

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC ĐIỆN LỰC**

**MÔN HỌC**

**NGẮN MẠCH TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN**

## **NỘI DUNG CHI TIẾT**

*Chương 1: Khái niệm chung về ngắn mạch và dòng điện ngắn mạch trong hệ thống điện*

*Chương 2: Thiết lập sơ đồ tính toán ngắn mạch hệ thống điện*

*Chương 3: Tính toán ngắn mạch ba pha duy trì*

*Chương 4: Quá trình quá độ điện từ và các thông số của máy phát điện khi ngắn mạch ba pha*

*Chương 5: Tính toán dòng điện ngắn mạch quá độ*

*Chương 6: Ngắn mạch không đối xứng*

*Ôn tập*

# *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

### a. Ngắn mạch và chạm đất một pha:

- Ngắn mạch: hiện tượng các dây dẫn pha chạm chập nhau hoặc chạm chập dây trung tính. Khi xảy ra ngắn mạch thì tổng trở của hệ thống giảm xuống, dòng điện chạy trong hệ thống tăng cao gọi là dòng ngắn mạch.
- Ngắn mạch một pha (chạm đất) trong mạng có trung tính nối đất trực tiếp là hiện tượng chạm đất của một pha xuống đất và dòng ngắn mạch chạy qua điểm trung tính là khá lớn.

- Chạm đất một pha trong mạng điện có trung tính không nối đất hay nối đất qua cuộn dây dập hồ quang là hiện tượng mà tại nơi chạm đất dòng điện chạy qua rất bé và chạy qua các điện dung ký sinh trở về điểm chạm đất, thường rất bé nên không thể được xem là dòng ngắn mạch

- Tổng trở ngắn mạch là tổng trở trung gian tại chỗ ngắn mạch, trị số của nó phụ thuộc vào độ tiếp xúc, mức độ phát hồ quang, chất liệu ... Trường hợp nguy hiểm nhất là ngắn mạch qua tổng trở bằng 0 gọi là ngắn mạch trực tiếp

### b. Các dạng ngắn mạch:

- Ngắn mạch ba pha đối xứng (ký hiệu  $N^{(3)}$ , 3PH): được định nghĩa là ngắn mạch xảy ra đồng thời ở cả 03 pha, tuy không thường xuyên xảy ra nhưng đây là loại sự cố nặng nề nhất

- Các dạng ngắn mạch không đối xứng là trường hợp dòng ngắn mạch không cân bằng giữa các pha
- + Ngắn mạch chạm đất 01 pha (ký hiệu  $N^{(1)}$ , 1LG)
- + Ngắn mạch 02 pha không chạm đất (ký hiệu  $N^{(2)}$ , L-L)
- + Ngắn mạch 02 pha chạm đất (ký hiệu  $N^{(1,1)}$  2LG)

### c. Nguyên nhân và hậu quả:

- Nguyên nhân: nguyên nhân chung và chủ yếu của ngắn mạch là do cách điện bị hư hỏng, mà tác nhân gây hư hỏng cách điện có thể là: bị già cỗi do thời gian làm việc quá lâu, chịu tác động về mặt cơ khí (như đào đất, thả điều, xe cộ va quệt ...), hay do các loài vật (chim chóc, rắn, thú vật ...) hoặc do gió bão, sấm sét. hoặc ngắn mạch xảy ra có thể do thao tác đóng cắt nhầm

- Hậu quả:

- Phát nóng cục bộ rất nhanh gây cháy nổ, già cỗi cách điện
- Sinh ra lực cơ khí lớn làm hư hỏng các thiết bị xung quanh
- Gây sụt áp lưới ảnh hưởng đến sản xuất
- Gây mất ổn định hệ thống ảnh hưởng đến an ninh mạng
- Tạo các phần tử gây nhiễu từ các dòng điện bất đối xứng ảnh hưởng đến chất lượng điện năng.
- Làm gián đoạn cung cấp điện cho các hộ tiêu thụ ...

**d. Mục đích của việc tính toán ngắn mạch:**

- Lựa chọn các trang thiết bị phù hợp
- Tính toán hiệu chỉnh các phần tử bảo vệ cho hệ thống

- Lựa chọn các sơ đồ hệ thống thích hợp cho vận hành
- Lựa chọn các thiết bị hạn chế dòng điện ngắn mạch.
- Nghiên cứu các hiện tượng quá độ điện từ trong hệ thống
- Nghiên cứu ổn định hệ thống

## 1.2. Dòng điện ngắn mạch, độ lớn và sự biến thiên theo thời gian:

### 1. Ngắn mạch với nguồn áp không đổi (ngắn mạch xa nguồn):

a. Quá trình quá độ khi ngắn mạch 03 pha mạng điện đơn giản, xét mạch điện đơn giản, với các nguồn áp có dạng sau:

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

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

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

- Vì nguồn là 03 pha đối xứng nên có thể tách riêng thành từng pha để nghiên cứu. Xét mạch tương ứng với pha A:

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

Phương trình cân bằng áp ở chế độ quá độ:

$$u = Ri + L \frac{di}{dt} \Rightarrow i(t) = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_N) + C.e^{-\frac{R}{L}t} = i_{CK}(t) + i_a(t)$$

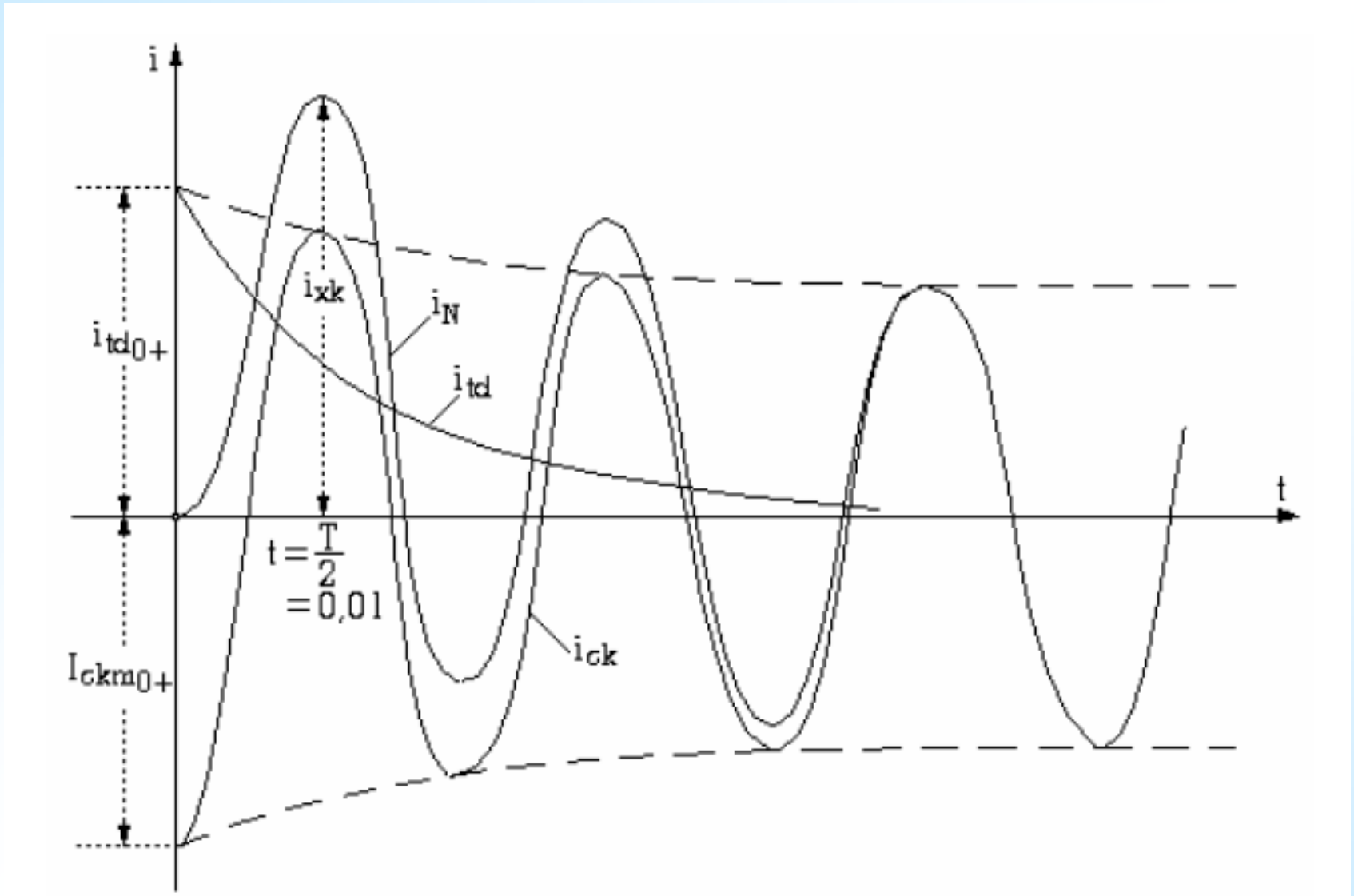
Trong đó:

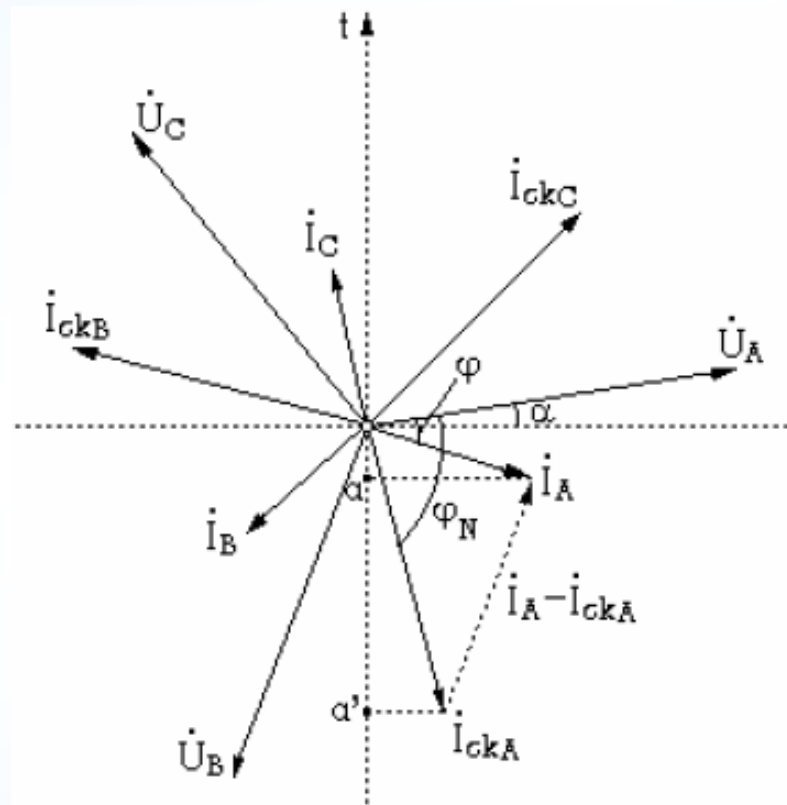
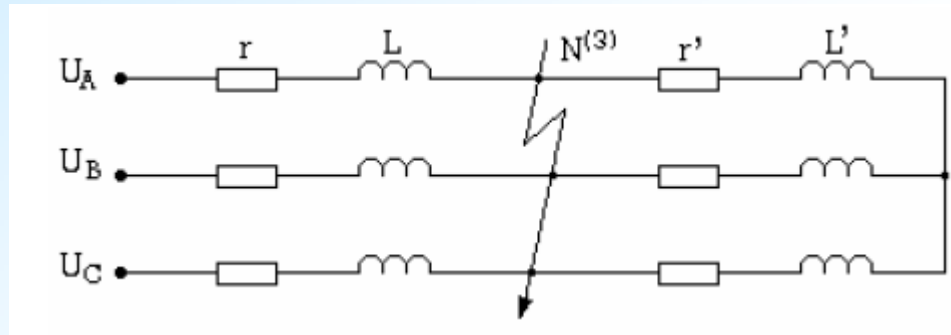
$i_{CK}(t) = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_N) = I_{CKm} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_N)$  là thành phần chu kỳ

$i_a(t) = C.e^{-\frac{R}{L}t} = i_{a0}.e^{-\frac{1}{Ta}t}$  là thành phần tự do

( $Ta = L/R$  - đặc trưng cho tốc độ suy giảm của thành phần tự do)







- **Nhận xét:**

- ✓ Có thể tính toán dòng điện ngắn mạch theo hai thành phần: thành phần chu kỳ (xoay chiều) và thành phần tự do (một chiều)

- ✓ Thành phần dòng điện chu kỳ hoàn toàn có thể xác định được 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, trạng thái mạch trước khi sự cố, tính chất phụ tải và thời điểm xảy ra ngắn mạch ... Thành phần tự do xuất hiện mang tính ngẫu nhiên nhưng có thể biết được dạng biến thiên là hàm mũ với hằng số thời gian  $T_a = L/R$

- ✓ Về phương diện phương pháp tính thì việc xác định thành phần chu kỳ có ý nghĩa quan trọng hơn

## b. Dòng điện ngắn mạch xung kích:

- Luôn luôn tồn tại một giá trị cực đại đối với trị số tức thời của dòng điện ngắn mạch gọi là trị số xung kích của dòng ngắn mạch hay còn gọi là dòng điện ngắn mạch xung kích.
- Dòng ngắn mạch xung kích cũng xuất hiện gắn liền với sự tồn tại của thành phần dòng điện tự do, thành phần tự do đạt trị số cực đại thì dòng ngắn mạch xung kích cũng sẽ có giá trị cực đại.
- Trị số của dòng xung kích  $i_{xk}$  ứng với trường hợp thành phần tự do xuất hiện lớn nhất, với  $i_{a0} = i_{amax} = i_{CKm}$  (ngắn mạch lúc không tải) và  $t = 0,01s$ :

$$i_{xk} = i_{CK} (0,01) + i_{a0} \cdot e^{-\frac{0,01}{Ta}} = I_{CKm} + I_{CKm} \cdot e^{-\frac{0,01}{Ta}} = I_{CKm} \left( 1 + e^{-\frac{0,01}{Ta}} \right)$$

- Người ta đặt hệ số:  $k_{xk} = 1 + e^{-\frac{0,01}{Ta}}$ , gọi là hệ số xung kích
- Tùy theo giá trị của  $Ta$ , hệ số xung kích nằm trong phạm vi:

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

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

### c. Trị số hiệu dụng của dòng điện ngắn mạch toàn phần:

- Trị số hiệu dụng tại một thời điểm  $t$  nào đó được định nghĩa:

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

với: T là chu kỳ thời gian của dòng điện xoay chiều

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

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

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

$$\begin{aligned} I_{at} &= i_a(t) = i_{a0} \cdot e^{-\frac{1}{Ta}} = I_{CKm} \cdot e^{-\frac{1}{Ta}} \\ &= i_a(0,01) = i_{xk} - i_{CKm} = (k_{xk} - 1)I_{CKm} \\ &= (k_{xk} - 1)\sqrt{2} \cdot I_{CK} \end{aligned}$$

Thay vào ta có:

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

Do  $1 \leq k_{xk} \leq 2$  ta có:

$$1 \leq \frac{I_{xk}}{I_{CK}} \leq \sqrt{3} \text{ đó chính là phạm vi thay đổi của trị số hiệu dụng cực đại dòng điện ngắn mạch toàn phần}$$

#### d. Công suất ngắn mạch:

- Công suất ngắn mạch được định nghĩa là:

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

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 ý nghĩa sau:

- Khi tính cho dòng điện ngắn mạch qua máy cắt ta sẽ nhận được công suất lớn nhất sinh ra giữa 02 cực tiếp điểm của máy cắt. Do đó máy cắt cần phải được chế tạo sao:  $S_{\text{cắt}} \geq S_{Nt}$

- Khi tính cho dòng điện ngắn mạch tổng, trị số công suất được sẽ là công suất tổng hệ thống cung cấp đến điểm ngắn mạch

$$S_{Nt} = \sqrt{3}U_{tb} \cdot I_{Nt} = \frac{U_{tb}^2}{Z_{HT}}$$

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



## *Chương 2: Thiết lập sơ đồ tính toán ngắn mạch hệ thống điện*

### 2.1. Những giả thiết cơ bản:

- Tần số hệ thống không thay đổi: giả thuyết này không gây sai số nhiều và làm giảm đáng kể các phép tính, ví dụ như lúc đó các điện kháng sẽ bằng hằng số.
- Bỏ qua bão hoà từ: để đơn giản coi mạch từ không bão hoà, khi đó điện cảm của phần tử được xem là hằng số và mạch điện là tuyến tính.
- Thay phụ tải bằng tổng trở hằng: sai số mắc phải nằm trong phạm vi cho phép khi coi phụ tải là hằng số.

- Bỏ qua các đại lượng nhỏ của một vài thông số của một số phần tử: trong một số các bài toán tính ngắn mạch không đòi hỏi tính chính xác cao ta có thể bỏ qua các đại lượng:
  - Bỏ qua dung dẫn ký sinh của các đường dây điện thấp áp
  - Bỏ qua mạch không tải của các MBT
  - Bỏ qua điện trở của cuộn dây máy phát, MBT và điện trở đường dây ...
- Sức điện động ba pha của nguồn là đối xứng: thực tế sự bất đối xứng của các sức điện động là không đáng kể.

