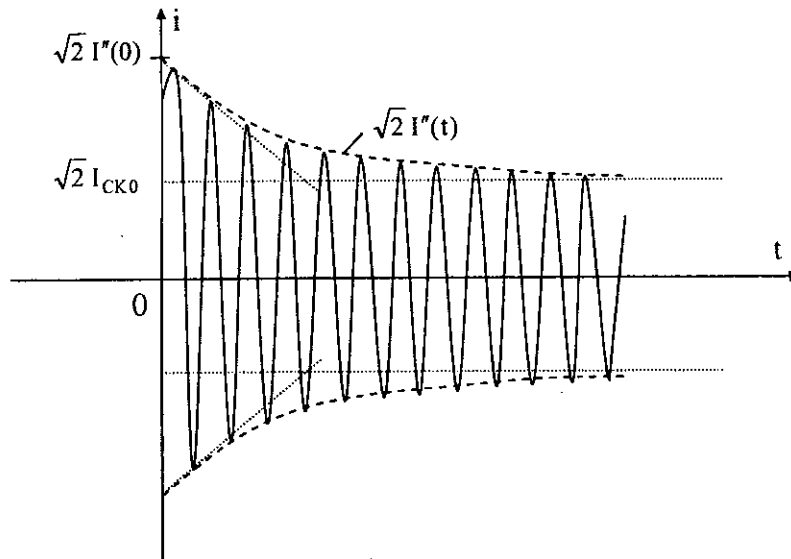
$$T_a = \frac{X_2}{R_s},$$

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 :

$$i_a(t) = \sqrt{2}I''(0)e^{-\frac{t}{T_d}}$$

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 :

$$I_N(t) = \sqrt{[I''(t)]^2 + [i_a(t)]^2}$$

$$= \sqrt{\left[(I''(0) - I'(0))e^{-\frac{t}{T_d}} + (I'(0) - I_{CK0})e^{-\frac{t}{T_d}} + I_{CK0} \right]^2 + 2 \left[I''(0)e^{-\frac{t}{T_d}} \right]^2}$$

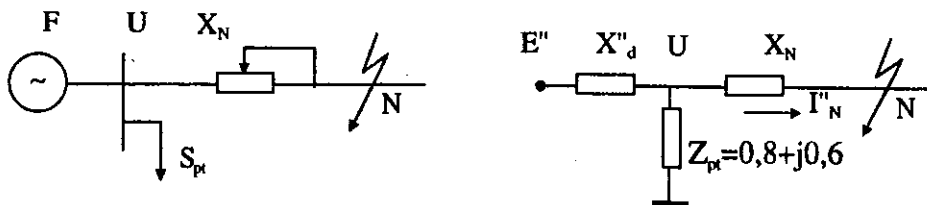
Khi ngắn mạch ở rất xa ta có : $I''(0) = I'(0) = I_{CK0}$, khi đó :

$$I_N(t) = \sqrt{[I''(0)]^2 + 2 \left[I''(0)e^{-\frac{t}{T_d}} \right]^2}$$

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).

Giải 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 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).

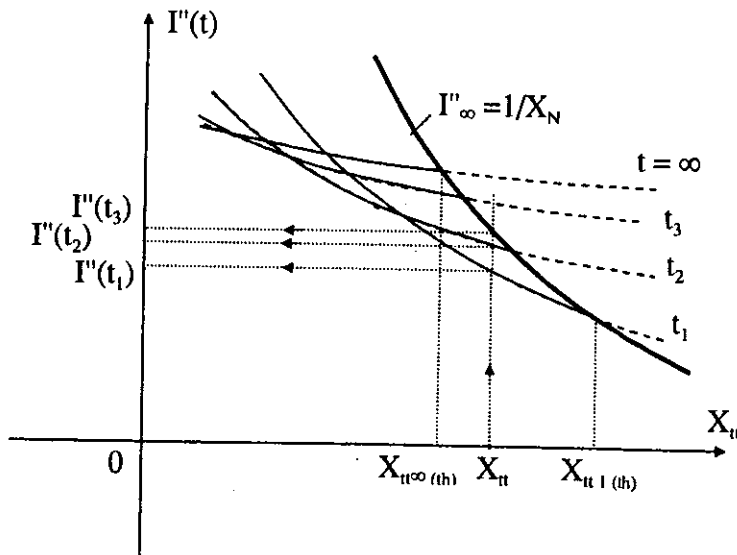
2. Khi X_{it} tăng lên thì sự khác nhau giữa các kiểu máy rất ít (do X''_a chỉ chiếm tỷ lệ nhỏ trong X_{it}), vì vậy khi $X_{it} > 1$ đường cong tính toán của các kiểu máy gần giống nhau.

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_{it} tới hạn. Trường hợp riêng khi $t = \infty$ thì:

$$X_{u \infty (th)} = X'_d + X_{th}$$

Trong đó X_{th} - điện kháng tối 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 $X_{th} = X_{th1 (th)}$ (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 $X_{th} = X_d'' + X_N$ 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 vốn 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 dạng 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 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 $X_{tt} > 3$ có thể tính trị số dòng điện ngắn mạch có tên theo 2 cách:

$$I''(t)_{KA} = \frac{I_{dm\Sigma}}{X_{tt}} = \frac{I_{cb}}{X_{\Sigma*(cb)}} .$$

Nếu cần tìm trị số hiệu dụng của dòng điện ngắn mạch toàn phần tại thời điểm t ta áp dụng công thức:

$$I_N(t) = \sqrt{I''(t)^2 + i_a(t)^2} ,$$

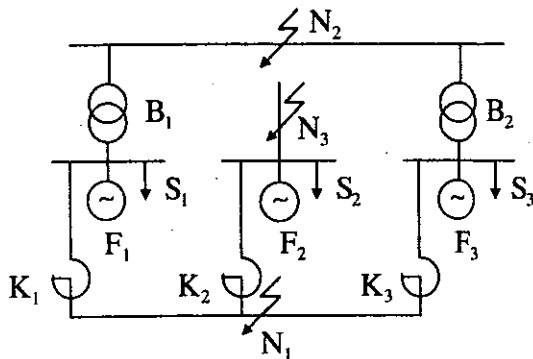
Trong đó tính thành phần tự do : $i_a(t) = \sqrt{2} I''(0) e^{-t/\tau}$.

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 :

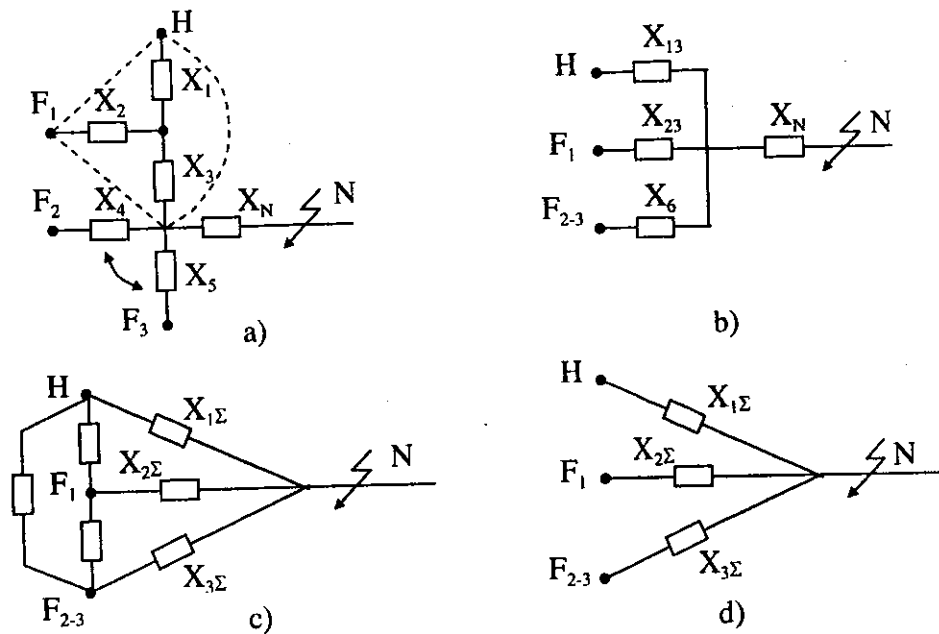
$$X_{H1} = X_{1\Sigma}^*(cb) \cdot \frac{S_{dm\Sigma 1}}{S_{cb}}$$

$$X_{H2} = X_{2\Sigma}^*(cb) \cdot \frac{S_{dm\Sigma 2}}{S_{cb}}$$

...

$$X_{Hn} = X_{n\Sigma}^*(cb) \cdot \frac{S_{dm\Sigma n}}{S_{cb}}$$

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 :

$I''_{N(t)kA} = I''_{u1}(t) I_{dm\Sigma 1} + I''_{u2}(t) I_{dm\Sigma 2} + \dots + I''_{un}(t) I_{dm\Sigma n}$.
 Trong đó các dòng điện cơ bản riêng :

$$I_{dm\Sigma i} = \frac{S_{dm\Sigma i}}{\sqrt{3} U_{tbi}}$$

Điện áp U_{tb} 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 :