## 2.2. Hệ đơn vị tương đối:

### 1. Trị số tương đối:

- Sử dụng hệ đơn vị tương đối trong nhiều trường hợp làm đơn giản hoá rất nhiều các phép tính và ít gây nhầm lẫn hơn so với các hệ đơn vị khác.
- 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 đại lượng cơ bản đã được chọn trước trong cùng hệ đơn vị.
- Trong hệ thống điện có các đại lượng cơ bản như điện áp (U), sức điện động (E), dòng điện (I), công suất (S), tổng trở (Z), do đó ta có các đại lượng trong đơn vị tương đối tương ứng:

$$U_{*(cb)} = \frac{U}{U_{cb}} \quad E_{*(cb)} = \frac{E}{U_{cb}} \quad I_{*(cb)} = \frac{I}{I_{cb}} \quad S_{*(cb)} = \frac{S}{S_{cb}} \quad Z_{*(cb)} = \frac{Z}{Z_{cb}}$$

Trong đó:

- $U_{cb}, E_{cb}, I_{cb}, S_{cb}, Z_{cb}$  là các đại lượng cơ bản được chọn trước,
  - $U, E, I, S, Z$  là các đại lượng trong hệ đơn vị có tên cần chuyển sang hệ đơn vị tương đối.
  - $U_{*(cb)}, E_{*(cb)}, I_{*(cb)}, S_{*(cb)}, Z_{*(cb)}$  là các đại lượng trong hệ đơn vị tương đối
- Tùy theo yêu cầu bài toán ta có thể chọn các đại lượng cơ bản phù hợp, thông thường chọn  $S_{cb}$  và  $U_{cb}$  là có thể tính được các đại lượng khác trong hệ đơn vị tương đối:

$$I_{*(cb)} = I \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_{cb}}{S_{cb}} \quad X_{*(cb)} = X \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2} \quad R_{*(cb)} = R \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2} \quad Z_{*(cb)} = Z \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2}$$

- Sau khi thực hiện các phép tính trong hệ đơn vị tương đối, ta có thể thực hiện việc chuyển đổi ngược lại sang hệ đơn vị có tên như sau:

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

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

## 2. Đổi hệ cơ bản:

- Trong một số trường hợp trị số tương được cho theo nhiều hệ cơ bản khác nhau, do đó trước khi tính toán cần qui đổi về cùng một hệ cơ bản đã chọn theo công thức sau:

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

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

$$Z_{*(cb)} = Z_{*(dm)} \cdot \left( \frac{U_{dm}}{U_{cb}} \right)^2 \cdot \frac{S_{cb}}{S_{dm}} \quad X''_{*(cb)} = X''_d \cdot \left( \frac{U_{dm}}{U_{cb}} \right)^2 \cdot \frac{S_{cb}}{S_{dm}}$$

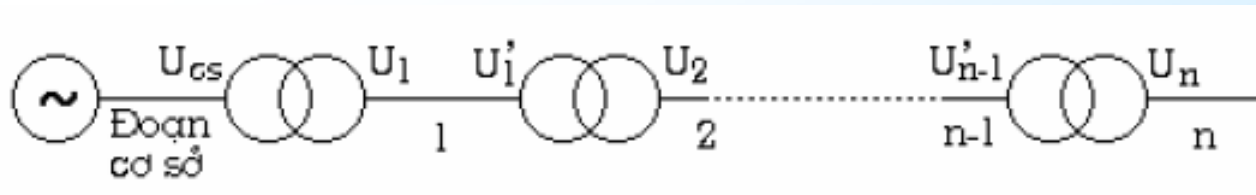
- Vì giá trị  $S_{dm}$  và  $U_{dm}$  của các thiết bị khác nhau là khác nhau nên việc chuyển về hệ đơn vị cơ bản chung luôn luôn cần thiết

- Khi biểu diễn trong hệ đơn vị tương đối thì điện áp dây và điện áp pha có trị số bằng nhau

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

- Khi tính toán mạch điện có MBA, để thiết lập được sơ đồ tính toán trong hệ đơn vị tương đối cần qui đổi các thông số mạch điện về cùng một cấp điện áp chọn trước gọi là cấp điện áp cơ sở.

- Công thức biến đổi:
- $$U^0 = k_1.k_2...k_n U$$
- $$E^0 = k_1.k_2...k_n E$$
- $$I^0 = \frac{1}{k_1.k_2...k_n} I$$
- $$X^0 = (k_1.k_2...k_n)^2 X$$



Trong đó:

$U, I, X$  – là thông số của đoạn mạch đang xét

$U^0, I^0, X^0$  – là thông số sau khi đã qui đổi về cấp cơ sở

$k_i$  - tỉ số MBT tính theo một hướng từ điện áp cơ sở đến cấp điện áp tiếp theo

$$k_1 = \frac{U_0}{U_1} \quad ; \quad k_2 = \frac{U'_1}{U_1} \quad ; \quad \dots \quad ; \quad k_n = \frac{U'_{n-1}}{U_n}$$

## 2.3. Sơ đồ thay thế và thông số tính toán của các phần tử trong hệ thống điện

### 1. Đường dây:



a. Đường dây trên không ( $U < 35KV$ ): mỗi đoạn dây có thể thay thế bằng một tổng trở  $Z$  (bỏ qua điện dung ký sinh của đường dây)

Trong hệ đơn vị có tên, tổng trở được xác định:

$$R = r_o \cdot l \quad (\Omega)$$

$$X = x_o \cdot l \quad (\Omega)$$

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

- Trong hệ đơn vị tương đối, tổng trở được xác định:

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

$U_{cb}$  - điện áp cơ bản bằng cấp điện áp của mạng có đường dây đang xét

b. Đường dây cáp và đường dây trên không ( $66\text{KV} < U < 330\text{KV}$ ):

- Trong hệ đơn vị có tên, tổng trở được xác định:

$$Z = (r_o + jx_o).l \quad (\Omega)$$

$$B = b_o.l = \omega.C_o.l \quad (\Omega)$$

- Trong hệ đơn vị tương đối, tổng trở được xác định:

$$Z_{*(cb)} = Z \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2} = (r_o + jx_o).l. \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2}$$

$$B_{*(cb)} = B \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2} = \omega.C_o.l. \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2}$$

### c. Đường dây siêu cao áp ( $U > 400\text{KV}$ ):

- Phương trình của mạng 02 dạng hỗn hợp tương đương của đường dây dài:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \sqrt{Z.Y} & \frac{Z}{Y} \sinh \sqrt{Z.Y} \\ \frac{Z}{Y} \sinh \sqrt{Z.Y} & \cosh \sqrt{Z.Y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix}$$

+ Mô hình theo sơ đồ hình  $\Pi$ :

$$Z_{\Pi} = Z \left( 1 + \frac{Y.Z}{6} \right)$$

$$Y_{\Pi} = \frac{Y}{\left( 1 + \frac{Y.Z}{6} \right)}$$

Trong đó:

$$Z = Z_0.l = (r_o + jx_o).l$$

$$Y = Y_0.l = (g_o + jb_o).l$$

## 2. Các máy biến áp:

### a. Máy biến áp 02 cuộn dây:

- Trong hệ đơn vị có tên, từ các thông số do nhà sản xuất cung cấp ta có thể xác định được các đại lượng trở, kháng của máy biến áp:

$$X_B = \frac{U_N \%}{100} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \quad (\Omega) \quad R_B = \Delta P_{Cu} \cdot \left( \frac{U_{dm}}{S_{dm}} \right)^2 \quad (\Omega) \quad X_0 = \frac{U_{dm}^2}{\Delta Q_{Fe}} \quad (\Omega)$$

$$Z_0 = \frac{100}{I_0 \%} \cdot \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}} \quad (\Omega) \quad R_0 = \sqrt{Z_0^2 - X_0^2} \quad (\Omega)$$

- Trong tính toán ngắn mạch, các thông số tổn hao ( $R_B, X_0, R_0$ ) thường được bỏ qua vì chúng không ảnh hưởng lớn đến dòng ngắn mạch. Khi đó sơ đồ tương đương chỉ còn lại điện kháng  $X_B$  và máy biến áp lý tưởng ( $k = \frac{U_C}{U_H}$ ).
- Chuyển sang hệ đơn vị tương đối, chọn điện áp cơ bản là phía bên cao của máy biến áp ta có:

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

### b. Máy biến áp 03 cuộn dây:

- Bỏ qua các tổn hao máy biến áp, ta có được sơ đồ thay thế có dạng đơn giản với các điện kháng:

$$X_C = \frac{U_N \%_C}{100} \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}}$$

$$X_T = \frac{U_N \%_T}{100} \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}}$$

$$X_H = \frac{U_N \%_H}{100} \frac{U_{dm}^2}{S_{dm}}$$

- Chuyển sang hệ đơn vị tương đối, chọn điện áp cơ bản là phía bên cao của máy biến áp ta có:

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

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

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

### 3. Kháng điện và tụ điện:

#### a. Kháng điện phân đoạn:

- Trong hệ đơn vị có tên:

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

- Trong hệ đơn vị tương đối:

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

## b. Kháng điện bù ngang:

- Trong hệ đơn vị có tên:

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

- Trong hệ đơn vị tương đối:

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

## c. Tự bù dọc:

- Trong hệ đơn vị tương đối:

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



#### 4. Phụ tải điện:

- Phụ tải được thay thế bằng một tổng trở cố định Z:

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

$$R = \frac{U^2}{S^2} \cdot P = \frac{U^2}{S} \cdot \cos \varphi \quad (\Omega)$$

$$X = \frac{U^2}{S^2} \cdot Q = \frac{U^2}{S} \cdot \sin \varphi \quad (\Omega)$$

- Trong hệ đơn vị tương đối:

$$R_{*(cb)} = P \cdot \frac{U^2}{S^2} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2}$$

$$X_{*(cb)} = Q \cdot \frac{U^2}{S^2} \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2}$$

## 5. Máy phát điện:

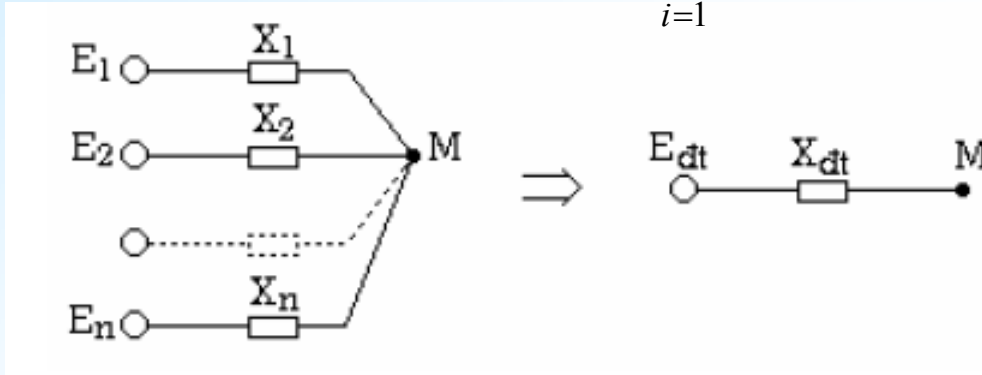
- Sơ đồ thay thế tương đương của máy phát có thể được biểu thị bằng một sức điện động  $E_F$  và một điện kháng  $X_F$ .
- Các giá trị này thường được cho trước và phép biến đổi sang hệ đơn vị tương đối giống như phần đã trình bày ở trên.

2.3. **Biến đổi đẳng trị sơ đồ:** Nhằm đơn giản hoá sơ đồ trong việc tính toán dòng ngắn mạch tổng hợp, chúng ta thường phải sử dụng các phép biến đổi sơ đồ dưới đây:

### 1. Ghép song song các nhánh có nguồn:

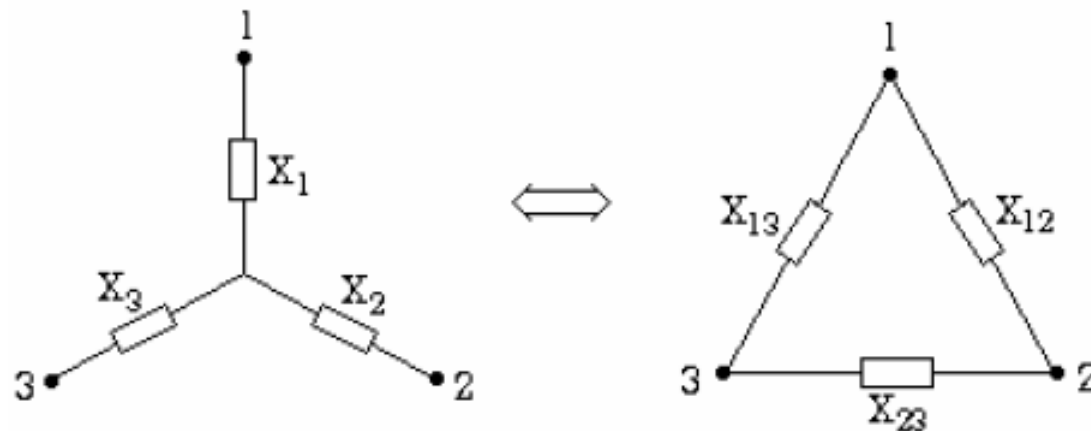
$$E_{dt} = \frac{E_1 \cdot Y_1 + E_2 \cdot Y_2 + \dots + E_n \cdot Y_n}{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n Y_i}$$

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



## 2. Biến đổi Sao – Tam giác:

### a. Biến đổi Sao thành Tam giác:

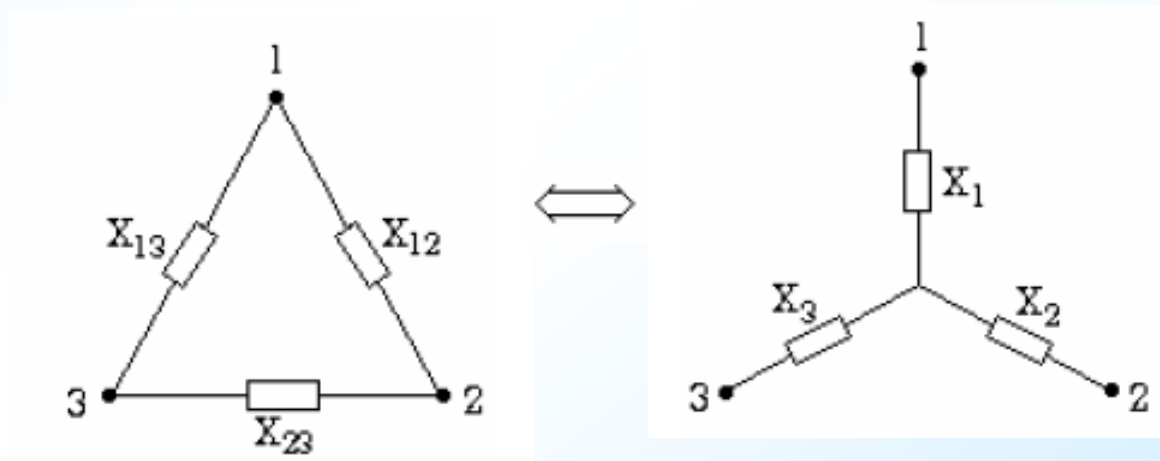


$$X_{12} = X_1 + X_2 + \frac{X_1 \cdot X_2}{X_3}$$

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

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

## b. Biến đổi Tam giác thành Sao:

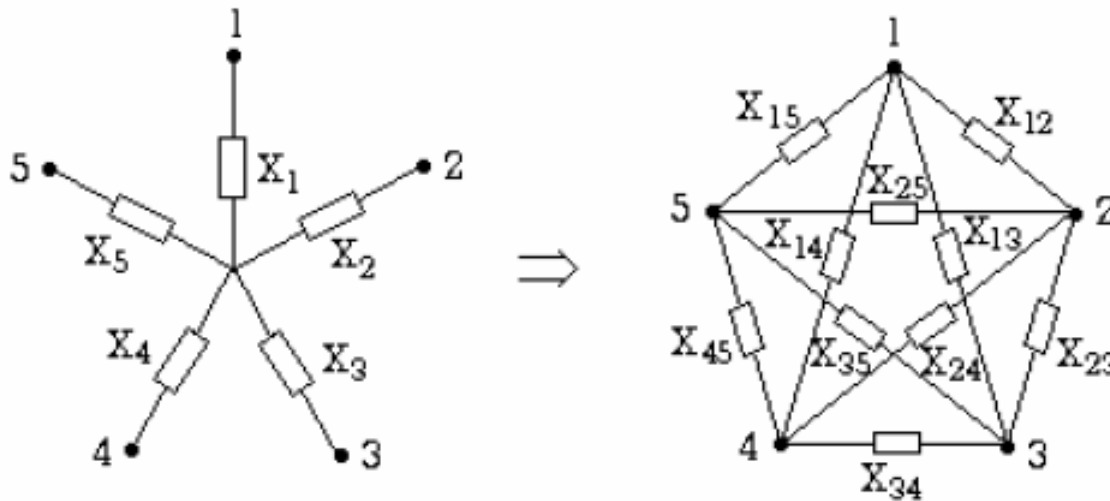


$$X_1 = \frac{X_{12} \cdot X_{13}}{X_{12} + X_{13} + X_{23}}$$

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

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

### c. Biến đổi Sao - lưới:

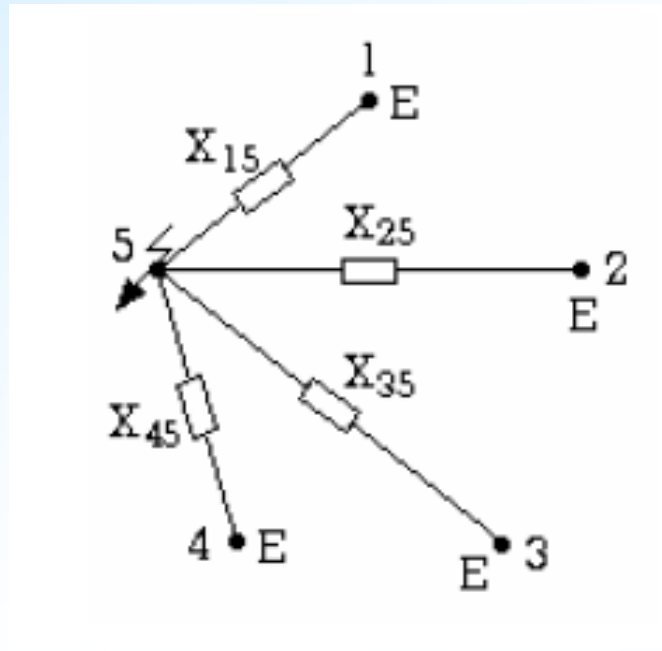


$$X_{mn} = X_m \cdot X_n \cdot \sum Y$$

trong đó:

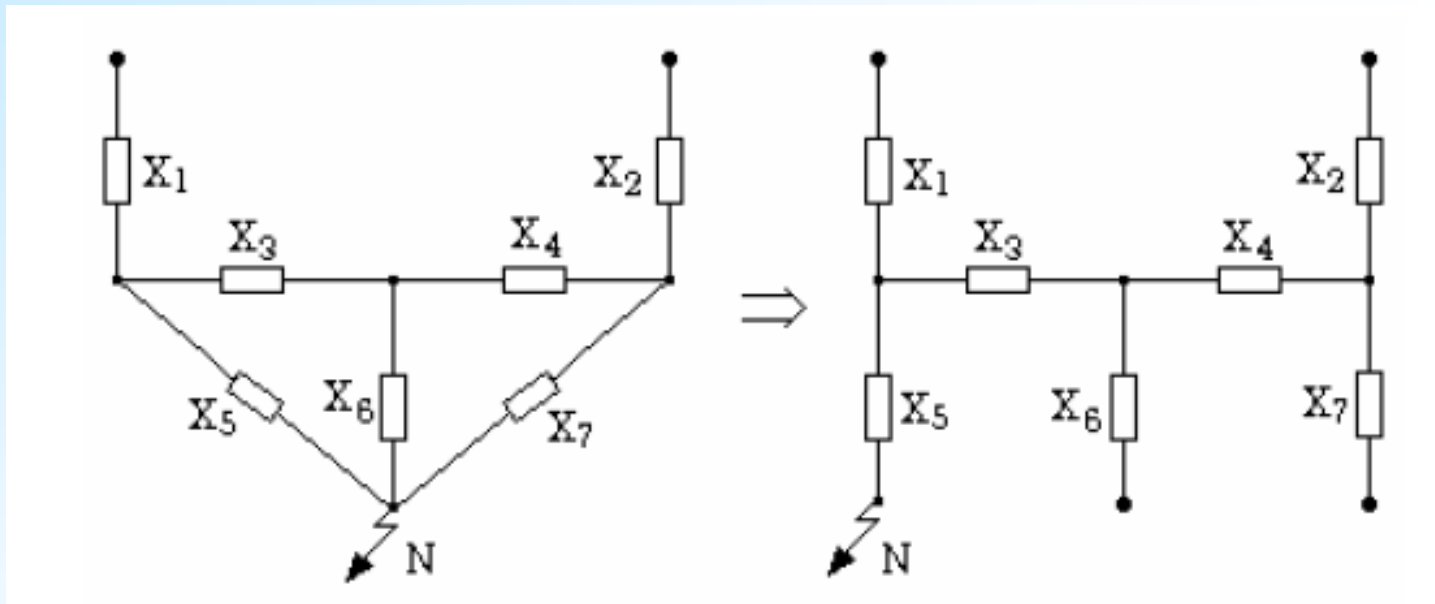
- $X_m$  ,  $X_n$  là điện kháng của nhánh thứ m và n trong hình sao.
- $\sum Y$  là tổng điện dẫn của tất cả các nhánh hình sao.

Phép biến đổi này sử dụng tiện lợi trong tính toán ngắn mạch khi có một nút là điểm ngắn mạch và tất cả các nút còn lại là các nút nguồn. Nếu các nguồn là đẳng thế thì điện kháng tương hỗ giữa các nguồn có thể bỏ qua, lúc đó sơ đồ sẽ trở nên rất đơn giản. Ví dụ, từ sơ đồ lưới ở hình dưới khi các nút 1, 2, 3, 4 có nguồn đẳng thế và nút 5 là điểm ngắn mạch



#### d. Tách riêng các nhánh tại điểm ngắn mạch:

Nếu ngắn mạch trực tiếp 3 pha tại điểm nút có nối một số nhánh (sơ đồ dưới), thì có thể tách riêng các nhánh này ra khi vẫn giữ ở đầu mỗi nhánh cũng ngắn mạch như vậy.