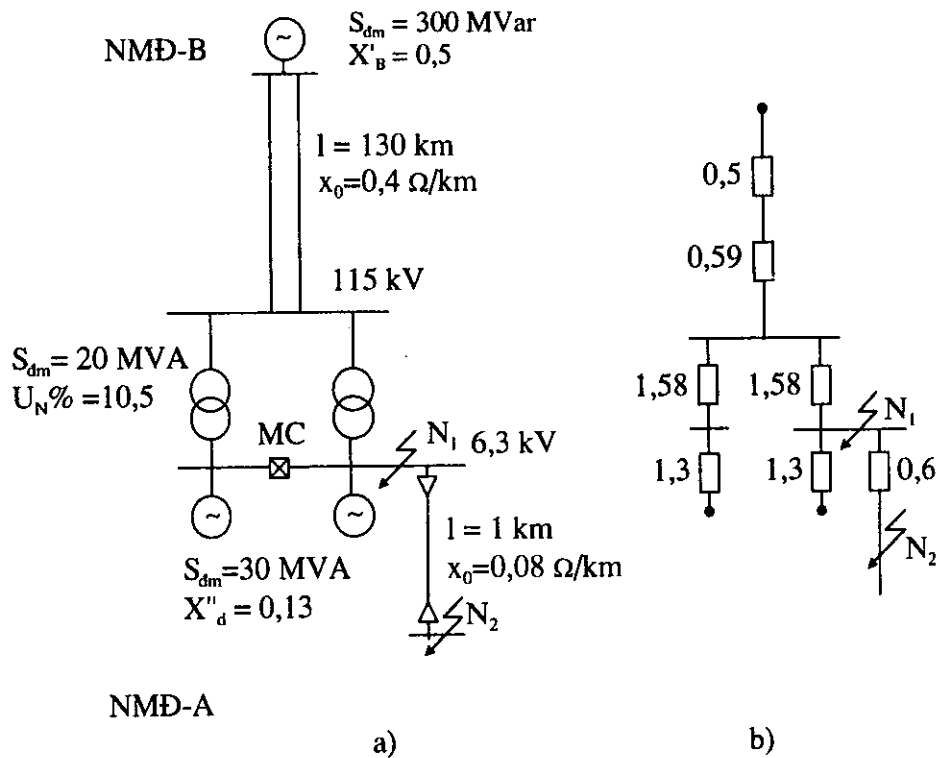
$$b = 1 + \frac{X''_n - X''_d}{1,2}$$

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 $X''_n = X''_d$) 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 $S_{cb} = 300$ MVA, $U_{cb} = U_{tb}$ 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 $t = 0,2 \text{ s}$ 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:

$$I_{dm\Sigma 1} = \frac{S_{dm\Sigma 1}}{\sqrt{3}U_{tb}} = \frac{330}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 30,25 \text{ kA}$$

$$I_{dm\Sigma 2} = \frac{S_{dm\Sigma 2}}{\sqrt{3}U_{tb}} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 2,75 \text{ kA}$$

Điện áp U_{tb} 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 :

$$I_N(0,2) = I_u(0,2)I_{dm\Sigma} = 0,88 (30,25 + 2,75) = 29 \text{ kA}$$

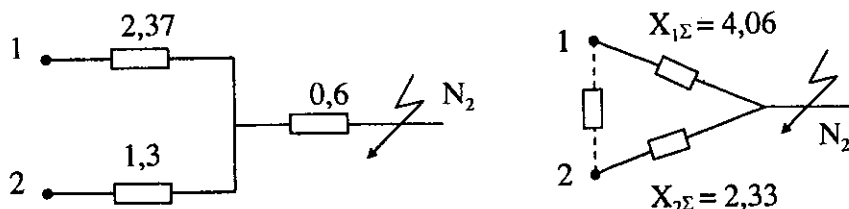
$$I_N(\infty) = I_u(\infty)I_{dm\Sigma} = 1,12 (30,25 + 2,75) = 37 \text{ kA .}$$

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 :

$$X_{1n} = 4,06 \cdot \frac{330}{300} = 4,47$$

$$X_{2n} = 2,23 \cdot \frac{30}{300} = 0,22$$

Vì $X_{1n} > 3$ ta không tra theo đường cong tính toán.

Nhánh máy phát F_2 tính theo đường cong (với $X_{2n} = 0,22$) sẽ nhận được:

$$I_{n2}(0,2) = 3,2 \quad ; \quad I_{n2}(\infty) = 2,5 \quad .$$

Dòng điện ngắn mạch tổng tại điểm ngắn mạch tính trong đơn vị có tên :

$$\begin{aligned} I_N(0,2) &= I_{n1}(0,2) I_{dm\Sigma 1} + I_{n2}(0,2) I_{dm\Sigma 2} \\ &= \frac{1}{4,47} \cdot 30,25 + 3,2 \cdot 2,75 = 15,5 \text{ kA} \end{aligned}$$

$$I_N(\infty) = \frac{1}{4,47} \cdot 30,25 + 3,5 \cdot 2,75 = 13,6 \text{ kA}$$

Ta cũng so sánh kết quả với trường hợp nhập chúng làm một biến đổi :

$$X_n = (X_{1\Sigma} // X_{2\Sigma}) \frac{S_{dm\Sigma}}{S_{cb}} = 1,44 \cdot \frac{360}{300} = 1,73 \quad ;$$

Tra đường cong tính toán sẽ có : $I_n(0,2) = 0,53$; $I_n(\infty) = 0,62$.

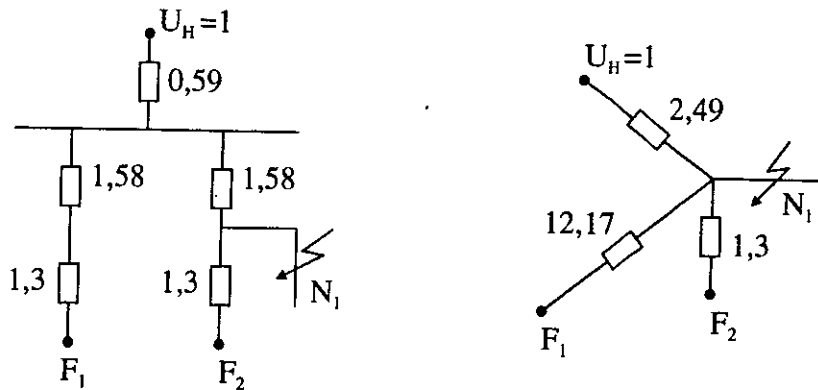
$$I_N(0,2) = I_n(0,2)I_{dm\Sigma} = 0,53(30,25 + 2,75) = 17,5 \text{ kA}$$

$$I_N(\infty) = I_n(\infty)I_{dm\Sigma} = 0,62(30,25 + 2,75) = 20,4 \text{ kA.}$$

Sai số cũng rất lớn nên cần dùng hai biến đổi là đúng.

Ví dụ 5.2 Vấn 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 :

$$I_{cb} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3}U_{tb}} = \frac{300}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 27,5 \text{ kA}$$

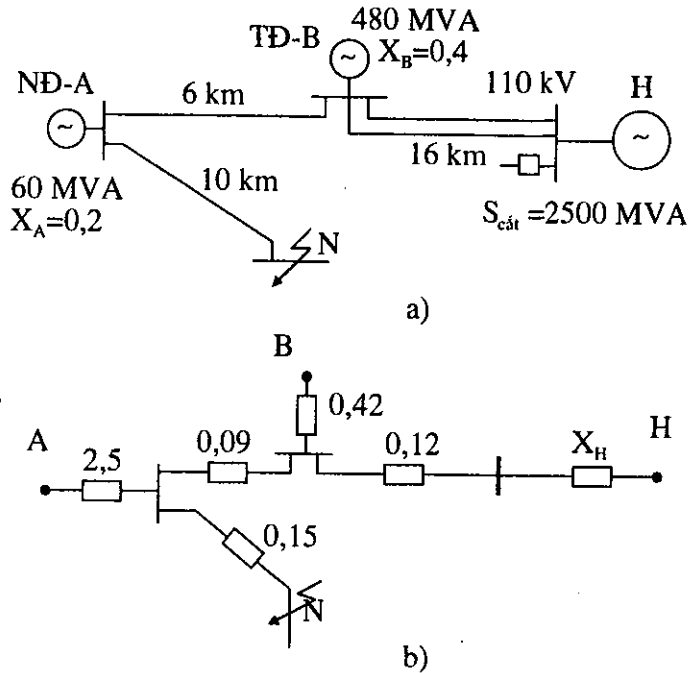
$$I_{dm\Sigma 1} = I_{dm\Sigma 2} = \frac{S_{dm\Sigma 1}}{\sqrt{3}U_{tb}} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 2,75 \text{ kA}$$

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 :

$$X_{\Sigma} = [(X_1 + X_5) // X_2] + X_6 \\ = [(2,5 + 0,09) // 0,42] + 0,12 = 0,48 .$$

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

$$\begin{aligned} S_N(0,5) &= I_N(0,5) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{tb} \\ &= 5,77 \times \sqrt{3} \times 115 = 1149 \text{ MVA} \end{aligned}$$