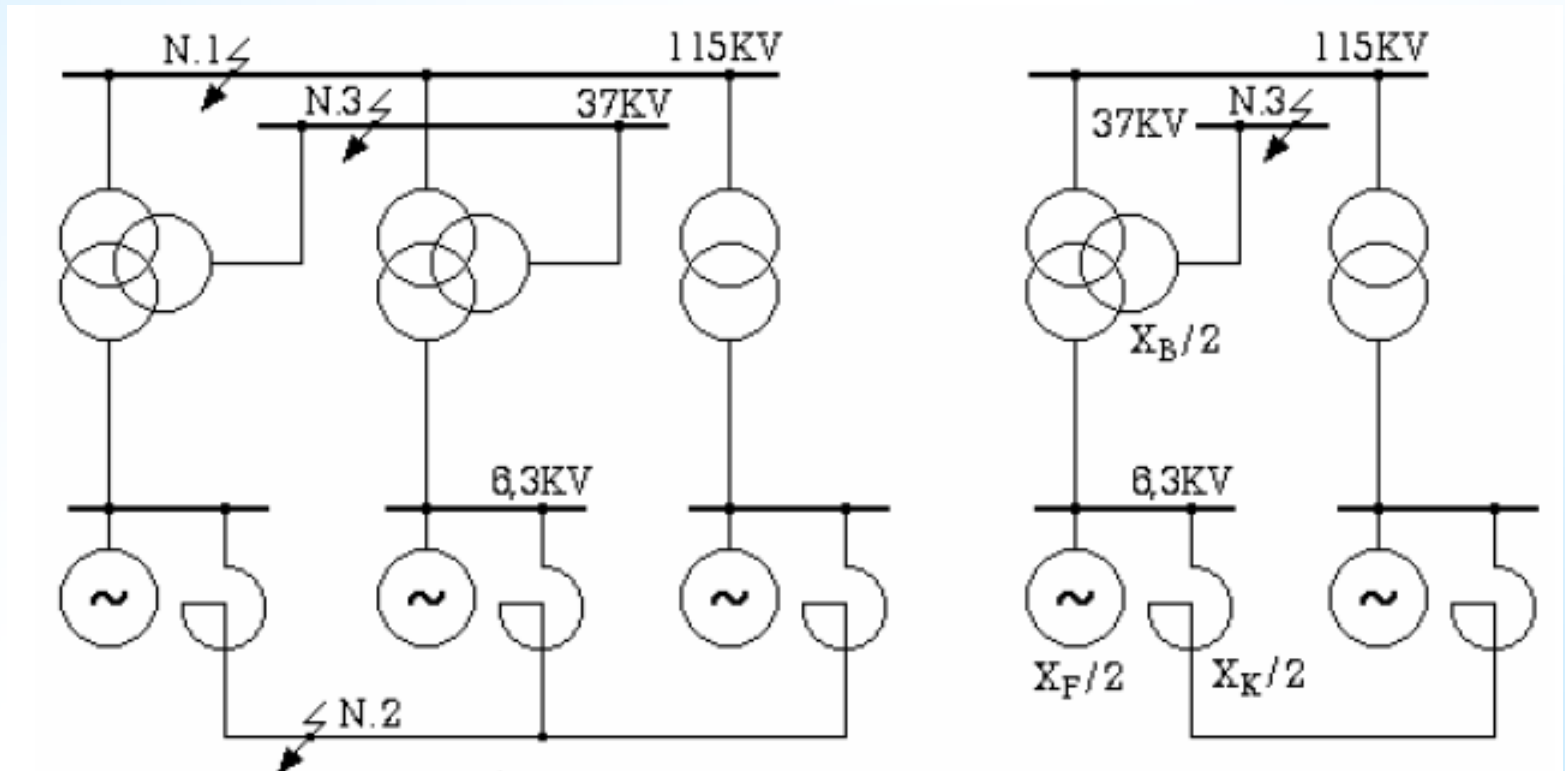


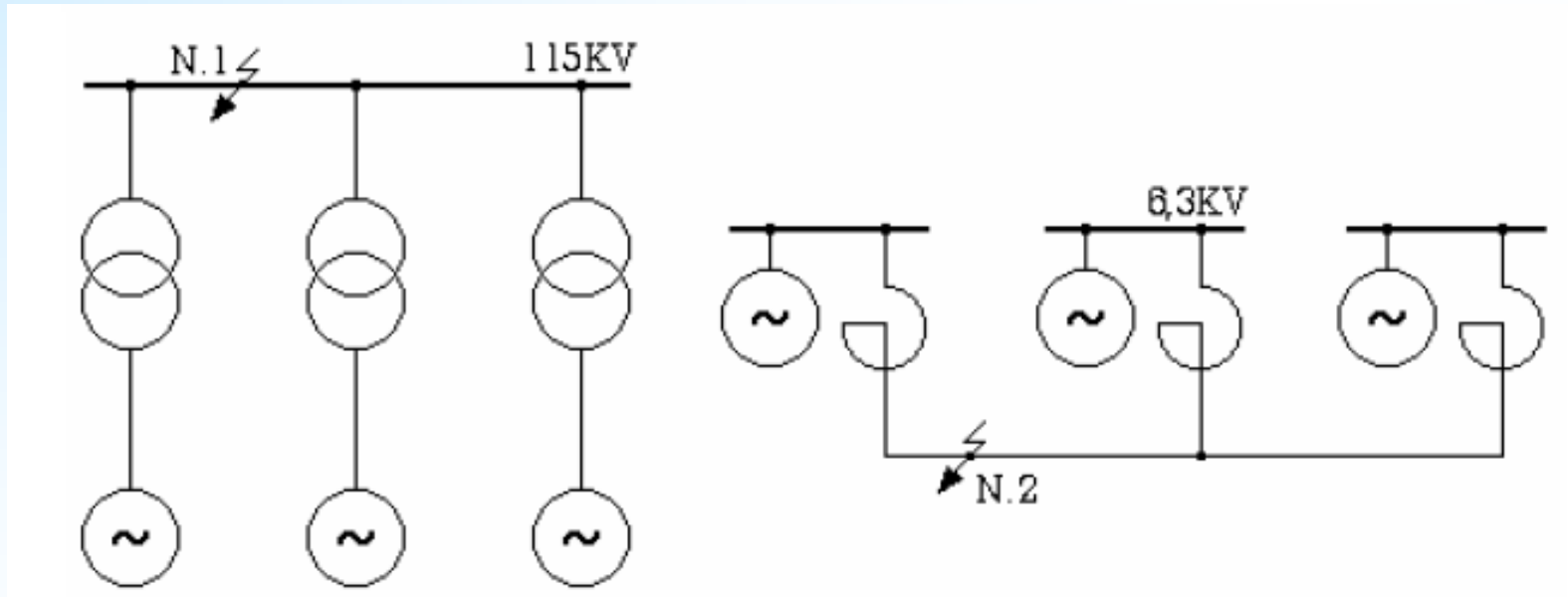
Sơ đồ nhận được lúc này không có mạch vòng sẽ dễ dàng biến đổi. Tính dòng trong mỗi nhánh khi cho ngắn mạch chỉ trên một nhánh, các nhánh ngắn mạch khác xem như phụ tải có sức điện động bằng không. Dòng qua điểm ngắn mạch là tổng các dòng đã tính ở các nhánh ngắn mạch riêng rẽ. Phương pháp này thường dùng khi cần tính dòng trong một nhánh ngắn mạch nào đó.



### e. Lợi dụng tính chất đối xứng của sơ đồ:

Lợi dụng tính chất đối xứng của sơ đồ ta có thể ghép chung các nhánh một cách đơn giản hơn hoặc có thể bỏ bớt một số nhánh mà dòng ngắn mạch không đi qua.





## *Chương 3: Tính toán ngắn mạch ba pha duy trì*

### 3.1 Khái niệm chung:

- Tình trạng ngắn mạch 03 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 gần đến giá trị 0.
- Thông thường rất ít xảy ra tình trạng ngắn mạch duy trì, bởi vì các thiết bị bảo vệ tự động cô lập các điểm ngắn mạch ra khỏi hệ thống. Tuy nhiên, vẫn phải xét đến ngắn mạch duy trì để đánh giá trạng thái ngắn mạch năng nề và phát nhiệt của thiết bị trong tình trạng sự cố kéo dài.

### 3.2 Máy phát điện trong trạng thái ngắn mạch duy trì:

- Dưới tác động của bộ tự động điều chỉnh kích từ (TĐK), có 02 trường hợp xảy ra cần phân biệt:
- + Ngắn mạch ở xa máy phát, TĐK vẫn giữ được được điện áp đầu cực máy phát ở trị số định mức.
- + Ngắn mạch ở gần máy phát, 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.
- Khi tính toán ngắn mạch duy trì, sơ đồ tương đương của các trạng thái nói trên được xác định như sau:

+ Trong trường hợp đầu máy phát được xem như là một thanh cái có điện áp không đổi ( $U = U_{dm}$ ) mà không cần quan tâm đến điện kháng và suất điện động bên trong.

+ Trong trường hợp sau, máy phát được xem như một suất điện động  $E_{qgh}$  nối tiếp một điện kháng đồng bộ  $X_d$ .

### 3.3 Tính toán dòng điện ngắn mạch duy trì khi máy phát không có TĐK:

- Khi không có bộ TĐK thì suất điện động của máy phát trước và sau thời điểm ngắn mạch là không thay đổi (do dòng kích từ  $I_f$  không đổi), có thể xác định được qua công thức:

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

Trong đó:  $U_0$ ,  $I_0$ ,  $\cos\varphi$  – trị số điện áp, dòng điện và hệ số công suất của máy phát ở trạng thái xác lập trước khi xảy ra sự cố.

- Sơ đồ biến đổi tương đương của máy phát chỉ đơn giản là suất điện động  $E_q$  và điện kháng  $X_d$ . Như vậy thực chất của việc tính toán ngắn mạch duy trì ở đây chỉ là giải mạch điện tuyến tính thông thường.

### 3.4 Tính dòng điện ngắn mạch duy trì xét đến ảnh hưởng của TĐK:

- Lúc đầu ngắn mạch ở xa nguồn phát,  $X_{ng}$  lớn, máy phát làm việc ở trạng thái định mức. Khi  $X_{ng}$  giảm dần (điểm ngắn mạch càng gần nguồn phát) độ sụt áp trên  $X_d$  trong máy phát tăng lên, để giữ điện áp đầu cực không đổi TĐK tăng dòng kích từ - tăng suất điện động  $E_q$ .

- Đến khi  $X_{ng} = X_{th}$  (điện kháng tới hạn) nào đó thì  $E_{ng} = E_{qgh}$ , đó là trạng thái tới hạn, nếu  $X_{ng}$  giảm nữa thì điện áp đầu cực sẽ thấp hơn định mức mà không điều chỉnh được nữa.

- Ta có thể kết luận khi có ngắn mạch duy trì:

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

### 3.5 Ảnh hưởng của phụ tải đến dòng điện ngắn mạch 3 pha duy trì:

- Trong tình trạng ngắn mạch duy trì phụ tải có ảnh hưởng đáng kể đến trị số của dòng điện ngắn mạch. 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 sđđ 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 nên nó làm tăng dòng điện ngắn mạch trong nguồn và làm giảm dòng điện ngắn mạch tổng tại nơi xảy ra ngắn mạch.



- 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.
- Do ảnh hưởng đáng kể của phụ tải nên khi tính toán ngắn mạch duy trì không bỏ qua được sơ đồ phụ tải, tuy nhiên để đơn giản trong quá trình tính toán bằng tay ta có thể thay thế gần đúng phụ tải bằng tổng trở thuần kháng .

## *Chương 4: Quá trình quá độ điện từ 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:

Việc xác định được biên độ (hay trị số hiệu dụng) thành phần chu kỳ của dòng điện ngắn mạch có ý nghĩa quan trọng trong các ứng dụng thực tế, các lý do:

- Từ trị số biên độ của thành phần chu kỳ dòng điện ngắn mạch có thể đánh giá hầu hết các ảnh hưởng của dòng điện ngắn mạch (tác dụng nhiệt, tác dụng lực cơ khí lớn nhất, ...) đến các thiết bị điện và dây dẫn, tính toán độ nhạy của bảo vệ relay ...

- Thành phần chu kỳ tương đối xác định trong trong các trường hợp tính toán còn trị số tức thời thì mang tính ngẫu nhiên, bất định chỉ có thể xác định được cho một số trường hợp điển hình.
- Tính toán trị số tức thời của dòng điện ngắn mạch rất phức tạp, thực chất là phân tích quá trình quá độ điện từ trong mạng điện 03 pha có số lượng lớn các phần tử.

Trong khi đó, để tính biên độ của thành phần dòng điện ngắn mạch chu kỳ có thể áp dụng các phương pháp đơn giản hơn, tuy nhiên cơ sở của các phương pháp này xuất phát từ việc phân tích quá trình quá độ điện từ.

## **Chương 6: NGẮN MẠCH KHÔNG ĐỐI XỨNG**

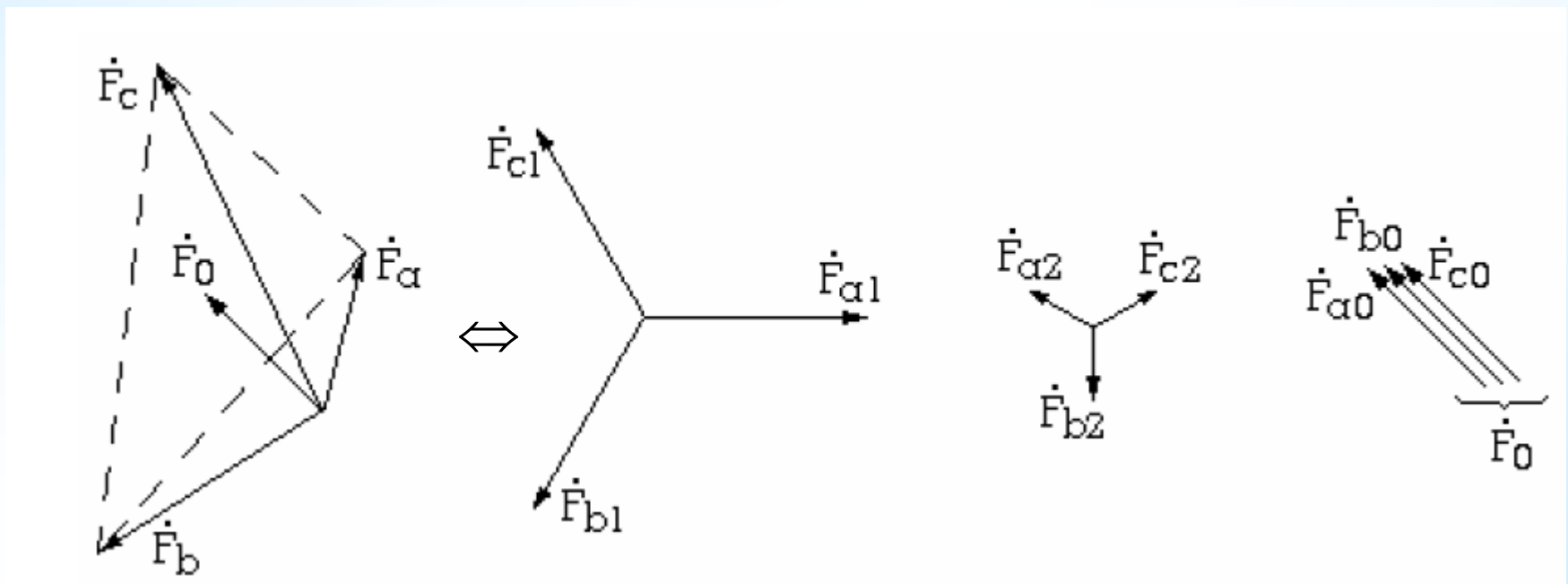
### 6.1 Khái niệm chung:

- Ngoài ngắn mạch 3 pha đối xứng, trong hệ thống điện còn có thể xảy ra ngắn mạch không đối xứng bao gồm các dạng ngắn mạch 1 pha, ngắn mạch 2 pha, ngắn mạch 2 pha chạm đất. Khi đó hệ thống véctơ dòng, áp 3 pha không còn đối xứng nữa.
- Đối với máy phát, khi trong cuộn dây stato có dòng không đối xứng sẽ xuất hiện từ trường đập mạch, từ đó sinh ra một loạt sóng hài bậc cao cảm ứng giữa rôto và stato, các sóng hài bậc cao có biên độ rất nhỏ, có thể bỏ qua và trong tính toán ngắn mạch ta chỉ xét đến sóng tần số cơ bản.

- Tính toán ngắn mạch không đối xứng một cách trực tiếp bằng các hệ phương trình vi phân dựa trên những định luật Kirchoff và Ohm rất phức tạp, do đó người ta thường dùng phương pháp thành phần đối xứng.
- Nội dung của phương pháp này là chuyển một ngắn mạch không đối xứng thành ngắn mạch 3 pha đối xứng giả tưởng rồi dùng các phương pháp đã biết để giải nó.

## 6.2 Phương pháp thành phần đối xứng:

Phương pháp này dựa trên nguyên tắc Fortesene - Stokvis. Một hệ thống 3 véctơ không đối xứng bất kỳ  $\dot{F}_a$ ,  $\dot{F}_b$ ,  $\dot{F}_c$  (hình vẽ) có thể phân tích thành 3 hệ thống véctơ đối xứng:



- Hệ thống véctơ thứ tự thuận :  $\dot{F}_{a1}, \dot{F}_{b1}, \dot{F}_{c1}$
- Hệ thống véctơ thứ tự nghịch:  $\dot{F}_{a2}, \dot{F}_{b2}, \dot{F}_{c2}$
- Hệ thống véctơ thứ tự không :  $\dot{F}_{a0}, \dot{F}_{b0}, \dot{F}_{c0}$

Theo điều kiện phân tích ta có:

$$\dot{F}_a = \dot{F}_{a1} + \dot{F}_{a2} + \dot{F}_{a0}$$

$$\dot{F}_b = \dot{F}_{b1} + \dot{F}_{b2} + \dot{F}_{b0}$$

$$\dot{F}_c = \dot{F}_{c1} + \dot{F}_{c2} + \dot{F}_{c0}$$

Dùng toán tử pha  $a = e^{j120^\circ}$  ta có:

$$\begin{bmatrix} \dot{F}_a \\ \dot{F}_b \\ \dot{F}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{F}_0 \\ \dot{F}_{a1} \\ \dot{F}_{a2} \end{bmatrix}$$

và ngược lại:

$$\begin{bmatrix} \dot{F}_0 \\ \dot{F}_{a1} \\ \dot{F}_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{F}_a \\ \dot{F}_b \\ \dot{F}_c \end{bmatrix}$$



### 6.3 Một vài tính chất của các thành phần đối xứng trong hệ thống điện 3 pha:

- Trong mạch 3 pha - 3 dây, hệ thống dòng điện dây là cân bằng.
- Dòng đi trong đất (hay trong dây trung tính) bằng tổng hình học dòng các pha, do đó bằng 3 lần dòng thứ tự không.
- Hệ thống điện áp dây không có thành phần thứ tự không.
- Giữa điện áp dây và điện áp pha của các thành phần thứ tự thuận và thứ tự nghịch cũng có quan hệ:  $U_{d1} = \sqrt{3}U_{f1}$
- Có thể lọc được các thành phần thứ tự.

## 6.4 Các phương trình cơ bản của thành phần đối xứng:

- Quan hệ giữa các đại lượng dòng, áp, tổng trở của các thành phần đối xứng cũng tuân theo định luật Ohm:

$$\dot{U}_1 = jI_1.X_1 \quad \dot{U}_2 = jI_2.X_2 \quad \dot{U}_0 = jI_0.X_0$$

trong đó:  $X_1, X_2, X_0$  - điện kháng thứ tự thuận, nghịch và không của mạch.

- Khi ngắn mạch không đối xứng ta xem tình trạng mạch như là xếp chồng của các mạch tương ứng với các thành phần đối xứng tuân theo những phương trình cơ bản sau:

$$\dot{U}_{N1} = \dot{E}_{\Sigma} - jI_{N1}.X_{1\Sigma}$$

$$\dot{U}_{N2} = 0 - jI_{N2}.X_{2\Sigma}$$

$$\dot{U}_{N0} = 0 - jI_{N0}.X_{0\Sigma}$$

trong đó:  $U_{N1}$ ,  $U_{N2}$ ,  $U_{N0}$ ,  $I_{N1}$ ,  $I_{N2}$ ,  $I_{N0}$  - các thành phần thứ tự của dòng và áp tại điểm ngắn mạch.

- Nhiệm vụ tính toán ngắn mạch không đối xứng là tính được các thành phần đối xứng từ các phương trình cơ bản và điều kiện ngắn mạch, từ đó tìm ra các đại lượng toàn phần.

## 6.5 Các tham số thành phần thứ tự của các phần tử:

- Tham số của các phần tử là đặc trưng cho phản ứng khi có dòng, áp qua chúng. Do đó tham số thành phần thứ tự của các phần tử là phản ứng khi có hệ thống dòng, áp thứ tự thuận, nghịch và không tác dụng lên chúng.
- Tham số thứ tự thuận của các phần tử là các tham số trong chế độ đối xứng bình thường đã biết.

- Đối với những phần tử có ngẫu hợp từ đứng yên như máy biến áp, đường dây ... thì điện kháng không phụ thuộc vào thứ tự pha, tức là điện kháng thứ tự thuận và thứ tự nghịch giống nhau ( $X_2 = X_1$ ).

- Đối với những phần tử có ngẫu hợp từ quay thì  $X_2 \neq X_1$ . Điện kháng thứ tự không thì nói chung là  $X_0 \neq X_2, X_1$ , trừ trường hợp mạch không có ngẫu hợp từ thì  $X_0 = X_2 = X_1$ .

## 6.6 Máy điện đồng bộ:

- Điện kháng thứ tự nghịch  $X_2$  là phản ứng của máy điện do dòng thứ tự nghịch tạo từ trường quay ngược với vận tốc  $2\omega$  so với rôto. Trị số của  $X_2$  tùy thuộc độ đối xứng của máy điện, thường ghi trong lý lịch máy.

- Trong tính toán gần đúng có thể lấy:

• Máy điện không cuộn cảm:  $X_2 = 1,45x'_d$

• Máy điện có cuộn cảm:  $X_2 = 1,22x''_d$

- Điện kháng thứ tự không  $X_0$  đặc trưng cho từ thông tản của dòng thứ tự không:  $X_0 = (0,15 \div 0,6)x''_d$
- $X_1$  thay đổi trong quá trình ngắn mạch, nhưng  $X_2$  và  $X_0$  nếu không xét đến bảo hòa thì có thể xem là không đổi. Tính toán gần đúng có thể lấy giá trị trung bình trong bảng:

<b>LOẠI MÁY ĐIỆN</b>	<b>X2</b>	<b>X0</b>
Máy phát turbine hơi < 200MW	0,15	0,05
Máy phát turbine hơi $\geq$ 200MW	0,22	0,05
Máy phát turbine nước có cuộn cảm	0,25	0,07
Máy phát turbine nước không cuộn cảm	0,45	0,07
Máy bù và động cơ đồng bộ cỡ lớn	0,24	0,08

## 6.7 Phụ tải tổng hợp:

- Phụ tải tổng hợp chủ yếu là động cơ không đồng bộ nên có thể lấy một động cơ không đồng bộ đẳng trị thay thế cho toàn bộ phụ tải để tính toán.
- Điện kháng thứ tự nghịch được lấy gần đúng:  $X_2 = X'' = 0,35$
- Hầu hết các động cơ có trung tính cách điện với đất nên không có dòng thứ tự không đi qua chúng. Do vậy không cần tìm  $X_0$  của các động cơ (tức  $X_0 \approx \infty$ ).

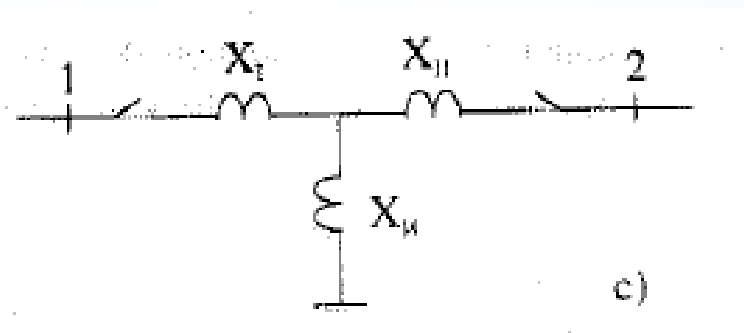
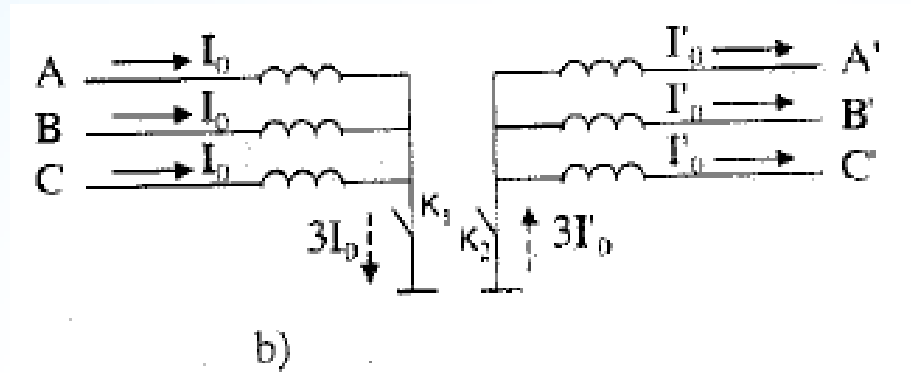
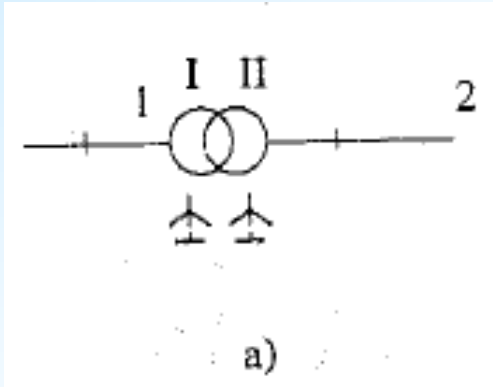
**6.8 Kháng điện:** Kháng điện là phần tử đứng yên, liên lạc về từ yếu nên:  $X_0 \approx X_1 = X_2$

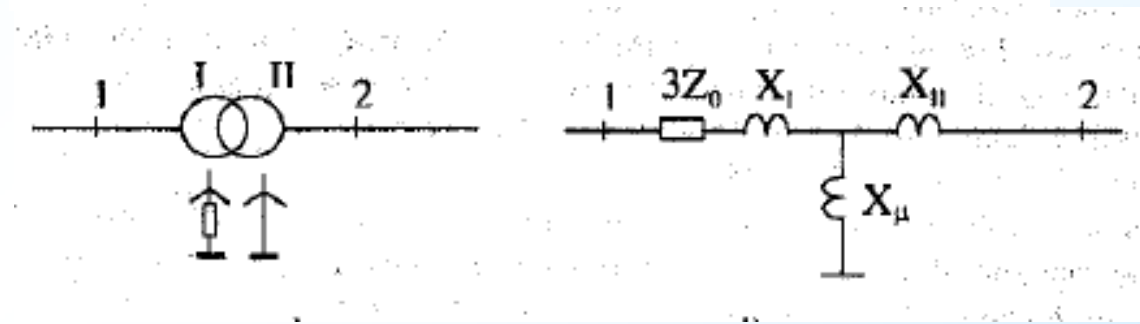
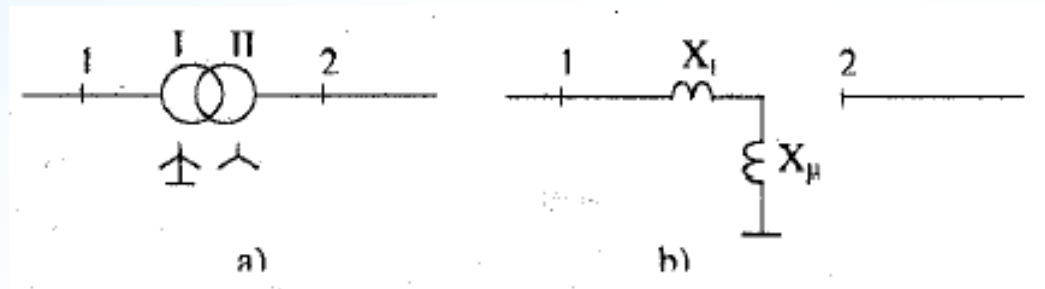
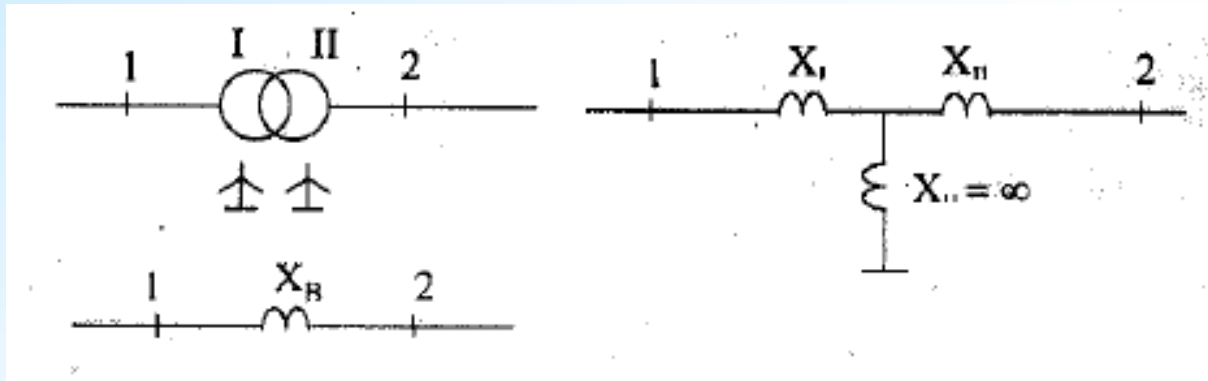


## 6.9 Máy biến áp:

- Máy biến áp có  $X_1 = X_2$ , còn  $X_0$  phụ thuộc vào tổ nối dây. Tổ nối dây  $\Delta$  chỉ có thể cho dòng thứ tự không chạy quẩn trong cuộn dây mà không ra ngoài lưới điện. Tổ nối dây Y cho dòng thứ tự không đi qua cuộn dây chỉ khi trung tính nối đất.

❖ Nói Yo /Yo :





❖ Nối Y<sub>0</sub> / Δ :

